FUCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ARBEITSWIRTSCHAFT UND ORGANISATION IAO

# FUCON 4.0 - NACHHALTIGES BAUEN DURCH DIGITALE UND PARAMETRISCHE FERTIGUNG

Projektbericht - Anhang

Diese Studie wurde gefördert durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) und das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau«.

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

# FUCON 4.0 - NACHHALTIGES BAUEN DURCH DIGITALE UND PARAMETRISCHE FERTIGUNG

Projektbericht - Anhang

**Steffen Braun**
**Dr. Alexander Rieck**
**Sebastian Bullinger**
**Dr. Carmen Köhler-Hammer**
**Arnold Walz (designtoproduction)**

**Prof.Dr. Wilhelm Bauer**

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, IAO
in Stuttgart

Projektnummer: 167061
Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-13.32

Projektpartner:
Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT – Universität Stuttgart
designtoproduction

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: II 3-F20-10-1-028 / SWD - 10.08.18.7-13.32 )

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor

**Das Projekt » FUCON 4.0 – NACHHALTIGES BAUEN DURCH DIGITALE UND PARAMETRISCHE FERTIGUNG« wurde durch folgende Partner unterstützt**

**öffentliche Projektförderer:**

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

**Forschungspartner:**

Fraunhofer IAO

Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT

D P DESIGNTOPRODUCTION

**Industriepartner:**

SCHÜCO

BOLLINGER + GROHMANN Ingenieure

LAVA

priedemann

DETAIL research Building the Future

raumprobe

FACADE LAB

# Inhalt


AP 1.1 FUCON 4.0 – Potenziale parametrischer Planung und digitaler Fertigung – Klassifikation und Auswertung von 100 Praxisbeispielen ..... 7

AP 1.2 Ergebnisse der Experteninterviews ..... 168

AP 1.3 Ergebnisse der BIM-Studie für Planer und Ausführende - »Digitale Planungs- und Fertigungsmethoden .....185

AP 1.3 BIM-Umfrage-Fragenkatalog.....218

AP 2.1 Prozessanalyse – Performance von Prozessen Entwicklung SOLL-Bauprozesse .....236

AP 2.2 Entwicklung und Konzeption eines ganzheitlichen Soll-Prozesses .....346

AP 3 / 5 Konzeption und Entwicklung prototypischer Bauentstehungsprozesse auf Basis parametrischer Planungs- und digitaler Fertigungsmethoden und Demonstration der Umsetzbarkeit anhand ausgewählter Katalysatorprojekte - designtoproduction.....375

# Anhang

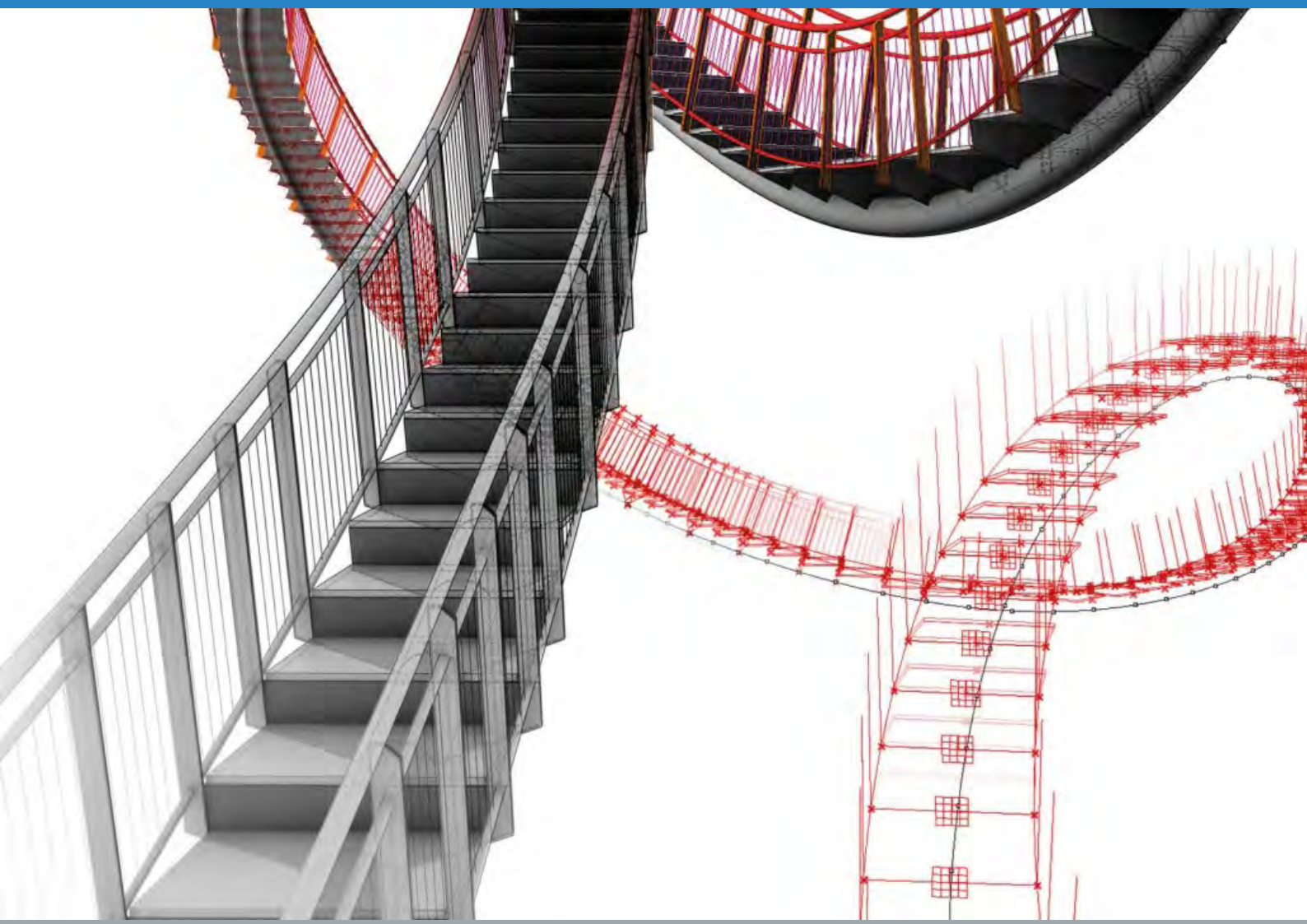
Fraunhofer
IAO

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ARBEITSWIRTSCHAFT UND ORGANISATION IAO

Steffen Braun, Dr. Alexander Rieck, Sebastian Bullinger

# FUCON 4.0 - POTENZIALE PARAMETRISCHER PLANUNG UND DIGITALER FERTIGUNG

## Klassifikation und Auswertung von 100 Praxisbeispielen



GEFÖRDERT DURCH

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

SCHÜCO

# FUCON 4.0: POTENZIALE PARAMETRISCHER PLANUNG UND DIGITALER FERTIGUNG

## Klassifikation und Auswertung von 100 Praxisbeispielen

**Steffen Braun**
**Dr. Alexander Rieck**
**Sebastian Bullinger**

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, IAO
in Stuttgart

Projektnummer: 167061
Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-13.32

**Gefördert durch**

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

SCHÜCO

**Dieser Bericht wurde gefördert und unterstützt durch die folgenden Partner des Forschungsprojektes FUCON 4.0 - Future Construction**

**öffentliche Projektförderer:**

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

**Forschungspartner:**

Fraunhofer IAO

Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT

DESIGNTOPRODUCTION

**Industriepartner:**

SCHÜCO

BOLLINGER + GROHMANN Ingenieure

LAVA

priedemann building envelope consultants

DETAIL research Building the Future

raumprobe

FACADE LAB

# Inhalt

**Management Summary** ..... **6**

**1**
**Quo vadis? - Die Baubranche im Jahr 2015** ..... **8**
1.1 Situtation der Baubranche in Deutschland ..... 8
1.2 Handlungserfordernisse für die Baubranche ..... 10
1.3 Problembeschreibung ..... 14

**2**
**Forschungsansatz** ..... **16**
2.1 Parametrische Planung ..... 16
2.2 Digitale Fertigung ..... 24
2.3 Anforderungen an zukünftige Bauprozesse ..... 28

**3**
**Zielsetzung und Konzeption der Studie** ..... **29**
3.1 Zielsetzung der Studie ..... 29
3.2 Konzeption und Methodik der Studie ..... 29

**4**
**Best-Practice: 100 Projekte** ..... **31**
4.1 Fertigungsmethoden/-Verfahren ..... 31
4.2 Installationen und Mock-ups ..... 51
4.3 Pavillons ..... 73
4.4 Gebäude ..... 101

**5**
**Auswertung und Bewertung** ..... **139**
5.1 Systemanalyse und Auswertung ..... 140
5.2 Ableitung von Material-Fertigungs-Systeme ..... 144

**6**
**Resultate** ..... **155**
6.1 Studienergebnisse im Überblick ..... 155
6.2 FUCON 4.0 - weiteres Vorgehen ..... 157

**7**
**Literatur** ..... **160**

# Management Summary

In sämtlichen Branchen der Industrie ist seit Jahren der Prozess der Digitalisierung zu verzeichnen. In der Industrie wird bereits von der vierten Industriellen Revolution gesprochen. Das Bauwesen jedoch hinkt diesen Entwicklungen hinterher und hat in den letzten Jahren in Deutschland insbesondere durch Fehlentwicklungen und -Planungen bei Großprojekten in der öffentlichen Wahrnehmung ein schlechtes Bild hinterlassen. Dabei könnten viele bereits abgeschlossene und zukünftige Entwicklungen insbesondere im Bereich der Digitalisierung aus anderen Industrien auf die Baubranche transferiert werden. Das Fraunhofer IAO beschäftigt sich mit der Frage: »Wie sieht der Bauprozess der Zukunft aus?«

Die Studie »FUCON 4.0 – Potenzialanalyse zu parametrischer Planung und digitaler Fertigung« richtet sich an Leser aus dem Bereich der Baubranche. Im Besonderen sind Architekten, Planer, Berater, aber auch Bauproduktehersteller und Forscher sowie alle Personen, die an einem zukünftigen Bauprozess in Deutschland interessiert sind, oder diesen aktiv mitgestalten wollen, angesprochen.

**Zielsetzung**
Diese Studie schafft eine Arbeitsgrundlage für die aktive Gestaltung eines zukünftigen digitalen Bauprozesses in Deutschland. Dazu wurden die unterschiedlichen Bausteine, die für einen solchen zukünftigen Bauprozess notwendig sind, anhand von in der Forschung befindlichen bzw. bereits realisierten Projekten, ermittelt.
Im Verbundprojekt »Future Construction« (FUCON 4.0) erforscht das Fraunhofer IAO gemeinsam mit seinen Partnern zukünftige Technologien und Prozesse der Baubranche. Die Studie dient als Überblick und Arbeitsgrundlage, sowohl über neue digitale Fertigungsmethoden, als auch über parametrische Planung und Planungsansätze. Beide Bereiche sind elementare Komponenten zur Realisierung einer durchgängigen digitalen Prozesskette.

**Vorgehen**
Die Studie besteht aus den einführenden Bereichen der Grundlagen und Einflüsse auf das Bauwesen in Deutschland sowie der Beschreibung von parametrischer Planung und digtaler Fertigung im Bauen. Der Hauptteil der Studie besteht aus 100 beispielhaften nationalen, als auch internationalen Projekten, die zur Identifizierung der Bausteine einer durchgängigen digitalen Prozesskette notwendig sind. Die Auswahl der 100 Projekte fand durch Recherche und Sichtung von Fachliteratur und Fachportalen im Bereich der digitalen/parametrischen Planung und digitalen Fertigung statt. Die 100 Projekte wurden aus einem größeren Pool aus recherchierten Projekten ausgewählt. Im anschließenden Teil wurden diese 100 Projekte ausgewertet.

**Ergebnisse**
Im Bereich der parametrischen Planung und Fertigung gibt es eine Vielzahl an Fertigungsmethoden, die im Modell- und Prototypenbau genutzt werden. Bei den meisten Projekten kommen trennende bzw. subtraktive Verfahren zum Einsatz. Additive Verfahren aus dem Bereich des 3D-Drucks oder umformende Verfahren werden zunehmend erprobt und entwickelt. Hauptsächlich werden Metalle und Hölzer in unterschiedlichen Handelsformen, meist jedoch in Plattenform, verwendet, da sich diese besonders einfach spanend/trennend bearbeiten lassen.

Die Anzahl der realisierten Projekte nimmt stetig zu, ebenso die Digitalisierung in den Prozessen, von einzelnen Bauteilen bis zu kompletten Gebäuden.
Aus den Projekten konnten drei Hauptanwendungsfelder identifiziert werden. Ein Anwendungsfeld zu Fassaden- und Überdachungssystemen, ein Anwendungsfeld zu Bauteilen aus Plattenwerkstoffen, die sowohl in nicht verformten, elastisch und plastisch verformten Zustand Verwendung finden und einem Anwendungsfeld von Brettschicht- bzw. Vollholz im konstruktiven Holzbau.

**Potenziale**

Anhand der analysierten Projekte ist zu erkennen, dass die parametrische Planung und digitale Fertigung, welche die wesentlichen Bauteile für eine durchgängige digitale Prozesskette bilden, keine Randerscheinung einzelner großer Planungs- und Ingenieursbüros, sowie Generalunternehmer ist. Neben kleinen spezialisierten Betrieben, Büros und der Forschung finden diese Methoden und Werkzeuge vermehrt breite Anwendung. Bisher fiel diese Art der Planung und Umsetzung durch spektakuläre Prestigeprojekte in der Architektur auf, diese Projekte sind jedoch nur als Türöffner der Technologien zu verstehen, sie zeigen auf, was bereits möglich ist. Durch den sehr hohen Wiederverwendungsgrad der dafür entwickelten digitalen Werkzeuge (Software) als auch der Fertigungsmaschinen und erprobten Prozesse können diese auch auf weitere Anwendungen im Bauwesen angewandt werden.

**Thesen zum Bauen 4.0**

- Prestigeobjekte dienen als Initialzündung für neue Werkzeuge (Software), Methoden und Fertigungsmaschinen
- Die Etablierung einer durchgängigen Prozesskette ist von enormer Bedeutung
- Eine Umstellung und Anpassung der heutigen Strukturen und Prozesse von Planungsbüros, ausführenden Unternehmen sowie der Ausbildung und Lehre an die neuen Bedingungen im Bauprozess muss stattfinden
- Eine präzise digitale Bestandsaufnahme ist notwendig um parametrische Planung und digitale Fertigung im Bestand anzuwenden
- Eine Entwicklung parametrischer Module zur energetischen/technischen Ertüchtigung von Bestandsgebäuden ist für das Bauwesen ausschlaggebend
- Der Transfer von Erfahrungen, Prozesse und Technologien aus Industrie 4.0 in die Baubranche ist unerlässlich
- Der Digitalsierungsprozess im Bauwesen muss fortgeführt werden
- Neben den kleinen, bereits vorhandenen, Netzwerken muss die Bildung einer ähnlichen Institution wie dem buildingSMART oder eine Erweiterung dieser um die Thematik der Parametrik statt finden.
- Die Politik muss sich ähnlich wie beim Thema Industrie 4.0 für eine Bauwirtschaft 4.0 einsetzen um den Prozess der Optimierung und Effizienzsteigerung voranzutreiben

# 1
# Quo vadis? - Die Baubranche im Jahr 2015

## 1.1 Situation der Baubranche in Deutschland

Wohin entwickelt sich die Bauwirtschaft? Welche Technologien und Prozesse werden wir einsetzen und welche Konsequenzen ziehen die globalen Megatrends bezüglich Bauerstellung und Immobilie nach sich? Die Baubranche durchlebt seit einigen Jahren, besonders im Bereich der Planung, einen raschen Wandel, digitale Planungsprogramme werden leistungsfähiger und etablieren sich unter den Planern immer mehr. Obwohl mittlerweile, bei einem Großteil der Planungsaufgaben, sämtliche Bauteile in digitaler Form hinterlegt sind, werden diese Daten bei der Produktion und auf der Baustelle nur sehr selten, bei ambitionierten Projekten, genutzt. Das liegt vor allem an fehlenden durchgängigen Schnittstellen zwischen der Planungssoftware und den ausführenden Gewerken sowie einem, zum Großteil, veralteten Planungs- bzw. Ausführungsprozess.

Die Baubranche ist mit einem Anteil von 4,7% der Bruttowertschöpfung im Jahr 2013 ein wichtiges Standbein der deutschen Wirtschaft [DEST14a, S.11]. Der Anteil der Investitionen im Bauwesen am Bruttoinlandsprodukt beträgt laut Statistischem Bundesamt 9,9% und entspricht 270,16 Mrd. € [DEST14a, S. 13]. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung, kurz DIW, geht sogar von einem weit höheren Betrag von 313,6 Mrd. € aus, rechnet jedoch im Vergleich zum Statistischen Bundesamt auch Investitionen ohne Wertsteigerung ein [STAT14]. Für das Jahr 2012 gibt das DIW eine Gesamtvolumen von 310 Mrd. €, davon entfielen 171,5 Mrd. € (55,4%) auf den Wohnungsbau, 95,6 Mrd.€ (30,9%) auf gewerbliche Bauten und 42,2 Mrd.€ (13,7%) auf den Öffentlichen Bausektor [BMVBS13, S.17-18].

Im Vergleich zu anderen Branchen des Produzierenden Gewerbes, wie zum Beispiel dem Maschinen-, Anlagen- oder Fahrzeugbau ist die Baubrache in Deutschland sehr kleinteilig strukturiert, 89% der Unternehmen gelten mit 1 bis 19 Mitarbeitern als Kleinstunternehmen, beschäftigen 45,6% der Beschäftigten und erwirtschaften rund 33% des Umsatzes im Baugewerbe. Die restlichen 10% der Unternehmen beschäftigen 54,4% und erwirtschafteten 66% des Umsatzes. Die Großunternehmen mit mehr als 200 Mitarbeitern machen lediglich eine Anteil von 0,3 % der Unternehmen aus, beschäftigen jedoch 10,3% und erwirtschaften einen Anteil von 15,5% [DEST14b, S.9, 11].

Vergleicht man nun die Produktivität der Baubranche mit dem Produzierenden Gewerbe in Deutschland seit der Wiedervereinigung, stellt man fest, dass das Produzierende Gewerbe einen permanenten Anstieg (Ausnahme 2008, 2009) von 77% (2013) zum Basisjahr (1991) verzeichnet, während das Baugewerbe lange Zeit stagnierte bzw. sogar um 4% abnahm (2013) [DEST14c]. Im selben Zeitraum stiegen die Preise im Baugewerbe um 45% an [DEST14d, S.21, 25].

**Abb. 1:**
**Entwicklung der Fertigung im Vergleich Automobilbau und Bauwesen**

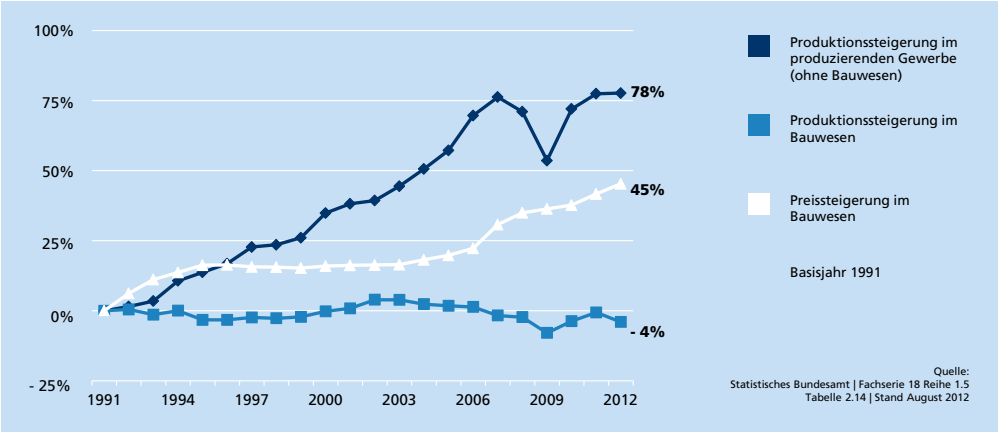



**Abb. 2:**
**Produktions- und Preissteigerung zum Basisjahr 1991**

Neben der schlechten Bilanz in der Produktivität ist die Bauwirtschaft auch in Fragen der Abfallproduktion schlecht aufgestellt, aus Abrissarbeiten, Nebenprodukten und Bauresten von Bauarbeiten, etc. entfallen 52,5% des produzierten Abfalls in Deutschland. Dieser Anteil liegt deutlich über dem europäischen Durchschnitt von immer noch 34,31% [EURO14].

Seit einigen Jahren ist die Baubranche zunehmend durch Planungsfehler, Terminverschiebungen und Kostensteigerungen bei unterschiedlichen Großprojekten in Verruf geraten (unter anderem Elbphilharmonie, Stuttgart 21, BER). Als Paradebeispiel dafür gilt unter anderem der Flughafen Berlin-Brandenburg (BER) dessen geplante Kosten sich von 2,4 Mrd. € im Jahr 2008 auf voraussichtlich 5,1 Mrd. € mehr als verdoppeln werden [BDSD13]. Der ursprüngliche Eröffnungstermin aus dem Jahr 2011 wurde, nach weiteren nicht eingehaltenen Terminen, auf unbestimmte Zeit verschoben, ist mittlerweile jedoch für das Jahr 2017 angesetzt. Als Ursache dafür stehen Planungsfehler, größere Änderungswünsche während des Baubetriebs und schlechte Kommunikation.

Durch Themen der Nachhaltigkeit, Energieeinsparung (EnEv) und der Energiewende sowie der Technisierung der Gebäude verschärfen sich der Planungsaufwand, Kommunikation der Beteiligten und die Kosten für neue Gebäude immer weiter.

Im Bereich der Planung versucht sich seit einigen Jahren die Methode des „Building Information Modelling" – kurz „BIM" – anhand von 3D-Planungssoftware durchzusetzen (Genaue Erklärung/Definition der Methode BIM und der spezifischen Software in Abschnitt 2.1 Parametrische Planung). In der deutschen Baubranche wird CAD-Software im Großteil als digitales 2D-Zeichenbrett verwendet. Pläne werden im Allgemeinen 2D papiergebunden oder als PDF zwischen den Planungspartnern untereinander und den ausführenden Unternehmen ausgetauscht. In den USA wird die Nutzung von BIM von der Industrie vorangetrieben, seit 2007 stieg der Anteil der Nutzer von 28% auf 49% im Jahr 2009 und auf 71% im Jahr 2012 [McGH12, S.4]. Bei den großen und mittleren Unternehmen waren es sogar 90%. In Europa waren es im Jahr 2010 lediglich 36% der Unternehmen die BIM Nutzen, in Deutschland ebenfalls 36%, in Groß-Britannien nur 35% und in Frankreich sogar 38% [McGH10, S.11].

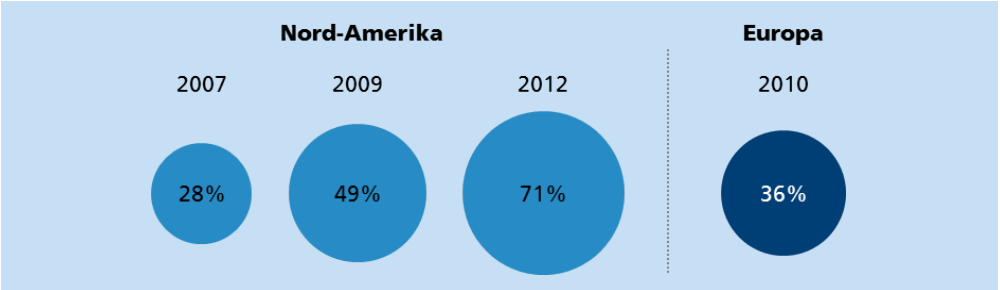



**Abb. 3:**
**Anteil der BIM Nutzer in der Bauindustrie (nach McGraw Hill)**

In den USA, Norwegen, Finnland und Dänemark wird BIM heute schon von öffentlichen Auftraggebern gefordert. In Zukunft wird dies unter anderem auch in den Niederlanden, Großbritannien, Mexiko, Island und Estland der Fall sein [DRSO13]. In Deutschland befasste sich seit 1995 ein Ableger der buildingSMART Vereinigung mit der Etablierung und (software-)technischen Umsetzung. Bisher von öffentlicher Seite wenig unterstützt, gehört die Umsetzung und Etablierung von BIM im Bauwesen, seit Mitte 2014 auch in Deutschland zum politischen Willen für öffentliche Projekte [VBI14].

Diese Studie befasst sich mit 100 beispielhaften Projekten zum Thema der digitalen durchgängigen Prozesskette. Kernelemente dazu sind eine digitale/parametrische Planung sowie eine digitale Fertigung von Bauteilen und Komponenten. Schwerpunkt ist es zu ermitteln, inwieweit diese planerischen Ansätze bestehen und bereits erfolgreich umgesetzt werden konnten und welche zukünftigen Entwicklungen zu erwarten sind.

## 1.2 Handlungserfordernisse für die Baubranche

Nachdem im vorherigen Abschnitt die derzeitige Situation der Baubranche knapp beschrieben wurde, werden in diesem Abschnitt die drei übergeordneten (politischen) Haupttreiber der Baubranche in ansteigender Reihenfolge der Einflussrelevanz beschrieben. Es handelt sich hierbei um die Energiewende, die primär darauf abzielt Prozesse (energie-)effizienter zu gestalten, den Ausstoß von CO2 zu verringern und von fossilen auf erneuerbare Energieträger umzusteigen. Das Thema Industrie 4.0 widmet sich der vollständigen Vernetzung des Planungs- und Fertigungsprozesses sowie des gesamten Lebenszyklus, einer der Schwerpunkte ist die Verfügbarkeit aller relevanten Daten in Echtzeit. Der dritte und weitreichendste Treiber ist die Transformation der Städte, diese beinhaltet nicht nur die beiden voran genannten Treiber sondern bietet dem Bauwesen das komplette Spektrum zur Anwendungen und Umsetzung.

### 1.2.1 Energiewende

Die Energiewende befasst sich in erster Linie mit der Loslösung von fossilen und atomaren Energieträgern und der damit einhergehenden Abhängigkeit von Rohstoffimporten, wie beispielsweise (Erd-)Öl, Uran und Kohle. Zudem sollen Emissionen, hauptsächlich $CO_2$, eingespart werden.

Die Bundesregierung will im Zuge der Energiewende den benötigten Strom in Deutschland im Jahr 2035 zu 55 bis 60 Prozent und im Jahr 2050 zu 80 Prozent durch erneuerbare Energiequellen decken. Der $CO_2$ Ausstoß soll bis 2050 um 80 Prozent gegenüber dem Basisjahr 1990 verringert werden. Zudem soll sich Deutschland aus der Abhängigkeit fossiler und nuklearer Brennstoffe lösen und internationale Gas- und Ölimporte reduzieren. Bis 2022 werden die letzten Atomkraftwerke vom Netz genommen. Die zwei Standbeine der Energiewende sind auf der einen Seite der Umstieg auf erneuerbare Energie sowie auf der anderen die effiziente Nutzung von Energie allgemein. Der Gebäudebestand der BRD soll bis 2050 zudem nahezu klimaneutral werden [BMWi14].

Der Begriff der Energiewende ist sehr abstrakt und wird im Wandel der Zeit immer wieder unterschiedlich ausgelegt [Maub14, S.XII].

Die Energiewende beginnt schon in einigen wenigen Köpfen Anfang der 1980'er Jahre. 1980 veröffentlicht das 1977 gegründete »Institut für angewandte Ökologie«, kurz »Öko-Institut«, die Studie »Energie-Wende, Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran« und ist somit der Begründer des heutzutage (von der Politik) viel verwendeten Begriffes »Energiewende«. Die damaligen Ziele waren, die Lösung der Bundesrepublik aus der Abhängigkeit von Erdöl bis zum Jahr 2030 sowie sofortige Ausstieg aus der

Atomkraft. Die Primärenergie sollte im Jahr 2030 zu 50% aus Kohle und zu 50% aus erneuerbaren Energien gedeckt werden, zudem sollte die Energieeffizienz einen großen Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauchs leisten. Die Studie wird als Fundament der heutigen Energiepolitik, die mit den Begriffen Nachhaltigkeit, Dezentralität und Ressourcenschonen beschrieben wird, gesehen.

Erst 30 Jahre nach der Veröffentlichung der Studie und nach den Kernkatastrophen Tschernobyl und Fukushima sowie etwaiger Terroranschläge auf Kernkraftwerke, den bemerkbaren Auswirkungen des Klimawandels als Folgen des ansteigenden $CO_2$-Ausstoßes, der Verknappung und Verteuerung sowie Anstieg des Verbrauchs von endlichen Ressourcen, ist die Energiewende in der Mitte der Gesellschaft angekommen.
Der Ausstieg aus der Atomkraft wurde, unter dem Hintergrund der Atomkatastrophe in Fukushima, im Jahr 2011 besonders schnell beschlossen. Allein dieser Schritt bedeutet jedoch noch lange nicht die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende. Für Deutschland, als Industrieland, bedeutet die Energiewende, die vollständige Transformation des Energiesystems, dieses muss sich von einer kohlenstoffbasierten Energieversorgung verabschieden und auf eine nachhaltige, regenerative Basis der Energieversorgung umstellen. Dazu müssen ganzheitliche, übergreifende Veränderungen in den Bereichen der Politik, Gesellschaft sowie Technik und Energiewirtschaft vorgenommen werden [Maub14].

Angesichts steigender Anforderungen an Energie- und Ressourceneffizienz müssen etablierte Wertschöpfungsprozesse im Bauen hinterfragt und angepasst werden. Energieeffizientes Bauen bedeutet zukünftig innovative Technologien und deren Potenziale für ressourceneffiziente Lösungen, für die heutigen Planungs- und Produktentstehungsprozesse sowie den (Produkt-)Lebenszyklus von Gebäuden zu erschließen und diese frühzeitig zu integrieren. In der Planung des Entwurfs, als auch des Fertigungsprozesses bestehen hierbei die größten Potenziale, die in der Baubranche kurz- bis mittelfristig gestemmt werden können und welche diese direkt betreffen.

### 1.2.2 Industrie 4.0

„Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an den zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen. Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie beispielsweise Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen.“ [vgl. Baue14, S.630 und Plln13]

Dies stellt eine sehr kompakte Zusammenfassung des Begriffs von Industrie 4.0 dar. Industrie 4.0 wird nicht nur die klassische Industrie beeinflussen, sondern auch einen erheblichen Einfluss auf die Zukunft des Bauwesens haben. Es geht um die Vernetzung und Informationsbestückung nahezu sämtlicher Komponenten durch Chips oder Mikroprozessoren in Netzwerken bzw. über das Internet, diese so genannten Cyber-Physikalischen-Systeme (Eingebettete I&K Systeme), verknüpfen reale und virtuelle Welt, sind ein Schwerpunktthema und beeinflussen in Zukunft nahezu alle Objekte über ihren gesamten Lebenszyklus. So auch Gebäude von der Idee, über die Planung, Produktion, Fertigung, Logistik, Nutzung, bis hin zum Rückbau bzw. Recycling.

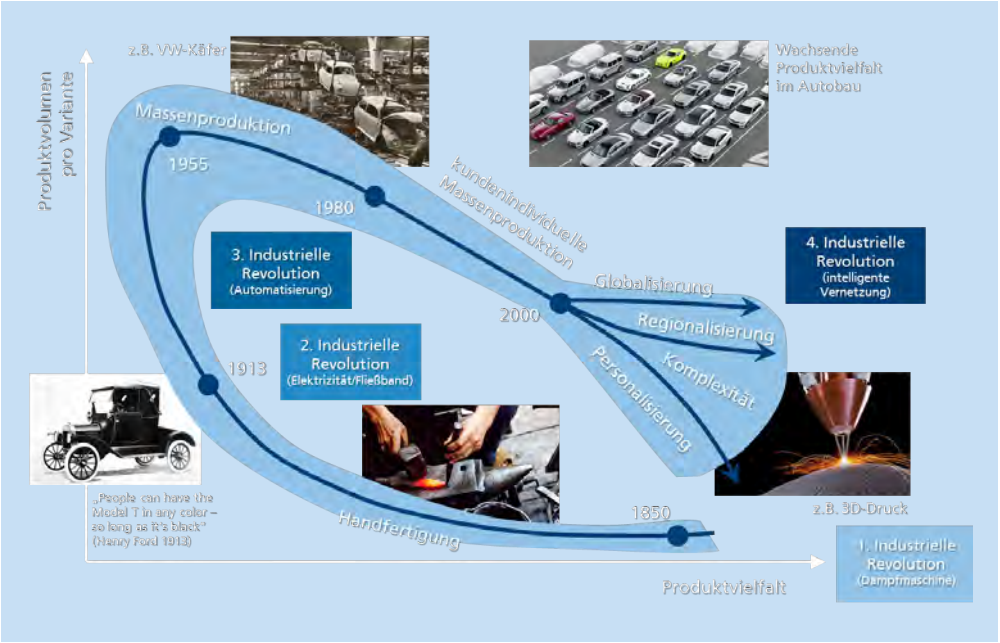



**Abb. 4:**
**Geschichte der Produktion (nach [Baue14] & [Kore10])**

Als Potenzial zu verzeichnen ist insbesondere die voranschreitende Effizienz im Prozess, dadurch wird zum Beispiel der Energie- und Rohstoffverbrauch, ebenso die Produktion von Abfall in Zukunft drastisch reduziert werden. Des Weiteren wird die Arbeit aller Beteiligten effizienter gestaltet, im Bereich der Planung werden heutzutage unnötige Mehrfachplanungen und andere Mehrarbeit reduziert, Informationen zu nachfolgenden Schritten, sei es in der Planung, Fertigung, Logistik, dem Betrieb oder gar des Rückbaus können an jeder beliebigen Stelle im Prozess abgefragt und mit Alternativen abgewogen werden. Durch immer Leistungsstärkere Steuerungssysteme müssen die Fertigungsmaschinen nicht mehr aufwendig auf Fertigungsprozesse „geteached" werden, sie können direkt angesteuert werden und eine beliebige Abfolge an unterschiedlichen Werkstücken erzeugen. Für den wirtschaftlichen Einsatz der Maschinen ist es nicht mehr wichtig eine große Stückzahl in Serienfertigung zu produzieren, in Zukunft können auch Einzelanfertigungen zu ähnlichen Preisen wie Massenware hergestellt werden. Dies vereinfacht ebenfalls wiederum die Arbeit und verbessert die Qualität der Produkte, Unikate und Null-/Kleinserien müssen nicht mehr teuer und/oder analog hergestellt werden. Hinzu kommt die Dezentralisierung, da Fertigungsanlagen nicht mehr auf ein lokales Netzwerk beschränkt, sondern weltweit vernetzt sind, können Engpässe umgangen bzw. die kürzesten Arbeitswege (Logistik) ausgewählt werden.
Dies sind nur die wichtigsten Einflüsse die derzeit von Industrie 4.0 auf das Bauwesen abzuleiten sind. Es ist sehr schwer vorherzusehen, welche weitreichenden Folgen das Thema Industrie 4.0 auf die Industrie allgemein und auf das Bauwesen haben wird.

### 1.2.3 Transformation der Städte

Die Welt befindet sich im urbanen Zeitalter. Der Urbanisierungsgrad in Deutschland liegt bei 74%, global betrachtet ist das Städtewachstum und die Entstehung neuer Städte als Megatrend zu verzeichnen. Dabei konzentriert sich der Ressourcen- und Energieverbrauch in Deutschland überwiegend auf Städte. Die Hightech-Strategie der Bundesregierung zur CO2-neutralen, energieeffizienten und klimaangepassten Stadt, ist im Rahmen der Energiewende einer der Haupttreiber zur Transformation der Städte in Deutschland.

„Die zukunftsfähige Stadt von morgen wird sich deutlich von unserem heutigen Stadtverständnis unterscheiden. Heutige Städte nutzen Systeme und Infrastrukturen,

die auf teilweise veralteten Technologien basieren und äußerst schwerfällig sind, wenn es um Anpassungsfähigkeit, Erweiterbarkeit und Transformation geht." (Projektbeschreibung Phase II M:CI)

Eine neue urbane Ära der Städte bricht an. Für die großen Herausforderungen der nächsten Dekaden werden innovative, flexible, lebenswerte und nachhaltige Stadtsysteme benötigt. Dabei verschmelzen die Bereiche aus Energie, Gebäude, Produktion und Logistik, Mobilität und Verkehr, Information und Kommunikation, urbane Prozesse und Organisation, Sicherheit und Schutz sowie demographischer Wandel zu einem ganzheitlichen Gesamtsystem.
Die Städte werden energieautark, sie werden ihre Energieversorgung selbstständig und $CO_2$-neutral decken. Intelligente Energieerzeugung wird durch (Multi-)Smartgrids gesteuert und optimal auf den jeweiligen Bedarf eingestellt. Die Stadt wird zu einem hybriden Energiespeicher unterschiedlicher Energieträger.
Der Gebäudebestand der Stadt wird nicht mehr als Einzelgebäude, sondern als ein intelligenter, mit der Infrastruktur interagierender Gebäudeverbund im Gesamtsystem verstanden. Gebäude und Quartiere werden energieeffizienter und energieautark, produzieren mehr Energie als sie selber benötigen und wirken so den Klimaschwankungen entgegen. Aufgrund neuer innovativer und flexibler Planungs- und Bauprozesse stehen neue sich am Lebenszyklus orientierende Bauweisen zur Verfügung.
Die Produktion und Logistik findet in einem reibungslosen Ablauf von Gütertransport und -umschlag, Handel, Dienstleistung und Produktion statt. Dank Industrie 4.0 dezentralisiert sich die Produktion in den Städten und ermöglicht sowohl für die Arbeiter als auch für Transport und Versorgung kurze Wege. Die Infrastruktur spielt bei dieser dezentralen Produktion eine wichtige Rolle.
Mobilität und Verkehr orientieren sich an den Bedürfnissen der Bewohner. Eine Optimierung hinsichtlich der Effektivität, als auch des Verbrauchs findet statt, um den Anforderungen der Nachhaltigkeit und der Lebensqualität Folge zu leisten. Miteinander vernetzte Mobilitätsysteme sorgen nicht nur für eine Reduzierung der Verkehrsunfälle, sondern ermöglichen auch autonomen Personen- und Lastenverkehr.
Informations- und Kommunikationstechnologie sind mit Datenaustausch und Vernetzung in Echtzeit einer der Grundpfeiler zukünftiger Stadtsysteme. Sie dienen insbesondere der Steuerung der Energieversorgung, der Mobilität, der öffentlichen Sicherheit, sämtliche, bisher als Einzelsysteme betrachteten, Bereiche werden hierarchisch in einem Gesamtsystem zusammengeführt.
Urbane Prozesse und Organisation werden durch die Schaffung kurzer Wege optimiert. Den Bewohnern steht eine Vielzahl an Freiheitsgraden zur Selbstverwirklichung zur Verfügung. Ebenso wird die Möglichkeit der Partizipation und Mitgestaltung der Stadtentwicklung gefördert. Innovative und flexible anstatt starrer Wertschöpfungsketten werden etabliert.

Sowohl die Transformation bestehender Städte und Stadtquartiere als auch deren Neubau, stellt einen Zukunftsmarkt für Innovationen und Investitionen dar.
Wichtig dabei sind die vielfältigen Aspekte und Einflüsse unterschiedlichen Ursprungs, die zwingend berücksichtig werden müssen. Darunter fallen, wie beschrieben, sowohl innere als auch äußere Parameter bzw. Einflussgrößen, die es notwendig machen Gebäude nicht als Einzelobjekt, sondern als Baustein im Stadtgefüge zu verstehen. Notwendig dafür ist insbesondere das synergetische Zusammenspiel von Architektur, Bautechnik, technischer Gebäudeausrüstung und Stadtplanung.
Angesichts des notwendigen Umbaus unserer Städte hin zu nachhaltigen und energieeffizienten Lebensräumen kann die Baubranche die entscheidenden Strategien, Produkte und Lösungen zur Bewältigung dieser Transformation liefern, sei es im Bereich von passiv- und Energieplus Neubauten, der Transformation von Bestandsgebäuden oder der fachgerechten Sanierung und Denkmalpflege von Altbauten, sowie deren energetische Optimierung und Vernetzung, bezüglich Energie und Informations- und Kommunikationstechnologie.

## 1.3 Problembeschreibung

Die Baubranche befindet sich in einem ständigen Wandel, sei es durch neue Technologien, Methoden, Materialien oder immer neue Anforderungen an die Gebäude/ Bauwerke selbst. Wie in Kapitel 1.2 dargestellt, werden an die Baubranche und ihre Arbeits-/Wirkungsbereiche, ebenso wie auf die restlichen Industriebranchen, in den nächsten Jahrzenten hohe Erwartungen gestellt. Dominiert wird das ganze durch das Thema der Energiewende und Effizienz, dass sich sowohl auf die Planung und Ausführung, als auch auf die Produkte der Branche selbst auswirkt. Chancen für die Umsetzung effizienterer Prozesse und Produkte ergeben sich ebenfalls aus dem Thema Industrie 4.0 das sich mit neuartigen, weltweit vernetzten und effizienteren Prozessstrukturen sowie Planungs- und Fertigungsmethoden auseinander setzt, die insbesondere auf die Baubranche einen noch deutlicheren Einfluss bzw. Impuls geben dürfte als auf andere produzierende Branchen. Die Thematik der Stadt der Zukunft (Morgenstadt) wirft das nötige Volumen an Baumaßnahmen ab. Gebäude müssen abgerissen, energetisch saniert, umgebaut/erweitert und/oder neu geplant werden, ebenfalls unter dem Hintergrund der ganzheitlichen Planung, Energieeffizienz und selbstständigen Energiegewinnung und -speicherung.

Dennoch leidet die Baubranche wie unter Kapitel 1.1 beschrieben unter großen Defiziten, die Produktivität ist in den letzten 25 Jahren stagniert, bzw. ins Minus abgerutscht. Während im restlichen produzierenden Gewerbe in Deutschland die Produktivität, wie bereits beschrieben, seit 1991 um ca. 77% zugenommen hat. Das Produzierende Gewerbe, allen voran die Automobilbranche besteht hauptsächlich aus Unternehmen, welche international tätig sind, sich ihre Partner selbstständig aussuchen und ihre eigenen Vorgaben machen. Die Produkte sind hauptsächlich Serien- bzw. Massenprodukte, deren Entwicklung zumeist im eigenen „Haus“ unter der Gesamtregie stattfindet. Die Aufgabenbereiche der einzelnen Teams bzw. Firmen sind sehr genau zugewiesen, Planungsteams arbeiten über Jahre hinweg eng zusammen.

Im Bauwesen sieht dies anders aus, das Endprodukt ist in den meisten Fällen ein Unikat und die beteiligten Teams werden bei jedem Projekt aufs Neue zusammengestellt. Bis auf wenige Ausnahmen sind die beteiligten Unternehmen sehr kleinteilig und zumeist regional aufgestellt. Bei der Vergabe von Aufträgen wird in der Regel (nach VOB – Vergabe- und Vertragsordnung von Bauleistungen) dem Unternehmen mit dem niedrigsten Gebot der Zuschlag erteilt. Viele Unternehmen unterbieten sich gegenseitig um wenigstens einen Auftrag zu bekommen, mit der Folge, dass für fachgerechte Arbeiten kaum bzw. kein Geld zur Verfügung steht. In vielen Fällen werden diese Aufträge dann an Subunternehmen weitergegeben, dadurch leidet nicht nur die Bezahlung der Arbeitnehmer sondern auch die Qualität der Produkte, die Folge sind Mängel und Bauschäden. Doch nicht nur das Preisdumping und der damit einhergehende Qualitätsverlust, der wiederum sehr schnell Nacharbeiten, teilweise sogar noch im Bauprozess, nach sich zieht, sondern auch fehlerhafte Kommunikation und Planung führen dazu, dass die Kosten von Bauprojekten nicht eingehalten werden können.

In vielen Fällen kommt hinzu, dass die tatsächlichen Kosten zu Beginn nicht einmal durch Experten realistisch eingeschätzt werden können und bewusst kleingerechnet werden, damit der Bewilligung nichts im Wege steht. Doch genau diese falschen Berechnungen führen in den meisten Fällen zu Qualitätseinbußen und Dumping und sind damit der eigentliche Auslöser von Bauschäden/-mängeln sowie Planungsverzug und nicht eingehaltenen Kosten. Viele Bauherren und Architekten trauen sich schon gar nicht mehr ausgefallene/anspruchsvolle/individuelle Gebäude und Architektur zur realisieren, außer es handelt sich um ein so genanntes Prestigeprojekt bei welchem der unbedingte Wille und der finanzielle Hintergrund gegeben sind. Als eines der geglückten Beispiele ist dazu das Mercedes Benz Museum zu verzeichnen, welches in Kapitel 4.4 (Seiten 107f) behandelt wird. Dieses Projekt besticht, sowohl durch seine Architektursprache, als auch durch seine Qualität sowie Termin- und Kostensicherheit.[DTP]

Die meiste Architektur in Deutschland beschränkt sich jedoch, durch die Vorgaben bzw. Einschränkungen durch Nachhaltigkeit, Termin- und Kostensicherheit auf die relativ unspektakuläre Einheitsarchitektur der „Kiste". Die Architekten wissen, aus diesen Einschränkungen geboren, schon zu Planungsbeginn relativ genau wie die Projekte umzusetzen sind.[DTP]

Das Problem der Reduzierung der Architektursprache bezieht sich jedoch nicht nur auf neue Gebäude, sondern auch der Bestand wird dank EnEV in vielen Fällen mit billigen Standardprodukten „saniert" und teilweise seiner Identität beraubt. Der Bauherr hat die Wahl ob er eine billige Sanierung der Außenfassade, oder eine kostspieligere Innendämmung mit deutlichem Mehraufwand und Einschränkungen der Nutzung während der Sanierung vornimmt. Gerade für denkmalgeschützte Gebäude oder Bauten mit (aufwändigen) Schmuckfassaden ist die Außendämmung jedoch tabu. Eine denkmalgerechte Sanierung ist in vielen Fällen ein äußerst kompliziertes und kostspieliges Unterfangen, da hierfür die meiste Arbeit handwerklich und mit äußerster Professionalität ausgeführt werden muss. Hier kann bisher am geringsten auf vorgefertigte bzw. vorfertigbare Produkte zurückgegriffen werden.

Im nationalen und internationalen Bereich gibt es dennoch Projekte, die der Thematik von anspruchsvoller Architektur, Nachhaltigkeit sowie Qualität, Kosten- und Termineinhaltung gerecht werden. Diese werden in der Regel von internationalen und versierten Teams entwickelt und realisiert. Diese Planungsteams verfügen häufig über hauseigene Spezialisten, siehe Smart Modeling Group (Foster+Partner), Black Box Studio (SOM) oder Advanced Geometry Unit (ARUP), oder holen sich diese Spezialisten von Außerhalb ins Team, siehe Designtoproduction und Bollinger+Grohmann. Besonders spannend und zielführend sind dabei die Planungs- und Arbeitsansätze von digitaler bzw. parametrischer Planung anhand von Informationsmodellen und die digitale Produktion im Stil einer industriellen Fertigung.

Diese Ansätze werden im nachfolgenden Kapitel erläutert und bilden die Grundlage der 100 ausgewählten Projekte.

# 2
# Forschungsansatz

Der Schlüssel zur Bewältigung der vorher beschriebenen Probleme liegt in der Etablierung einer durchgängigen, digitalen Prozesskette. Parametrische Planung und digitale Fertigung sind die Grundbausteine einer solchen durchgängigen digitalen Prozesskette, welche die Verfügbarkeit aller relevanten Daten in Echtzeit sicherstellt und somit eine elementare Größe in der Anwendung von Ansätzen aus Industrie 4.0 auf das Bauwesen darstellt.

Parametrisierung der Planung und Digitalisierung der Fertigung werden, wie in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben, bereits seit Jahren in der Industrie angewendet. Viele Methoden, insbesondere in der Fertigung sind aufgrund der kleinteiligen Struktur und der Natur der Aufgaben in der Bauwirtschaft nicht ohne weiteres auf diese anwendbar.

Im Nachfolgenden werden die parametrische Planung (Kapitel 2.1) sowie die digitale Fertigung (Kapitel 2.2), wie sie für das Bauwesen relevant sind und angewandt werden können vorgestellt.

## 2.1
## Parametrische Planung

Jahrhunderte lang war das Reißbrett das Planungswerkzeug von Architekten und Ingenieuren. Mit dem Aufkommen von Computern Mitte des 20 Jahrhunderts fand jedoch zuerst in den Bereichen der Luft & Raumfahrt sowie dem Automobil- und Maschinenbau eine Digitalisierung der Planungsdaten statt.

Zu Beginn, in der reinen Übertragung von zweidimensionalen Planungsdaten, wurde alsbald im digitalen dreidimensionalen Raum geplant. Denn neben der Verbesserung der digitalen Planung hatten die Entwicklungen im Bereich der Computertechnik ebenfalls Einfluss auf die Automatisierung der Fertigung sowie der Fertigungsmaschinen. Im Bauwesen, insbesondere bei Architekten und Ingenieuren fand digitale Planung erst mit der Entwicklung des PC (Personal Computer) in den 1980‘ern Einzug. Obwohl schon früh CAD-Programme entwickelt wurden, die bauteilorientiertes Planen angeboten hatten, wurden die CAD-Programme lange Zeit lediglich als digitaler Ersatz zum Reißbrett genutzt. Eine bauteilorientierte Planung im digitalen dreidimensionalen Raum etabliert sich erst seit einigen Jahren, da die Hardware mittlerweile leistungsfähig genug ist, diese Planungsmethode sinnvoll zu nutzen. Zudem werden die Programme durch die Hersteller immer benutzerfreundlicher, wo früher Sonderbauteile meist aufwendig programmiert werden mussten, können sie heutzutage relativ einfach über visuelle Befehle erstellt werden. Des Weiteren gibt es eine große Palette an Bauteilen in Herstellerbibliotheken, die ausgewählt und eingesetzt werden können. Heutige Programme liefern nicht nur Pläne, Details und Ansichten aus den 3D-Modellen, sondern zudem Masseberechnungen, Stücklisten und weitere Ermittlungen die früher zusätzlich erarbeitet und bei Änderungen mühevoll und zeitaufwändig angepasst werden mussten. Ebenso können die Planungsdaten zur Entwicklung digitaler Fertigungsdaten genutzt werden und gewährleisten so einen direkteren Fertigungsprozess.

### 2.1.1 BIM - Building Information Modelling als Methode

**BIM - Building Information Modelling (Methode)**

**Definition I nach Eastmann (The BIM Handbook):**
With BIM technology, one or more accurate virtual models of a building are constructed digitally. They support design through its phases, allowing better analysis and control than manual processes. When completed, these computergenerated models contain precise geometry and data needed to support the construction, fabrication, and procurement activities through which the building is realized. [East11]

**Definition II aus »BIM-Leitfaden für Deutschland«:**
Building Information Modeling (BIM) ist eine Planungsmethode im Bauwesen, die die Erzeugung und Verwaltung von digitalen virtuellen Darstellungen der physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks beinhaltet. Die Bauwerksmodelle stellen dabei eine Informationsdatenbank rund um das Bauwerk dar, um eine verlässliche Quelle für Entscheidungen während des gesamten Lebenszyklus zu bieten; von der ersten Vorplanung bis zum Rückbau. [Egge13][NIBS12]

Die Idee des Building Information Modeling (BIM), der ganzheitlichen Planung anhand eines Gebäudeinformationsmodells, stammt ursprünglich aus der Luft & Raumfahrt und dem Automobilbau. Bezeichnenderweise ist diese Planungsmethode als PLM - Product Lifecycle Management bekannt.

**PLM - Produc Lifecycle Management**

Bei Product Lifecycle Management (PLM) handelt es sich um einen Ansatz zur ganzheitlichen, unternehmensweiten Verwaltung und Steuerung aller Produktdaten und Prozesse des kompletten Lebenszyklusses entlang der erweiterten Logistikkette – von der Konstruktion und Produktion über den Vertrieb bis hin zur Demontage und dem Recycling. [RWTHa]

**Gebäudeinformationsmodell**

Ein Gebäudeinformations- oder Gebäudedatenmodell ist ein mehrdimensionales, zusammengeführtes Gesamtmodell aller nötigen und verfügbaren Informationen aller relevanten Informations-/Planungsmodelle.

»Beim Product Lifecycle Management (PLM) handelt es sich um die ganzheitliche Gestaltung und Verwaltung des Produktlebens, wobei alle Aspekte und Einflüsse, die während des Produktlebens auftreten können, rechtzeitig (d. h. möglichst frühzeitig, in der Regel bereits während der Produktentwicklung) und angemessen berücksichtigt werden. Der Produktlebenszyklus beginnt mit einer Idee, einem Kundenauftrag oder einem Marktbedürfnis, die zu einem Lastenheft mit anschließender Entwicklung führen. Der Zyklus endet, nachdem das Produkt getestet, hergestellt, genutzt und gewartet wurde, mit dem Rückführen oder Entsorgen des Produkts. Dieser Lebenszyklusansatz trifft nicht nur für physische Produkte zu, sondern auch für Dienstleistungen aller Art.

Bei PLM handelt es sich nicht nur um einen Baukasten aus unterschiedlichen Softwarelösungen, die man einzeln oder gebündelt einsetzen kann, sondern um eine integrierte Philosophie und Vorgehensweise mit der ganzheitlichen Behandlung (und

Beeinflussung) des Produktlebens. PLM ist auch keine einmalige Aufgabe, sondern, wegen der Integrationsnotwendigkeit, ein Dauerzustand.
[…]der wesentliche Teil der Bedeutung des Product Lifecycle Managements darin besteht, Entscheidungen zum frühestmöglichen Zeitpunkt treffen zu können (Predictive Engineering). Dies ist möglich, weil aus den nachgelagerten Bereichen genügend Wissen mit Hilfe des Reverse Engineering bereitgestellt werden kann. Damit kommt beispielsweise die Produktentwicklung ihrem Ziel näher, nur solche Produkte für die Fertigung freizugeben, bei denen keine internen Widersprüche mehr vorhanden sind, so dass die Produktion weitestgehend störungsfrei verlaufen kann.«[VHWZ09 S.407]

BIM ist die Übertragung dieser Planungsmethode/-philosophie auf das Bauwesen. Hier sollen ebenfalls alle relevanten Daten zur Planung, Fertigung und Ausführung, sowie zur späteren Nutzung und gegebenenfalls Abriss/Sanierung ganzheitlich erfasst, genutzt und verwaltet werden. Obwohl Building Information Modeling heutzutage mit den Planungsprogrammen vieler Softwarehäuser assoziiert wird, ist BIM definitiv keine Software. Die BIM-Methode stellt jedoch Anforderungen an die Softwareindustrie, die Ihre Produkte BIM-fähig gestalten muss. BIM dient nicht nur der verbesserten Planungssicherheit und Dokumentation. Durch die Anwendung von BIM-Methoden können zudem Methoden aus dem Lean Management und Lean Construction besser in die Planung und Ausführung einfließen und den Gesamtprozess deutlich optimieren.

### 2.1.2 BIM - Entwicklung in der Baubranche

Ausgehend von der Annahme, dass in den nächsten Jahren ein Großteil der Architekten und Planer BIM-Methoden und Software zur Planung nutzt, stellt sich die Frage, wie die Bauunternehmen, die am Bau beteiligte Gewerke sowie Zulieferer, mit den aus BIM gewonnenen Daten umgehen. Laut mehreren Studien, durchgeführt durch McGraw-Hill Construction, stieg der Anteil von Unternehmen der Baubranche, die BIM-Software nutzen, in Nordamerika von 28%im Jahr 2007, über 49% in 2009 auf 71% im Jahr 2012. In Europa und Deutschland waren es im Jahr 2010 36%, wobei der Anteil der Architekten in Deutschland, die BIM nutzen, mit 43% deutlich ausgeprägter ist [Vgl. Kapitel 1.1 Situation der Baubranche]. In allen Bereichen der Bauwirtschaft ist in den nächsten Jahren eine zunehmende Verbreitung von BIM-Planungssoftware zu verzeichnen. Durchgängige Schnittstellen zwischen den Planungsdaten von BIM-Modellen und (digitaler) Produktion sind bisher nur selten, in beispielhaften Projekten erprobt worden, haben sich bisher jedoch nicht etabliert und müssen für einen Großteil der Anwendungen erst noch entwickelt werden.

### 2.1.3 BIM - Softwarelösung (klassisch)

**BIM - Software**

BIM-fähige Software sind dreidimensional, bauteilorientierte CAD-Systeme. Mit ihnen können Gebäudeinformationsmodelle erstellt werden, deren parametrische Bauteile miteinander verknüpft werden können. Die Modelle lassen unterschiedliche Simulationen und Auswertungen, sowie direkte weitere Nutzung der Daten zu.

Schon seit Mitte der 1980'er Jahre bieten einige Softwarehäuser bauteilorientierte Planungssoftware für die Baubranche an. Doch erst seit einigen Jahren scheint sich diese Art der Planungssoftware gegenüber herkömmlicher CAD-Programme zu etablieren. Dies liegt unter anderem an den hohen Anforderungen, welche die Planungsprogramme an die Hardware stellten, diese Bedürfnisse können erst seit wenigen Jahren im Bereich der Personal Computer kosteneffizient erfüllt werden. Da das Bauwesen, vor

allem im Bereich der Planung sehr Kleinteilig strukturiert ist (siehe Abschnitt 1.1), war die Nutzung dieser Programme jahrelang mit erheblichen Kosten verbunden bzw. für einen Großteil der Unternehmen nicht wirtschaftlich. Ein weiterer Grund, ist das die Methoden von BIM und damit die Software mittlerweile an den Universitäten und Hochschulen gelehrt werden und damit ein vermehrter Umgang und eine größere Akzeptanz einhergeht. BIM-Software bietet objektorientiertes Arbeiten am Gebäudeinformationsmodell.

**Objektorientierung**

Beim objektorientierten Arbeiten oder Modellieren, werden den Objekten unter anderem Eigenschaften, Attribute, Formen, Beziehung usw. zugeordnet.

Die Bauteile können untereinander parametrisch Verknüpft werden, aus bestehenden Produktkatalogen ausgewählt und gegebenenfalls abgeändert werden. Im Vergleich zur bisherigen Planung können aus diesem Gebäudeinformationsmodell Grundrisse, Schnitte, Details, Stücklisten, Flächen-/ Rauminhalte, alle planungsrelevanten Daten ausgelesen werden. Bei einer Änderung im Modell werden diese Pläne oder Listen automatisch aktualisiert. Für den Entwurfsprozess wird der modulare Aufbau der Informationsmodelle häufig kritisch gesehen, da der Nutzer das Gebäude aus einzelnen kleinen Komponenten, den Baugruppen zusammenstellt. Dies zwingt den Nutzer sich zuerst Gedanken über die Einzelteile (Komponente) als über das Gebäude als Gesamtentwurf zu machen [Pete13 S.43]. Ähnlich wie beim PLM gibt es unterschiedliche Planungsmodule entsprechend der Planungsbereiche (z.B. Architektur, Tragwerk, Gebäudetechnik). Beim softwarefamilieninternen Gebrauch gibt es keine Probleme, häufig erweist sich die Nutzung unterschiedlicher Softwarelösungen in der Planung jedoch als problematisch. Obwohl es offene Austauschformate, wie da IFC-Format (engl. Industry Foundation Classes) gibt, können diese nicht ohne weiteres genutzt werden, da die Programme unterschiedliche Schwerpunkte und Standards definiert haben. Über die Tauglichkeit des IFC-Formats herrscht derzeit noch Uneinigkeit unter den Experten [Vgl. Lieb11 und Both13]. Ein wichtiger Schritt zur erfolgreichen Anwendung der BIM-Methode für die Fertigung ist ein computerinterpretierbares in sich konsistentes (Gebäude-)Informationsmodell. Denn für die reibungslose Fertigung von Bauteilen ist die Maschinenlesbarkeit der Daten Grundvoraussetzung. Problematisch ist derzeit die Tatsache, dass nahezu sämtliche BIM-fähigen CAD-Programme für Architekten und Planer Mesh-basiert sind und besonders bei Freiformen nicht die tatsächlichen Daten wiedergeben können. Die hier erstellten Daten können folglich nicht ohne weiteres für die Fertigung genutzt werden. Im Vergleich dazu arbeiten die meisten CAD-Programme im Bereich der Industrie mit NURBS-Modellen, diese können direkt für die CNC-Fertigung genutzt werden.

BIM fähige Software ist in unterschiedlicher Dimensionierung verfügbar. BIM 3D beinhaltete die Erstellung eines Gebäudeinformationsmodells, aus welchem konventionelle 2D-Grundrisse, Schnitte, Ansichten, Details, etc. in Form von Plänen (PDF, Papier, o.ä.) und tabellarische Auswertungen wie zum Beispiel Stücklisten, Kosten, Flächen, etc. automatisch generiert werden können. Bei BIM 4D werden die vorherigen Funktionen durch eine (dynamischen) Terminplanung zur Simulation der Bauabläufe erweitert. Bei BIM 5D werden die vorherigen Funktionen mit der Kalkulation verknüpft. BIM nD erweitert das vorherige Programm um weitere Funktionen [Lieb11].

### 2.1.4 BIM - Softwarelösung (parametrisches Entwerfen)

Während BIM-Software Bauteil bzw. Kataloggebunden ist und sich daher in erster Linie für konventionelle Anwendungen in Projekten eignet, gestaltet sich die Methode des parametrischen Entwerfens oder auch Scripting genannt deutlich individueller.

#### Parameter

Für Parameter gibt es je nach technischem Bereich und Sichtweise unterschiedliche Definitionen, beim parametrischen Entwerfen verschwimmen die Abgrenzungen der einzelnen Gebiete wie z.B. Mathematik (Geometrieparameter), Simulation (Umwelparameter), Technik (Fertigungs- und Leistungsparameter), Informatik (Verknüpfung zwischen Programmen und Skripten).
Es kommen sowohl innere (charakterisitische), als auch äußere (Abhängigkeiten) Parameter zum Einsatz.

#### Parametrik in der Architektur

»Gebäude werden als Systeme aus vielen vernetzten Kriterien aufgefasst, die alle Maßstabsebenen von Materialeigenschaften bis Stadtplanung miteinander verbinden. Parametrisierung verknüpft alle Informationen innerhalb eines Gebäudesystems miteinander, ähnlich einem Tabellenblatt, so dass die Änderung eines Werts sich entsprechend auf alle anderen relevanten Werte auswirkt«.
(Quelle: Patrik Schumacher – Design Research Lab - AA London | Zaha Hadid Architects)

#### Scripting

Scripting dient der Automatisierung von Arbeitsabläufen, Befehlen und Aktionen, die sonst von Hand/manuell durch den Benutzer vorgenommen werden müssen.

Voraussetzung hierfür ist jedoch der spezifische Umgang mit Programmier- und Skriptsprachen, der wiederum einen hohen Grad an Spezialisierung bzw. ein sehr hohes Know-How voraussetzt. Meist wird der geometrische Kern eines CAD Programms (zum Beispiel AutoCAD, Rhinoceros, CATIA) genutzt, das Datenmodell jedoch mit Befehlen in einem Script erzeugt und in Abhängigkeiten untereinander oder mit externen Parametern gesetzt.

Der Planer entwirft nicht mehr am Modell, vielmehr steht das eigenständige Entwickeln eines strukturierten Gebäudeinformationsmodells im Vordergrund, welches dem Planer eine deutlich höhere Freiheit gewährt. Hierfür müssen sowohl interne als auch externe Abhängigkeiten zwischen einzelnen Objekten bis hin zu ganzen Baugruppen geometrisch definiert werden. Somit kann das Verhalten unterschiedlicher Objekte zueinander bei Änderung von Parametern festgelegt werden. Bei parametrischen Modellen können zum Beispiel Objekte in einer Reihe auftreten, die sich kontinuierlich verändern, alle aber derselben Logik zur Grunde liegen, d.h. das Bauteil wird einmal modelliert, bzw. geometrisch beschrieben und über die notwendigen Parameter auf die jeweilige Position abgeändert. Diese Reihe an Bauteilen kann wiederum durch weitere ebenfalls in Abhängigkeit gesetzte Bauteile ergänzt werden. Dabei können unterschiedliche Hierarchien erstellt werden und die Modelle Schritt für Schritt weiter detailliert und ausgebaut werden, dies ermöglicht die durchgehende Arbeit von der Konzeption bis ins Detail. Wichtig ist die notwendige Organisation in unterschiedliche Hierarchien und Abhängigkeiten sowie die Entwicklung eines ganzheitlichen Systems. Beim Scripting kann der Nutzer die auszugebenden Daten so aufbereiten lassen, wie er sie benötigt, dazu zählt auch die Maschinenleserlichkeit von Daten für die Fertigung. Die „Schnittstellen“ und ihre Tauglichkeit wählt der Nutzer selbst. Zudem sind die Daten auf den

jeweiligen Nachnutzer einschränkbar, jeder bekommt nur die für ihn relevanten Daten. Man kann diese Planungsart je nach Anforderung, sowohl für ein Gesamtprojekt als auch nur für einen Teilbereich anwenden. Unter den Skriptsprachen gibt es klassische Programmiersprachen wie zum Beispiel RhinoScript, Visual Basic, Phyton aber auch Programme mit visuellen Oberflächen wie zum Beispiel die Plug-Ins Grasshopper für Rhinoceros3D und Dynamo von Autodesk.

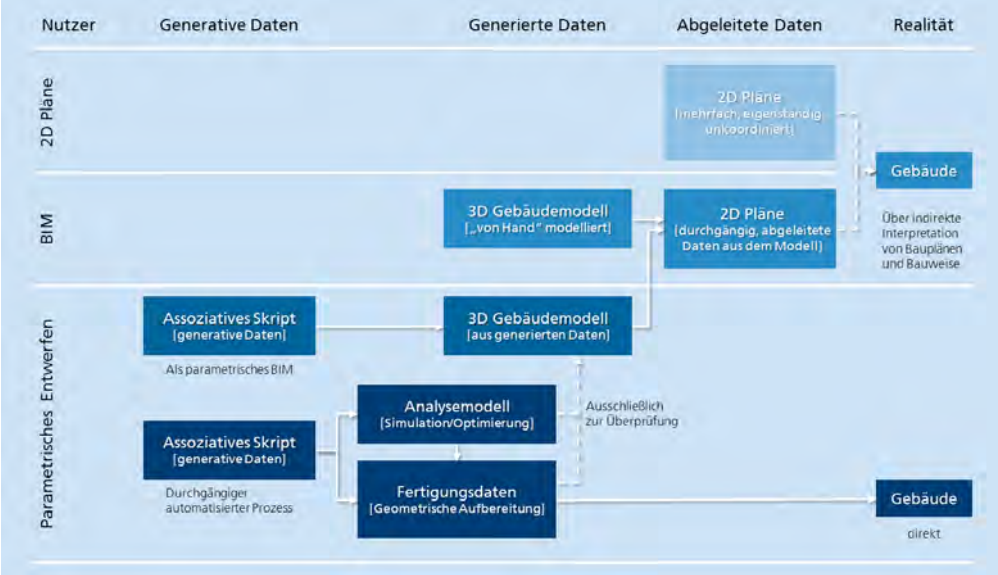



**Abb. 5:**
**Die drei Bereiche von CAD (nach [Pete13] & Autodesk)**

Parametrisches Entwerfen liefert nicht feste geometrische Körper, sondern ein System aus geometrischen Beschreibungen, Hierarchien und Abhängigkeiten, mit denen unterschiedliche Varianten erzeugt werden und je nach Bedarf von Zeit zu Zeit abgeändert werden können. Es ist die Abkehr von festen Lösungen hin zur Entwicklung einer unendlichen Vielzahl von Varianten. [Kola05]

Im weiteren Verlauf der Studie wird zur Vereinfachung häufig von parametrischen Modellen gesprochen.

### 2.1.5 Unterschiedliche Kategorien derzeitiger Anwendung von BIM im Bauwesen

Derzeit kann man die der Anwendung der BIM-Methode, bzw. von BIM-Software in Bauprojekten in vier unterschiedliche Kategorien unterteilt werden. Die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Akteuren sowie die Durchgängigkeit der BIM-Anwendung im Projekt spielen dabei eine erhebliche Rolle. Im Bereich der Durchgängigkeit wird zwischen sich auf einzelne Disziplinen innerhalb eines Büros, so genannten Projekt- oder Insellösungen, bis hin zu durchgängigen Lösungen, über den kompletten Lebenszyklus und der Anwendung durch das gesamte Projektteam, unterschieden. Im Bereich der der Zusammenarbeit spielen die zum Einsatz kommenden Softwareanwendungen eine erhebliche Rolle, denn die Schnittstellenkompatibilität zwischen unterschiedlichen Herstellern ist derzeit noch nicht komplett zufriedenstellend (siehe Kapitel 2.1.3). Es wird zwischen geschlossenen Lösungen, unter der Nutzung aller Software eines Herstellers, und offenen Lösungen, mit der Nutzung von Software verschiedener Hersteller und des Datenaustauschs über offene Schnittstellen, unterschieden.

Aufgrund dieser beider Unterscheidungen lässt sich eine 2x2 Matrix bilden und die Zusammenarbeit auf vier Kategorien aufteilen.

Im internationalen Bereich wird nach Jernigan für die Durchgängigkeit die Begriffe „little BIM“ (Insellösung) und „big BIM“ (durchgängige Lösung) gesprochen.
Für die unterschiedliche Nutzung der Software werden die Begriffe „closed BIM“, für die Nutzung aller Software von einem Hersteller und „open BIM“, für die Nutzung von Software unterschiedlicher Hersteller und des Datenaustauschs über offene Schnittstellen wie dem IFC, gebraucht [vgl. Jern08 und Lieb11].

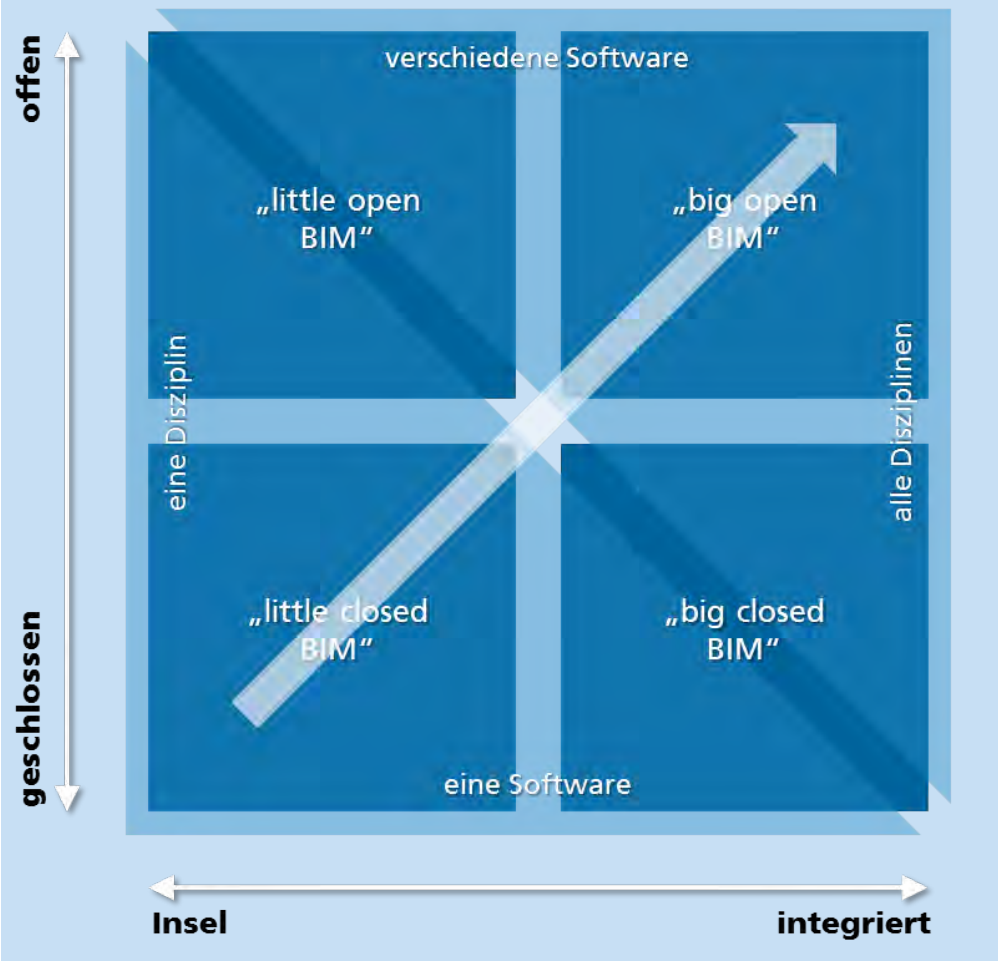



**Abb. 6:**
**Optionen der BIM-Anwendung (nach [Jern08] & [Lieb11])**

Die geschlossene Insellösung („little closed BIM“) beschreibt den Einsatz von BIM in einer einzelnen Disziplin, bzw. in einem einzelnen Unternehmen für den internen Gebrauch ohne die 3D-Daten bzw. das Informationsmodell mit anderen Partnern auszutauschen oder an diese weiterzugeben. Zudem findet die Arbeit innerhalb einer Softwarefamilie statt.

Bei der offene Insellösung („little open BIM“) beschränkt sich die Arbeit wie bei der geschlossenen Insellösung auf eine Disziplin bzw. einen Planungsbereich. Die Daten werden jedoch bilateral mit anderen Projektbeteiligten über offene / neutrale Systeme (IFC) ausgetauscht.

Als geschlossene BIM-Integration („big closed BIM“) wird die Zusammenarbeit mehrerer Disziplinen sowohl intern als auch vertraglich geregelt mit externen Partnern bezeichnet. Dabei arbeiten die einzelnen Disziplinen an eigenen Fachmodellen, die regelmäßigen Zyklen in ein gemeinsames Koordinierungsmodell überführt werden. Die Arbeit findet jedoch innerhalb einer Softwarefamilie statt, sodass ein einheitlicher Austausch der Formate stattfinden kann und es zu keinerlei Schnittstellenprobleme kommt.

Bei der offenen BIM-Integration („big open BIM“) findet die Zusammenarbeit ebenfalls zwischen mehreren Disziplinen Akteuren unterschiedlicher Partner statt. Ebenfalls wie bei der geschlossenen BIM-Integration planen die einzelnen Disziplinen bzw. Planungsteams an ihren jeweiligen Fachmodellen, die in geregelten Zyklen in das gemeinsame Koordinierungsmodell überführt werden. Jedoch ist die Softwarenutzung der Beteiligten heterogen, es komm Software mit unterschiedlichen Formaten unterschiedlicher Hersteller zum Einsatz, dabei muss auf ein geeignetes, neutrales Austauschformat (z.B. IFC) zurückgegriffen werden. Die Art und Weise des Austauschs ist dabei, um Fehler zu vermeiden, definiert und vertraglich festgelegt. [Lieb11]

Die Möglichkeit der Unterscheidung nach diesen Anwendungsfällen zeigt auf, dass sowohl die BIM-Methoden als auch BIM-fähige Software bzw. von den Planern selbst entwickelte Informationsmodelle (parametrisches Entwerfen / Skripten) sowohl in Teilbereichen der Planung und Ausführung, als auch über den kompletten Gebäudelebenszyklus genutzt werden können.

# 2.2
# Digitale Fertigung

### 2.2.1 Kurzer geschichtlicher Abriss der digitalen Fertigung

Erste automatisierte Steuerungen wurden schon im 14. Jahrhundert bei Glockenspielen unter der Anwendung von Stachelwalzen verwendet. Mit der Industrialisierung in Europa wurde versucht die Automatisierung von Fertigungsabläufen voranzutreiben und Anfang des 19. Jahrhunderts gab es erste lochkartengebundene Webmaschinen. Diese ersten Datenträger wurden mit Programmabläufen beschrieben, die beliebig oft wiederholt werden konnten [Vgl. Hehe11 S.80ff]. Mit dem Aufkommen der ersten Computer und Großrechenmaschinen wurde das System der vordefinierten Programmabläufe teilweise digitalisiert, diese Methode ist als Numerische Steuerung (engl. NC = Numerical Control) bekannt, der Code für Arbeits- und Bewegungsabläufe ist dabei auf einem Datenträger (Lochkarte, Lochstreifen, Magnetbänder) gespeichert. Ein weiterer Schritt in Richtung Digitalisierung fand ab den 1970'er Jahren mit dem Aufkommen der computergestützten numerischen Steuerung (engl. CNC = Computerized Numerical Control) statt. Die CNC-Steuerung ermöglicht es Programmabläufe digital an die Werkzeugmaschine zu senden und diese, wenn nötig, zu bearbeiten oder anzupassen, eine Rationalisierung in der Serien- und Einzelfertigung wird dadurch ermöglicht. Heutzutage können Werkstücke direkt am Computer in CAD (engl.: Computer Aided Design) entworfen bzw. konstruiert werden und im Nachgang an der geeigneten CNC-Maschine gefertigt werden.

**NC (engl. Numerical Control)**

dt. Numerische Steuerung, d.h. mit Hilfe von Zahlenwerten gesteuert.
Definition nach DIN 66257:
„Steuerung für Arbeitsmaschinen, bei der die Daten für geometrische und technologische Funktionen als Zeichen (Buchstaben, Ziffern, Sonderzeichen eingegeben werden".

**CNC (engl. Computerized Numerical Control)**

dt. Computergenerierte numerische Steuerung
Definition nach DIN 66257:
„Eine numerische Steuerung, die einen oder mehrere speicherprogrammierbare Rechner enthält. Die Funktionsmerkmale dieser numerischen Steuerung werden im Wesentlichen durch die Programmierung der Rechner (CNC – System – Programme) bestimmt."

### 2.2.2 Seriell- und Einzelfertigung im Bauwesen

Im Bauwesen arbeiten von jeher viele Akteure an einem Einzelstück, jahrhundertelang war die Struktur durch Handwerk und Zünfte geprägt und ist es bis heute noch. Durch die Industrialisierung und die Moderne im Bauwesen wurden bereits viele Arbeitsschritte und Komponenten rationalisiert. Heutzutage ist die breite Mehrheit der Baustoffe und Bauprodukte normiert, katalogisiert und wird industriell produziert. Dennoch sind die meisten Bauaufgaben Unikate und somit müssen je nach Entwurf des Architekten und Willen des Bauherren angepasste Einzelbauteile produziert werden. Diese werden meist aus ebenfalls normiert und katalogisierten Produkten und Halbzeugen, wie zum Beispiel Platten oder Profilen hergestellt. Diese Einzelanfertigung kann je nach Ausgangsprodukt und Fertigungsmethode in ihrem Arbeitsaufwand und Kosten

von einer der seriellen Produktion vergleichbaren bis deutlich kostspieligeren Variante reichen. Ziel ist es die Kosten und den Arbeitsaufwand soweit zu minimieren um eine direkte Vergleichbarkeit mit der seriellen Produktion zu erwirken und systemische Zusammenhänge zu erkennen und zu bündeln.

### 2.2.3 Digitale Fertigung in der Architektur

Digitale Fertigung (engl. digital fabrication) ist eine sehr neuartige Erscheinung in der Architektur, die erst in den letzten 15 Jahren in Erscheinung getreten ist. Mittlerweile jedoch im Alltag, der Lehre und in der Architekturdebatte angekommen ist. Im Grund genommen ist es eine Unterkategorie von CAD/CAM (Computer-Aided-Design und Computer-Aided Manufacturing), da ebenfalls computergestützte Fertigungsmaschinen genutzt werden um Bauteile zu erstellen. Während die Methoden und Techniken der CAD/CAM in der Architektur relativ neu sind, werden diese bereits seit über 50 Jahren in Automobil- und Maschinenbau, sowie in der Luft-&Raumfahrt genutzt. Komponente und Bauteile werden dreidimensional entwickelt und in einem kleineren Maßstab produziert, meist in einem rapid-prototyping Prozess um die digitalen Daten in ein physisches Modell zu übersetzten. Anhand der schnell zu fertigenden physischen Modelle können Designs überprüft und die digitalen Modelle angepasst werden. [Dunn12 S.20]

**CAD (engl. Computer-Aided Design)**

(dt. computergestütztes Konstruieren / Zeichnen)
Unter CAD versteht man das rechnergestütze Konstruieren eines Bauteils / Werkstücks. Mittlerweile sind nahezu alle CAD-Anwendungen in 3D. [VHWZ09 S.11]

**CAM (engl. Computer-Aided Manufacturing)**

(dt. computergestütztes Fertigen)
rechnerunterstützte Planung und Durchführung von Fertigungs-, Montage-, Prüfprozessen [VHWZ09 S.12]. Direkte Erstellung und Weitergabe der Fertigungsdaten für die Fertigungsmaschine aus dem digitalen Computermodell.

Bei einer durchgängigen digitalen Prozesskette sind die Entwurfsdaten auch die Fertigungsdaten und können direkt genutzt werden. Die Abmessungen der digitalen Modelle sind dieselben, wie die zur Fertigung genutzten, oder sind zumindest eng damit verbunden, dies reduziert den Aufwand der Aufarbeitung der Daten und beschleunigt somit den Fertigungsprozess.

Normalerweise ist die Produktion und Bauausführung nur durch große Stückzahlen, serielle Fertigung und Standardisierung wirtschaftlich möglich. Digitale Fertigungstechnologien verändern den Prozess dahingehend, dass auch Einzelstücke und Kleinserien zu wirtschaftlichen Konditionen gefertigt werden können.

Vor der Implementierung digitaler Technologien, insbesondere CAD/CAM im Bauwesen, war der Bau- und Fertigungsprozess in direkter Konsequenz zur industriellen Fertigung auf Massenproduktion und Standardisierung begründet. Unter dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit waren die Bauteile/-komponente im zwanzigsten Jahrhundert durch einfache Geometrie und geringe Varianz geprägt. Digitale Fertigung verändert diese Situation signifikant, Komplexität und Vielfältigkeit/Varianz haben weder Einfluss auf Effizienz und Kosten der Fertigung. Als Beispiel ist das Fertigen von 1000 Einzelstücken für eine CNC-Fräsmaschine genauso aufwendig und kostenintensiv wie das Fertigen von 1000 identischen Werkstücken. [Vgl. Kola03 S.52 und Dunn S.84]

Im architektonischen Kontext bietet die Loslösung der Massenfertigung zur kundenspezifischen Einzelfertigung eine Vielzahl an Möglichkeiten und Spielraum. Unter anderem bei der Fassaden-, Tragwerksgestaltung oder der technischen Gebäudeausrüstung kann bei kundenspezifischen Lösungen Anpassungen vorgenommen werden die den architektonischen Ansprüchen gerecht werden und zu Einsparungen führen können.

Digitale Fertigung ist in die vier Hauptbereiche Trennen, Subtraktion, Addition und (Um-)Formen zu unterteilen. Sie sind allesamt der industriellen Fertigung zuzuordnen, ermöglichen jedoch die Anwendung in der digitalen Fertigung zur wirtschaftlichen Produktion von Einzelstücken und Kleinserien.

**Trennen (Cutting)**
In der digitalen Fertigung gibt es eine Vielzahl an Fertigungsmethoden und -maschinen um im trennenden Verfahren zu Produzieren. Grundlegend ist, dass bei diesem Verfahren ein Schneidkopf digital vorgegebenen Pfaden folgt und individuell geformte Werkstücke aus Plattenwerkstoffen ausschneidet. Es gibt unterschiedliche Methoden bei denen sich entweder der Schneidkopf, das Schneidbett oder beides im Verbund bewegt. Diese Methode wird für gewöhnlich als zweidimensionale Fertigung bezeichnet und ist in der Regel durch die bearbeitbare Materialstärke der Halbzeuge (Platten) limitiert. Der Zuschnitt kann sowohl durch Hitze- und Druckeinwirkung (Laser & Plasmaschneider) als auch durch abrasives Abtragen unter Druck (Wasserschneider) oder durch spanendes Abtragen (Fräse) geschehen.
In der Laserentwicklung gibt es seit einigen Jahren sogenannte 3D-Laser, diese sind dazu entwickelt worden, dreidimensional verformte Bleche zu bearbeiten, zum Beispiel um, im Nachgang an ein Tiefzieh- oder Pressverfahren, Öffnungen oder Schlitze anzubringen (Bild rechts).

**Abb. 7: (v.l.n.r): Wasserstrahlschneider, 2D-Laserschneider, 3D-Laserschneider**

**Subtraktion (Subtraction)**
Bei der Subtraktion wird das Werkstück/Halbzeug (Platten, Volumenkörper, etc.) unter materialabtragender Wirkung (fräsen/sägen/bohren) bearbeitet. Die Fertigungsmaschinen gibt es in unterschiedlicher Ausführung mit unterschiedlicher Anzahl an Freiheitsgraden, je nach Komplexität und Anforderung der zu fertigenden Werkstücke. Zwei-Achs-Fräsmaschinen können Material in x- und y- Richtung fräsend bearbeiten und werden der zweidimensionalen Fertigung zugeordnet. Voluminöse Materialentfernung findet unter der Hinzunahme einer dritten Achse in Z-Richtung statt. CNC-Fräsmaschinen, CNC-Abbundmaschinen (spezielle für die Holzbearbeitung) und Industrieroboter können über eine Vielzahl an Achsen/Freiheitsgraden verfügen. Je größer die Anzahl der Achsen/Freiheitsgrade, desto komplexere Werkstücke können gefertigt werden. Ebenso nehmen jedoch die Komplexität der Maschinen und die Aufbereitung der Daten und damit auch die notwendigen Kosten zu.

**Abb. 8: (v.l.n.r): CNC-Abbundmaschine, 6-Achs-Roboter (Fräse), 5-Achs-CNC-Fräse**

**Additive Verfahren / 3D-Druck (Rapid Prototyping)**

Im Vergleich zu den voran genannten Verfahren, sind additive Verfahren das genaue Gegenteil, anstatt Material zu entfernen/abzutragen, wird es je nach Verfahren Schichtweise aus formlosem Material (Granulat/Pulver/Schmelze/etc.) aufgetragen, erhärtet selbstständig oder durch Hinzugeben eines Binders. Dabei werden die 3D-Daten in einzelne Schichten (Layer) aufgeteilt und Schritt für Schritt aufgetragen bzw. miteinander verbunden.

Es gibt viele unterschiedliche Verfahren im Bereich der additiven Verfahren, einige eignen sich lediglich zur Herstellung von Modellen, andere werden bereits für den Einsatz im Bauwesen erprobt und wiederum andere werden in der Luft-&Raumfahrt, Maschinen- und Automobilbau zur Produktion von Prototypenbauteilen im Endmaterial bereits erfolgreich eingesetzt.

Des Weiteren werden die Gussverfahren zu den additiven Verfahren eingeordnet, diese sind im Sonderbau jedoch als sekundäres Fertigungsverfahren zu sehen, da der Formenbau wiederum auf anderen, meist trenndenden oder subtraktiven Verfahren beruht.

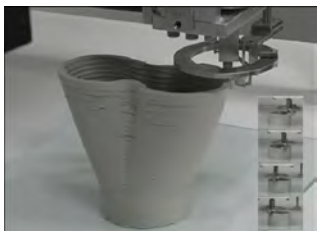


**Abb. 9: (v.l.n.r): 3D-Drucker (Beton), 3D-Drucker (SLS-Verfahren), Stahlschmelze (Guss)**

**(Um-)Formen**

Formgebende Verfahren entfernen weder, noch fügen sie Material an das zu bearbeitende Werkstück an. Die Bearbeitung findet in einem formgebenden, mechanischen Prozess statt, bei dem das Werkstück plastisch Verformt wird. Hitze und Dampfeinwirkungen sind gängige Mittel um die Bearbeitung der Materialien zu vereinfachen, nach dem Abkühlen und Erstarren bleibt das Material in seiner neuen Form. Das Verformen findet entweder mit speziell dafür gefertigen Formen oder durch unterschiedliche Manipulatoren statt.

**Abb. 10: (v.l.n.r): Manuelle Holzform, F3T-Technologie, CNC-Biegemaschine**

Daneben gibt es in der Produktion einen deutlich größeren Umfang an Verfahren und Methoden, viele dieser Fertigungsverfahren sind jedoch durch den Einsatz spezieller Werkzeuge und aufgrund ihrer inneren Struktur auf die serielle Fertigung ausgelegt und für die Einzel- und Kleinserienfertigung (noch) nicht wirtschaftlich nutzbar.

## 2.3 Anforderungen an zukünftige Bauprozesse



Zukünftige Bauprozesse werden sich durch eine durchgängige digitale Prozesskette auszeichnen. Diese digitale Prozesskette ist von der ersten Idee, über die Planung, Fertigung, Ausführung, Nutzung, bis hin zum Rückbau (lückenlos) durchgängig, es finden keine Informationsbrüche und -Verluste statt, Arbeitsschritte müssen nicht mehrmals ausgeführt werden. Die Schnittstellen zwischen der einzelnen Software sind lückenlos, Datenaustauschformate sind eindeutig definiert und bieten keinen Spielraum für Fehlerquellen. Die Zusammenarbeit aller Planungsbeteiligten wird an einem integrierten, digitalen Gesamt-/Koordinationsmodell stattfinden und sich an der Methode des „big open BIM" orientieren. Die Arbeiten der einzelnen Disziplinen werden dagegen an Fachmodellen vorgenommen, welche über die jeweils notwendigen Werte und Rahmenbedingungen (Parameter) verfügen und auf den jeweiligen Fachbereich zugeschnitten sind. Dafür notwendig ist die lücken- und fehlerlose Überführung sämtlicher Fachmodelle in das Gesamtmodell, dafür müssen eindeutig definierte Schnittstellen geschaffen werden, die derzeit nur innerhalb einer Softwarefamilie gewährleistet sind, für die Nutzung fachspezifischer Software essentiell sind. Fach- und Gesamtmodell müssen so konzipiert sein, dass sie während des Bauprozesses an den Ist-Zustand angeglichen werden können, um z.B. während des Rohbaus genaue Maße der abgeschlossenen Arbeiten zu erhalten und nachfolgende Schritte wie Fassaden oder TGA präzise anzupassen. Ebenso müssen lückenlose Schnittstellen zwischen der Planung und der Fertigung geschaffen werden, so müssen aus dem Gesamtmodell bzw. den Fachmodellen die Fertigungsdaten, in maschinenleserlicher Form, zur direkten Ansteuerung der Fertigungsmaschinen, generiert werden. Mehrarbeiten, wie das aufbereiten von Fertigungsdaten aus konventionellen Plänen oder Modellen, werden dadurch verhindert. Dies gewährleistet eine Kosten- sowie Zeiteinsparung und reduziert Fehler, sofern die Daten konsistent weitergegeben werden.

Notwendig dafür ist folglich nicht nur die Schaffung von konsistenten Schnittstellen innerhalb der Planungssoftware, sondern einschließlich der Fertigung, sowie Ansteuerung der Maschinen. Die in Kapitel 4 vorgestellten Projekte zeigen in unterschiedlichem Maßstab die Ansätze einer Umsetzung von Bausteinen bis hin zu ganzen Sequenzen einer durchgängigen digitalen Prozesskette auf. In vielen Fällen wurden die notwendigen Schnittstellen in Eigenregie entwickelt und umgesetzt.

# 3 Zielsetzung und Konzeption der Studie

Kapitel 1 zeigt die aktuelle Situation der Baubranche und thematisiert deren Umbruchssituation. In Kapitel 2 werden insbesondere die beiden Bausteine parametrische Planung und digitale Fertigung beschrieben. Die vorliegende Studie umreist einen Bereich der Baubranche, in welchem diese beiden richtungsweisenden Bausteine, sowie neue Techniken (in Teilbereichen) erfolgreich zur Anwendung gekommen sind. Die Projekte der Studie dienen als Analysegrundlage für die Anwendung dieser neuen Planungs- und Fertigungsmethoden und Techniken.

## 3.1 Zielsetzung der Studie

Im Verbundprojekt »Future Construction« (FUCON 4.0) erforscht das Fraunhofer IAO gemeinsam mit seinen Partnern zukünftige Technologien und Prozesse der Baubranche. Neben den Herausforderungen, die die Baubranche schon heute und in Zukunft beeinflussen werden, sind insbesondere die in Kapitel 1 beschriebenen Rahmenbedingungen richtungsweisend. Effizienz und Nachhaltigkeit in allen Bereichen und insbesondere die fortschreitende Digitalisierung sind nicht nur als Aufgabe sondern als Chance zu verstehen.

Die Studie dient als Überblick und Arbeitsgrundlage, sowohl über neue digitale Fertigungsmethoden, als auch über parametrische Planung und Planungsansätze. Beide Bereiche sind elementare Komponenten zur Realisierung einer durchgängigen digitalen Prozesskette.

Es wurden 100 Projekte ausgewählt und in dieser Studie kurz beschrieben, die entweder oder, sowohl als auch Ansätze bzw. Umsetzungen dieser Methoden zeigen. Als Komplettprojekt oder auch nur als Teil einer Baugruppe/-komponente. Anhand der Projekte sollen gewisse Cluster/Muster erkannt werden die zur Anwendung kommen und ebenfalls Stellen aufgezeigt werden, an denen die Realisierung der durchgängigen digitalen Prozesskette derzeit noch Probleme hat, bzw. scheitert. Daraus soll abgeleitet werden wie dem entgegengesteuert werden kann.

Wichtig ist es, aufzuzeigen, dass parametrische Planung und digitale Fertigung nicht nur eine Randerscheinung ist und nur von großen Planungsbüros betrieben wird, sondern das es möglich ist diese Methode flächendeckender und allgemeiner in der Baubranche einzusetzen.

Dabei ist die Architektur ganz neutral zu betrachten; Architektur wird auch in Zukunft nicht (nur) aus „Blobs“ und „Twists“ bestehen, diese Projekte, meist als Leuchtturmprojekte mit einem hohen Budget und einem eingespielten und versierten Planungsteam zeigen lediglich auf, was möglich ist. Sie sind in einigen Teilen die Innovationstreiber, der Transfer auf den breiten Bereich des Bauwesens fehlt jedoch derzeit.

## 3.2 Konzeption und Methodik der Studie

In der Studie zur Aufzeigung von Ansätzen und Umsetzung von parametrischen Planen und digitalem Bauen werden 100 ausgewählte Projekte jeweils auf einer Seite kurz und bündig vorgestellt. Die Projekte werden in vier unterschiedlichen Hauptkategorien unterteilt. Der Abschnitt Fertigungsmethoden/-Verfahren beschreibt Projekte in denen Fertigungsmethoden und Fertigungsverfahren erforscht und erprobt werden, hier liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung neuer Werkzeuge und Maschinen. Dem Bereich Installationen und Mock-ups sind kleinere zumeist experimentelle und temporäre Projekte zugeordnet. Größere raumbildende Projekte, die jedoch dem Anspruch eines

vollwertigen Gebäudes nicht gerecht werden sind unter dem Abschnitt Pavillons zusammengefasst. Dem Bereich Gebäude sind alle Projekte zugeordnet die Teil eines dauerhaften und vollwertigen Bauwerks sind. Die Unterteilung dient dem Aufzeigen des derzeitigen Anwendungsstandes in unterschiedlicher Ausprägung und Komplexität der Bauwerke. Durch den unterschiedlichen Reifegrad und Tiefe der Projekte wird ein möglichst breites Spektrum an Methoden und Varianten erzielt.

Der Schwerpunkt, den wir für uns jeweils definiert haben, wird dargestellt, ebenso die relevante Fertigungsmethode der Bauteile sowie die Planung und das verwendete Material. Nach einer kurzen Beschreibung der Bauteile sowie der Planung wird auf die daraus folgenden Folgen für die Fertigung eingegangen und abschließend in einem kurzen Fazit die (Wieder-)Verwendbarkeit für die Baubranche erläutert.

Die Auswahl der Projekte fand durch Recherche und Sichtung von Fachliteratur und Fachportalen im Bereich der digitalen/parametrischen Planung und digitalen Fertigung statt. Die 100 Projekte wurden aus einem größeren Pool aus recherchierten Projekten ausgewählt. Unter anderem durch Kriterien der Anwendbarkeit, Wiederholbarkeit, Transformation, Komplexität, etc…

Im Anschluss findet eine Gesamtauswertung der Projekte, sowie identifizierter Muster statt. Dazu werden die Projekte nach der Zugehörigkeit zu den vier Gruppen »Verfahren und Methoden«, »Installationen & Mock-ups«, »Pavillons« und »Gebäude« unterschieden. Ausgewertet werden unter anderem die Digitalisierung der Projekte, das Jahr der Fertigstellung, die Anwendung eines digitalen Prozesses und dessen Folgen für die Projekte sowie die computergestützte Fertigung. Im Anschluss daran werden die für den Sonderbau genutzten Materialien sowie deren Handelsformen und die angewandten Fertigungsverfahren in einer Matrix miteinander in Bezug gebracht und verglichen. Des Weiteren werden Muster ähnlicher Anwendungen identifiziert und dargestellt.

# 4
# Best-Practice: 100 Projekte

Die 100 Praxisbeispiele sind in die folgenden vier Kategorien unterteilt um sie je nach Anforderung an die (Bau-)Aufgabe zu unterscheiden. Die direkt im Anschluss folgende Kategorie Fertigungsmethoden/-Verfahren bildet den Grundlagenbereich im Fertigungsprozess. Die nachfolgenden Kategorien Installationen & Mock-ups, Pavillons und Gebäude befassen sich hingegen mit Bauaufgaben vom ganz kleinen Maßstab mit geringen Anforderungen bis hin zu großen Gebäudekomplexen mit hohen Anforderungen in allen Bereichen.

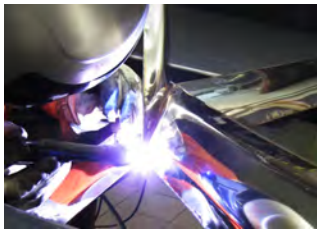
## 4.1
## Fertigungsmethoden/-Verfahren

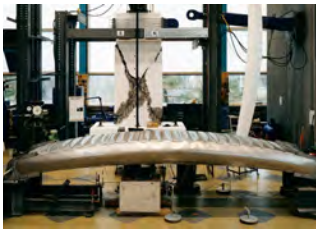
Dieser Abschnitt befasst sich primär mit der Entwicklung neuer Fertigungsmethoden und -Verfahren, die insbesondere die Entwicklung von Maschinen, Werkzeuge und gegebenenfalls Materialien sowie deren Erprobung beinhaltet. Diese Projekte dienen als Grundlage für neue Lösungen und Entwürfe in den nachfolgenden Abschnitten.

**Projekte**

FIDU - Freie Innen Druck Umformung (Brücke) ..... 32
Ford Freeform Fabrication Technology (F3T) ..... 33
Industrial Origami ..... 34
Robofold ..... 35
FACIT ..... 36
WikiHouse ..... 37
Rotary Weaver ..... 38
Stone Ideas - Bauen mit Natursteinblöcken ..... 39
Echord ..... 40
Flight Assembled Architecture ..... 41
TailorCrete ..... 42
Emerging objects ..... 43
Mataerial ..... 44
Solar Sinter ..... 45
Stone Spray Project ..... 46
d_shape ..... 47
3D Concrete Printing ..... 48
Contour Crafting ..... 49

# FIDU - Freie Innen Druck Umformung (Brücke)





**Entwickler:** Oskar Zieta (ETH Zürich)
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Status:** Prototypen bis Kleinserienanwendung

**Schwerpunkt:**
Aufgeblasene, sich selbst-versteifende Bauteile (Leichtbau)

**Materialien:**
Stahl (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Schweißen
CNC-Laserschneider
Analoges Aufblasen

**Bauteil:**
Jeweils zwei deckungsgleich geschnittenen und am Rande verschweißte Bleche ergeben ein Bauteil, dieses wird durch Innendruck „aufgeblasen" und in Form gebracht. Die Bleche versteifen sich gegenseitig.

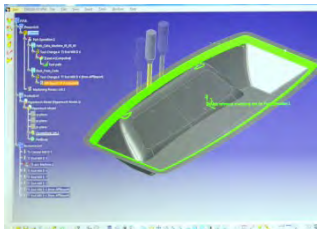
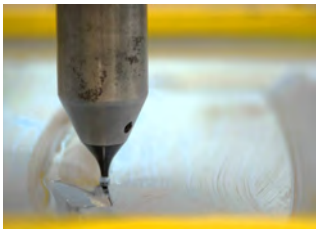
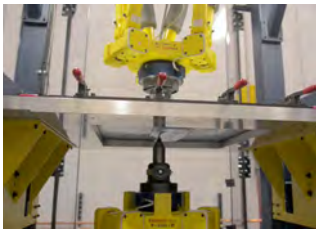
**Beschreibung:**
FIDU - Freie Innendruck Umformung ist ein an der ETH Zürich neu entwickeltes Herstellungserfahren, bei dem jeweils zwei identische lasergeschnittene Bleche an den Rändern miteinander verschweißt werden und der dazwischen befindliche Innenraum unter Druck gesetzt wird. Die Bleche verformen sich durch das »Aufblasen« und versteifen sich gegenseitig. Im Jahr 2007 wurde in einer Seminarwoche mit Studenten eine einfache aus zwei Hauptträgern und mehreren Querträgern bestehende Brücke entworfen und realisiert. Die Hauptträger als auch die Querträger wurden dabei nach dem FIDU-Verfahren hergestellt. Bei einem anschließenden Belastungstest der Brücke wurden die Erwartungen an das Tragverhalten deutlich überschritten.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Während die ersten Schritte der Fertigung, das CNC-Lasern und CNC-Schweißen der Blechränder, computergesteuert stattfinden, ist der Fertigungsschritt des „Aufblasens" der Bauteile materialbedingt noch etwas ungenau. Da das Materialverhalten unter diesen Bedingungen noch nicht genug erforscht ist. Mit dieser Methode sind jedoch extrem leichte Konstruktionen mit sehr dünnen Querschnitten und geringem Materialaufwand zu erzielen. Zudem lassen sich die Objekte ortsunabhängig aufblasen und somit im nicht aufgeblasenen Zustand leicht an den späteren gewünschten Standort transportieren um dort in ihren Endzustand gebracht und montiert zu werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Neben den von Oskar Zieta erprobten Anwendungen, wie der Blow-Up Chair, Sitzgelegenheiten, Plastiken, der hier beschriebenen Brücke und einer Anwendungen als Windturbine, sind weitere Anwendungsmöglichkeiten, besonders im Bereich statischer und mobiler Bauten bzw. Bauteile denkbar.

**Quellen:**
http://www.blech.arch.ethz.ch/Main/BlowUpKonstruktion
http://www.blech.arch.ethz.ch/Main/Belastungstest
http://www.zieta.pl/grafika/articles/german/tec21.pdf

# Ford Freeform Fabrication Technology - F3T

**Entwickler:** Ford; Boeing; MIT
**Standort:** USA
**Status:** in der Enwticklung

**Schwerpunkt:**
Stufenweise Blechumformung als Methode zur Unikatfertigung

**Materialien:**
Metalle (Blech / Plattenwerkstoffe)

**Fertigungsmethode:**
Inkrementelle/stufenweise Blechumformung

**Bauteil:**
Industriell gefertigt freigeformte Bleche in Einzelfertigung

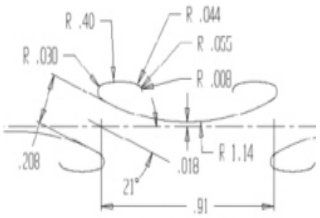
**Beschreibung:**
Bei der Ford Freeform Fabrication Technology, kurz F3T handelt es sich um ein Verfahren, welches von Ford in Zusammenarbeit mit Boeing, sowie dem MIT und weiteren Forschungspartnern entwickelt wird. Schwerpunkt des Verfahrens ist die stufenweiße Kaltumformung von Blech. Hierfür bewegen sich zwei gegenüberliegende Werkzeuge auf einer Bahn von außen nach innen und verformen dabei das Blech, ähnlich dem schichtweise Aufbau von Werkstücken mit 3D-Druckern, dabei können einfach und doppelt gekrümmte Freiformen erzeugt werden. Es ist eine Form des Tiefziehens ohne dafür jedoch Formen zu benötigen.

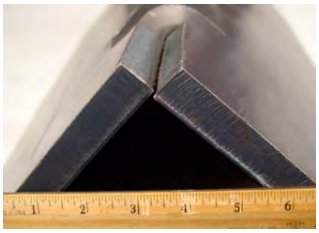
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Dieses Verfahren eignet sich besonders für die Herstellung von Prototypen und Nullserien. Da keine kostenintensiven Formen und Matrizen hergestellt werden müssen, können die Bauteile im Vergleich zur herkömmlichen Herstellung schneller und kosteneffizienter produziert werden. Für die Serienherstellung ist das Verfahren jedoch ungeeignet, dafür sollte auf Bewährte Fertigungsverfahren zurückgegriffen werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Das F3T Verfahren eignet sich im Bauwesen besonders für die Fertigung von Fassadenelementen oder Verkleidungen die dadurch automatisiert schneller, kostengünstiger und präziser gefertigt werden können.

**Quellen:**
http://corporate.ford.com/news-center/press-releases-detail/pr-ford-develops-advanced-technology-38244
http://netzkonstrukteur.de/ford-entwickelt-freeform-fabrication-technology/

# Industrial Origami



**Entwickler:** Industrial Origami
**Standort:** Ohio, USA
**Status:** Serienreife

**Schwerpunkt:**
Digitales zuschneiden und biegen von Blechen (z.B. Gehäusebau)

**Materialien:**
Blech (Stahl, Aluminium, etc.)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Laserschneiden; CNC-Stanzen; Robotergesteuertes Biegen

**Bauteil:**
-

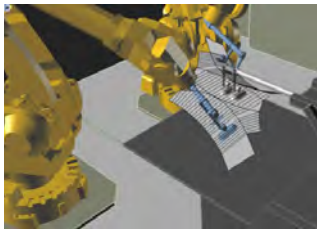
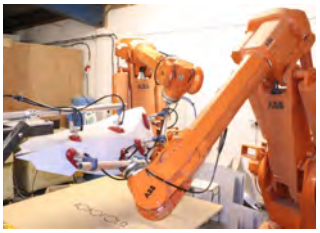
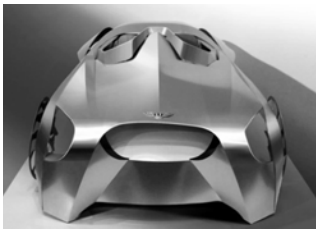
**Beschreibung:**
Industrial Origami ist eine patentierte innovative Umformtechnik, analog zur heutigen Verwendung von perforiertem und gefaltetem Karton in der Verpackungsindustrie. Durch die innovative Technik ist es möglich leichte und dünne Bleche in komplexe, tragende Strukturen umzuformen. Die Bauteile werden computergestützt aus Blechen ausgestanzt oder gelasert und mit geringem Kraftaufwand verformt. Durch die richtige Faltung bilden sich dauerhafte und sehr tragfähige Einzelteile.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Bleche werden lasergeschnitten oder gestanzt, anschließend robotergesteuert in ihren Endzustand gebogen. Durch intelligente Ausgestaltung der Geometrie werden Schweißungen und andere Verbindungsmethoden verringert.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die Anwendungen im Baubereich sind derzeit noch nicht erprobt. Es ist jedoch denkbar, dass diese Technologie im Fassadenbau, bei selbsttragenden Bauteilen oder Statischen Bauteilen zur Anwendung kommen kann. Für das Bauwesen müsste ggf. mit dickeren Blechen gearbeitet werden, da hier teilweise andere Dimensionen der Nutzung auftreten können.

**Quellen:**
http://www.industrialorigami.com/home.cfm

# Robofold

**Entwickler:** UNIT 38 (Robofold)
**Standort:** London, Vereinigtes Königreich
**Status:** Prototypen

**Schwerpunkt:**
Digitale Blechverformung mit gekrümmten Biegekannten

**Materialien:**
Blech (Stahl, Aluminium, etc.)

**Fertigungsmethode:**
Robotergesteuertes Biegen/Falten

**Bauteil:**
-

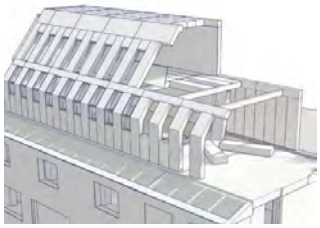
**Beschreibung:**
Robofold ist eine patentierte Methode um Metallbleche in einem direkten Verfahren mit Hilfe von 6-Achs-Industrierobotern zu verformen. Die Besonderheit dabei ist, dass die Bleche an gekrümmten Kanten gebogen werden. Durch diese gekrümmten Biegekanten erhalten die Bauteile ihre nötige Stabilität, da es sich bei den Biegungen um einfach und doppelt gekrümmte Flächen handelt versteifen diese sich selbst. Durch die robotergestützte Umformung werden Formen, Matrizen und Stempel unnötig, sodass auch Einzelanfertigungen ohne weiteren Aufwand hergestellt werden können.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Form der Bleche wird digital simuliert, der Zuschnitt erfolgt mittels 3-Achs CNC-Fräse. Diese Fräst die gewünschten Außenkannten und reist die gewünschte Form der Knickstellen an. Anschließend werden die Bleche mit Hilfe mehrerer Roboterarme langsam in die gewünschte Position gebogen.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Mit der Robofold Methode wurden bisher unterschiedliche Prototypen realisiert, unter anderem Bentley-Karoserie in Form einer Studie, sowie ein Tisch der in Serienproduktion (Kleinserie) gehen soll. Für das Bauwesen sind insbesondere im Fassadenbau und konstruktiven Stahlbau Anwendungen möglich.

**Quellen:**
http://www.robofold.com/
http://www.curvedfolding.com/photo/new-robofold-furniture-models-1?context=user
http://kyungeunko.blogspot.de/

# FACIT



**Entwickler:** FACIT (Willson & Bell)
**Standort:** London, Vereinigtes Königreich
**Status:** Anwendungsbereit

**Schwerpunkt:**
Digitales Planungstools mit direkter Ausgabe der Fertigungsdaten

**Materialien:**
Holz (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteil:**
Alle Tragenden Bauteile, Wände, Decken und Dach in Holzbauweise (Steckkastensystem)

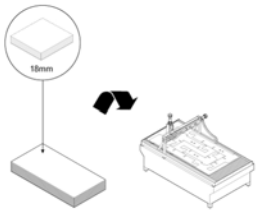
**Beschreibung:**
FACIT ist eine vom gleichnamigen Ingenieursbüro entwickelte Methode zur Planung und Fertigung von Gebäuden in Holzbauweise nach einem eigens entwickelten Baukastensystem. Ziel der Ingenieure ist eine durchgängige Prozesskette mit einer möglichst reduzierten Anzahl an Akteuren und Maschinen. Bei den Projekten die sich bisher zumeist im Maßstab des Einfamilienhauses bewegen wurden die digitalisierten Daten der Objekte in einzelne handelbare Holzmodule unterteilt, diese sind aus CNC-gefrästen Holzplatten im Steckkastensystem gefertigt und lassen sich auf der Baustelle von nur zwei Arbeitern montieren.

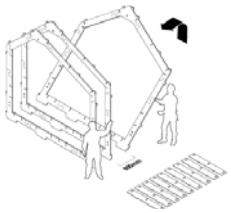
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Das Gebäude wird komplett digital geplant und in einzelne Module unterteilt. Die Ausgabe der Daten der einzelnen Bauteile erfolgt in digitaler Form direkt an die CNC-Fräse, sodass diese präzise gefertigt und zusammengefügt werden können. Diese Module können aufgrund ihrer Maße und Gewicht nicht nur einfach auf die Baustelle transportiert werden, sondern auch vor Ort von lediglich zwei Arbeitern errichtet werden. Auf große Maschinen und Gerüste kann weitestgehend verzichtet werden, zudem wird die Anzahl der unterschiedlichen Akteure auf der Baustelle deutlich reduziert. Anschließend werden technische Leitungen in zuvor vorgesehenen Leerrohren verlegt und eine Flockendämmung ins Innere der Module geblasen.

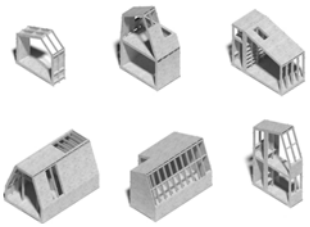
**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Von FACIT erfolgreiche Anwendung im Wohnbau, insbesondere Einfamilienhäuser und Anbauten. Aufgrund der leichten Holzbauweise mit eingeblasener Flockendämmung eignet sich diese Methode zudem für Dachaufstockungen und Erweiterungen von Bestandsgebäuden.

**Quellen:**
www.facit-uk.com

# WikiHouse





**Entwickler:** WikiHouse.cc
**Standort:**
**Status:** Prototypen

**Schwerpunkt:**
Software zur Erstellung von Fertigungsdaten aus 3D-Modellen (CNC-Daten)

**Materialien:**
Holz (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteil:**
Alle Tragenden Bauteile, Wände, Decken und Dach in Holzbauweise (Rippenbauweise)

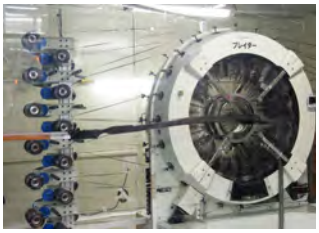
**Beschreibung:**
Wiki-House ist eine Open Source Plattform die sich der Entwicklung von Hard- und Software für einen einfachen Planungs- und Fertigungsprozess für kleinere Bauaufgaben in Holzbauweise verschrieben hat. Mit der Plattform soll es jedermann ermöglicht werden seine eigenen Ideen und Entwürfe zu realisieren. Die 3D-Daten müssen lediglich auf die Plattform hochgeladen werden, dort werden sie in baubare Abschnitte unterteilt und die nötigen Fräsdateien für die CNC-Fräse generiert. Optional kann der Nutzer aus einer Vielzahl bereits vorgegebener Module auswählen und diese nach seinen Wünschen zusammenstellen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Software ist so ausgelegt, dass sie die Gebäudedaten in einzelne Bauteile unterteilt, diese werden aus 18mm starken Sperrholzplatten vollständig automatisiert ausgefräst. Die Fertigungsdaten werden in maschinenleserlichem Datenformat ausgegeben, sodass die Bauteile jeweils „vor Ort“ gefertigt werden können. Alle Bauteile werden mit Steckverbindungen und Schrauben miteinander verbunden, wodurch eine vereinfachte Montage sichergestellt ist. Die Gebäude werden in Rippenbauweise realisiert, dabei ist ein Rippenabstand von 60 cm vorgesehen.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Bisher wurden lediglich einige wenige Prototypen realisiert, die Bauweise eignet sich jedoch für die Errichtung kleinerer Bauaufgaben, bis hin zu Ein- bis kleine Mehrfamilienhäuser. Zudem kann diese Methode sehr gut zur Wohnraumerweiterung, bzw. Dachaufstockung von Gebäuden genutzt werden. Durch die weitgehende Vorfertigung und Unterteilung in handliche Bauteile kann die Montage sogar von wenigen nicht ausgebildeten Arbeitern, nach dem IKEA-Prinzip, erfolgen.

**Quellen:**
http://www.wikihouse.cc/
http://www.archdaily.com/159064/wikihouse-build-your-own-house-in-24-hours/

# Rotary Weaver



**Entwickler:** Toyota
**Standort:** Japan
**Status:** Serienreife

**Schwerpunkt:**
Fertigung komplexer Bauteile in GFK; CFK (hier Komponente Lexus LFA)

**Materialien:**
GFK; CFK (Faserwerkstoffe)

**Fertigungsmethode:**
Dreidimensionaler Rotationswebstuhl

**Bauteil:**
A-Säule des Lexus LFA

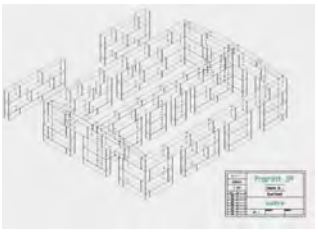
**Beschreibung:**
Für die Herstellung der A-Säule des Lexus LFA wird ein Wachsrohling vom bei Toyota eigens entwickelten 3D-Rotationswebstuhl mit einem komplexen Geflecht aus Kohlefasern umwickelt. Der Rohling wird insgesamt 12 Mal aus 144 einzelnen Spulen umwickelt, anschließend wird der Rohling in eine Form gebettet und mit einem Polymer unter Hitze und Druck infiltriert. Nach acht Stunden ist dieser Vorgang beendet und das Wachs aus dem inneren wird herausgeschmolzen. Im Anschluss kann das fertige Bauteil mit der restlichen Karosserie verbunden werden.

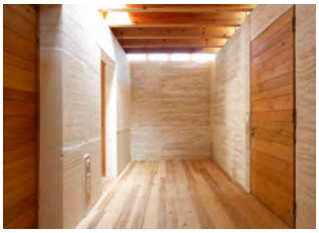
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Durch den 3D-Rotationswebstuhl ist sichergestellt, dass das komplexe Bauteil gleichmäßig und ohne Schwachstellen im Kräfteverlauf der Faserlagen gefertigt werden kann. Somit ist eine deutlich höhere Qualität und Sicherheit des Bauteils gewährleistet.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Diese Art der Fertigung eignet sich im Besonderen für die Verwendung im High-End Leichtbau, da damit extrem optimierte Bauteile hergestellt werden können. Dennoch handelt es sich um eine derzeit kostspielige Fertigung, da lediglich zwei 3D-Rotationswebstühle existieren und für die Fertigung der Bauteile jeweils ein Wachsrohling und Negativformen benötigt werden. Dies macht insbesondere die Fertigung von Unikaten teuer.

**Quellen:**
http://www.carbonfibergear.com/video-lexus-uses-custom-rotary-weaver-to-make-carbon-fiber-a-pillar-on-375k-supercar/
http://www.thetruthaboutcars.com/2012/07/the-making-of-the-lexus-lfa-supercar-an-inside-report-chapter-2-in-the-clean-room/

# Stone Ideas - Bauen mit Natursteinblöcken





**Entwickler:**
**Standort:** Frankreich
**Status:** Anwendungsbereit

**Schwerpunkt:**
Bauen mit standardisierten Natursteinblöcken

**Materialien:**
Kalkstein (Block)

**Fertigungsmethode:**
Sägen, Fräsen

**Bauteil:**
Standardisierte Natursteinblöcke

**Beschreibung:**
Bauen mit großformatigen, massiven Kalksteinblöcken ist ein Trend welcher sich in den letzten Jahren in Frankreich entwickelt hat. Die Anwender versprechen sich eine energiesparende und nachhaltige Bauweise, sofern die Baumaterialien aus der Region stammen. Die Steinblöcke werden in verschiedenen, modularen Größen angeboten und werden nach dem Baukastenprinzip ohne aufwendige Nachbearbeitung auf der Baustelle direkt verbaut. Im Anschluss müssen die Steine lediglich auf der Außenseite imprägniert werden ein Verputzen oder weiteres Bearbeiten der Wandoberflächen entfällt. Lager und Wartezeiten auf der Baustelle entfallen. Die gebauten Häuser lassen sich nach Nutzungsende leicht demontieren und die Steine können wiederverwendet werden. Die Gebäude erreichen aufgrund der Speichermasse der Steine sehr gute energetische Werte und einen geringen Energieverbrauch.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Steine werden in unterschiedlichen Längen von 80 bis 210 cm sowie unterschiedlichen Stärken von 10 bis 40 cm angeboten, die Höhe beträgt einheitliche 106 cm. Durch die präzise Fertigung im Werk müssen die Steine auf der Baustelle nur geringfügig bearbeitet werden. Auf den Stirn, bzw. Verbindungsseiten müssen lediglich Nuten ein gefräst werden, die mit einem Zementgemisch verfüllt werden und die einzelnen Steine miteinander verbinden. Für die Errichtung eines normalen Einfamilienhauses sind lediglich drei Arbeiter und ein kleiner Kran notwendig. Die Dauer beträgt wenige Wochen.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
In Frankreich wird diese Bauweise schon seit einigen Jahren erprobt, von Einfamilienhäusern über Weingüter bis zu Krankenhäusern kam diese Bauweise zur Anwendung.

**Quellen:**
http://www.stone-ideas.com/2011/05/01/architektur-spitzenwerte-in-der-energiebilanz/
http://www.stone-ideas.com/2012/04/01/architektur-steinmauern-als-sparkasse/
http://www.stone-ideas.com/2013/07/14/massivbauen-mit-kleinen-natursteinblocken/

# Echord

**Entwickler:** Gramazio & Kohler
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Status:** Prototyp

**Schwerpunkt:**
Mobiler Bauroboter

**Materialien:**

**Fertigungsmethode:**

**Bauteil:**
Autonomer, mobiler Roboter, der vorgegebene Arbeitsschritte selbstständig erledigt und seine Umgebung sensorisch wahr nimmt.

**Beschreibung:**
Das Forschungsprojekt befasst sich mit dem direkten Einsatz von Industrierobotern auf der Baustelle. Vordergründig werden die kognitiven Eigenschaften erforscht, die dem Roboter »beigebracht« werden müssen, damit sich dieser auf der Baustelle zu recht findet und arbeiten kann. Der Roboter ist mit Sensoren und einem Fahrgestell ausgestattet diese ermöglichen ihm das selbstständige Bewegen im Raum. Der Roboter soll zur Logistik und Fertigung auf der Baustelle genutzt werden, dazu ist es notwendig zu erforschen wie der Roboter Toleranzen erkennen und mit diesen umgehen kann. Weiterführend wird erforscht wie der Roboter selbst gefertigte mit anderweitig vorgefertigten Bauteilen auf der Baustelle montieren kann.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Logistische Abläufe auf der Baustelle und Fertigungsabläufe könnten in Zukunft vollautomatisch von Robotern übernommen werden. Die Roboter finden sich selbstständig auf der Baustelle zurecht und verbauen ebenso Rohmaterialien, wie Halbzeuge und Fertigbauteile. Die Baustelle wird dadurch digitalisiert, alle Bauteile werden aufgrund der Sensorik der Roboter exakt so eingebaut wie es die Planer im Modell vorgegeben haben, inklusive Toleranzen.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die mobilen Roboter eignen sich insbesondere für Baustellen auf denen mit einem Mix an unterschiedlichen Fertigungsstufen der Baustoffe/-teile zu rechnen ist. Bei einem komplett vorfabrizierten Gebäude, macht der Einsatz nur bedingt Sinn. Werden jedoch einzelne vorgefertigte Bauteile eingesetzt muss der Rohbau (inklusive der Toleranz) sehr präzise sein, dann ist präzises Ausführen nach Plandaten unausweichlich.

**Quellen:**
http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/d/forschung/198.html
http://www.echord.info/wikis/website/home

# Flight Assembled Architecture

**Entwickler:** Gramazio & Kohler
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Status:** Prototyp

**Schwerpunkt:**
Drohnen als Bauroboter

**Materialien:**

**Fertigungsmethode:**

**Bauteil:**
Autonome, mobile Drohne (hier Quadrocopter) zur Platzierung von Bauteilen

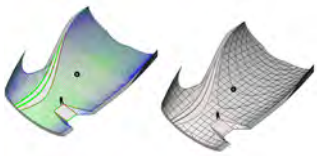
**Beschreibung:**
Ähnlich wie das Forschungsprojekt Echord, wird bei diesem Projekt auf den Einsatz mobiler Maschinen zur Platzierung von Bauteilen genutzt. Die Drohnen finden sich mithilfe von Sensoren und GPS im Raum zurecht. Und können auch im Schwarm interagieren. Für die Installation Flight Assembled Architecture kamen gleichzeitig mehrere Quadrocopter zum Einsatz. Diese transportierten die mehr als 1500 einzelnen Bausteine der Installation zu ihren vorgesehenen Positionen und schufen damit eine komplexe architektonische Struktur.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Drohnen eignen sich insbesondere für logistische Abläufe sowie für Fertigungsabläufe auf der Baustelle. Sie können sich weitaus flexibler bewegen und sind in ihrer Reichweite kaum limitiert.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Für die Bauwirtschaft sind autonome Drohnen in größerem Maßstab für den Bau großer Strukturen oder schwer zugänglicher Baustellen, z.B. in Stadträumen, äußerst interessant, da diese vorgefertigte Elemente an ihren jeweils angedachten Einbauort bringen können. Dies reduziert die Erfordernis von Baukränen und anderem Großgerät.

**Quellen:**
http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/d/forschung/209.html

# TailorCrete



**Entwickler:** Gramazio & Kohler
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Status:** Prototyp

**Schwerpunkt:**
Nutzung von Wachs als individuell gestaltbare Betonschalung

**Materialien:**
Wachs; (Beton)

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (Sandschüttung)

**Bauteil:**
Rezyklierbare Betonschalungen aus Wachs

**Beschreibung:**
Beim Projekt »TailorCrete« werden neue Methoden zur Herstellung und Nutzung von Betonschalungen erprobt und getestet. In diesem Zuge wurden an der ETH Zürich mit der Nutzung von Wachs als Schalmaterial experimentiert. Da das Wachs im Anschluss wieder aufbereitet werden und für eine andere Schalgeometrie verwendet werden kann ist ein wichtiger Aspekt der nachhaltigen Materialnutzung im Formenbau.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Für die Fertigung wird eine Positive Form in Form einer Sandschüttung auf einem Verarbeitungstisch mittels eines Roboters ausgebreitet und im Anschluss daran ein Abguss aus Wachs vorgenommen. Die Negativformen des Wachs werden zur Stabilisierung der auf der Außenseite mit gewöhnlichen Schaltafeln ertüchtigt. Wie beim herkömmlichen Betonbau wird nun der Zwischenraum ausgegossen. Nach dem Ausschalen kann das Wachs wieder eingeschmolzen und für eine neue Form wiederverwendet werden. Durch die Nutzung von Sand und Wachs wird der Materialverbrauch erheblich reduziert, zudem wird der Arbeitsaufwand optimiert.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Diese Methode eignet sich sowohl für Ortbeton auf der Baustelle, als auch für die Produktion von Betonfertigteile im Werk. Der Arbeits-, Material-, und Zeitaufwand für den Formenbau verringert sich drastisch und macht den gesamten Prozess effizienter.

**Quellen:**
http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/d/forschung/164.html
http://www.tailorcrete.com/

# Emerging objects

**Entwickler:** Rael San Fratello Architects
**Standort:** Oakland, USA
**Status:** Prototyp

**Schwerpunkt:**
Verschiedene Studien zur Nutzung von Materialien im 3D-Druck

**Materialien:**
Papier, Salz, Polymerbeton, Nylon, Holz, Acrylfaser (Formlos)

**Fertigungsmethode:**
3D-Druck

**Bauteil:**
Unterschiedliche Studien, Prototypen und Mock-ups zu verschiedenen Materialien im 3D-Druck

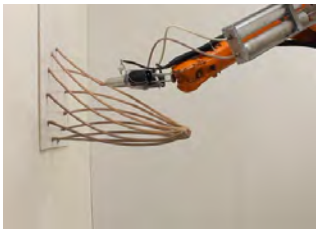
**Beschreibung:**
Emerging Objects ist eine Design- und Forschungsgruppe, des Architekturbüros Rael San Fratello, die sich auf 3D-Druck spezialisiert hat und unterschiedliche Materialien erprobt, darunter Papier, Salz, Polymerbeton, Nylon, Holz und Acrylfaser. Schwerpunktthemen sind unter anderem die Anwendung auf die Bereiche von Bauteilen, Fassade, Belichtung, sowie Möbel und Interieur Design.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Erstellung von Modellen in den gewünschten Materialien wird derzeit insbesondere im Bereich von Installationen und Innenarchitektur bewerkstelligt. Bei weiterem Forschungsstand sollen gegebenenfalls auch reale Bauteile im Maßstab 1:1 verwirklicht werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Beim derzeitigen Stand der Forschung findet der Anwendungsbereich nur bei kleinen nichtstatischen Bauteilen, sowie Innenarchitektur und Einrichtung statt. Bei verbesserten Entwicklungen ist es jedoch denkbar, dass in Zukunft leistungsfähige individuelle Bauteile mit Hilfe von 3D-Druckern gefertigt, beziehungsweise ganze Häuser gedruckt werden können.

**Quellen:**
http://www.emergingobjects.com/
http://www.rael-sanfratello.com/

# Mataerial



**Entwickler:** Petr Novikov, Saša Jokić (IAAC)
**Standort:** Barcelona, Spanien
**Status:** Forschung / Prototyp

**Schwerpunkt:**
Freiform 3D-Druck

**Materialien:**

**Fertigungsmethode:**
Robotergesteuertes Spritzen (im dreidimensionalen Raum)

**Bauteil:**
-

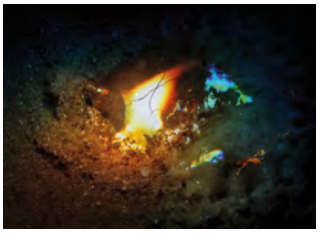
**Beschreibung:**
Beim Forschungsprojekt Material wird ein neuer Ansatz für additive Verfahren im räumlichen 3D-Druck erforscht. Zum Einsatz kommen Harze, Metalle und andere Materialien die direkt im Raum „gedruckt" werden können. Diese müssen nicht wie beim konventionellen 3D-Druck schichtweise aufgetragen werden und benötigen auch keine temporäre, gedruckte Unterkonstruktion.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Fertigung mit dieser Methode wird noch deutlich effizienter werden als bisherige 3D-Drucker, da hierbei lediglich die tatsächlich verbauten Materialien benötigt werden, Stütz- oder Füllmaterial entfällt. Zudem werden die Materialeigenschaften viel optimierte genutzt, da das Material nicht ungerichtet Schichtweise sondern im direkten Kraftverlauf aufgetragen wird. Wird der Roboterarm auf einer mobilen Plattform genutzt ergibt sich ein nahezu grenzenloser Bauraum.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Für das Bauwesen würde eine erfolgreiche Anwendung der Methode bedeuten, dass auf die statischen Anforderungen angepasste Bauteile direkt auf der Baustelle ohne Formen oder weitere Hilfsmittel gedruckt/gefertigt werden können. Das Material kann formlos, platzsparend angeliefert werden und die Bauteilgröße spielt nahezu keine Rolle. Als Folge dessen ergeben sich geringe Transport und Lagerkosten.

**Quellen:**
http://www.mataerial.com

# Solar Sinter



**Entwickler:** Markus Kayser
**Standort:**
**Status:** Prototyp

**Schwerpunkt:**
3D-Druck mit Sand und Sonnenlicht als Energie

**Materialien:**
Sand

**Fertigungsmethode:**
3D-Druck

**Bauteil:**
-

**Beschreibung:**
Solar Sinter ist ein 3D-Drucker der weder spezielle Materialien noch Bindemittel benötigt, eine externe Energie-/Stromversorgung ist ebenfalls nicht notwendig. Solar Sinter arbeitet mit gewöhnlichem Sand als Baumaterial, mit Hilfe einer großen Fresnell-linse wird dieser mit Hilfe des gebündelten Sonnenlichts verflüssigt und wie der Name impliziert gesintert. Für die Energieversorgung der elektronischen Komponenten des 3D-Druckers wird die Sonnenenergie mittels einer Solarzelle umgewandelt.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Funktionsweise ist einem konventionellen, pulververarbeitenden 3D-Drucker sehr ähnlich. Schicht für Schicht wird Sand aufgetragen und an den zu verbindenden Stellen mit Hilfe der Fresnellinse erhitzt und zu Glas verschmolzen.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Der Anwendungsbereich für die Baubranche ist aufgrund der Tatsache, dass das Endprodukt aus Glas besteht und der bisher sehr geringen Auflösung der Schichten eher gering. Die Grundlegende Idee ein autarkes Gerät zu schaffen, dass mit den Materialien vor Ort eine solche geometrische Gestaltungsfreiheit besitzt ist jedoch enorm.

**Quellen:**
http://www.markuskayser.com/work/solarsinter/

# Stone Spray Project

**Entwickler:** Studenten des IAAC
**Standort:** Barcelona, Spanien
**Status:** Prototyp

**Schwerpunkt:**
Mobiler Roboterarm als 3D-Drucker

**Materialien:**
Sand

**Fertigungsmethode:**
3D-Druck

**Bauteil:**
-

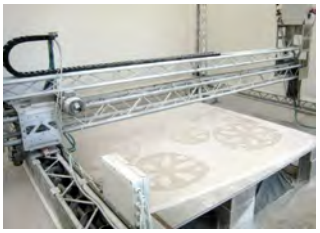
**Beschreibung:**
Das Stone Spray Projekt ist ein von Studenten der IAAC entwickelter 3D-Drucker welcher als Baumaterial Sand verwendet, dieser wird mit einem Flüssigbinder verfestigt. Laut Forschungsgruppe handelt es sich um gewöhnlichen Sand, somit steht das Material fast überall und in großem Ausmaß zur Verfügung.
Die Düse bzw. der Druckkopf ist auf einem Roboterarm befestigt und kann mobil eingesetzt werden.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Der 3D-Drucker kann nahezu überall eingesetzt werden wo Sand als Baumaterial zur Verfügung steht. Die Objekte werden vor Ort, ähnlich wie bei anderen 3D-Druckern, Schicht für Schicht hergestellt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Für druckbelastete optimierte Bauteile. Die Bauteile werden direkt vor Ort an ihrem angestammten Platz gedruckt bzw. gefertigt. Die Bauteilgröße spielt keine Rolle, das Baumaterial wird kompakt in Form von Sand auf die Baustelle gebracht und weiterverwendet. Infolgedessen ergeben sich geringe Transport und Lagerkosten.

**Quellen:**
http://www.stonespray.com/

# d_shape



**Entwickler:** Enrico Dini (d_shape; Dinitech)
**Standort:** London, Vereinigtes Königreich
**Status:** Prototyp

**Schwerpunkt:**
Großfromatiger 3D-Portal-Drucker

**Materialien:**
Sand, Mineralstaub, Kies, anorganisches Bindemittel

**Fertigungsmethode:**
3D-Druck

**Bauteil:**
-

**Beschreibung:**
Beim Projekt d_shape wir der Versuch unternommen die Methoden des 3D-Drucks in einen größeren Maßstab zu übertragen. Ziel ist es in Zukunft Gebäude im »Rapide Prototyping«-Verfahren vor Ort teilweise oder komplett auszudrucken. Bisher wurde ein 6x6x6m Meter großer Prototyp umgesetzt. Der Drucker benötigt weder Steine, noch Zement. Die benötigten Materialien sind Sand, Mineralstaub und Kies, sowie ein anorganisches Bindemittel. Das Material wird über 300 Druckköpfe in fünf bis zehn Millimeter dicken Schichten aufgetragen. Das Material soll in fertigem Zustand an Marmor erinnern und eignet sich für Projektgrößen eines zweistöckigen Gebäudes, da bisher noch keine Bewehrung eingebettet werden kann. Derzeit gibt es einen Prototyp mit einem Bauraum von 6x6x6m.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Komplexe Geometrien und Gebäudeteile könne vor Ort erstellt werden, Lagerflächen und komplizierte Transporte werden dadurch unnötig. Laut Hersteller ergeben sich Kosten- und Zeitreduktionen von etwa 30-50%, da der Drucker von wenigen Arbeitern innerhalb kürzester Zeit errichten werden kann und das Baumaterial sehr günstig ist.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Derzeit ist die Anwendung auf den maximal vorhandenen Bauraum begrenzt, zudem ist es bisher noch nicht gelungen die Zugfestigkeit des Materials zu ertüchtigen - Bewehrung kann während dem Druckprozess nicht integriert werden. Dennoch können Bauwerke und Bauteile hergestellt werden die nur auf Druck beansprucht werden. Vor allem Druckbeanspruchte Bauteile oder schwierige Geometrie, wie zum Beispiel bisher aufwändige Steinmetzarbeiten können kostenreduzierter erzeugt werden

**Quellen:**
http://www.d-shape.com/
Digital Fabrication in Architecture S. 107

# 3D Concrete Printing

**Entwickler:** Loughborough University
**Standort:** Loughborough, Vereinigtes Königreich
**Status:** Prototyp

**Schwerpunkt:**
Großfromatiger 3D-Portal-Drucker

**Materialien:**
Beton

**Fertigungsmethode:**
3D-Druck

**Bauteil:**
Von einzelnen Betonfertigteile bis hin zu ganzen Strukturen; keine Schalung nötig

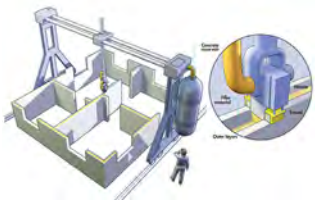
**Beschreibung:**
3D Concrete Printing ist ein 3D-Druck Verfahren mit Beton, welches derzeit von einem interdisziplinären Team an der Loughborough University in Leicestershire, Großbritannien, erforscht und entwickelt wird. Forschungspartner sind unter anderem das Architekturbüro Foster + Partners, die Ingenieure von Buro Happold und Hyundai Engineering & Construction. Bei diesem Verfahren können mit Hilfe speziellen Betons komplexe Freiformen „gedruckt" beziehungsweise gebaut werden. Hierzu wird der Beton, ähnlich wie bei anderen 3D-Druck-Verfahren, Schichtweise aufgetragen und härtet schließlich aus. Einschnitte und Aussparungen finden direkte eingeplant und umgesetzt werden, sodass keinerlei Abfall entsteht. Derzeit befassen sich die Forscher mit der Entwicklung geeigneter Bewehrungssysteme.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Das Ziel ist es individuelle, freigeformte Bauteile und Komponente für das Bauwesen im 3D-Druckverfahren schnell, kostenreduziert und ohne Schalung zu erzeugen. Zudem werden die Bauteile statisch optimiert und Aussparungen für Versorgungsleitungen und Haustechnik vorgesehen und freigehalten. Die Bauteile sollen gedruckt und mit der nötigen Haustechnik versehen und auf der Baustelle nur noch zusammengefügt werden. Dies kann dank des Verfahrens entweder in einem Werk oder in einer Baustellenfabrik direkt auf der Baustelle erfolgen.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Im Vergleich zu anderen Projekten beschränkt sich 3D Concrete Printing tatsächlich auf einzelne Bauteile und besitzt nicht den Anspruch Gebäude in einem Stück zu drucken. Der Anwendungsbereich bezieht sich dadurch vor allem auf Fertigbauteile, sowohl als reine Verkleidung als auch als tragende Bauteile und Baukastensysteme.

**Quellen:**
http://www.freeformconstruction.com/

# Contour Crafting



**Entwickler:** Dr. Behrokh Koshnevis (University of South California)
**Standort:** Kalifornien, USA
**Status:** Prototyp

**Schwerpunkt:**
Großfromatiger 3D-Portal-Drucker

**Materialien:**
Beton (Formlos)

**Fertigungsmethode:**
3D-Druck (Portalroboter)

**Bauteil:**
Komplett gedruckt Strukturen, weitere Bauteile wie Stürze oder Balken werden durch den Portalroboter selbstständig eingebracht.

**Beschreibung:**
Die Idee hinter Contour Crafting ist es komplette Gebäude mit Hilfe eines Portal-Roboters zu „drucken" beziehungsweise zu bauen. Dabei wird ein digitales Modell des Gebäudes am Computer entworfen und vom Portal-Roboter Schicht für Schicht gefertigt. Im Vergleich zu anderen 3D-Druckern die sich nur mit dem Drucken ihres Materials befassen denken die Forscher von Contour Crafting einen Schritt weiter und lassen ihren Portal-Roboter zum Beispiel Stahlträger und andere Fertigteile verarbeiten. Der derzeitige Stand der Forschungsarbeiten ermöglicht es mittlerweile kleinere Prototypen und Wände im Maßstab 1:1 zu drucken.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Wie bei allen 3D-Druckern findet die Fertigung Schichtweise statt, dazu wir im ersten Schritt ein Schnell härtender Spezialbeton an den Außenseiten der Wände mit Spritzdüsen an und mit Kellen in Form gebracht. Im nächsten Schritt wird der so entstandene Zwischenraum mit weniger schnell erhärtendem Beton verfüllt. Andere Bauteile wie Träger und Stürze werden während dem Druckbetrieb eingebaut. Der Roboter übernimmt nahezu die kompletten Rohbauarbeiten und wird von gut ausgebildetem Personal betreut, weitere Kräne und Großmaschinen werden nicht benötigt. Die Bauzeit und Personal und Maschinenkosten werden deutlich reduziert.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die Methode eignet sich vor allem dort wo dringend solider Wohnraum benötigt wird, wie etwa in Krisengebieten, nach (Natur-)Katastrophen, sowie in schnell wachsenden städtischen Räumen. Das Forscherteam hat zudem die Vision eines Tages mit Contour Crafting auf dem Mond oder gar dem Mars Unterkünfte zu realisieren.

**Quellen:**
http://www.contourcrafting.org/
http://craft.usc.edu/CC/modem.html

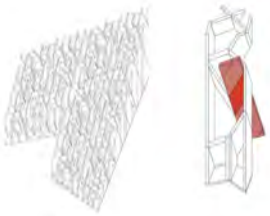
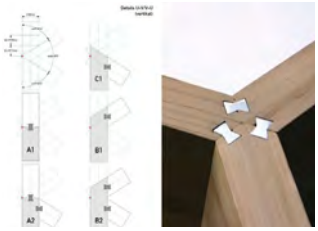
# 4.2
# Installationen und Mock-ups

Zur Prüfung und Erprobung von Planungs- und Fertigungsmethoden mit bereits existierenden Fertigungsmaschinen und -Werkzeugen. Entwicklung und Realisierung kleiner, in der Regel nicht wetterbeständiger, temporärer Prototypen.

**Projekte**

Futuropolis ..... 51
Inventioneering Architecture ..... 52
Das schiefe Loch ..... 53
Die programmierte Wand ..... 54
Die perforierte Wand ..... 55
Dragonfly ..... 56
ZipShape ..... 57
Die fraktale Wand ..... 58
Sportalm ..... 59
Die sequenzielle Wand ..... 60
WavePavillon ..... 61
WAVE 0.18 ..... 62
Winnipeg Skating Shelter ..... 63
Curved Folding ..... 64
Prozedurale Landschaften ..... 65
Robotic Reticulations ..... 66
Voilà - AKA-Gastspiel in der Staatsgalerie ..... 67
Arum ..... 68
Digital Grotesque ..... 69
Stone Vault Pavillon ..... 70

# Futuropolis

**Planer:** Daniel Libeskind
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** St.Gallen, Schweiz
**Fertigstellung:** 2005

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Datenmodell (Details) und digitale Fertigung

**Materialien:**
Holz (Plattenwerkstoff)
Aluminium (Halbzeug)

**Fertigungsmethode:**
5-Achs-CNC-Fräse

**Bauteil:**
Holbzpaneele und Schwalbenschwanzverbindungen aus Aluminium (insgesamt 2164 Einzelteile)

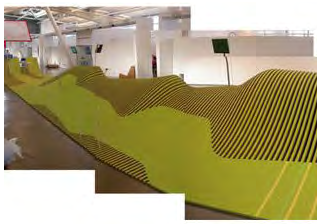
**Beschreibung:**
Futuropolis ist eine Skulptur die unter Leitung von Daniel Libeskind von rund 850 Studienanfängern in der Semesterstartwoche an der Universität St. Gallen (HSG) entwickelt wurde. Die Studenten sollten dabei ihre Vorstellung zukünftiger urbaner Räume verwirklichen. die Bauliche Umsetzung fand an der ETH Zürich statt. Die Entworfene Skulptur, die aus 98 miteinanderverbundenen Holztürmen, welche wiederum aus 2164 Einzelteilen besteht, konnte nur mit Hilfe einer durchgängigen, integrierten informationstechnischen Kette in einem wirtschaftlichen Rahmen erstellt werden. Grundlage dafür war ein parametrisches Modell und eine durchgängige digitale Prozesskette „vom digitalen Entwurf über die Konstruktion in die digitale Produktion“[1].

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Insgesamt wurden etwa 11,5m³ bzw. 7 Tonnen Holz, in Form von Birkenholz mit einer Fünf-Achs-Fräsmaschine vollautomatisch bearbeitet, die Bearbeitungszeit aller 2164 Einzelteile dauerte ca. 200 Stunden. Die Einzelteile wurden im Anschluss mit Schwalbenschwanzverbindungen aus Aluminium stabverleimt. Für das Verleimen und die endgültige Montage am Standort waren nochmals 500 Arbeitsstunden nötig. Flüchtigkeitsfehler wurden praktisch ausgeschlossen, da alle Elemente in ein und demselben Programm bearbeitet wurden. Da das genutzte Planungsmodell ein parametrische Modell war und über parametrisierte Details verfügte, konnten Änderungen, wie zum Beispiel der Materialdicke innerhalb weniger Stunden realisiert werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die hier beschriebene durchgängige digitale Prozesskette ist für das Bauen der Zukunft von enormer Bedeutung. Parametrische Gebäudeinformationsmodelle mit parametrisierten Details, die flexibel auf Änderungen eingehen können und sich ebenso für die Fertigung eignen (Maschinenleserlichkeit) sind für diese Prozesskette unerlässlich.

**Quellen:**
http://www.designtoproduction.ch
[1]Jenseits des Rasters - Architektur und Informationstechnologie S.130ff
From Control to Design – Parametric/Algorithmic Architecture S.186-189
Manufacturing Material Effects S.214-215

# Inventioneering Architecture



**Planer:** Instant Architects
**Spezialplaner:** ETH Zürich (Ludger Hovestadt); designtoproduction
**Standort:** Wanderausstellung
**Fertigstellung:** 2005

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Datenmodell (Details) und digitale Fertigung

**Materialien:**
Holz (Plattenwerkstoff - MDF)

**Fertigungsmethode:**
5-Achs-CNC-Fräse

**Bauteil:**
1000 individuelle Sparren aus MDF mit Dübelverbindungen, als Ausstellungsplattform

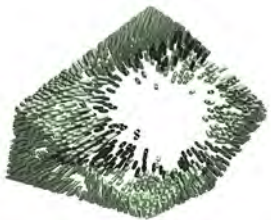
**Beschreibung:**
Die Wanderausstellung Inventioneering Architecture besteht aus über 1000 individuellen aus mitteldichten Faserplatten (MDF) gefertigten Holzsparren, die im Verbund einen Querschnitt der schweizerischen Topographie abbilden. Bei der Planung und Fertigung arbeitete das Team der Architekten sehr eng mit dem Institut für Computer Aided Architectural Design (CAAD) der ETH Zürich zusammen.

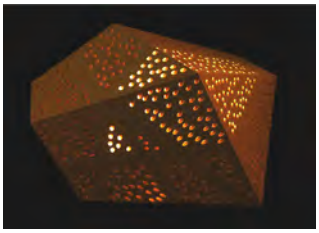
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Für die digitale Prozesskette zur Fertigung der einzelnen Elemente wurden für die, von den Architekten vorgegebenen, Grundgeometrie mehrere Skripte programmiert. Die Skripte automatisierten das Einlesen der von den Architekten bereitgestellten Geometrie, das unterteilen und geometrisieren jedes einzelnen Sparrens, sowie die Detailierung der Dübelverbindungen. Ein weiteres Skript arrangierte die Sparren möglichst effizient auf den MDF-Platten um Verschnitt und die Kosten möglichst gering zu halten. Die Ausgabe der Fertigungsdaten erfolgte direkt im NC-Code zur Ansteuerung einer CNC Maschine. Für die Produktion der 1000 Sparren wurden 120 MDF Platten mit einer Kantenlänge von 1 x 4,20 m benötigt. Die 5-Achs-CNC-Fräse benötigte 50 Arbeitsstunden um alle Bauteile auszufräsen.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Bei diesem Projekt kamen vier unterschiedliche Skripte zur Anwendung, die sich alle auf Projekte im Bauwesen anwenden lassen. Sei es das automatisierte einlesen von Planungsdaten, wenn z.B. keine geeignete Schnittstelle zwischen den Programmen vorhanden ist. Oder das automatisierte Vervollständigen und Detailliieren von Bauteilen anhand von Grundgeometrie. Für die möglichst optimierte/verschnittreduzierte Platzierung der Werkstücke auf dem Rohmaterial/Halbzeug (hier Plattenwerkstoffe), oder das direkte auslesen der Fertigungsrelevanten Daten für die CNC-Maschinen ohne (unnötige) Zwischenschritte.

**Quellen:**
http://www.designtoproduction.ch
From Control to Design – Parametric/Algorithmic Architecture S.176-179
Manufacturing Material Effects S.212-213

# Das schiefe Loch





**Planer:** Studenten + Gramazio & Kohler
**Spezialplaner:**
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Fertigstellung:** 2006

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Modell (Verteilung der Bohrlöcher aus digitalem Script)

**Materialien:**
Holz (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (bohren)

**Bauteil:**
Bohrung von 2000 unterschiedlich angeordneten Löchern auf einem irregulären polygonalen Körper aus Holzpaneele.

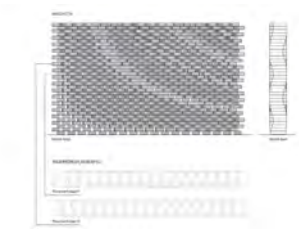
**Beschreibung:**
Bei diesem Projekt wurde den Studenten die Aufgabe gestellt 2000 Löcher auf einem irregulären polygonalen Körper zu verteilen. Aufgrund der hohen Datenmenge war die Nutzung herkömmlicher CAD-Funktionen zum damaligen Zeitpunkt nicht möglich. Schließlich wurde ein Skript geschrieben, welches die Verteilung der 2000 Bohrlöcher auf dem vorgegebenen Zielkörper verteilte. Weitere Funktionen waren unter anderem für die unterschiedliche Lochdichte zuständig, oder für die Ausrichtung der Bohrungen auf einen bestimmten Punkt innerhalb des Volumens. Aufgrund der Skriptfunktion konnten die Studenten weitere Funktionen einbauen und beliebig experimentieren.

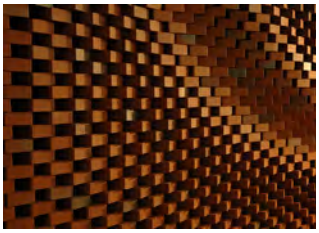
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die notwendigen Daten für die Bohrlöcher, deren Position und Ausrichtung konnten direkt ausgelesen werden und mittels Industrieroboter angewandt werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Skriptanwendung zur Nutzung parametrisierter Details, hier in Form von Bohrlochverteilung, Bohrlochstärke, Bohrlochausrichtung usw. sowie der digitalen Fertigung mittels Industrieroboter. Für die (Vor-)Fertigung von Einzelstücken, Kleinserien und Serien in der Baubranche, hier lediglich unter dem Aspekt der Platzierung von Bohrlöchern.

**Quellen:**
http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/d/lehre/80.html
Manufacturing Material Effects S.111

# Die programmierte Wand





**Planer:** Studenten + Gramazio & Kohler
**Spezialplaner:**
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Fertigstellung:** 2006

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Modell (Platzierung der Ziegel); Nutzung Industrieroboter

**Materialien:**
Ziegel

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (stapeln)

**Bauteil:**
Ziegelwand aus über 400 unterschiedlich angeordneten Steinen

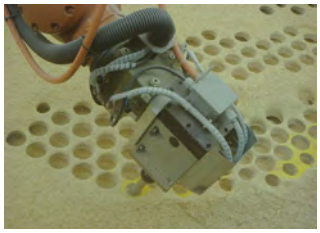
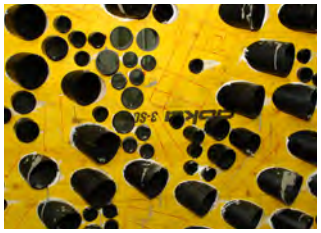
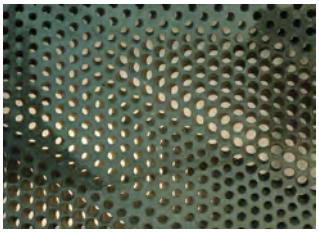
**Beschreibung:**
Im Studienprojekt „Die Programmierte Wand" beschäftigten sich die Studenten mit der Frage wie man einem der ältesten Baustoffe, dem Ziegel, neue Gestaltungsformen abringen kann und was der Wechsel von der manuellen Arbeit hin zur digitalen Planung und Fabrikation, zum Beispiel mit Hilfe eines Industrieroboters, bringen kann. Dazu entwickelten die Studenten algorithmische Entwurfswerkzeuge (Skripte) mit denen die räumliche Dispositionen er einzelnen Steine nach einer prozeduralen Logik abgefragt werden konnten. Dadurch wurde es den Studenten ermöglicht eine Wand aus 400 Ziegelsteinen zu entwerfen, bei welcher jeder einzelne Stein eine eigene spezifische Position und Rotation einnahm. Dabei ergab sich die Gesamtgeometrie der Wand aus der Logik der Positionierung der einzelnen Steine.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
„Im Gegensatz zum Maurer hat der Roboter die Fähigkeit, ohne optische Referenz oder Einmessung, also ohne Mehraufwand, jeden Stein unterschiedlich zu positionieren."[1] Durch das direkte Auslesen, in welcher Reihenfolge an welcher Position in welchem Winkel die einzelnen Steine zu verlegen waren, konnten die Wände vom Institutseigenen Roboter gestapelt werden. Die Steine wurden lediglich gestapelt und nicht miteinander verklebt oder vermörtelt, da dem Roboter hierzu das nötige Werkzeug, aber auch das nötige Wissen/die nötige Programmierung fehlte.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Diese hier erprobte Methode wurde in ähnlicher Weise bei weiteren Projekten (siehe S. 59 u. 109) erfolgreich angewendet. Bisher werden die Steine jedoch nur verklebt, da noch kein geeignetes Werkzeug und kein geeigneter Verarbeitungsalgorithmus für die Fertigung entwickelt wurden. Probleme beim Kleben bereitet vor allem die Toleranz der Bauhöhe der Ziegel, bei der traditionellen Maurerarbeit werden diese Toleranzen vom Mörtel der Lagerfuge aufgenommen.

**Quellen:**
[1]http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/d/lehre/81.html
Manufacturing Material Effects S.114-115

# Die perforierte Wand

**Planer:** Studenten + Gramazio & Kohler
**Spezialplaner:**
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Fertigstellung:** 2006

**Schwerpunkt:**
digitales Modell der Öffnungsflächen; Nutzung Industrieroboter

**Materialien:**
Styrodur (Plattenwerkstoff), Holz (Plattenwerkstoff), Beton (Formlos)

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (fräsen)

**Bauteil:**
1. Phase Perforiertes Wandelement aus Styrodur
2. Phase Schaltafel als Sekundärbauteil, Perforiertes Wandelement als Betonfertigteil Primärbauteil

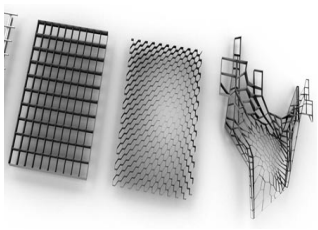
**Beschreibung:**
Das Projekt „Die perforierte Wand" gliedert sich in zwei Stufen der Erprobung digitaler Fertigung. In der ersten Phase des Projekts kamen Styrodurplatten zum Einsatz, welche direkt bearbeitet wurden. In den zweiten Phase des Projekts wurden zwei Schaltafeln für ein Betonfertigteil mit Öffnungen versehen und die jeweils zusammengehörenden Öffnungen mit Kunststoffschläuchen verbunden. Die vorhandenen Öffnungen unterscheiden sich jeweils in ihrem Einstichwinkel und in ihrem Durchmesser, jede Bohrung ist ein Unikat, dadurch entstehen unterschiedliche visuelle Effekte und beide Seiten des Elements ergeben ein anderes Bild.

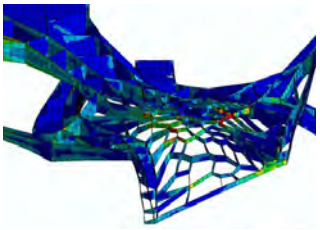
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Für die Platzierung und Einstichwinkel der Öffnungen wurde ein Skript entwickelt, welches die Abstände und Durchmesser der einzelnen Öffnungen berücksichtig, so wurde es erreicht, dass sich keine Durchstöße schneiden. Bei der ersten Phase wurden die Durchstöße direkt in das Styrodur gefräst, in der zweiten Phase wurden die jeweiligen Öffnungsflächen mit den dazugehörenden Winkeln in die jeweilige Schalungstafel gefräst. Der Arbeitsschritt des Fräsen ging digital und vollautomatisch von statten. Das richtige Einschalen sowie das Anbringen der Verbindungsschläuche der zusammengehörenden Öffnungen wurde manuell vorgenommen, ebenso das einfüllen des Betons sowie das Ausschalen des fertigen Werkstücks.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die präzise Platzierung von Bohr und Fräsarbeiten auf unterschiedlichen Plattenwerkstoffen mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Winkeln sowie Durchmessern ist ohne weiteres sowohl planerisch als auch digital fertigungstechnisch möglich. Wie im Projekt eignet sich diese Methode insbesondere für plattenartige Bauteile, sei es für Verkleidung, Verschalung, als tragende Bauteile oder als reine Akustikflächen.

**Quellen:**
http://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/d/lehre/83.html
http://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/d/lehre/84.html
Manufacturing Material Effects S.112-113

# Dragonfly





**Planer:** EMERGENT / Tom Wiscombe
**Spezialplaner:** Buro Happold
**Standort:** Los Angeles, USA
**Fertigstellung:** 2007

**Schwerpunkt:**
Algorithmisches Modell; digitale Prozesskette; digitale Fertigung

**Materialien:**
Aluminium (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräsen

**Bauteil:**
individuelle, gefaltete Aluminiumbänder

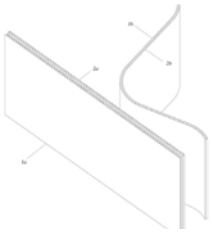
**Beschreibung:**
Vorbild für die Installation ist der Liebellenflügel, während in der Natur seine Schwerpunkte im Bereich von Aerodynamik, Leichtbau und Mechanischen Funktionen hat, kamen bei der Installation neben diesen biometrischen Eigenschaften weiter Parameter einschließlich Schwerkraft, spezifischer Auflager und flachen Material Eigenschaften hinzu. Im Entwurfsprozess wurde mit Hilfe eines algorithmischen Modells auf der Basis von Zellstrukturen eine „Population" unterschiedlicher zufälliger Strukturen generiert und auf ihre Fitness im Bereich der Statik getestet. Die Ergebnisse wurden in einem Iterativen Prozess eingespeist und weiter Generationen erzeugt, bis die optimale Struktur sowohl in statischer als auch ästhetischer Hinsicht gefunden wurde.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Am Anfang des Entwurfsprozess wurde ein parametrisches Modell in CATIA erzeugt, in welchem hunderte von zweidimensionalen Bändern eine „lebende" Struktur bildeten. Dieses Modell wurde im Prozess kontinuierlich mit den Daten aus dem algorithmischen Modell gefüttert und in Echtzeit angepasst, alle Bauteile und Verbindungen wurden automatisch generiert. Die Geometrie der Bänder und deren Anschlüsse wurden mit einem „nesting"-Algorithmus so gepackt, dass sie möglichst platzsparend aus 1000 x 2000 mm Aluminiumplatten gefertigt werden konnten. Die Bänder wurden mit einer CNC-Fräse markiert, beschriftet, Biegekanten und deren Winkel eingezeichnet und anschließend ausgefräst. Da alle nötigen Informationen auf den Bauteilen vorhanden waren, waren keine konventionellen Dokumentationen notwendig. Der Prozess vom Entwurf bis zur Fertigung ist als durchgängig digital zu bezeichnen.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die Verwendung eines algorithmischen Modells in direkter Verknüpfung eines parametrischen Planungsmodells in einem CAD Programm und die damit verbundene automatische Generierung der Fertigungsdaten ermöglicht eine durchgängige digitale Prozesskette von der Idee über den Entwurf, Detailierung bis hin zur Fertigung der Einzelteile.

**Quellen:**
http://www.tomwiscombe.com/project_28.html
Digital Fabrication in Architecture S. 58f
Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques S. 69-72

# ZipShape



**Planer:** Schindler Salmerón
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:**
**Fertigstellung:** 2007

**Schwerpunkt:**
Parametrisiertes Modell zur digitalen Fertigung gekrümmter Holzflächen

**Materialien:**
Holz (Plattenwerkstoff) (MDF, Sperrholz, Stabverleimtes Holz)

**Fertigungsmethode:**
5-Achs-CNC-Fräse

**Bauteil:**
Sitz-/Liegefläche eines Stuhls bzw. einer Liege

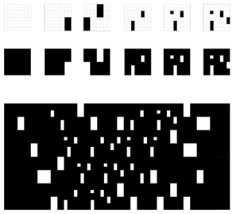
**Beschreibung:**
„ZipShape ist eine universelle Methode, mit der ebene Platten einfach gekrümmt werden können. Ein Formstück besteht dabei aus zwei Platten, die so gezinkt werden, dass sie nur in der gewünschten Krümmung zusammenpassen. Dadurch kann beim Verleimen der Platten auf den Einsatz von Formlehren verzichtet werden. ZipShape basiert auf der elastischen Kaltverformung des Holzes, verhindert aber ein Rückfedern durch gegenseitige Verschränkung der Bauteile. Auf dem gegenwärtigen Forschungsstand können Radien bis minimal etwa einem fünffachen der Materialstärke umgesetzt werden. Die Planungsschritte zwischen Krümmungsdefinition und Abwicklung der beiden Platten sind mit parametrischer Software automatisiert."[1]

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Mit Hilfe des parametrischen Modells kann aus jeder beliebigen Ausgangskurve die entsprechende Detailierung - Größe und Winkel der Zinken - generiert werden. Mit den so gewonnenen direkten Fertigungsdaten, werden die beiden Platten mit einer geeigneten CNC-Fräse bearbeitet. Nach dem Fräsen der beiden Platten werden diese miteinander verleimt, da die Form des späteren Bauteils durch die Zinken vorgegeben ist, kann für das Verkleben der Bauteile mit Leim ein einfacher „Vakuumsack" genutzt werden um diese in ihre zukünftige Form zu bringen. Es muss nicht für jede Geometrie eine eigene Leimform gefertigt werden. Das Fräsen der Zinken gestaltet sich dennoch sehr zeitintensiv, zudem entsteht relativ viel Verschnitt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die hier angewandte Methode ermöglicht die Fertigung einfach gekrümmter Oberflächen ohne aufwändige Pressformen, in diesem Projekt bisher nur in Holz angewandt kann die Methode auch auf weitere Werkstoffe wie zum Beispiel Schäume oder Sandwichwerkstoffe angewendet werden.

**Quellen:**
[1]http://www.schindlersalmeron.com
http://www.md-magazine.com/themen/md1401_01-1.pdf
From control to design – parametric/algorithmic architecture S.190-193
Material Strategies in Digital Fabrication S. 40-45

# Die fraktale Wand



**Planer:** Gramazio & Kohler + Studenten
**Spezialplaner:**
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Fertigstellung:** 2007

**Schwerpunkt:**
Automatisierte Stapelung unterschiedlicher Module

**Materialien:**
Porenbetonquader

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (stapeln/ fügen)

**Bauteil:**
Porenbetonquader mit unterschiedlichen Kantenlängen (40/20/10/5 cm)

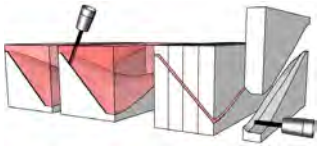
**Beschreibung:**
Beim Projekt fraktale Wand wurde der Einsatz unterschiedlich großer Porenbetonmodule zur Gestaltung eines Wandaufbaus und dessen Einfluss auf die Produktionszeit und Oberflächenstruktur untersucht. Als Ausgangsbauteil wurde ein Porenbetonquader mit einer Kantenlänge von 40 cm gewählt, dieser wurde durch drei weitere Module mit der jeweiligen Kantenlänge von 20, 10 und 5 cm ergänzt. Während der große Quader die Nutzlast des Roboters ausnutzt und zu einer schnellen Fertigung beiträgt, erlauben die kleineren Modulgrößen das Einweben unterschiedlicher Muster und Informationen mit einer höheren Auflösung.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Fertigung fand mit Hilfe eines 6-Achs-Roboters statt, dessen Traglast auf die größte Modulgröße ausgelegt war. Die Fertigung erfolgte automatisiert, der Roboter wurde mit den exakten Daten gefüttert in welcher Reihenfolge, welches Modul an welcher Position zu platzieren war. Da der Roboter für das aufnehmen und setzten jedes einzelnen Moduls identisch viel Zeit benötigte, musste das Verhältnis zwischen den einzelnen Modulgrößen berücksichtigt werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die bei diesem Projekt entwickelten Softwarewerkzeuge können im Bereich der Baurobotik angewandt werden. Ein damit angesteuerter Bauroboter, ob stationär oder mobil (vgl. S.40 u. 55) kann autonom Wände mauern und diese mit Öffnungen und Stürzen versehen. Die Anzahl und Formen der Bausteine sind im digitalen Datenmodell hinterlegt und können dadurch stückgenau bestellt und richtig verbaut werden.

**Quellen:**
http://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/d/lehre/131.html
Jahrbuch 2008 DARCH ETH Zürich, Seite 75

# Sportalm



**Planer:** Baar Baarenfels Architekten
**Spezialplaner:** feasible geometry-consulting OG
**Standort:** Salzburg, Österreich
**Fertigstellung:** 2008

**Schwerpunkt:**
Flankenfräsen der Negativ-form aus MDF-Platten

**Materialien:**
Avonite/Corian (Platten-werkstoff)
MDF(Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
7-Achs-Roboter (fräsen)

**Bauteil:**
Sekundärbauteil: Negativform aus MDF Platten (Flankengefräst)
Primärbauteil: Stetig gekrümmtes Formteil aus Avonite

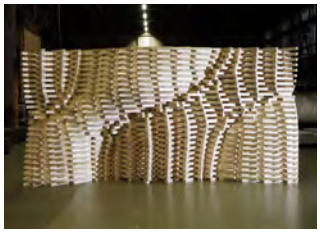
**Beschreibung:**
Die Regalsysteme für Hänge- und Liegewaren, des Interieur Designs der österreichischen Textilwarenkette Sportalm, stellen die Abstraktion einer Schneewechte dar. Ziel war es insbesondere einen stetig gekrümmten Übergang der Module zu generieren. Die Module sollten ein fugenloses Gesamtbild ergeben und keinerlei Farbabweichungen aufweisen. Dafür wurden dünne Platten des unter Hitzeeinwirkung verformbaren Kunststeinmaterial Avonite genutzt. Die Module sind einzelne Kästen aus je vier unterschiedlichen Platten gefertigt. Für die stetig gekrümmten Module mussten spezielle Formen gefertigt werden und die Platten bzw. den Kasten in die gewünschte Form zu verdrillen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die von den Architekten vorgegebene Geometrie wurde optimiert und für die digitale Fertigung aufbereitet. Die Formen zur Herstellung der zweifach gekrümmten Flächen wurden nicht aus einem Block gefräst, sondern durch Flankenfräsen einzelner MDF-Platten erzeugt. Diese Art der Formenherstellung ist deutlich zeit- und materialsparender als das Ausfräsen aus einem massiven Block.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Das Flankenfräsen ist eine besonders effektive Methode um möglichst schnell und einfach, flache Bauteile mit unterschiedlich ausgeformten Kanten aus einem Plattenwerkstoff zu fertigen. Diese Bauteile können wie bei anderen Projekten entweder direkt als Profile genutzt werden oder im Verbund eine geschlossene sich ständig ändernde Geometrie ergeben, die entweder als direktes Bauteil oder wie in diesem Projekt als Werkzeug (Form) dienen können. Für das Flankenfräßen werden jedoch Fertigungsmaschinen mit mindestens fünf Achsen benötigt, da sie über die nötigen Freiheitsgrade verfügen.

**Quellen:**
http://www.baar-baarenfels.com/main-fs-ge.htm
http://www.robotsinarchitecture.org/wp-content/uploads/2011/09/ecaade_ddp.pdf
http://feasible.at/wp/projects/spa/

# Die sequenzielle Wand



**Planer:** Studenten + Gramazio & Kohler
**Spezialplaner:**
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Fertigstellung:** 2008

**Schwerpunkt:**
Ablängen und Stapeln nach funktionalen und formalen Aspekten

**Materialien:**
Holz (Standard-Profile)

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (längen und stapeln)

**Bauteil:**
Abgelängte Standard-Holzlatte

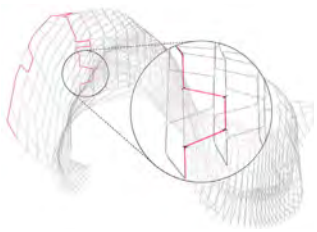
**Beschreibung:**
Beim Projekt sequenzielle Wand wurde das Potenzial der additiven und digitalen Fabrikation im Holzbau untersucht. Durch unterschiedlich abglängte von Standard-Holzlatten sowie dem anschließenden Positionieren mit unterschiedlicher Ausrichtung der Bauteile wurden aufgelöste Strukturen und Formen erzeugt. Den studierenden sollte vermittelt werden, aus Standard-Massenware durch relativ einfache Manipulationen ansprechende und komplexe Unikate, die durch stufenlose Auflösung fließende Übergänge und Formen erzeugen, gefertigt werden können. Zudem wurden funktionale Anforderungen wie Lastabtragung, Wärmedämmung und konstruktiver Holzschutz bei der Entwurfsbearbeitung integriert. So dienen zum Beispiel nach außen abstehende Latten nicht nur der reinen Formensprache, sondern leiten auch Regenwasser nach außen ab.

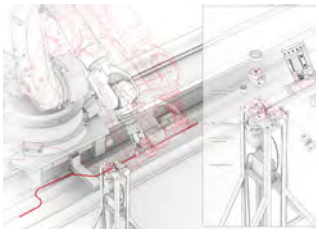
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Zu Beginn wurde ein parametrisches Modell entwickelt, an welchem die endgültige Form generiert wurde. Neben den rein gestalterischen Parametern flossen auch statische, bauphysikalische Parameter und Parameter des konstruktiven Holzbaus in das Entwufrsmodell mit ein. Aus diesem Modell wurden die relevanten Daten zur Abläng-gung und zur Positionierung der einzelnen Latten für den Industrieroboter ausgelesen und im Anschluss von diesem vollautomatisch ausgeführt.

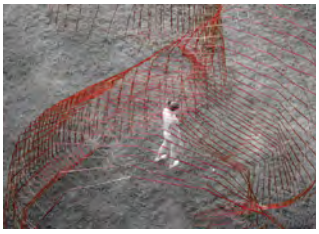
**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**

**Quellen:**
http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/d/lehre/148.html
Jahrbuch 2009 DARCH ETH Zürich, Seite 75
Material Strategies in Digital Fabrication S. 28-33

# WavePavilion







**Planer:** Supermanoeuvre
**Spezialplaner:**
**Standort:** University of Michigan Taubman College, Michigan, USA
**Fertigstellung:** 2010

**Schwerpunkt:**
parametrisches Modell; digitale Fertigung

**Materialien:**
Stahl (Profilwerkstoff/ Stange)

**Fertigungsmethode:**
7-Achs-Roboter (biegen)

**Bauteil:**
gebogene Stahldrähte aus insg. 1km Stahldraht mit 6,35mm (1/4 inch) Stärke

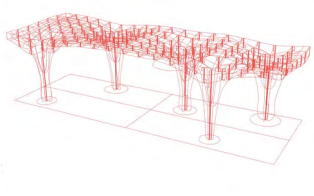
**Beschreibung:**
Die Struktur und Ästhetik des wavePavillons wurde durch einen geskripteten geometrischen Evolutionsprozess entwickelt. Der in Rhioscript geschriebene Code kombiniert die Einflüsse aus dem räumlichen Programm, sowie die Formalen Gegebenheiten aus dem Fertigungsprozess zu einem Gesamtobjekt. Der computergestützte Entwurfsprozess teilt sich in mehrere Phasen auf. Ausgehend von einer, sich aus Vektoren und Parametern des Raumprogramms entwickelnden Basisgeometrie wächst ein Netzwerk aus dreidimensionalen Polylinien, diese sind bis dahin als eigenständige Linien zu betrachten, bilden jedoch die Grundform der Endgeometrie. Eine zweite Reihe von Polylinien startet parallel zur ersten, die einzelnen Linien wechseln jedoch in definierten Abständen auskreuzend ihre Partnerlinien. Die Linien dienen als direkte Fertigungsparameter.

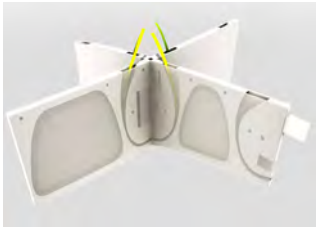
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Fertigung der Einzelteile fand mit Hilfe eines 7-Achs-Industrieroboter der mit einem CNC-Biegewerkzeug ausgestattet wurde statt. Die 6,35mm starken Stahlstäbe wurden in einmalige dreidimensionale Formen gebogen. Die dafür verwendeten präzisen Werkzeuge sowie der erzeugt Fertigungscode erlaubte eine deutlich präzisere Fertigung als mit herkömmlichen CNC-Maschinen. Der eigens entwickelte Fertigungscode analysierte die Geometrie der Stäbe und übersetzte diese in einzelne Operationen, die Geometrie wurde in Linien und Bögen sowie Länge, Radien und Orientierung aufgeteilt. Die gefertigten Einzelstäbe sind so geometrisiert, dass sie nur in einer einzigen Weise zusammengesetzt werden können. Im Anschluss wurden die Teile von Hand zusammengeschweißt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Entwicklung und Erprobung neuer Fertigungstechnologien im Bereich der Biegung von Stahldrähten, in weiteren Projekten wird an stärkeren Profilen gearbeitet. Übertragung in größere Dimensionen von Profilwerkstoffen, oder zur Vorfertigung von Sonderbewehrung möglich.

**Quellen:**
Digital Fabrication in Architecture S. 112
ACADIA 2011_Proceedings, Robotic Rod-bending S. 132-137

# WAVE 0.18





**Planer:** Lehrstuhl für Architekturinformatik, TU München
**Spezialplaner:**
**Standort:** München, Deutschland (Pinakothek der Moderne)
**Fertigstellung:** 2010

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Modell/ Details, digitalisierte Fertigung

**Materialien:**
Furnirschichtholz (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
2,5 bzw. 3-Achs-CNC-Fräse

**Bauteil:**
192 Elemente aus insgesamt 1100 Einzelbauteilen

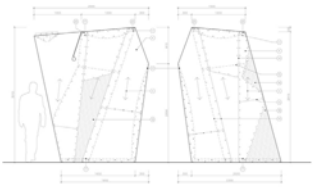
**Beschreibung:**
Für die Ausstellung „Wendepunkte im Bauen" im Architekturmuseum der TUM (2010) wurde der Pavillon WAVE 0.18 mit Hilfe eines durchgängigen parametrischen Modells entworfen. Dadurch war es den Planern möglich sämtliche Eigenschaften bzw. Parameter bis zuletzt zu optimieren und zu verändern. Die Details der Fügung sowie der Materialeinsparung durch Hohlräume waren dabei der Schwerpunkt der Skripte, sie passten sich automatisch an vorgenommene Veränderungen an. Im weiteren Verlauf konnten die Fertigungsdaten für Prototypen und den letztendlich gebauten Entwurf aus dem parametrischen Modell ausgelesen werden und zur digitalen Fertigung genutzt werden. Die einzelnen Bauteile des Rosts werden über Zugbänder einer Kreuzverbindung an den Stößen mit einander verbunden.

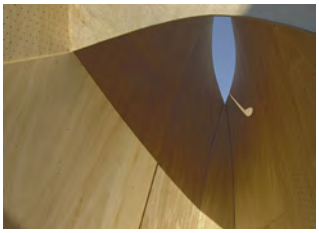
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Aufgrund des parametrischen Modells und der einfach zu fertigenden Details konnten die 1100 Einzelbauteile mit Hilfe einer 2 1/2 bzw. 3 Achs-CNC-Fräse gefertigt werden. Anschließend mussten die Bauteile händisch verleimt werden und in einer Presse aushärten. Die Fertigung der 192 Elemente dauerte insgesamt fünf Tage, die Elemente waren von den Abmessungen und Gewicht so ausgelegt, dass sie von einer Person bewegt werden konnten. Der Aufbau der Installation konnte von fünf Personen innerhalb eines Tages vollbracht werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Das Fügungsprinzip der einzelnen Bauteile ist sehr vereinfacht, lässt sich daher relativ schnell und kostengünstig von einer Vielzahl von CNC-Fräsmaschinen herstellen. Die automatisierte Detaillierung ist für den hier vorgestellten Prototypen sehr gut geeignet für dauerhaftere Projekte muss wahrscheinlich über eine andere bzw. verbesserte Art der Fügung (hier: Zugband) nachgedacht.werden.

**Quellen:**
Wendepunkte im Bauen S. 188
Jahrbuch 2012 - Fakultät für Architektur Technische Universität München
http://vimeo.com/10320272

# Winnipeg Skating Shelters





**Planer:** Patkau Architects
**Spezialplaner:**
**Standort:** Winnipeg, Kanada
**Fertigstellung:** 2010

**Schwerpunkt:**
analoge Formfindung, digitale Fertigung, elastische Verformung

**Materialien:**
5mm Sperrholz (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
2,5-Achs-CNC-Fräse

**Bauteil:**
17 Einzelplatten aus Sperrholzplatten ergeben eine Installation

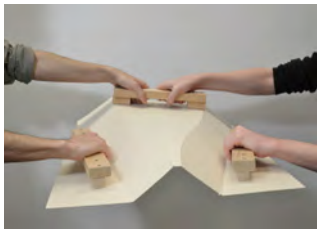
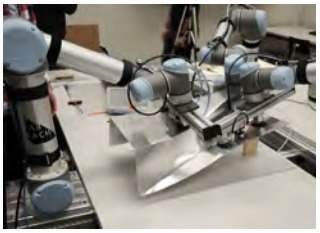
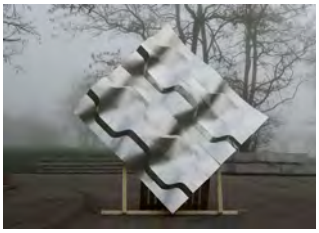
**Beschreibung:**
Die Installation aus sechs hölzernen Kokons ausgeführt in einem filigranen Origamifaltwerk aus 5mm starken gebogenen Sperrholzplatten dient den Besuchern der Eisfläche als Schutz vor Wind und Wetter. Die Strukturen bestehen jeweils aus 17 Einzelplatten aus Sperrholz sowie Kanthölzern in der Bodenplatte, Rückgrat und First zur Stabilisation. Die Platten sind nach einem speziell entwickelten Schnittmuster gefertigt und an den Kanten über Schrauben zu einer kontinuierlichen Fläche verbunden. Die Formfindung der Regelflächen fand bei diesem Projekt nicht digital, sondern analog an physischen Modellen statt. Die Modelle wurden in einem kleineren Maßstab anhand von Holzfurnieren mit einer Materialstärke von 0,8mm bearbeitet, diese wurden soweit gebogen, bis sie zu brechen begannen. An strategisch geeigneten Stellen wurden Einschnitte zur Entspannung des Materials vorgenommen. Diese Einschnitte wurden mit einem runden Ausschnitt abgeschlossen um Einrisse in das Material zu verhindern. Durch diese Eingriffe ist es möglich die Sperrholzplatten elastisch zweisinnig zu verformen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Für die Erstellung der Fertigungsdaten für die CNC-Maschine wurden die Modelle genutzt, „ausgerollt" und auf den menschlichen Maßstab gebracht, sowohl die Abmessungen als auch die Materialstärke. Die fertige Hülle der Installationen besteht aus einer doppelten Schicht von 5mm Sperrholzplatten, durch Überlappung der beiden Schichten ist die Fertigung aus kleineren Bauteilen möglich. So konnten alle 17 Bauteile eines Pavillons aus standardisierten Sperrholzplatten mit Abmessungen von 1,2 x 2,4 Metern gefertigt werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Das elastische Verhalten von unterschiedlichen Materialien in Form von Plattenwerkstoffen kann als kostengünstige Alternative gegenüber der plastischen Verformung, für die üblicherweise Formen benötigt werden, gesehen werden.

**Quellen:**
http://www.patkau.ca/project/skating.htm
Material Strategie in Digital Fabrication S.53-57
DETAIL 10-2011 S.1178-1181

# Curved Folding

**Planer:** Gramazio & Kohler + Studenten
**Spezialplaner:**
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
Automatisiertes gekrümmtes Falten von Blechen und deren Eigenschaften

**Materialien:**
Aluminiumblech (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
Robotergestützte Faltung

**Bauteil:**
Einzelnes Blech mit gekrümmter Faltung

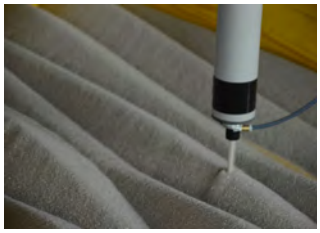
**Beschreibung:**
„Gekrümmte Faltungen erlauben die einfache und elegante Herstellung dreidimensional modulierter Oberflächen aus Plattenmaterialen."[1] Durch das gekrümmte Falten entstehen einfach und doppelt gekrümmte Oberflächen, die das jeweilige Bauteil in seinen statischen Eigenschaften deutlich verbessern. In diesem Projekt untersuchten die Studenten diese formgebende Technik im Architektonischen Kontext zu nutzen und nach dem Prinzip der Schindeln ein Fassadensystem zu entwickeln. Prototypen wurden aus Papier gefertigt und die gewonnenen Erkenntnisse in ein parametrisches Modell übertragen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Mit dem digitalen parametrischen Modell konnte die Fertigung und das Formungsverhalten der einzelnen Bauteile zuerst simuliert und im Anschluss umgesetzt werden. Dazu kamen drei simultan arbeitende Roboterarme zum Einsatz die das Blech in die gewünschte Form brachten.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Wie im Projekt kann diese Methode für Fassadensysteme, selbsttragende aber auch statisch relevante Bauteile im Leichtbau genutzt werden.

**Quellen:**
http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/d/lehre/207.html
[1]Jahrbuch 2012 DARCH ETH Zürich, Seite 171

# Prozedurale Landschaften



**Planer:** Gramazio & Kohler + Studenten
**Spezialplaner:**
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
Generative landschaftliche Formationsprozesse

**Materialien:**
Sand, Lehm, Beton (Formlos)

**Fertigungsmethode:**
Robotergestützte Schüttung

**Bauteil:**
Primärbauteil: Individuelles Betonfertigteil
Sekundärbauteil: Individuelle Betonschalung aus wiederverwendbarem Material

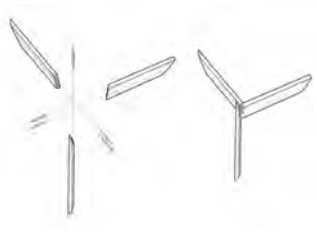
**Beschreibung:**
Das Projekt gliedert sich in zwei Teile, der erste Teil befasst sich mit der Analyse landschaftlicher Formationsprozesse und deren Komplexität bei der Entstehung sowie deren Übertragung in einen generativen Algorithmus. Der zweite Teil des Projekts befasste sich damit diese Erkenntnisse zu vertiefen und umzusetzen. Ziel war es eine Betonschalung mit nicht-standardisierter Oberfläche zu entwickeln. Dies wurde mittels eines Roboters durch Schüttung granulöser Materialien, wie zum Beispiel Sand umzusetzen.

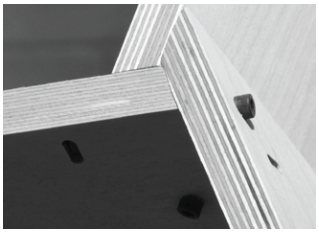
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Üblicherweise ist die Herstellung von nichts-standardisierten Betonschalungen ein Zeit und Materialintensiver Prozess, bei dem bei den bisherigen Methoden das Schalungsmaterial nicht wieder in den Kreislauf eingespeist wird. Der Einsatz loser, granulöser Materialien in Form von Sand oder Lehm bzw. speziellem Ölsand verspricht eine einfachere Fertigung der Schalung, da diese lediglich geschüttet, bzw. modelliert werden muss und im Anschluss an das Ausschalen, das Schalungsmaterial nach eventueller Wiederaufbereitung erneut genutzt werden kann.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Diese Methode der Schalung eignet sich besonders für die Fertigung von Einzelstücken oder Kleinstserien als Betonfertigteile, wie zum Beispiel Verschalungen oder Einbauteile. Derzeit ist es jedoch nur möglich eine Seite der Bauteile durch den behandelten Sand zu Formen. Hier lohnt sich möglicherweise ein Blick in Richtung des Metallgusses, bei dem schon seit jeher die Nutzung von Formen aus Gusssand zum Einsatz kommt und somit komplexe Geometrien mit Hinterschnitten und Durchstößen gefertigt werden können.

**Quellen:**
http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/d/lehre/208.html
http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/d/lehre/211.html
Jahrbuch 2012 DARCH ETH Zürich, Seite 172

# Robotic Reticulations





**Planer:** Wes McGee; David Pigram; Maciej Kaczynski
**Spezialplaner:**
**Standort:**
**Fertigstellung:** 2011

| **Schwerpunkt:** | **Materialien:** | **Fertigungsmethode:** |
|---|---|---|
| Parametrische Formfindung; Digitale Fertigung | Birkensperrholz (Plattenwerkstoff) | 3-Achs-CNC<br>5-Achs-CNC |

**Bauteil:**
Bauteile mit unterschiedlichen Zuschnitten, jeweils gleiche Arbeitsschritte

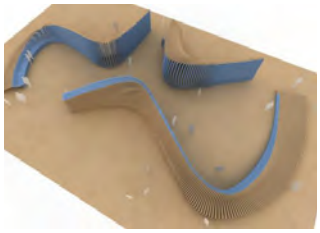
**Beschreibung:**
Der Prototyp liegt einer hexagonalen Netzstruktur zu Grunde, bei der sich jeweils drei Träger in einem Punkt treffen. Die Formfindung fand über ein selbstentwickeltes Skript statt. Bei dem die Detailierung sämtlicher Bauteile auf ein und demselben Grundsystem beruht. Jeweils drei Träger treffen sich in einem Punkt (siehe oben), diese Festlegung begrenzte die Bandbreite der möglichen Winkel. Jeder Träger ist mit dem Anstoßenden Träger über zwei Schrauben mit eigesetzten Muttern verbunden. Ziel war es eine sich selbstragende Struktur zu entwickeln, die auf einem einfachen System beruht, effizient gefertigt und ohne temporäre Hilfskonstruktionen montiert werden kann. Sämtliche Fertigungsrelevante Daten wurden direkt aus dem digitalen Modell ausgelesen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Der Fertigungsprozess ist so angelegt, dass die große Anzahl an Einzelteilen effizient umgesetzt werden kann, denn obwohl sich die Bauteile in ihren Abmessungen und Winkeln unterscheiden unterliegen sie demselben Fertigungsmuster: Zuschneiden, Fräsen und Bohren. Aus insgesamt 4 Birkensperrholzplatten von 1,2 x 2,4 m und einer Stärke von 18mm wurden die Bauteile von einer großformatigen 3-Achs-CNC-Fräse grob ausgeschnitten. Im Anschluss wurden die Bauteile auf einer kleineren 5-Achs-CNC -Maschine präziser bearbeitet, zuerst wurden die Einschnitte für die Schraubenmuttern vorgenommen, dann die Bauteile auf ihre äußere Geometrie zugeschnitten und im Anschluss die Schraublöcher gebohrt. Mit automatisiertem Werkzeugwechsel dauerte die Bearbeitung jedes Elements ca. zwei Minuten. Der Prototyp wie geringe Abweichungen auf, die jedoch durch die Materialeigenschaften von Holz weniger schwer ins Gewicht fielen. Der Aufbau fand ohne temporäre Hilfskonstruktion statt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Für die Anwendung in größeren Dimensionen sehen die Entwickler dennoch Bedarf für den Einsatz von Hilfskonstruktionen. Durch die Nutzung kleiner/mobiler Fertigungsmaschinen ist eine direkte Baustellenfertigung denkbar.

**Quellen:**
CAADRIA 2012, Beyond Codes and Pixels, Robotic Rod-bending S. 295-304

# Voilà - AKA-Gastspiel in der Staatsgalerie



**Planer:** Studenten der Akademie der bildenen Künste
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** Stuttgart, Deutschland
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
Parametrisiertes Modell und digitale Fertigung

**Materialien:**
Pappe
(Pappröhre, Profilwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteil:**
500 Rohrrahmen aus 7578 Einzelteilen, die aus 3500 einzelnen Pappröhren gefertigt wurden. 4200 schräge Schnitte unterschiedlicher Winkel und 2800 gerade Schnitte.

**Beschreibung:**
Die Ausstellungsarchitektur der Ausstellung „Voilá" der Akademie der Bildenden Künste Stuttgart sowie der Staatsgalerie Stuttgart, besteht aus einer dreidimensionalen Raumskulptur, welche die unterschiedlichen Kunstwerke präsentiert. Das Raumgebilde ist von der Wand losgelöst und bietet für jedes Exponat die passende Präsentationsfläche, in Hinsicht auf Blickwinkel und Distanz zum Besucher. Um bei der Planung Änderungen besser und schneller übertragen zu können wurde an einem parametrischen Modell geplant, so konnten Änderungen schnell und direkt übernommen werden. Die Ausstellungsarchitektur produziert keinen zusätzlichen Abfall, sondern besteht ganz nach dem Prinzip Cradle-to-cradle aus Papprollen aus der Druckindustrie, die nach ihrem Gebrauch dem Recyclingkreislauf wieder zugeführt werden.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Durch die Planung mit einem Parametrischen Modell in Rhino 3D und die Nutzung der Programmkomponenten Grasshopper und Rhinoskript konnte der physische Arbeitsaufwand reduziert werden, sodass die Übertragung der Fertigungsdaten direkt aus dem 3D-Modell in die CNC-Fertigung möglich war. Alle Bauteile, sowohl die einzelnen Pappröhren, als auch die notwendigen Verstärkungen der Winkel wurden in einem direkten Prozess nach Anforderungen der Statik, Abmessungen und Radien entwickelt und gefertigt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Anwendung im selben Material ebenfalls für temporäre bzw. witterungsgeschützte Objekte. Anwendung auf jedmögliche Profilwerkstoffe, die bezüglich Länge und Winkel individuell zugeschnitten werden müssen.

**Quellen:**
http://www.de.abk-stuttgart.de/?p=1139
http://www.boris.ruether.de/blog/2011/voila%E2%80%89-%E2%80%89aka-gastspiel-in-der-staatsgalerie/

# Arum

**Planer:** Zaha Hadid
**Spezialplaner:** Block Research Group
**Standort:** Venedig, Italien (Biennale)
**Fertigstellung:** 2012

**Schwerpunkt:**
Generierung einer selbsttragenden Struktur aus gekrümmten Flächen

**Materialien:**
Stahlbleche (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
Robotergestützte Faltung

**Bauteil:**
Einzelne gekrümmt gebogene Blechunikate

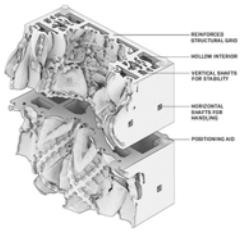
**Beschreibung:**
Die etwa sechs Meter (20 Fuß) hohe Kunstinstallation von Zaha Hadid und Patrick Schumacher auf der Architekturbiennale 2012 in Venedig ist angelehnt an die Werke der Leichtpioniere Frei Otto und Heinz Isler. Die Skulptur besteht aus dünnwandigen Stahlplatten die sich durch gekrümmte Faltung selbst versteifen. Die Form wurde mittels eines generativen algorithmischen Prozesses mit einem parametrischen Modell entwickelt und optimiert.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Aus dem digitalen 3D-Modell wurden nötigen Fertigungsparameter ausgelesen und nach dem „Robofold"-Prinzip mit Hilfe von 6-Achs-Robotern gefertigt, die einzelnen Bleche sind miteinander vernietet.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Wie an diesem Beispiel zu sehen ist können mit der Methode gekrümmt gebogener Bleche selbstragende Installationen gefertigt werden. Diese können zum Beispiel zur als Überdachung oder ähnliches genutzt werden. Der nächste Schritt wäre es Strukturen zu entwickeln die zusätzliche Lasten aufnehmen können.

**Quellen:**
http://www.archdaily.com/269061/venice-biennale-2012-arum-zaha-hadid/
http://archrecord.construction.com/features/snapshot/2012/1210_Arum.asp

# Digital Grotesque



**Planer:** Michael Hansmeyer, Benjamin Dillenburger
**Spezialplaner:**
**Standort:** FRAC Centre in Orléans (Frankreich)
**Fertigstellung:** 2014

**Schwerpunkt:**
algorithmischer Entwurfsprozess; digitale Fertigung mit additiven Verfahren

**Materialien:**
künstlicher Sandstein (Formlos)

**Fertigungsmethode:**
3D-Druck (3D-Printing)

**Bauteil:**
16m² und 3,2m hohe Rauminstallation aus 65 Einzelteilen aus 5t künstlichem Standstein

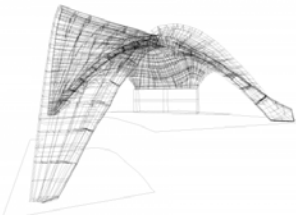
**Beschreibung:**
Die Architekten entwarfen ihre Struktur weder mit Stift und Papier, noch mit Maus und CAD Programmen sondern über die Definition von Algorithmen und formgebenden Funktionen. Während in bisherigen Architekturprojekten mit computergenerierten Geometrie das Ziel war möglichst Glatte und minimierte Oberflächen zu erhalten. War das Entwurfsziel bei diesem Projekt das genaue Gegenteil. Aus einer einfachen Grundform wurden in einem rekursiven Prozess die Oberflächen aufgeteilt und verfeinert, sodass am Ende ca. 260 Millionen individuelle Oberflächen entstanden sind. Jedes architektonische Detail der Installation wurde über einen individuellen Algorithmus ohne manuelle Eingriffe generiert.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Oberfläche der Installation erreicht mit 250 Mio. Facetten eine Komplexität die von Hand weder plan- noch ausführbar gewesen wäre. Die Planer waren sich dessen bewusst und griffen direkt auf ein additives Verfahren mit künstlichem Sandstein zurück. Der eingesetzte Drucker ermöglichte es Bauteile in einer Größe von bis zu 4x2x1 Metern und mit einer Auflösung von 0.13 Millimetern Schichtdicke zu drucken. Durch den 3D Druck ist es möglich hochkomplexe und detaillierte Projekte zum gleichen Preis zu drucken wie etwa einfache Kuben. Der Maschine ist es egal wo sie Material verklebt und wo nicht. Durch den Einsatz des 3D-Druckers, der lediglich die digitalen benötigte und die Installation direkt im dreidimensionalen Raum umsetzte, konnte auf Grundrisse, Schnitte und Detailzeichnungen verzichtet werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Durch additive Verfahren ist es egal welche Form das zu fertigende Objekt besitzt. Es können sowohl Einzel, Kleinserien und Serienteile gedruckt werden. Die Kosten setzten sich lediglich aus der Betriebszeit und dem verbauten Material (Volumen) zusammen. Es sind nahezu alle Formen denkbar.

**Quellen:**
http://www.digital-grotesque.com/
Baunetzwoche #360
http://www.voxeljet.de/uploads/tx_sdreferences/pdf/sand_model_Grotte_dt_2013-10-08_jb.pdf

# Stone Vault Pavillon



**Planer:** Prototyp/Mock-up
**Spezialplaner:** Matthias Rippmann (Block Research Group)
**Standort:**
**Fertigstellung:**

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Entwurfsmodell / digitales Hängemodell

**Materialien:**
Stein

**Fertigungsmethode:**
3D-Druck (Modell)
CNC-Steinsäge

**Bauteil:**
Individuelle Bausteine eines asymmetrischen Steingewölbes

**Beschreibung:**
Der Stone Vault Pavillon ist ein dem klassischen Steingewölbe entlehntes Projekt, das eine asymmetrische Form besitzt. Der Einsatz eines iterativen Generierungsprozess der Geometrie ermöglichte, dass auf diese nur Druckkräfte wirken. Für die Geometrisierung wurde eigens das Rhino Plug-in Rhino_Vault entwickelt. Die Gesamtgeometrie sowie die Geometrie der einzelnen Bauteile und deren Detailierung werden mit Hilfe der Software generiert. Dies Bauteile sind so geometrisiert, dass sie sich unter Druckbelastung wechselseitig verzahnen/verkeilen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Für das Modell des Stone Vault Pavillon wurden die einzelnen Bausteine mittels 3D-Drucker gedruckt. Diese werden in einer Negativform gestapelt und können ohne Klebstoffe oder sonstige Verbindungsmittel aufgestellt werden, da nur Druckkräfte auf sie wirken. Für ein reales Projekt könnten die Bauteile mittels CNC-Bearbeitung aus Stein hergestellt werden und wie ein klassisches Gewölbe errichtet werden, durch die reine Wirkung von Druckkräften und die intelligente Bauteilgeometrie, versteift sich die Struktur selbst.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Bei historischen Beispielen wurden in den meisten Fällen symmetrische und damit mathematisch beherrschbare Gewölbe gewählt. Heutzutage stehen den Architekten und Planern leistungsfähige Computer zur Verfügung, die es ihnen ermöglichen „Freiformgewölbe“ zu entwerfen und ihnen gestalterisch einen deutlich breiteren Spielraum zur Verfügung stellen.

**Quellen:**
http://www.block.arch.ethz.ch/projects/stone-vault-pavilion
http://equilibriumstone.wordpress.com/

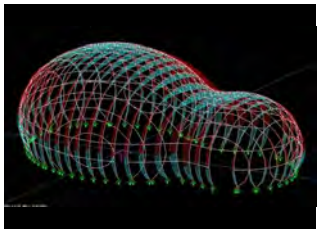
# 4.3
# Pavillons

Projekte zur Prüfung und Erprobung von Planungs- und Fertigungsmethoden mit bereits existierenden Fertigungsmaschinen und -Werkzeugen. Entwicklung und Realisierung von in der Regel (bedingt) wetterbeständigen, teilweise temporären Bauten mit geringen Anforderungen an das Klima für den Nutzer.

**Projekte**

Bubble ..... 72
Loop ..... 73
Accelerator ..... 74
Dynaform ..... 75
Web of North-Holland ..... 76
Swissbau Pavillon ..... 77
Serpentine Gallery Pavillon ..... 78
Station Hungerburgbahn ..... 79
(C) Space DRL 10 Pavillon ..... 80
Shadow Pavillon ..... 81
West Fest Pavillon ..... 82
Art615 Pavillon ..... 83
Das sequenzielle Tragwerk ..... 84
Fab Lab House ..... 85
Forschungspavillon Uni Stuttgart 2010 ..... 86
Dragon Skin Pavillon ..... 87
Boston Harbor Island Pavillon ..... 88
Hexigloo Pavillon ..... 89
Forschungspavillon Uni Stuttgart 2011 ..... 90
Pudelma Pavillon ..... 91
Point.One ..... 92
Tiger & Turtle - Magic Mountain ..... 93
Forschungspavillon Uni Stuttgart 2012 ..... 94
Forstpavillon in Schwäbisch Gmünd ..... 95
Voxeljet 3D Druck Haus ..... 96
Überdachung der Capodichino Metro Station ..... 97

# Bubble



**Planer:** Franken-Architekten; Bollinger+Grohmann
**Spezialplaner:**
**Standort:** IAA Frankfurt am Main, Deutschland
**Fertigstellung:** 1999

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Modell zur Formfindung, digitalisierte Fertigung

**Materialien:**
Aluminium, Acrylglas (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Wasserstrahlschneider (Aluminium); CNC-Fräse (Acrylglasformen)

**Bauteil:**
Aluminiumrippen bestehend aus 3500 individuellen Bauteilen
305 individuell geformte Acrylglasscheiben

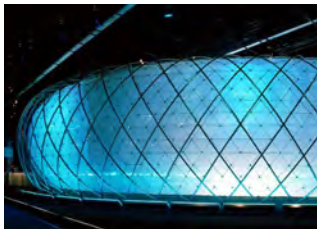
**Beschreibung:**
Der Bubble ist ein von Franken-Architekten für BMW entworfener Messepavillon für die IAA'99 in Frankfurt. Die Form der sich überschneidenden Wassertropfen sollte die Idee der „sauberen Energie" transportieren. Die Formfindung fand digital statt, dazu verwendeten die Architekten einen dynamischen Prozess, um die Balance zwischen internem Druck und der Oberflächenspannung eines Wassertropfens zu simulieren und die physikalischen Kräfte zweier sich überschneidenden Tropfen unter dem Einfluss ihrer Anziehungskräfte zu generieren. Aus dieser digitalen Urform wurden alle nötigen Daten zur Realisierung des Projekts abgeleitet.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Struktur besteht aus tragenden Rippen die in einem orthogonalen Netz die Form der Struktur erzeugt und einer Hülle aus doppelt gekrümmten Acrylglasscheiben.
Die Rippen bestehen aus 3 Lagen Aluminium, wurde mittels CNC-Wasserstrahlschneider aus Aluminiumplatten ausgeschnitten. Gefertigt wurden die 3500 individuellen Bauteile in sieben unterschiedlichen Fabriken/Werkstätten. Die Bauteile wurden schon während der Produktion mit den nötigen Bohrlöchern und Markierungen versehen um die manuellen Schritte auf der Baustelle zu vereinfachen und den Arbeits- und Zeitaufwand zu reduzieren. Die Hülle des Bubble besteht aus 305 individuell geformten Acrylglasscheiben. Diese wurden auf eigens dafür angefertigten Formen thermisch verformt (tiefgezogen). Die Formen dafür wurden aus dem digitalen Modell generiert und aus Schaumblöcken mittels CNC-Fräse gefertigt. Im Anschluss an das tiefziehen wurden die Kanten der Scheiben ebenfalls gefräst.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
»Der Bubble war eines der ersten durchgängig vom Entwurf bis in die Fertigung digital gefertigten Gebäude weltweit.«[1] Der Pavillon zeigt in seiner Reduziertheit der Materialien auf, dass eine durchgängige Prozesskette in Teilbereichen möglich ist**.**

**Quellen:**
[1]http://www.franken-architekten.de
Architecture in the digital age: Design and Manufacturing
Digital Fabrication in Architecture S. 152-153

# Loop



**Planer:** Ingenhoven Overdiek und Partner; Werner Sobek
**Spezialplaner:** Arnold Walz (designtoproduction)
**Standort:** IAA Frankfurt am Main, Deutschland
**Fertigstellung:** 1999

**Schwerpunkt:**
Digitalisiertes, automatisiertes Planungsmodell

**Materialien:**
Stahl (Profile und Seile), Glas (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fertigung

**Bauteil:**
ca. 10000 flache Glasscheiben, Edelstahlrohre und engmaschiges Seilnetz

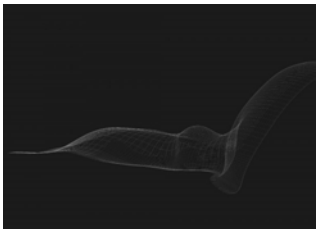
**Beschreibung:**
Die Ausgangsbasis des Pavillons ist ein Mäander aus sechs verschiedenen Grundelementen („Tortenstücken") mit unterschiedlichen Radien für die Innen- und Außenbögen zudem waren zwei Sonderelemente notwendig. Der komplette Pavillon besteht aus einer tragenden Stabstruktur aus gebogenen, sich kreuzenden Edelstahlrohren, zwischen diesen ist ein engmaschiges Seilnetz gespannt, welches die Glaseindeckung aus 4 mm starken Scheiben aus satiniertem ESG-Glas hält. Die Wandhöhe beträgt sechs Meter und die Gesamtlänge des Mäanders je nach Standgröße zwischen 100 bis 300 Metern.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Zur Generierung des statischen Systems sowie zur Herstellung der gebogenen Edelstahlrohre, Knotendetails, Seillängen sowie der ca. 10000 Glasscheiben wurde ein Teilautomatisiertes Modell erstellt, das aus Modellblöcken und Grundgeometrien des Stands bestand und die Abfolge von Arbeitsschritten automatisierte. Durch ein weiteres Skript konnten die Fertigungsgeometrien aller Bauteile nach einer logischen Abfolge nummeriert ausgelesen und für den Fertigungs- und Montageprozess verwendet werden, alle Bauteile wurden physisch durchnummeriert, bei den Glasscheiben erfolgte dies mit reversiblen Klebemarkierung. Während der Zuschnitt der Glasscheiben mit digitalen Maschinen erfolgte, mussten die doppelt gekrümmten Rohre analog in Form gebracht werden, da zu diesem Zeitpunkt noch keine Maschine existiertet die diese Aufgabe digital durchführen konnte.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Digitale Planungsmodelle bei denen Bauteile in gegenseitiger Abhängigkeit stehen, in einer logischen Abfolge durchnummeriert sind und dadurch direkt digital gefertigt werden und nach dem Baukastenprinzip montiert werden können. Das Projekt zeigt aber auch, dass zum damaligen Zeitpunkt nicht alle relevanten Fertigungswerkzeuge zur Verfügung standen und auf analoge Methoden zurückgegriffen werden musste.

**Quellen:**
http://www.ingenhovenarchitects.com
http://www.wernersobek.de
http://www.a-walz.eu/flash/

# Accelerator



**Planer:** Franken-Architekten; Bollinger+Grohmann; IBZ+L
**Spezialplaner:**
**Standort:** Auto-Salon, Genf, Schweiz
**Fertigstellung:** 2000

**Schwerpunkt:**
Digitale Prozesskette

**Materialien:**
Stahl (Rohrprofil)
Aluminium (Rohrprofil)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Biegemaschine

**Bauteil:**
Mehrfach gekrümmte Gitterschale mit überspannter Fläche von 3000m²
Doppelt gekrümmte Aluminiumprofile, Einfach gekrümmte Stahlrohre

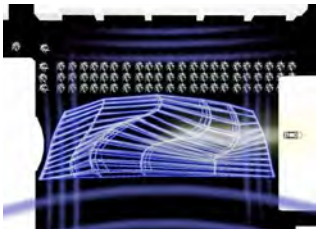
**Beschreibung:**
Die mehrfachgekrümmte Gitterschale des Messeauftritts von BMW auf dem Genfer Auto-Salon wurde mithilfe einer Simulation von Energiebahnen, die sich um ein, »Accelerator« genanntes, rotierendes Kräftezentrum drehen, erzeugt.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Der äußere Rahmen wurde, zur besseren Momentenaufnahme, aus einfach gekrümmten miteinander verschweißten Stahlrohrprofilsegmenten verschweißt. Die innere Gitternetzstruktur besteht aus doppelt gekrümmten Aluminiumprofilen mit einem Durchmesser von 90mm, diese wurden mit Hilfe einer CNC-Biegemaschine doppelt gekrümmt gebogen. Die Aluminiumstangen sind alle unterschiedlich gebogen, die Verbindungen zwischen den Aluminiumstangen untereinander und dem Stahlrahmen sind alle identisch gehalten.
Montiert wurde die Gesamtstruktur in einzelnen Abschnitten mit einer maximalen Größe von 25x15x6m in einer Halle mittels eines flexiblen Montagegestells.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
»Die Gitterschale des Messeauftritts war eines der ersten im mass-customisation Verfahren individuell computergesteuert gefertigten Konstruktionen.«[1]
Projekte wie dieses dienen in vielen Fällen als Türöffner für neue bzw. bis dahin im Bauwesen nicht angewandte Fertigungsmethoden.

**Quellen:**
[1]http://www.franken-architekten.de
Architecture in the digital age: Design and Manufacturing

# Dynaform



**Planer:** Franken-Architekten; Bollinger+Grohmann; IBZ+L
**Spezialplaner:** Arnold Walz (designtoproduction)
**Standort:** IAA Frankfurt am Main, Deutschland
**Fertigstellung:** 2001

**Schwerpunkt:**
Digitale Prozesskette

**Materialien:**
Stahl (Plattenwerkstoff)
Membran (EFTE-Folie)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Plasmaschneider
Schweißen (manuell)
Zuschnitt (manuell)

**Bauteil:**
15 geschweißte Träger in Hohlkastenprofil aus über 30000 individuellen Bauteilen
Einseitig vorgespannte Membrane

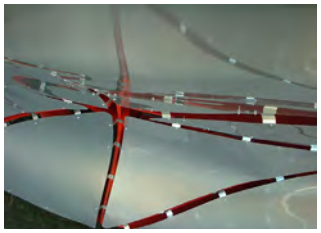
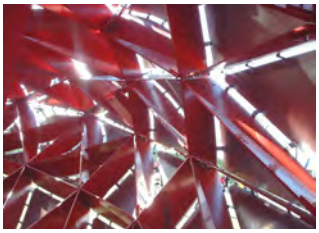
**Beschreibung:**
»Der computergestützte Entwurfs-, Planungs- und Fertigungsprozess bestimmte sowohl die Architektur als auch die Machbarkeit der Form. Sie entwickelte sich innerhalb eines dynamischen Prozesses, in dem eine ursprünglich regelmäßig geometrische Form durch simulierte Kräfte verformt wurde. Die damit erzeugte Urgeometrie war die Grundlage des weiteren Planungs- und Bauprozesses.«[1]
Als Ergebnis entstand ein digitales Geometriemodell, welches den gesamten Prozess über, bis in die Produktion hinein genutzt wurde. Veränderungen im Modell konnten nur unter der Zustimmung aller Beteiligten vollzogen werden. Das Tragwerk des Pavillons besteht aus 15 geschweißten Hohlkästen nach den Prinzipien des Vierendelträgers, der Abstand zwischen den Stützen beträgt 8 Meter. Die gesamte Struktur ist mit einseitig vorgespannten Membranen bespannt, dies war zum damaligen Zeitpunkt ein Novum.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Obwohl der komplette Prozess vom Entwurf über die Planung bis in die Fertigung digitalisiert wurde. Wurde in der Fertigung viele Schritte manuell von Hand erledigt, da die notwendigen digital steuerbaren Maschinen fehlten, bzw. noch nicht zur Verfügung standen. Die 30000 individuellen Einzelteile der 15 Hohlkastenträger mittels digitaler Daten per CNC-Plasmaschneider gefertigt. Die Hohlkastenträger wurden im Anschluss jedoch manuell geschweißt, da geeignete Schweißroboter nicht zur Verfügung standen. Der Zuschnitt der Membrane wurde ebenfalls digital ermittelt, da es jedoch noch keine geeigneten Maschinen gab, musste der Zuschnitt ebenfalls manuell stattfinden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Ein sehr frühes Projekt, welches zeigt, dass durchgängige digitale Planung im Bauen möglich ist, es jedoch auch daran scheitern kann, dass es noch keine geeigneten digitalen Fertigungsmaschinen gibt.

**Quellen:**
http://www.franken-architekten.de
[1]http://www.bollinger-grohmann.de/
Architecture in the digital age: Design and Manufacturing
Digital Fabrication in Architecture S. 162-163; Tiefbau 11/2008 S.658f

# Web of North-Holland

**Planer:** ONL [Oosterhuis Lénárd] Kas Oosterhuis
**Spezialplaner:**
**Standort:** Haarlemmermeer, Niederlande
**Fertigstellung:** 2002

**Schwerpunkt:**
„File-to-Factory“ vom parametrischen Modell zur Fertigung

**Materialien:**
Stahl, HYLITE-Aluminium-paneel (Plattenwerkstoffe)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse (Stahl); CNC-Wasserstrahlschneider (HYLITE)

**Bauteil:**
Triangulierte Tragstruktur aus flachen gefalteten Stahlplatten (jede Platte ein Einzelstück), Außenhaut bestehend aus dreieckigen Aluminiumpaneelen.

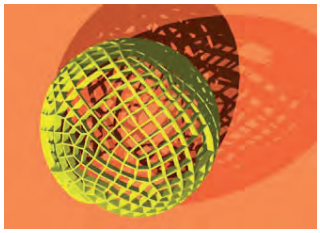
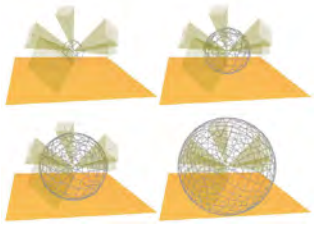
**Beschreibung:**
Der Pavillon für die internationale Gartenausstellung Floriade in den Niederlanden aus dem Jahr 2002, besteht aus einem triangulierten Stahltragwerk aus diagonal gefalteten, flachen Stahlstreben, die aus Stahlplatten ausgefräst und im Anschluss gebogen wurden. Dieses Stahltragwerk ist mit einer äußert dünnen Haut aus dem Verbundwerkstoff HYLITE in Form von dreieckigen Paneelen verkleidet. Der Verbundwerkstoff besteht aus einem Kern aus Polypropylen zwischen zwei hauchdünnen Schichten aus Aluminium und ist weniger als 2mm stark. Die Planung erfolgte an einem digitalen Parametrischen Modell, 2D-Zeichnungen spielten im Planungs- und Fertigungsprozess keinerlei Rolle.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Um einen „File-to-Factory“ Prozess zu ermöglichen entwickelte das Team von ONL mehrere digitale Schnittstellen damit die Daten direkt aus dem digitalen Modell in die Fertigungsmaschinen eingelesen werden konnten. Für jedes Bauteil waren die einzelnen Arbeitsschritte sowie die jeweils dazugehörigen Daten in einer Datenbank abgelegt. Im Anschluss an die Fertigung wurden die Einzelteile im Werk montiert und abgeglichen, danach wurden sie weiterbehandelt (u.a. beschichtet) und am Zielort wieder aufgebaut. Die Fertigung der Paneele war deutlich einfacher, diese wurden von einem Wasserstrahlschneider gefertigt und später angebracht, durch ihre Flexibilität konnten sie elastisch in Form gebracht werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Besonders die einzelnen selbstentwickelten Programme und Skripte zur Überbrückung der Schnittstellen/Lücken zwischen dem digitalen parametrischen Modell und der Fertigung/den Fertigungsmaschinen sind für das Bauwesen im Sinne eines durchgängigen Digitalen Prozesses, hier dem „File-to-Factory“, von enormer Bedeutung.

**Quellen:**
http://www.oosterhuis.nl
Wendepunkte im Bauen: Von der seriellen zur digitalen Architektur S.160
ACADIA 2004, Responsive Environment, S. 294-305

# Swissbau Pavillon

**Planer:** CAAD (Ludger Hovestadt) - ETH Zürich
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** Basel, Schweiz
**Fertigstellung:** 2005

**Schwerpunkt:**
Generatives Entwerfen mit durchgängier digitaler Prozesskette

**Materialien:**
Holz
(OSB-Plattenwerkstoff)
Kautschuk

**Fertigungsmethode:**
5-Achs-CNC-Fräse;
CNC-Wasserstrahlschneider

**Bauteil:**
321 unterschiedlichen Holzkassetten mit einer Kantenlänge zwischen 20 und 40 cm bestehend aus 1200 individuelle Einzelteile aus Holz, 350 Kautschukpolygone diene als Dachhaut und 4 unterschiedlich große Fenster.

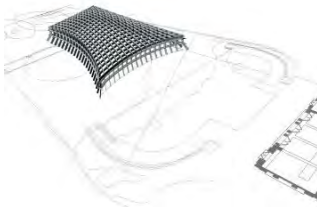
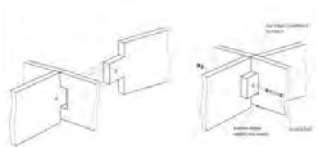
**Beschreibung:**
Der Kugelförmige Pavillon mit einem Durchmesser von 4 Metern und einer Höhe von 3 Metern wurde vom computergestützten Design bis zur digitalisierten Fertigung in einer durchgängigen „digitalen Kette" organisiert. Zu Beginn wurde mit einem generativen Skript gearbeitet, welches die Kassettenkuppel als Ausgangspunkt definiert hatte. Dabei war das Skript so angelegt, dass sich nicht die Öffnungen nach der Struktur, sondern die Struktur nach den Öffnungen zu richten hatte. Das Netz wurde in einem digitalen Wachstumsprozess an die Rahmenbedingungen der Öffnungen sowie der Fussbodenebene angepasst.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Daten aus dem Generativen Modell wurden im CML-Datenformat ausgelesen, im CAD-Programm Vectorworks wurden aus diesen Daten mit Hilfe eines weiteren Skripts sämtliche Geometrien der Bauteile, einschließlich Bohrlöcher, Gehrungswinkel, etc. generiert und eindeutig nummeriert. Aus den daraus gewonnenen Fertigungsdaten konnte der G-Code der 1200 Einzelteile der Holzkassetten für die Steuerung der CNC 5-Achs-Fräse gewonnen werden. Die Herstellung der vier unterschiedlich großen Fenster sowie der Dachhaut aus Kautschukpolygonen fand ebenfalls mit dem Einsatz von CNC-Maschinen statt. Den Urhebern zufolge lag das Projekt, aufgrund der digitalen Fertigungskette, 80% unter den Kosten einer herkömmlichen Herstellung.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Regelbasierte Details, wie bei diesem Projekt, die in der Fertigung beherrschbar sind, ermöglichen es, dass die Gesamtform keine Rolle spielt, sondern sich nach äußeren Parametern/Einflüssen richten kann und in einem iterativen Generierungsprozess die beste Lösung finden lässt.

**Quellen:**
http://wiki.arch.ethz.ch/twiki/pub/Extern/Mesher/2005_SWISSBAU_v01_DE_web.pdf
From control to design - parametric/algorithmic architecture S.174/175
Jenseits des Rasters - Architektur und Informationstechnologie
Manufacturing Material Effects S.213

# Serpentine Gallery Pavillon

**Planer:** Álvaro Siza Vieira und Eduardo Souto de Moura
**Spezialplaner:** ARUP
**Standort:** London, Vereinigtes Königreich
**Fertigstellung:** 2005

**Schwerpunkt:**
regelbasierte Details, digitale Fertigung

**Materialien:**
Holz (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
5-Achs-CNC-Fräse

**Bauteil:**
427 unterschiedliche Trägerelemente

**Beschreibung:**
Der Pavillon besteht aus einem Raumtragwerk (Gitterschale) aus 427 unterschiedlichen Holzelementen und ist mit einer Dachhaut aus Polycarbonatplatten bekleidet. Beim Entwurf kam es den beiden Architekten Álvaro Siza Vieira und Eduardo Souto de Moura, sowie der Ingenieurin Cecil Balmond von Arup darauf an einen Pavillon zu entwickeln, der schnell und einfach zu Fertigen und zu errichten ist. Die Holzelemente des Raumtragwerks spannen über zwei Felder der Gitterschale, ihre Anschlüsse und Details sind regelbasiert. Die Geometrien der Holzelemente wurden anhand eines parametrischen Modells an die Anforderungen angepasst und optimiert, im Anschluss daran konnten die nötigen Fertigungsdaten für die 5-Achs-CNC-Fräse ausgelesen werden.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die einzelnen Bauteile besitzen in ihrer Mitte eine quadratische Öffnung und den Enden jeweils einen langen und einen kurzen Zapfen, jeweils einer der beiden Zapfen beider Elemente wird durch die Quadratische Öffnung in der Mitte eines dritten Elements gesteckt und durch einen Bolzen miteinander verbunden. Aufgrund dieser Vereinfachung der Details und der direkten Ausgabe der Fertigungsdaten aus dem digitalen Datenmodell konnten die Bauteile zügig gefertigt und auf der Baustelle schnell und einfach zusammengefügt werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die Minimierung der verwendeten Baumaterialien, sowie deren Stückzahlen und die Reduktion der Montagezeit auf der Baustelle sind beispielhafte Ansätze für das Bauwesen. Durch den Einsatz digitaler Fertigungsmaschinen und der Nutzung regelbasierter Details konnten präzise Bauteile gefertigt werden die auf der Baustelle ohne Nachbearbeitung einfach zu fügen waren. Die Arbeitszeit auf der Baustelle wird durch Vorarbeiten in der Planung und der Fertigung verkürzt.

**Quellen:**
From Control to Design – Parametric/Algorithmic Architecture S.44-49
Architectural Design Nr. 185 S. 102-106

# Station Hungerburgbahn

**Architekt:** Zaha Hadid
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** Innsbruck, Österreich
**Fertigstellung:** 2007

**Schwerpunkt:**
Parametrische Details und digitale Fertigung (Halterung für Glaspaneele)

**Materialien:**
Kunststoff (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
5-Achs-CNC Fräse (Flankenfräsen)

**Bauteil:**
Kunststoffhalterung zur Befestigung der Glaspaneele am Stahltragwerk

**Beschreibung:**
Die Hungerburgbahn im österreichischen Innsbruck verfügt über vier unterschiedlich gestaltete Stationen. Jede Station verfügt über eine freigeformte Überdachung. Als Grundlage dient eine Stahlkonstruktion, die mit teilweise doppelt gekrümmten Glaspaneelen verkleidet ist. Aufgrund der geometrischen Komplexität der Überdachung fand eine enge Zusammenarbeit zwischen den Architekten, Tragwerksplanern und ausführenden Gewerken mittels 3D-Modellen statt. Für die Darstellung auf konventionellen 2D-Plänen waren die Entwürfe zu komplex waren. Für die Anbringung der Glaspaneele wurden unterschiedliche Ansätze durchgeplant, als effizientestes Anschlussdetail stellten sich, an die Form des Tragwerks angepasste, gefräste PE-Profile heraus, die zur Anbringung der Gläser immer dasselbe Detail aufweisen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Fertigung sämtlicher Komponente fand mit Hilfe der aus dem parametrischen 3D-Modell ausgelesenen Daten statt. So wurden zum Beispiel die Halterung der zweifach gekrümmten Glaspaneele individuell aus PE-Platten im Flankenfräsverfahren mit Hilfe einer CNC-Fräse gefertigt. Die Fertigung fand vollautomatisch mit direkten digitalen Daten statt, da der CNC-Fräse genau die Daten zur Verfügung gestellt wurden, die diese zur präzisen Fertigung benötigte. Dieser Planungs- und Fertigungsprozess der 2500 unterschiedlichen Teile der Halterung vereinfachte die Produktion und verringerte die Kosten, sowie die Arbeitszeit für die Montage beträchtlich.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Überall wo unterschiedliche Distanzen und Winkel zur Befestigung von Bauteilen/ Paneelen überbrückt werden müssen. Hier zeigt sich, dass aus relativ einfachen Halbzeugen, simple aber effektive Bauteile gefertigt werden können, die Werkzeuge (insbesondere die Maschinen) sind vorhanden.

**Quellen:**
http://www.zaha-hadid.com/architecture/nordpark-railway-stations
From control to design – parametric/algorithmic architecture S.180-185
Digitale Prozesse S.82-85
Manufacturing Material Effects S.215-222

# (C) Space DRL 10 Pavillon

**Planer:** Alan Dempsey und Alvin Huang
**Spezialplaner:**
**Standort:** London, Vereinigtes Königreich
**Fertigstellung:** 2008

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Datenmodell; regelbasierte Details

**Materialien:**
Stahl (15mm), Glasfaserverstärkte Betonplatten (fibreC) (13mm)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Wasserstrahlschneider

**Bauteil:**
856 unterschiedliche Profile aus 15 mm Stahl und 13 mm Glasfaserverstärktem Beton (fibreC) und 2000 Gummiverbindungen.

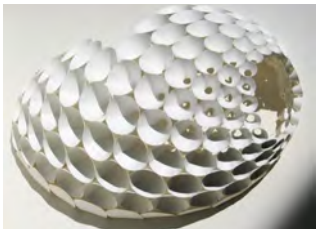
**Beschreibung:**
Der Pavillon der einer unterbrochenen Muschelstruktur gleicht hat eine Spannweite von 10 Metern. Er ist aus glasfaserverstärkten Betonelementen mit einer Stärke von 13mm sowie Weichstahlplatten mit einer Stärke von 15mm gefertigt. Aufgrund der Zugfestigkeit der Faserverstärkten Betonplatten und des Weichstahls konnten ineinander greifende Kerbverbindungen gewählt werden, diese werden von einer passgenau gefertigten Gummidichtung zusammengehalten. Die Einsteckwinkel der Elemente verändern sich kontinuierlich über den Pavillon. Der Entwicklungsprozess fand sowohl digital als auch an physischen Modellen statt, da sowohl die Materialeigenschaften der fibreC Platten, als auch die Steck- und Gummiverbindungen erprobt werden mussten.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Zunächst in Rhino-3D mit Standard modellierwerkzeug frei geformt, wurde der Entwurf in ein parametrisch gesteuertes numerisches 3D-Modell übertragen. Dieses Modell ermöglichte es den Architekten die Geometrie auf statische Ansprüche zu untersuchen und zu optimieren und dabei die formale Qualität des ursprünglichen Entwurfes zu wahren. Aus dem digitalen Modell wurden sowohl für Modelle als auch in Mock-ups sowie für den späteren Pavillon die Fertigungsdaten in unterschiedlichen Maßstäben ausgelesen und für die Fertigung verwendet. Unter anderem für ein Referenzmodell für die Montage aus Pappe, bei der Montage stand immer ein Modell zur Überprüfung parat, Mock-ups aus Sperrholz und natürlich die Bauteile aus fibreC und Weichstahl.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Parametrische Modelle mit einer direkten Schnittstelle zur Fertigung ermöglichen dass schnelle fertigen unterschiedlicher Modelle in verschiedenen Maßstäben und Materialstärken. Bei komplexen Formen sind 2D Pläne ungenügend ein physisches Modell mit eindeutig nummerierten Bauteilen ist für die richtige Umsetzung unerlässlich. Regelbasierte Details variieren in der Herstellung untereinander sind in der Montage jedoch immer ähnlich.

**Quellen:**
http://www.beton.org/sixcms/detail.php?id=45313
http://cspacepavilion.blogspot.de/

# Shadow Pavillon



**Planer:** PLY Architecture
**Spezialplaner:**
**Standort:** University of Michigan, USA
**Fertigstellung:** 2009

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Modell; digitale Fertigung

**Materialien:**
Aluminium (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Laserschneider

**Bauteil:**
Über 100 einzelne Trichter aus Aluminiumblech

**Beschreibung:**
Der Shadow Pavillon hat die Form eines Schneckenhauses und besteht aus über 100 einzelnen Trichtern aus Aluminiumblech. Der Pavillon dient als Showcase mit möglichst wenig Materialeinsatz eine Stabile Struktur zu schaffen, die zudem spannende räumliche, sowie akustische Eindrücke erzeugt. Durch den Einsatz von Aluminiumblech und der Fertigung von einzelnen Trichtern, die sich aufgrund der einfachen Krümmung statisch aufwerten, ergibt sich im Verbund eine selbsttragende Struktur.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Der Pavillon wurde unter Anwendung eines parametrischen Modells entwickelt und hinsichtlich seiner Eigenschaften optimiert. Die Geometrien der einzelnen Trichter aus Aluminiumblech wurden automatisch abgewickelt. Mit den so gewonnenen Daten konnte ein CNC-Laser die Flächen die zur Herstellung der Trichter benötigt werden aus einem standardisierten Aluminiumblech ausgeschnitten werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**

**Quellen:**
http://www.archdaily.com/192699/shadow-pavilion-ply-architecture/

# West Fest Pavillon

**Planer:** Gramazio & Kohler
**Spezialplaner:**
**Standort:** Wettswill am Albis, Schweiz
**Fertigstellung:** 2009

**Schwerpunkt:**
Algorithmisches Planungsmodell, digitale Fertigung

**Materialien:**
Holzlatten (Profilwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (längen, stapeln)

**Bauteil:**
16 individuelle Stützelemente aus jeweils 372 Holzlatten

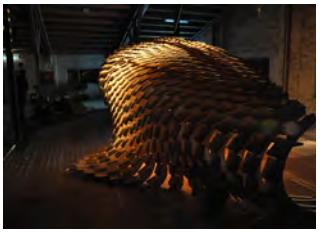
**Beschreibung:**
Die temporäre Struktur des Pavillons mit integrierter Bar besteht aus 16 individuellen Stützelementen aus übereinander geschichteten handelsüblichen Holzlatten. Die Stützen verjüngen sich zuerst auf 40x40 cm im unteren Drittel und erweitern sich dann auf schließlich 2x2 Meter in der Dachfläche. Die Stützen sind raumbildende Elemente, dienen als Tragwerk und bilden zudem das Dach der Struktur. Durch die unterschiedlich ausgeprägte Rotation der einzelnen Stützen ergeben sich variierende Räume zwischen den Stützen. Die Logik der Öffnungen, der Krümmung und Geometrien der Stützen sowie deren gestalterische Details unterliegen den konstruktiven Anforderungen des Holzbaus. Die Planung fand anhand eines algorithmischen Entwurfsmusters an einem digitalen Planungsmodell statt.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Während der Planung flossen die Material- und Fertigungsparameter in die Entwicklung des Algorithmus ein. Damit wurde ein parametrisches Modell generiert, welches auch zur Steuerung des Industrieroboters und somit zur Fertigung genutzt wurde. Der über das algorithmische Gestaltungsmuster gesteuerte Roboter kürzte die Holzlatten auf die jeweilige Länge und stapelte diese in der richtigen Reihenfolge und den gewünschten Winkeln. Die 16 Stützen wurden einzeln aus jeweils 372 Holzlatten gefertigt und am späteren Standort des Pavillons zusammengefügt. Die digitale Verarbeitung gibt dem traditionellen Material Holz einen neuen gestalterischen Ausdruck.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**

**Quellen:**
http://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/d/forschung/165.html

# Art615 Pavillon



**Planer:** Studenten der Universität Aalborg
**Spezialplaner:**
**Standort:** Aalborg, Dänemark
**Fertigstellung:** 2010

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Modell, digitale Fertigung, dynamische Lichtführung

**Materialien:**
MDF (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteil:**
32 vertikale, 4 horizontale Streben, Holzschuppen

**Beschreibung:**
Das dynamische Architekturkonzept des Art615 Pavillons wurde von den Studenten mit Rhinoceros 3D und dem Plug-In Grasshopper entwickelt. Für die Hauptform des Pavillons wurde eine einfache Rhinofläche erzeugt, welche dann mit dem Plug-in Grasshopper in einzelne manipulierbare Segmente unterteilt und zur Fertigung aufbereitet wurde. Dazu wurde die Oberfläche in 32 vertikale und 4 horizontale Streben unterteilt, diese sind nach dem „Waffle-Prinzip" mit gegenseitigen Einkerbungen versehen und zusammengesteckt. Die Außenhaut besteht aus einzelnen Holzschuppen die auf die Streben aufgesteckt sind und den Pavillon nach außen mit seiner dynamischen Beleuchtung transluzent erscheinen lassen soll.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die CNC-Fräs-Maschine besitzt eine Bearbeitungsfläche von 2,4x1,2 Metern, bei einer Strebenlänge von bis zu 6,5 Metern mussten diese auf kleinere Bauteile aufgeteilt werden. Da das Projekt von Anfang an in Rhinoceros 3D und Grasshopper geplant wurde, stellte dies jedoch kein Problem dar. Die Streben wurden einfach mit Hilfe von Grasshopper mit so genannten „Puzzle-Joint" Verbindungen versehen. Diese Verbindungen wurden mit Metallverbindern verstärkt. Die Außenhaut auf den Rippen besteht aus einzelnen Holzschuppen die ebenfalls in Grasshopper mit der „Paneling-Funktion" entwickelt wurden. Alle Bauteile konnten direkt aus dem Modell ausgelesen und von der CNC-Fräse gefertigt werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
An diesem sowie anderen Projekten sieht man das Projekte im Holzbau, wenn man sich für ein konstruktives System entschieden hat, mit einfachen, systemgleichen Details versehen und in digitaler Fertigung realisiert werden können.

**Quellen:**
http://www.archdaily.com/59960/art615-a-pavilion-by-aalborg-university-students/
https://socialtechnologies2010.wordpress.com/

# Das sequenzielle Tragwerk

**Planer:** Gramazio & Kohler + Studenten
**Spezialplaner:**
**Standort:** Zürich, Schweiz
**Fertigstellung:** 2010

**Schwerpunkt:**
Algorithmisches Planungsmodell, digitale Fertigung

**Materialien:**
Holzlatten (Profilwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (stapeln)

**Bauteil:**
11 Bögen aus 26 vorfabrizierten Elementen

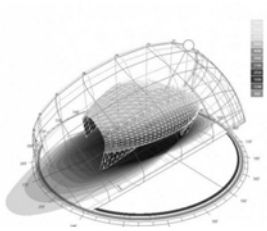
**Beschreibung:**
Die begehbare Struktur des sequentiellen Tragwerks dient der Verschattung einer Terrasse. Die Installation besteht aus 26 einzeln digital vorfabrizierten Modulen, die vor Ort zu insgesamt 11 Bögen manuell zusammengesetzt und ausgerichtet wurden. Die Entwicklung des Tragwerks erfolgte anhand eines iterativen Prozesses unter der Nutzung eines parametrischen Modells. In den Entwurfsprozess flossen Studien von Hängemodellen und deren digitalen Simulationen ein. Die Stapelung der einzelnen Latten zu einem diagonalen Gitter erlaubt die Lastabtragung in mehrere Richtungen und unterstützt somit die Schalenwirkung des Tragwerks. Das parametrische Tragwerksmodell reagierte auf lokale statische Anforderungen mit der Anpassung der statischen Höhe. Weitere Parameter waren unter anderem die Sonneinstrahlung und die nötige Verschattung, die durch unterschiedliche Verdrehung und Länge der einzelnen Latten gewährleistet wurde.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Aus dem parametrischen Tragwerksmodell wurden alle zur Fertigung der 26 Module relevanten Daten ausgelesen. Dies ermöglichte die Fertigung der Module mit Hilfe eines Industrieroboters, welcher die Latten selbstständig aufnehmen, auf Länge sägen und anschließend in richtiger Position stapeln konnte. Der Fertigungsprozess mit nur einer Werkzeugmaschine, dem Industrieroboter, ermöglichte sehr präzise Bauteile mit geringen Toleranzen.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Fertigungsverfahren für Module aus Holz mit standardisierten Halbzeugen und individueller Gestaltung. Die Reduzierung, von unterschiedlichen Details, Werkstoffen, Halbzeugen und Fertigungsmaschinen verschlankt den Prozess und verringert die Anzahl an Toleranzen.

**Quellen:**
http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/d/lehre/187.html

# Fab Lab House



**Planer:** Studententeam des IAAC unter Vincente Guallart
**Spezialplaner:**
**Standort:** Madrid, Spanien (Solar Decathlon)
**Fertigstellung:** 2010

**Schwerpunkt:**
Parametrisierte Details, digitale Fertigung

**Materialien:**
Kerto-Furnierschichtholz (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (fräsen)

**Bauteil:**
In Rippen zusammengefasste individuelle, puzzelförmig gefügte und verschraubte Einzelteile

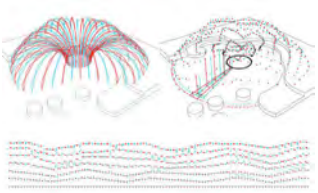
**Beschreibung:**
Der spanische Beitrag zum Solar Decathlon 2010 unterscheidet sich besonders in seiner Form von den anderen Teilnehmern des Wettbewerbs. Die Entwickler des Fab Lab House hatten hohe Ansprüche an die Gebäudeform und -technik, sowie der industriellen, digitalen Fertigung. Während die meisten Entwürfe Kistenförmig sind handelt es sich hierbei um eine „aufgeständerte" Freiform. Die Wohnräume sind somit vom Untergrund abgehoben und bieten einen verschatteten Aufenthaltsraum im Freien. Die Konstruktion besteht komplett aus Holz, auf der Dachhaut sind elastische Solarzellen angebracht.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die gesamte Gebäudegeometrie wurde aus platten Elementen aus Kerto-Furnierschichtholz gebaut. Die tragende Struktur besteht aus ringförmigen Segmenten, diese Hauptträger sind aus mehreren Einzelteilen die miteinander gefügt und verschraubt sind gefertigt. Alle Einzelteile wurden von Industrierobotern mit Hilfe von digitalen Fertigungsdaten aus 2,5 x 12 Meter großen Kerto-Furnierschichtholzplatten je nach statischen Anforderungen mit einer Stärke von 27 bzw. 45mm gefräst. Die Detailierung der einzelnen Bauteile macht ein einfaches und fehlerfreies Montieren der Bauteile auf der Baustelle möglich.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Durch die gewählte Konstruktionsart, das digitale Modell und die damit verbundene digitale Fertigung ist die Anpassungsfähigkeit des Entwurfes laut den Architekten enorm. Anpassungen an Größe, Klima und Nutzung, ect. Würden sich nicht auf die Herstellungskosten niederschlagen. Das Fab Lab House dient sozusagen als Prototyp für ein an jeden Standort und Bedarfe anpassbaren Gebäudebaukasten.

**Quellen:**
http://www.fablabhouse.com/en/
http://www.detail.de/architektur/themen/solarer-kokon-das-bdquofab-lab-houseldquo-des-iaac-000638.html

# Forschungspavillon Uni Stuttgart 2010



**Planer:** ICD/ITKE (Universität Stuttgart)
**Spezialplaner:**
**Standort:** Stuttgart, Deutschland
**Fertigstellung:** 2010

**Schwerpunkt:**
Computerbasiertes Informationsmodell, Simulation, digitale Fertigung

**Materialien:**
Birkensperrholz (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (fräsen)

**Bauteil:**
Mehr als 500 individuelle Bauteile, darunter 80 Bogensegmente aus 400 Bauteilen mit einer Länge von 10 Metern und einer Materialstärke von 6,5mm

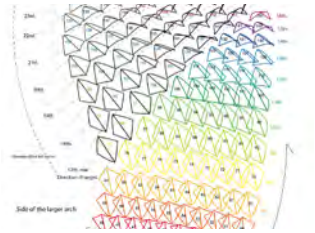
**Beschreibung:**
Der Forschungspavillon ist in seiner Grundform ein Torus mit einem Außendurchmesser von 10 Metern und besteht aus 80 elastisch verformten Bogensegmenten aus 6,5mm starkem Birkensperrholz. Diese Bogensegmente sind überlappend miteinander so verbunden, dass sie in zug- und biegebeanspruchte Bauteile unterteilt werden und sich gegenseitig aussteifen. Entwickelt, entworfen und gefertigt wurde der Pavillon mit Hilfe eines computerbasierten Informationsmodells, als dessen Grundbaustein fungierten die Materialeigenschaften des Birkensperrholzes. Durch die Vorverlagerung von Informationen zum Materialverhalten und den Materialeigenschaften in die frühe Entwurfsphase bestimmte diesen den Entwurf ausschlaggebend. Aus diesem Informationsmodell wurden sämtliche relevanten Daten in unterschiedlichen Formaten ausgelesen, zum Beispiel als FE-Modell für die Simulation, als 3D-Modell für Design und Visualisierung oder als Fertigungsdaten für den Zuschnitt mittels Industrieroboter.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Änderungen im Code wurden direkt umgesetzt, durch den Einsatz des Informationsmodells mit regelbasierten Details war es bis kurz vor der Fertigung egal welche tatsächliche Materialstärke benötigt, bzw. vorhanden war.. Die Fertigungsdaten wurden direkt in CNC-maschinenspezifischen Daten ausgelesen. Alle für die Montage relevanten Daten wie Stückbezeichnung, Nuten, Federn und Stöße sowie Markierungen für Schrauben wurden vom Roboter angebracht. Die Fertigung und Montage des Pavillons konnte innerhalb von drei Wochen geleistet werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Der Pavillon zeigt, welche Möglichkeiten derzeit im experimentellen Leichtbau in Holz realisierbar sind. Daneben ist die Erprobung eines skriptgestützten Informationsmodells aus dem die relevanten Inhalte sämtlicher beteiligter Gewerke abgelesen, überarbeitet und wieder eingespeist werden können, für das gesamte Bauwesen zielführend.

**Quellen:**
http://www.itke.uni-stuttgart.de/entwicklung.php?id=1
Material Strategies in Digital Fabrication S. 46-51

# Dragon Skin Pavillon



**Planer:** LEAD (Laboratory for explorative architecture & design)
**Spezialplaner:**
**Standort:** Tampere (Finnland); Hongkong / Shenzhen (China)
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
parametrisches Planungsmodell, Einsatz neuer Materialien

**Materialien:**
Grada Schichtholz (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse (Holzschuppen und Formen)

**Bauteil:**
163 unterschiedliche Schuppen, eine Universalform

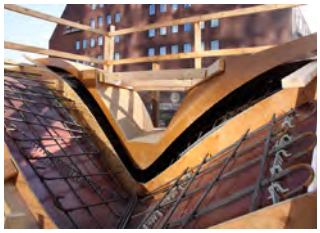
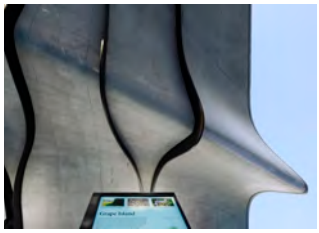
**Beschreibung:**
Der Dragon Skin Pavillon ist ein beispielhaftes Projekt einer temporären Struktur, die von der ersten Skizze innerhalb von 10 Tagen entworfen und gebaut wurde. Der Pavillon wurde in einem Workshop an der Tampere University of Technology entwickelt und später in Hongkong und Shenzhen ausgestellt. Der komplette Entwurfs- und Entwicklungsprozess fand durchgängig an einem digitalen 3D-Master-Modell statt. Die Daten für die Fertigung konnten direkt aus dem Modell ausgelesen und für die CNC-Fertigung eingespeist werden. Der Pavillon besteht aus 163 unterschiedlichen Holzschuppen, alle Holzschuppen sind einfach gekrümmt und miteinander verzahnt. Der Pavillon hat eine Gesamtabmessung von 4,5 x 3,5 x 2,5 Metern.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die einzelnen Schuppen wurden aus insgesamt 21 Schichtholzplatten inklusive ihrer individuellen Steckverbindungen ausgefräst. Alle Daten wurden im 3D-Modell generiert und von dort in die Fertigung übertragen. Anschließend wurden die ausgefrästen Platten mit einer ebenfalls digital gefertigten Universalform einfach gekrümmt in Form gebracht. Dazu wurden die Holzplatten in einem Industrieofen auf 150°C erhitzt und in die Form gepresst. Dank eines neuartigen Leims in den Schichthölzern können diese unter geringer Hitzeeinwirkung verformt werden. Die gebogenen, nummerierten Platten konnten innerhalb von nur 6 Stunden ohne Schrauben, Leim oder sonstiger Hilfsmittel in ihre Endgeometrie zusammengesetzt werden. Pläne und Zeichnungen waren ebenfalls nicht relevant.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die Struktur zeigt wie unter der Verwendung von neuartigen Materialien mit Holzbau sich selbstversteifende, Leichtbaustrukturen umgesetzt werden können. Das Projekt zeigt beispielhaft welche räumlichen, haptischen und materialtechnischen Möglichkeiten in der Architektur durch die Revolution in der digitalen Planung und Fertigungstechnologien möglich sind.

**Quellen:**
http://l-e-a-d.pro/index.php
http://l-e-a-d.pro/w/wp-content/uploads/2012/02/DragonSkinPavilion-PressPack.pdf
http://l-e-a-d.pro/w/wp-content/uploads/2011/07/PressPack_DragonSkinPavilion.pdf

# Boston Harbor Islands Pavillon

**Planer:** utiledesign; SGH Engineering; CW Keller
**Spezialplaner:**
**Standort:** Boston, USA
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
Parametrisiertes Datenmodell der Überdachung; digitale Fertigung

**Materialien:**
Stahl, Beton, Furnierschichtholz

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse (Betonschalung)

**Bauteil:**
400 unterschiedliche Schalungselemente

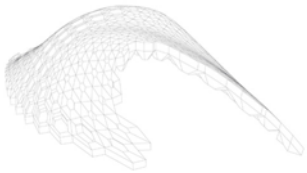
**Beschreibung:**
Der Pavillon besteht aus zwei skulptural geformten Dächern, die das Regenwasser in ein Auffangbecken ableiten. Die extravagante Form der Dachlandschaft wurde von den Architekten mit Hilfe des 3D-Modellierungsprogramms Rhinoceros entwickelt. Die gekrümmte Form des Dachs ist in erster Linie funktional, Regenwasser wird der Form folgend zum Rand des Daches geleitet und in Form eines „Wasserfalls" in einem Auffangbecken gesammelt. Die Form des Daches soll die Besucher an einen fliegenden Vogel oder einen Schiffsrumpf erinnern. Die Hersteller der gebogenen Stahlträger und Bewehrung, sowie der Schalungen nutzten dasselbe 3D-Modell. Die über 400 unterschiedlichen Schalungstafeln entwickelte der Schalungsbauer CW Keller mit Hilfe von »Grasshopper« am Rhinomodell. Als Material wählte Utiledesign Stahlbeton, entworfen und geometrisiert wurde die Struktur im CAD-Programm Rhinoceros. Für den Formenbau wurde ein parametrisches Modell entwickelt an welchem die Biegeeigenschaften von Furnierschichtholz, dem eingesetzten Schalungsmaterial, erprobt wurden.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Den Ausführenden Firmen wurden digitale 3D-Datensätzte gegeben, da 2-dimensionale Pläne nicht zielführend waren. Die Stahlträger und Bewehrung sowie der Formenbau wurde von unterschiedlichen Unternehmen getätigt, sie alle hatten jedoch ein und dasselbe 3D-Modell zur Grundlage, sodass die einzelnen Bauteile später genau zusammenpassten. Die Verschalung besteht aus 700 Trägerteilen und 400 mit zwei Lagen aus 6mm starken Furnierschichtholz bestehenden Schalungstafeln. Bei der Fertigung der Einzelteile wurden sämtliche Schraublöcher vorgebohrt und Markierungen angebracht um den Prozess vor Ort auf der Baustelle zu verbessern.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Bei diesem Projekt wurden die jeweils relevanten Daten aus dem Informationsmodell an die einzelnen Unternehmen weitergereicht und von diesen zur Fertigung der Bauteile genutzt.

**Quellen:**
http://www.utiledesign.com/projects/harbor-park-pavilion/
http://www.concreteconstruction.net/formwork/sculptural-formwork.aspx

# Hexigloo Pavillon



**Planer:** Studenten der Universität Bukarest
**Spezialplaner:**
**Standort:** Bukarest, Rumänien
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
parametrische Planung; digitale Fertigung

**Materialien:**
Wellpappe (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Laserschneider

**Bauteil:**
196 einzelne Waben aus 6 mm starker Wellpappe

**Beschreibung:**
Der Hexigloo Pavillon ist das Resultat eines siebentägigen Studentenworkshops der Universität in Bukarest, bei dem die Studenten die Grundlagen des parametrischen Entwerfens erlernen sollten. Die Wabenstruktur besteht aus 196 einzelnen, unterschiedlichen Elementen. Ein hexagonales Raster bildet die Basis des Entwurfs. Dieses Zellenraster wurde auf eine vormodellierte Oberfläche übertragen, extrudiert und bildet somit eine Reihe von Trichtern, die das Licht in den Innenraum Leiten. Die äußere glatte Oberfläche bildet einen starken Kontrast zu der inneren Struktur aus Trichteröffnungen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Aus dem parametrischen Planungsmodell konnten alle Fertigungsrelevanten Daten ausgelesen und für die Produktion genutzt werden. Die Einzelteile wurden mit einem CNC-Laserschneider aus 6mm starker Wellpappe ausgelasert, dabei wurden insgesamt 2200 Meter Schnittkanten erzeugt. Die Montage der Einzelteile fand jedoch durch die Studenten manuell von Hand statt. Dazu wurden die Einzelteile mit Kabelbindern in Baugruppen zusammengefügt, diese wurden in einem Weitern Schritt vor Ort zusammengesetzt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Wenn auch die Montage der Einzelteile noch manuell stattfand, so wurde die Fertigung durch die Automatisierung per CNC-Laserschneider deutlich verbessert, sowohl unter dem zeitlichen Aspekt als auch bei Präzision und Qualität.

**Quellen:**
http://www.archdaily.com/146764/hexigloo-pavilion-tudor-cosmatu-irina-bogdan-andrei-radacanu/

# Forschungspavillon Uni Stuttgart 2011

**Planer:** ICD/ITKE (Universität Stuttgart)
**Spezialplaner:**
**Standort:** Stuttgart, Deutschland
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
computerbasiertes Informationsmodell, Simulation, digitale Fertigung

**Materialien:**
Birkensperrholz (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (fräsen)

**Bauteil:**
850 geometrisch unterschiedliche Einzelteile mit über 100.000 frei im Raum angeordneten Zinken, aus 6,5mm starkem Birkensperrholz

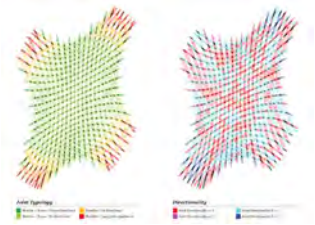
**Beschreibung:**
Ziel des Projekts war es, die Leistungsfähigkeit biologischer Strukturen in einen architektonischen Entwurf übertragen und in einem räumlichen und statischen Materialsystem zu überprüfen. Als Ausgangsbasis diente die Kalkschale des »Sanddollar«, einer Unterart der Seeigel, dessen Schale aus Polygonalen Segmenten besteht, von denen sich jeweils drei Segmente in einem Punkt treffen. Die Segmente sind untereinander mit fingerähnlichen Kalzit-Verbindungen verbunden. Beim Pavillon stoßen ebenfalls jeweils drei polygonale Zellen in einem Punkt, diese sind untereinander mit Schraubverbindungen fixiert und bestehen jeweils aus mehreren der Geometrie entsprechenden Birkensperrholzplatten die jeweils mit Keilzinken verbunden sind. Für die Planung und Entwicklung wurde bei diesem Forschungspavillon ebenfalls ein Informationsmodell in Form eines Skriptes entwickelt, und mit Hilfe dessen Daten die Tragstruktur simuliert und optimiert, die Form bestimmt und die Fertigungsdaten computergesteuert generiert.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Aufgrund der automatisierten Erstellung der Fertigungsdaten konnten die 850 Einzelteile mit mehr als 100.000 unterschiedlich angeordneten Zinkverbindungen in relativ kurzer Zeit vom Fakultätseigenen Industrieroboter gefertigt werden. Die Einzelteile wurden dann händisch miteinander verleimt, an den späteren Standort gebracht und dort zusammengefügt. Durch die Leitbaustruktur der Zellen und des gesamten Pavillons ist das Verhältnis von Eigengewicht zu überbauter Grundfläche nur 17 kg/m².

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**

**Quellen:**
http://www.itke.uni-stuttgart.de/entwicklung.php?id=25

# Pudelma Pavillon



**Planer:** Students from Columbia University/University of Oulu
**Spezialplaner:**
**Standort:** Turku, Finnland
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
parametrisches Planungsmodell; digitale Fertigung

**Materialien:**
Kerto-Kanthölzer

**Fertigungsmethode:**
CNC-Abbundmaschine

**Bauteil:**
490 Kerto-Kanthölzer (51x200mm) mit unterschiedlichen Abmessungen zwischen einem halben und zwei Metern.

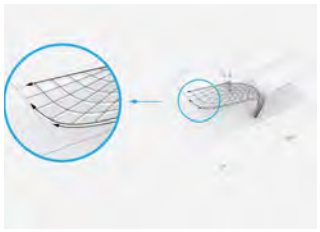
**Beschreibung:**
Der netzförmige Pavillon besteht aus insgesamt 490 unterschiedlich zugeschnittenen Kerto-Q-Trägern mit einem Durchmesser von 51x200mm und einer Länge zwischen einem halben und zwei Metern. Entwickelt wurde der Pavillon mit einem parametrischen Modell, bei dem die Form des Bauwerks und die Bauteile mit Algorithmen gesteuert werden. Für die Fügung und Detailierung der einzelnen Bauteile wurden traditionelle finnische Holzfügetechniken verwendet. Es kamen traditionelle Zapfen- und Nutenverbindungen in der Holzgitterschale zur Anwendung. Ausgehend von einem orthogonalen Raster wird dieses an das Tragverhalten angepasst und deformiert um die filigranen Fußpunkte zu erhalten.

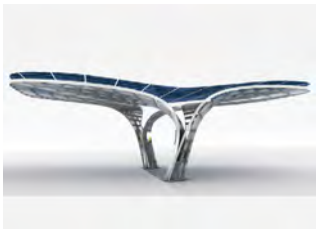
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Fertigung der 490 Einzelteile erfolgte mittels CNC-Abbundmaschine anhand der digitalen Planungsdaten vollautomatisch und in hoher Ausführungsqualität. Alle Details, Zapfen, Nuten und Öffnungen wurden vollautomatisch in die Werkstücke gefräst und durchnummeriert. Danach konnte der Pavillon innerhalb von zwei Tagen von den Studenten errichtet werden.

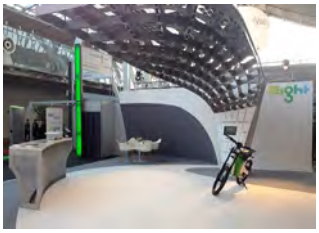
**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Durch den Einsatz vollautomatischer Abbundmaschinen können sowohl traditionelle als auch komplizierte Verbindungen im Holzbau unter wirtschaftlichen Aspekten realisiert werden. Unter der Einhaltung der nötigen Toleranzen können sämtliche Bauteile im Werk vorgefertigt werden, auf die Baustelle geliefert und dort vom Personal montiert werden. Nacharbeiten sind in der Regel nicht notwendig

**Quellen:**
PUU Wood Holz Bois 3/2011, S. 24-27 (ISSN 0357-9484)
http://www.arch.columbia.edu/labs/fablab/finland-2011
http://www.aa64.net/?portfolio=turku-pudelma-pavilion

# Point.One







**Planer:** LAVA
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** München
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
parametrisches System (Details), Planung und Fertigung, Montage

**Materialien:**
Aluminium und Polykarbonate (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
3-Achs-Laserschneider
3-Achs-Fräse

**Bauteil:**
Alle Bauteile sind aus Plattenwerkstoffen gefertigt und werden elastisch verformt.

**Beschreibung:**
Der Freiform-Carport mit integrierter Solarstromladestation zur Ladung von E-Fahrzeugen oder der Einspeisung ins öffentliche Netz ist auf der Basis eines zweifach gekrümmten Raumträgers aus modularen Einzelteilen aufgebaut. Für die Planung und Fertigung wurde ein parametrisches Modell mit regelbasierten Details entwickelt. Das Tragwerk besteht aus teilweise elastisch verformten Aluminiumblechteilen, die Knoten folgen der Krümmung des Trägers und zwingen das Blech elastisch in seine Form. Das Skript ist so aufgebaut, dass die Formsprache des Pavillons an die jeweilige Umgebung bzw. Rahmenbedingungen angepasst werden kann, sodass unendlich viele Variationen möglich sind, die Fertigungsdaten jedoch in kurzer Zeit generiert und die Bauteile gefertigt werden können.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Aufgrund der elastischen Verformung sind alle Bauteile zu Beginn flach und werden aus Plattenwerkstoffen gefertigt, das Tragwerk aus Aluminiumblech wird ausgelasert, die Hülle aus Polykarbonat wird mit einer CNC-Fräse gefertigt. Die elastische Verformung erzeugt eine doppelte Krümmung und sorgt damit zu einer besseren Statik der Gesamtstruktur. Die Bauteile werden bei der Fertigung alle eindeutig beschriftet und lassen sich nur in einer bestimmten Anordnung einbauen, sodass bei der Montage nach Baukastenprinzip keine Fehler entstehen können. Die Ladestation kann aufgrund der Materialwahl und der Details sortenrein und leicht demontiert und recycelt werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Elastisch verformte Bauteile aus Plattenwerkstoffen zur Erzeugung von doppelt gekrümmten Bauteilen ist im Bauwesen nahezu nicht vorhanden. Die Einfachheit der Grundstoffe (Halbzeuge und Serienprodukte) sowie der Fertigungsmethoden wird durch eine versierte Planung der Details und Planungstools erreicht. Dieses Werkzeug weißt ein enormes Potential für das Bauwesen auf, welches bisher nur erahnt werden kann.

**Quellen:**
http://www.eight.eu
http://www.l-a-v-a.net
http://www.designtoproduction.ch

# Tiger & Turtle - Magic Mountain

**Planer:** Heike Mutter und Ulrich Genth
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** Duisburg
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Informationsmodell, digitale Fertigung

**Materialien:**
Stahl (verzinkt) (Plattenwerkstoff, Rohrprofil)

**Fertigungsmethode:**
3-Achs-CNC-Laserschneider
Digitales Biegen

**Bauteil:**
19 doppelt gekrümmte Rohre, 349 Querträger, 349 Gitterroste und 1412 Geländerpfosten, jedes Element ist ein Unikat

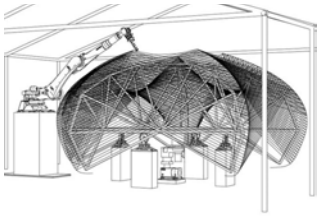
**Beschreibung:**
Die begehbare Skulptur in Form einer Achterbahn mit 44 x 37 Metern Grundfläche und einer Bauhöhe von 21 Metern wurde mit Hilfe eines extra dafür programmierten parametrischen Informationsmodell geplant und gefertigt. Die Skulptur besteht aus einem Hauptrohr auf 19 Segmenten doppelt gekrümmter Rohrabschnitte. Darauf sind jeweils im rechten Winkel zur Hauptrohrachse 349 Querträger angebracht, die mit 349 Treppenstufen (Gitterrosten) sowie 1421 Geländer-Pfosten versehen sind, alle diese Bauteile sind aus Plattenwerkstoffe gefertigt, lediglich der Handlauf besteht wiederum aus Rohrprofilen und musste doppelt gekrümmt werden. Wichtige Planungsparameter sind die gleichbleibende Antrittshöhe von 21 cm der Treppenstufen sowie die durchgängig gleichbleibende Geländerhöhe von 110 cm am oberen Handlauf.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Durch die Nutzung eines parametrischen Informationsmodells konnten alle relevanten Daten zur Fertigung der Bauteile ausgelesen werden. Die Bauteile sind regelbasierend und unterscheiden sich im Verlauf nur minimal voneinander, dies machte eine eindeutige Bezeichnung bzw. Durchnummerierung der Bauteile notwendig. Die Biegung der Hauptrohre wurde ebenso digital durchgeführt wie die der Handläufe. Aufgrund der Detailierungslogik konnten die restlichen Bauteile wie Querträger und Geländerpfosten aus Stahlblech ausgelasert werden. Die einzelnen Segmente wurden im Werk so weit wie möglich vormontiert und auf der Baustelle schlussendlich zusammengefügt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die genutzte Planung, Fertigung und Ausführung ist für das Bauwesen wie geschaffen, alle Bauteile werden im Werk aus Plattenwerkstoffen präzise gefertigt und sind so einfach detailliert, dass sie auf der Bausteile mit einer Wasserwage und einem Winkel als einziges Hilfsmittel einfach montiert und verschraubt werden können. Alle Details folgen der Gleichen Logik.

**Quellen:**
http://tigerandturtle.duisburg.de/landmarke-angerpark/das-modell
http://www.duisburg.de/micro2/duisburg_gruen/medien/bindata/Broschuere_Tiger_Turtel_online-gross.pdf
www.designtoproduction.com

# Forschungspavillon Uni Stuttgart 2012



**Planer:** ICD/ITKE (Universität Stuttgart)
**Spezialplaner:**
**Standort:** Stuttgart, Deutschland
**Fertigstellung:** 2012

**Schwerpunkt:**
durchgängige digitale Prozesskette

**Materialien:**
Glas-/Kohlestofffaser Composite

**Fertigungsmethode:**
6-Achs-Roboter (wickeln)

**Bauteil:**
48km Glasfaser und 14km Kohlestofffaser

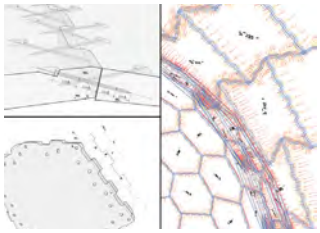
**Beschreibung:**
Die Entwicklung des Forschungspavillons aus dem Jahr 2012 befasste sich mit der Erstellung eines Schalentragwerks, mit Hilfe innovativer Wicklung unterschiedlicher Fasern und deren Einbettung in eine Harzmatrix. Als Vorbild dient die Ausbildung der Chitinpanzer von Schalentieren wie zum Beispiel Hummern. Bei bisherigen Projekten die mit Kohlefaserverbundwerkstoffen arbeiteten waren für die Produktion große Formen notwendig, das Team der Universität Stuttgart versuchte mit möglichst minimierter Positivform auszukommen. Der Pavillon besteht aus fünf gebogenen Rippen, primär in Kohlestofffasern ausgeführt und einem Druckring hauptsächlich aus translu-zenten Glasfasern gefertigt.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Für den Entwurf, der Planung und Realisierung des Pavillons innerhalb eines Jahres wurde eine geschlossene digitale Kette vom Entwurfsmodell über FEM-Simulationen und Materialversuche hin zur Ansteuerung der Industrieroboter entwickelt. Aufgrund dieser digitalen Kette konnten unterschiedliche Versuche und Prototypen entwickelt werden. Für die Fertigung wurde ein Industrieroboter auf einer 2 Meter hohen Basis montiert, dadurch wurde sein Bewegungsradius mit einer Reichweite von knapp 4 Metern optimal genutzt, zudem wurde die Hilfskonstruktion drehbar angelegt. Die Bauzeit dauerte insgesamt 130 Stunden. Die Fasern wurden vor dem Wickeln in ein Epoxidharzbad getaucht und schließlich auf der Unterkonstruktion unter Spannung aufgebracht. Zur Fertigung wurden insgesamt 48 km Glasfaser und 14 km Kohlenstoff-fasern verwendet, der Pavillon hat einen Durchmesser von 8 Metern und erreicht eine Höhe von 3,5 Metern, bei einer Schalenstärke von gerade einmal 4 mm.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Für die Forschungsgruppe der Uni Stuttgart ist der Pavillon erst der Anfang zur Erfor-schung von Fertigungsmethoden mit Kohlenstofffasern und der Nutzung reduzierter Hilfskonstruktionen.

**Quellen:**
http://www.itke.uni-stuttgart.de/entwicklung.php?id=30
TEC21 15-16 / 2013 Seiten 22-25

# Forstpavillon in Schwäbisch Gmünd



**Planer:** ICD, ITKE und IIGS der Uni Stuttgart
**Spezialplaner:**
**Standort:** Schwäbisch Gmünd
**Fertigstellung:** 2014

**Schwerpunkt:**
computerbasiertes Informationsmodell, Simulation, digitale Fertigung

**Materialien:**
Buchenfurnierholz (Plattenwerkstoffe)

**Fertigungsmethode:**
7-Achs-Roboter (fräsen)

**Bauteil:**
243 unterschiedliche Holzplatten, dazu Dämmung, wasserführende Schicht und Deckschicht aus Lärchenholzplatten mittel robotischer Fertigung

**Beschreibung:**
Der Pavillon der Landesgartenschau in Schwäbisch Gmünd besteht in seiner Geometrie aus zwei kuppelförmigen Bereichen aus konvex-polygonalen Platten und einer dazwischenliegenden sattelförmigen Einschnürung aus konkav-polygonalen Platten.
Der Hüllenaufbau gesteht aus der Schalenkonstruktion aus 243 unterschiedlichen Buchenfurnierholz, einer Dämmschicht, einer wasserführenden Schicht und einer Verkleidung aus Lärchenholzplatten. Der Innenraum wird durch die Buchenholzplatte und die Charakteristischen Zinkenverbindungen geprägt.
Als Vorbild diente, wie schon beim Forschungspavillon von 2011 das Plattenskelett von Seeigeln, bei denen die Verbindungen der Platten ebenfalls besonders stabil und effizient ausgeprägt sind. Die Planung erfolgte durch computerbasierte Entwurfs- und Simulationsverfahren. Materialeigenschaften und Rahmenbedingungen des Fertigungsverfahrens werden von Anbeginn in den Planungsprozess miteinbezogen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Herstellung sämtlicher Bauteile fand digital mit einem 7-Achs-Roboter statt. Die größte Herausforderung war das Fräsen der 7600 unterschiedlichen Zinkenverbindungen. Dafür wurde eine siebenachsige Fertigung benötigt. Für den gesamten Pavillon wurden lediglich 12 m³ Holz benötigt, zudem wurde der Verschnitt sehr gering gehalten. Durch robotische Fertigung wurde die benötigte Anzahl an Freiheitsgraden gewährleistet, die maximale  Abweichung der Bauteile betrug lediglich 0,87mm, bei den sonst üblichen Toleranzen im Bauwesen beachtlich.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die Forschungsarbeiten von ITKE und ICD können ohne Probleme in den konstruktiven Holzbau übertragen werden und neben herkömmlichen Abbundmaschinen weitere Verfahren und Methoden, insbesondere für Plattenwerkstoffe liefern.

**Quellen:**
http://icd.uni-stuttgart.de/?p=11173
http://www.baunetzwissen.de/objektartikel/Geneigtes-Dach-DieterPaul-Pavillon-in-Schwaebisch-Gmuend_3981327.html

# Voxeljet 3D Druck Haus

**Planer:** Peter Ebner mit Studenten der UCLA + HUD
**Spezialplaner:**
**Standort:** Friedberg bei Augsburg
**Fertigstellung:** 2014

**Schwerpunkt:**
3D-Druck

**Materialien:**
Sand (Fromlos)
Kunststoffbinder

**Fertigungsmethode:**
3D-Druck

**Bauteil:**
2 Gebäudeteile mit 2,1t und 1,5t aus einem Kunststoff-Sand-Gemisch, Gesamtabmessung 2,2x2,2x3 Meter.

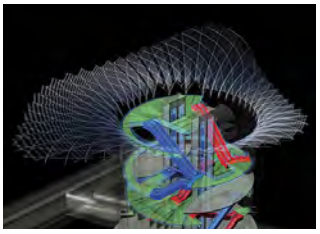
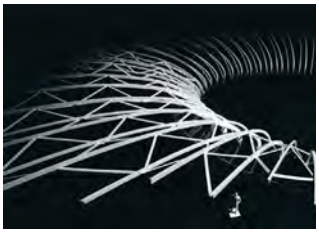
**Beschreibung:**
Das 3D-Druck Haus in der Nähe von Augsburg wurde von einem interdisziplinären Team von Studenten der Fachrichtungen Architektur, Maschinenbau, Robotik und Luft-&Raumfahrt der UCLA + HUD, der University of California, Los Angeles sowie der Huddersfield University entworfen. Es handelt sich bei dem Projekt um kein klassisches Haus, vielmehr um ein auf das nötigste reduzierter Wohnraum mit wenigen Quadratmetern Fläche (2,2x2,2m) und einer Höhe von 3 Metern. Trotzdem beinhaltet die Kleinstzelle alle notwendigen Funktionen wie Nasszelle, Küche, Bett und Tisch, alles funktionsfähig und in einem ansprechenden, intelligenten Design. Sämtliche notwendige Rohrleitungen sind ebenfalls gedruckt. Das Haus besteht aus zwei Hälften, die Kosten für das Gebäude betragen 60.000€.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Entworfene Form wurde in zwei Bauteilen auf einem Voxeljet VX 4000 gedruckt, dieser Drucker hat einen Platzbedarf von 25x12x4,5 Meter. Insgesamt dauerte der Druck der Bauteile 60 Stunden. Durch den Nutzen des 3D Drucks sind alle notwendigen Leitungen direkt in den Bauteilen integriert.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die Anwendung von Großformatigen 3D gedruckten Bauteilen in intelligenter Anwendung mit der Integrierung sämtlicher Ver- und Entsorgungsleitungen, alle notwendigen Kanäle, Schächte und Öffnungen werden mitgedruckt. technische Anlagen müssen lediglich angeschlossen werden. Das Produkt beschränkt sich zwar auf einen vergleichsweise kleinen Baukörper, kann jedoch Modular auch für deutlich größere Strukturen genutzt werden.

**Quellen:**
http://www.hyperbody.nl/
http://www.youtube.com/watch?v=BEjbjzw3Ha4&feature=player_embedded

# Überdachung der Capodichino Metro Station

**Planer:** Rogers Stirk Harbour + Partners
**Spezialplaner:**
**Standort:** Neapel, Italien
**Fertigstellung:** 2014

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Planungsmodell, digitale Fertigung

**Materialien:**
Stahl (Hohlkastenprofile)

**Fertigungsmethode:**
-

**Bauteil:**
46 Hauptrippen mit einer maximalen Länge von 39m; Gesamtstruktur beinhaltet lediglich 21 unterschiedliche sich wiederholende Bauteile

**Beschreibung:**
Für den Entwurf und die Planung der Überdachung der Capodichino Metro Station in Neapel ein parametrisches Planungsmodell der Schlüssel zum Erfolg. Sonnenverlauf- und Bewegungsstudien von Fußgängern zwischen der Station und dem Anschließenden Flughafen von Neapel beeinflusst. Die Architekten variierten die Parameter von Sonnenverlauf und Bewegungsstudien um die optimale Form für die Überdachung zu erhalten. Aufgrund des Entwurfsprozess ist jede einzelne Rippe unterschiedlich geformt. Anschließend wurde die generierte Form vereinfacht und auf einen Ausschnitt eines elliptischen Toroiden mit einem Innendurchmesser von 33 Metern festgelegt. Die Gesamtstruktur besteht nun aus 46 unterschiedlichen Hauptrippen mit einer maximalen Länge von 39 m und überspannt eine Fläche von 4700m². Die Rippen sind untereinander mit diagonalen Stäben verbunden, die zur Versteifung der Struktur beitragen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Das Design wurde parametrisch optimiert um die Anzahl der zu fertigenden Elemente zu reduzieren. Aufgrund der geometrischen Optimierung konnte die gesamte Struktur auf insgesamt 21 unterschiedliche sich wiederholende Bauteile vereinfacht werden. Dadurch wurden sowohl der Fertigungs- als auch der Bauprozess vereinfacht und effektiv Kosten eingespart.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Das Projekt weißt die unterschiedlichen Einsatzgebiete von parametrischer Planung auf. Zu Beginn wurde die Grundform über Parameter aus unterschiedlichen Simulationen generiert und in einem weiteren Schritt geometrisch so reduziert und vereinfacht, dass die Fertigung, Montage und Kosten optimiert werden konnten.

**Quellen:**
http://www.rsh-p.com/work/all_projects/metropolitana_linea_1_capodichino/design
http://www.archello.com/en/project/metropolitana-linea-1-capodichino
Digital Fabrication in Architecture Seite 164f

# 4.4
# Gebäude

In dieser Kategorie werden sowohl einzelne Bauteile in Gebäuden, als auch ganze Gebäude vorgestellt, besonders ausschlaggebend sind die hohen Ansprüche an Dauerhaftigkeit, Belastbarkeit und bauphysikalischen Eigenschaften der Bauteile. Die Gebäude sind die anspruchsvollsten Bauaufgaben mit der längsten Nutzungserwartung und den höchsten Anforderungen an die Qualität.

**Projekte**

Der neue Zollhof ..... 99
Überdachung des Great Court des Britisch Museum ..... 100
Rose Center for Earth and Space ..... 101
Lentille du Métro Saint Lazare ..... 102
30 Street Mary Axe ..... 103
Weltstadthaus Peek&Cloppenburg ..... 104
Bürogebäude Capricorn ..... 105
Weingut Gantenbein ..... 106
Mercedes-Benz Museum (parametrisches Planungsmodell)..... 107
Mercedes-Benz Museum (Fertigungsplanung Betonschalung) ..... 108
Trumpf Hauptpforte ..... 109
Airspace ..... 110
Atrium Złote Tarasy ..... 111
Smithsonian Institution ..... 112
Water Cube ..... 113
Haesley Nine Bridges Golf Club House ..... 114
The Yas Hotel (überspannende Freiformfläche) ..... 115
YJP Administrative Center ..... 116
My Zeil ..... 117
10 Hills Place ..... 118
Centre Pompidou ..... 119
Neue Monte Rosa Hütte ..... 120
Kilden Performing Arts Center ..... 121
Rolex Learning Center (EPFL) ..... 122
The Walbrook ..... 123
Metropol Parasol ..... 124
National Convention Centre ..... 125
Norwegian Wild Reindeer Centre Pavillon ..... 126
Martin Luther Kirche ..... 127
Porsche Pavillon ..... 128
Kings Cross Station ..... 129
InterContinental Spa & Resort ..... 130
Fondation Jérôme Seydoux-Pathé ..... 131
Central Bank Kuwait ..... 132
Sipchem ..... 133
The Pinnacle (Bishopsgate Tower) ..... 134

# Der neue Zollhof

**Planer:** Frank Gehry
**Spezialplaner:**
**Standort:** Düsseldorf, Deutschland
**Fertigstellung:** 1999

**Schwerpunkt:**
Digitalisierte Fertigung der Sonderschalung

**Materialien:**
Polystyrol (Volumenkörper)
Beton (Formlos)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteil:**
Primärbauteil: Stahlbetonfertigteil
Sekundärbauteil: Schalung aus Polystyrol

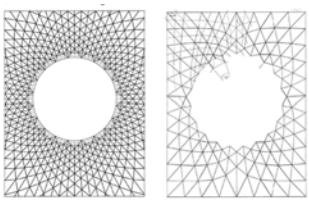
**Beschreibung:**
Die Gestaltungsform für den neuen Zollhof in Düsseldorf hat weder am Reisbrett noch am Computer stattgefunden, Frank O. Gehry entwickelt seine Entwürfe immer zuerst an physischen Modellen. Der Zollhof besteht aus 3 Gebäuden mit jeweils unterschiedlicher Außengeometrie, in Form von einfach und doppelt gekrümmten Flächen und Hüllmaterialien, wie Klinker, Stahlblech und Putz. Die Geometrien der Gebäude sind nicht durch mathematische Funktionen sondern durch händisches Modellieren entstanden, das physische Modell wurde im Anschluss in die Planungssoftware CATIA, die auch im Flugzeug- und Automobilbau eingesetzt wird, übertragen und diente als Basismodell für die weitere Planung.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Außenhülle wurde in tragenden und nichttragenden Stahlbetonfertigteilen ausgeführt, aufgrund der Nutzung von CATIA konnten für die Fertigung der Stahlbetonfertigteile die erforderlichen Daten, wie Konturen, Fugen etc. aus dem 3D-Modell für jedes einzelne Fertigteil ohne Probleme extrahiert und an die CNC-Fräse übermittelt werden. Die Schalung, sowohl Außen- wie Innenteil wurden aus Polystyrolblöcken gefräst. Durch den Einsatz computergesteuerter Fertigung konnten die Schalungen verhältnismäßig schnell sowie präzise hergestellt werden. Die Bauteile wurden im Werk so gefertigt, dass sie anschließend just-in-time auf die Baustelle geliefert wurden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die Nutzung von CNC-gesteuerter Fertigung der Schalungen aus Polystyrolblöcke war bei diesem Projekt wegweisend, da die Schalung präzise und im Vergleich zur händischen Herstellung weniger zeitintensiv fabriziert werden konnte. Weitere Forschungsarbeiten zur automatisierten Produktion freigeformter Sonderschalungen wurden seither vorangetrieben, dadurch werden sowohl die Fertigungszeit, als auch der Materialverbrauch und die Kosten reduziert.

**Quellen:**
Architecture in the digital Age
TIEFBAU Jahrgang 110 (1998) Heft 4 S.254-255

# Überdachung des Great Court des Britisch Museum



**Planer:** Foster+Partners; Buro Happold
**Spezialplaner:** Specialist Modelling Group
**Standort:** London, Vereinigtes Königreich
**Fertigstellung:** 2000

**Schwerpunkt:**
Parametrische Formfindung und digitale Fertigung

**Materialien:**
Stahl
(Profil-, Plattenwerkstoff)
Glas (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Brennschneider

**Bauteil:**
4878 unterschiedliche Stäbe, 1566 unterschiedliche Knotenpunkte und 3312 unterschiedliche dreieckige Glaspaneele

**Beschreibung:**
Die Überdachung des Innenhofs erstreckt sich über 95m x 74m (6700m²) und überspannt eine maximale Länge von 28,8m mit einer maximalen Stichöhe von 5,48 Metern. Die tirangulierte Netzschale wurde mit Hilfe eines eigens geschriebenen Programms iterativ entwickelt, dabei spielte nicht die formale Willkür oder etwa Beliebigkeit eine Rolle, sondern insbesondere die statischen, funktionalen und konstruktiven Anforderungen sowie die Ästhetik. In diesem Modell wurden sämtliche zur Fertigung relevanten Daten der 4878 unterschiedlichen Stäbe, 1566 unterschiedlichen Knoten und 3312 unterschiedlichen Glaspaneele generiert.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Alle Bauteile, sowohl die Stäbe als auch die Konten und Glaspaneele, konnten nach den Daten des Planungsmodells digital gefertigt werden. Die computergenerierten Konten wurden vollautomatisch aus 18 Zentimeter dicken Stahlblechen mit CNC-Brennschneidern geschnitten. Die Stäbe sind als geschweißte Kastenträger gefertigt und variieren in ihrer Bauhöhe von 8 bis 20 cm, ebenso die Wandstärke der Kastenträger variiert je nach statischen Anforderungen. Bei der Montage hatte das Ingenieursbüro Buro Happold eine Toleranz von 3mm zwischen den jeweiligen Knoten vorgesehen, diese Toleranz konnte aufgrund der digitalen Vorfertigung eingehalten werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Parametrische Formfindung findet insbesondere im Ingenieurwesen statt, wobei der Schwerpunkt auf statische Anforderungen gesetzt wird. Daneben sind als Parameter die Randbedingungen als auch ästhetische Wünsche sowie energetische und umwelttechnische Anforderungen zu finden. Parametrische Formfindung beinhaltet parametrische Bauteile sowie Details und ist gekoppelt mit digitaler Fertigung der Bauteile eine der Schlüsseltechniken für die Zukunft des Bauwesens.

**Quellen:**
http://www.fosterandpartners.com
http://www.burohappold.com
Wendepunkte im Bauen: Von der seriellen zur digitalen Architektur S. 158

# Rose Center for Earth and Space

**Planer:** Ennead; TriPyramid
**Spezialplaner:**
**Standort:** New York, USA
**Fertigstellung:** 2000

**Schwerpunkt:**
Freie gestaltung der Sternförmigen Punkthalter

**Materialien:**
Kunststoff (Formlos)
Stahl (Formlos/ Schmelze)

**Fertigungsmethode:**
Stereolithographie
3D-Druck (Urform);
Feinguss

**Bauteil:**
1400 frei gestaltete sternförmige Punkthalter der Glasfassade

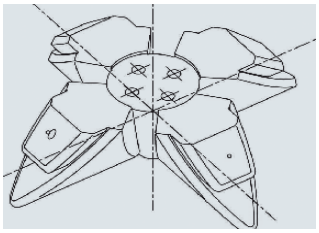
**Beschreibung:**
Beim Rose Center for Earth and Space wurde die markante Sphäre des Planetariums durch einen Würfel aus Glas umhüllt. Diese Außenfassade aus Glas wurde sehr filigran gestaltet und wird lediglich durch insgesamt 1400 Punkthalter an einem Gerüst gehalten. Die Punkthalter wurden extra für diese Gebäude in einem Designprozess nach den notwendigen statischen Anforderungen sowie den gestalterischen Wünschen der Architekten anhand eines 3D Modells entwickelt.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Zusammen mit dem Fassadenbauer bzw. Zulieferer TriPyramid entwickelten die Architekten die Geometrie und den Fertigungsprozess der sternförmigen Punkthalter. Dazu kam das Verfahren der Stereolithographie zum Einsatz. Mittels dieses Verfahrens wurden verlorene Formen zur Herstellung der eigentlichen Bauteile im Feinguss hergestellt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Eines der ersten Projekte im Bauwesen, bei welchem die Möglichkeiten durch neue Fertigungsmethoden zum Einsatz kamen, wenn auch nur als Zwischenschritt im Fertigungsprozess.

**Quellen:**
http://ennead.com/
http://www.tripyramid.com/projects/hayden_planetarium.html
Architecture in the digital age: Design and Manufacturing S.37

# Lentille du Métro Saint Lazare



**Planer:** A.R.T.E.J.M. Charpentier & Associés; RFR
**Spezialplaner:**
**Standort:** Paris, Frankreich
**Fertigstellung:** 2003

**Schwerpunkt:**
Kreuzknoten

**Materialien:**
Stahl (Formlos/Schmelze)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Laserschneider; Knotenproduktion im Gußverfahren

**Bauteil:**
Kreuzknoten mit unterschiedlichen Winkelstellungen aus zwei beweglichen Masterformen

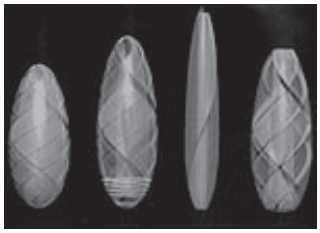
**Beschreibung:**
Die Lentille du Métro Saint Lazaare ist eine wichtige pariser Metrostation an der sich vier Linien kreuzen. Der Haupteingang wird von einer »Linse« (Glaskuppel) überspannt, die das Tageslicht in die unteren Bereich der Station leiten soll. Dies soll die Vision der Architekten, die Reisenden mit der Transparenz des Himmels zu konfrontieren, wiedergeben. Die Blasenstruktur sollte so leicht wie möglich sein und eine gewisse Eleganz ausstrahlen, dazu entwickelten die Ingenieure von RFR eine einfache Struktur aus miteinander verflochtenen Bögen. Die von einer transparenten doppelt gekrümmten Oberfläche aus Glas überspannt werden

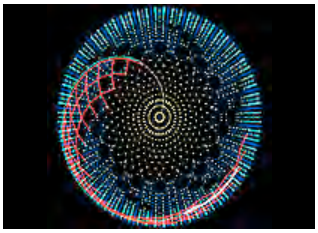
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Besonders interessant ist der Kreuzknoten der entsprechend der unterschiedlichen Winkel der Kreuzungspunkte der Streben ausgebildet ist. Die Herstellung der Kreuzknoten findet im Wachsausschmelzverfahren statt, dazu werden zwei Masterstücke aus Wachs vor dem Guss im benötigten Winkel zusammengefügt. Anschließend wird daraus das Metallstück ausgegossen. Dies gewährleistete trotz unterschiedlicher Werkstücke einen industriellen Prozess mit hoher Wiederholbarkeit.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Fertigungsmethode für Bauteile mit ähnlichen Randbedingungen und geringer Varianz in einem industriellen Prozess. Geringe Änderungen bei einzelnen Bauteilen können auf die Gesamtgeometrie einen großen Einfluss haben und sind nicht zu unterschätzen.

**Quellen:**
http://www.arte-charpentier.com
http://www.rfr-group.com
Wendepunkte im Bauen: Von der seriellen zur digitalen Architektur S.196/197

# 30 Street Mary Axe





**Planer:** Foster + Partners; ARUP
**Spezialplaner:** Specialist Modelling Group
**Standort:** London, Vereinigtes Königreich
**Fertigstellung:** 2004

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Gebäude-modell, digitale Fertigung

**Materialien:**
Stahl (unterschiedliches Ausgangsmaterial)
Glas (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
digitale Robotergestützte Fertigung

**Bauteile:**
Tragwerk/Tragstruktur im Stahlbau
Fassade (Gläser und Rahmen)

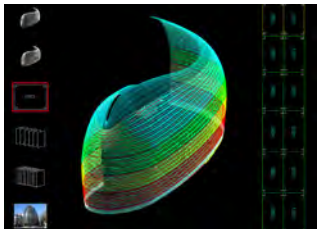
**Beschreibung:**
Der Swiss Re Tower ist eines der ersten Hochhäuser, das mit Hilfe eines parametrischen Modells nach den Schwerpunkten der klimatischen und ökologischen sowie tragwerk-technischen und nutzerbezogenen Bedingungen entwickelt wurde. Das Gebäude besitzt einen runden Grundriss, der an der Basis 49,3m beträgt, sich bis im 17. Obergeschoss auf 56,3m erweitert und auf 25,5m im 39. Obergeschoss verjüngt, und mit einer Kuppel abschließt. Die Ebenen besitzen sechs Einschnitte und sind jeweils um 5° zum darunterliegenden Geschoss verdreht. Beim Tragwerk handelt es sich um eine Tube in Tube Konstruktion mit einem massiven Stahlbetonkern in der Mitte, der sämtliche Versorgungstechnik, sowie Aufzüge und Treppenhäuser beinhaltet und einer äußeren Diagrid Tragstruktur aus Stahl, zwischen denen die einzelnen Etagen spannen. Abgeschlossen wird das Ganze von einer Glashülle, die besonders das Tragwerk sowie die sich nach oben verdrehenden Ausschnitte der Ebenen hervorhebt.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Da die Form des Gebäudes sowie die einzelnen Details an einem parametrischen Modell entwickelt wurden, wurde die digitale Prozess weiterverfolgt und die individuelle Vorfertigung der Stahlskelett- und Fassadenelemente erfolgte mit Hilfe von computergesteuerten Roboterschweissern und Metallschneidern im Werk durchgeführt. Die Montage folgte dann auf der Baustelle unter Einhaltung der richtigen zuvor geplanten Reihenfolge durch RfID-Tracking und Just-in-Time-Logistik.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Der Swiss Re Tower ist ein Paradebeispiel für den Einsatz von parametrischen Planungsmodellen und anschließender digital gesteuerter, industrieller Fertigung. Die Planungsbüros entwickelten passende Schnittstellen mit den ausführenden Gewerken. Diese Arbeitsweise ist ohne weiteres in weiteren Teilen der Baubranche anzuwenden, muss jedoch gewollt werden.

**Quellen:**
http://www.fosterandpartners.com
http://www.arup.com
http://www.30stmaryaxe.com

# Weltstadthaus Peek&Cloppenburg



**Planer:** Renzo Piano
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** Köln, Deutschland
**Fertigstellung:** 2005

**Schwerpunkt:**
Parametrisches 3D-Modell der Fassade, digitale Fertigung der Glasscheiben

**Materialien:**
Aluminium (Profilwerkstoff, Glas (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteil:**
Fassade aus ca. 6500 Glaselementen mit Abmessungen zwischen 25x50 bis 60x180 cm

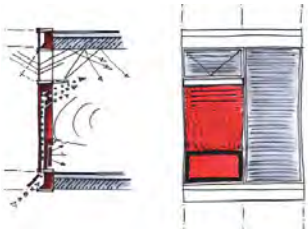
**Beschreibung:**
Um die zweifach gekrümmte Glasfassade des P&C Weltstadthaus im Rahmen des Budgets verwirklichen zu können wurde sie aus ca. 6500 flachen, viereckigen und unterschiedliche großen Glaselementen schuppenförmig zusammengesetzt. Ein dazu entwickeltes parametrisches Modell stellte sicher, dass die Scheiben keine Krümmung aufwiesen und vereinfachte die wirtschaftliche Abwicklung sowie die Fertigung der einzelnen Elemente. Zudem wurde die Fassadengeometrie hinsichtlich der horizontalen als auch vertikalen Unterteilung der einzelnen Segmente optimiert, sodass die auftretenden Differenzen zwischen den Kanten der einzelnen, planaren Scheiben von der Einrahmung aufgenommen werden konnte. Von einer Masterscheibe mit den Abmessungen von 60x120 cm ausgehend variieren die Scheiben zwischen 25x50 cm und 60x180cm.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Über das parametrische Informationsmodell konnten die Daten zur optimalen Fassadenunterteilung bezüglich der maximalen Abmessungen mit möglichst detailgetreuer Krümmung der Gesamtgeometrie, sowie bezüglich der Wirtschaftlichkeit in der CNC-Fertigung der einzelnen Paneele genutzt werden. Neben den herkömmlichen Planungsdaten konnten die Fertigungsdaten der Scheiben direkt ausgelesen und für den digitalen Zuschnitt der Gläser verwendet werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die kundenspezifische Unterteilung einer großen, doppelt gekrümmten Freiformfläche in planaren Paneelen ist nicht zuletzt unter dem Aspekt der Ökonomie vollzogen worden, denn insbesondere die Fabrikation der Einzelteile wurde dadurch deutlich vereinfacht. Interessant hierbei ist jedoch die Methode und Herangehensweise der Unterteilung der Geometrie und Aufbereitung der Fertigungsdaten, die auf andere Projekte problemlos übertragbar ist.

**Quellen:**
http://www.designtoproduction.ch
http://www.rpbw.com/
From Control to Design S.165-167

# Bürogebäude Capricorn



**Planer:** Gatermann + Schossig
**Spezialplaner:** Digitales Bauen GmbH
**Standort:** Düsseldorf
**Fertigstellung:** 2005

**Schwerpunkt:**
Programmiertes, digitales Planungsmodell; dezentrales Fassadenlüftungssystem

**Materialien:**
Aluminium (Strangpressprofil)
Glas (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**

**Bauteile:**
Fassadenmodul mit den Maßen 2,70 x 3,45 Metern, bestehend aus einem 1,8 Meter hohen geschlossenen roten Glaspanel hinter dem sich das dezentrale Klimamodul verbirgt, einem Oberlicht und einen geschosshohen Kastenfenster.

**Beschreibung:**
Das Capricorn Haus ist ein siebengeschossiges Bürogebäude im Düsseldorfer Medienhafen. Seine besondere Form hat es der Flächenoptimierung für Büroflächen sowie des eigenwilligen Grundstückes zu verdanken. Für die Planung des Gebäudes ließen die Architekten durch die Firma Digitales Bauen GmbH ein digitales Planungsmodell programmieren. Dieses Planungsmodell der Gesamtstruktur diente als Grundlage sämtlicher Planung. Zur Reduktion von Technikflächen sahen die Architekten ein dezentrales Lüftungssystem vor, welches sie mit Fachplanern und ausführenden Firmen frühzeitig in der Planungsphase entwickelten. Dazu wurde eigens ein Wettbewerb für das Haustechnikmodul durchgeführt den die Firma Trox mit einer Bautiefe von 19 cm gewinnen konnte.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Für das Projekt wurden frühzeitig der Systemfassadenhersteller Schüco und der Gebäudetechnikhersteller Trox mit in die Planungsphase einbezogen. Ziel der Planer und Bauherren war es, sich an der Herstellung eines Automobils zu orientieren, einhergehend damit ein hohes Maß an Vorfertigung, gesteigerter Qualität und Präzision sowie eine verbesserte Terminplanung. Gemeinsam wurde die i-modul Fassade als Antwort auf die Ansprüche der Architekten entwickelt. Die Fassade zeichnet sich insbesondere durch einen sehr hohen Vorfertigungsgrad und eine einfache Montage auf der Baustelle aus.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die Entwicklung der i-modul Fassade ist als voller Erfolg der frühzeitigen Miteinbeziehung von Fachplanern und ausführenden Firmen zu verzeichnen, die damit einhergehenden Vorverlagerung von Fachwissen und Informationen ist als beispielhaft für den Bauprozess anzusehen.

**Quellen:**
DBZ+|BAU|colleg|BauWerk_02 Capricorn Haus, Düsseldorf
http://www.digitales-bauen.de/pdf/100714_capricorn.pdf

# Weingut Gantenbein

**Planer:** Gramazio & Kohler
**Spezialplaner:**
**Standort:** Fläsch, Schweiz
**Fertigstellung:** 2006

**Schwerpunkt:**
digitaler Entwurf und digitale Fertigung von Ziegelmauerfertigteilen

**Materialien:**
Ziegel

**Fertigungsmethode:**
Robotergestütztes automatisiertes Stapeln (Mauern)

**Bauteile:**
72 Wandelemente 4 Meter lang und 1,5 Meter hoch aus einem Betonstreifen mit 24 Ziegellagen

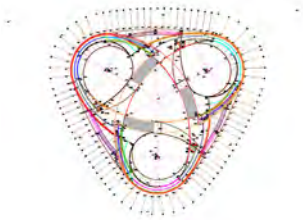
**Beschreibung:**
Das Weingut Gantenbein ist das erste Bauprojekt bei dem das Prinzip der „Programmierten Wand" zum Einsatz kam. Die Außenhülle des Erweiterungsbaus besteht aus zwei Schichten, die äußere Schicht aus Ziegeln dient als Sonnenschutz, Lichtfilter, und Wärmepuffer, die Innere Schicht aus Polykarbonat soll vor Wind und weiteren Wettereinflüssen schützen. Die Ziegel der äußeren Schicht sind so angeordnet, dass ihr Relief aus der Ferne betrachtet dem Abdruck überdimensionaler Trauben ähnelt. Das am Computer entworfene 3D Relief wurde mit Hilfe eines Skripts für die Herstellung aus einzelnen Ziegeln mit dem Roboter umgewandelt.

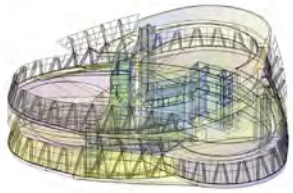
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die 72 Wandelemente wurden mit einem Industrieroboter gefertigt, dabei kam nicht wie sonst üblich Mörtel sondern, ein spezieller Kleber zum Einsatz. Dank diesem Kleber sind können die Wände auch Biegebelastungen aufnehmen. Im Unterschied zum Maurer ist es dem Roboter egal in welchem Winkel er den Ziegel ablegt, für jeden Ziegel braucht der Roboter identisch viel Zeit. Der Roboter stellte pro Tag 4 Fertigteile fertig, bei einer Betriebsdauer von 10 Stunden am Tag. Die Fertigbauteile wurden im Anschluss auf die Baustelle gebracht und im Betonskelett eingesetzt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Das Projekt zeigt sehr schön welche neuen Möglichkeiten entstehen sobald eine neue Methode in der Fertigung erprobt wird. Sonderbauteile können im Werk nach industriellen Maßstäben, wie Zeit und Kosten, gefertigt und anschließend auf der Baustelle präzise eingebaut werden. Der Roboter kann zudem im Vergleich zum Maurer mit größeren Lasten genutzt werden, sodass andere Ziegelformate zum Einsatz kommen können.

**Quellen:**
http://gramaziokohler.arch.ethz.ch/?lang=d&loc=DFAB&this_page=projekte&this_id=52
Digital Fabrication in Architecture S. 114-115
Manufacturing Material Effects S. 108-110

# Mercedes-Benz Museum (Parametrisches Planungsmodell)





**Planer:** UNStudio
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** Stuttgart, Deutschland
**Fertigstellung:** 2006

**Schwerpunkt:**
Ganzheitliches (programmiertes) parametrisches Gebäudemodell

**Materialien:**
-

**Fertigungsmethode:**
-

**Bauteile:**
Ganzheitliches, programmiertes, parametrische Gebäudeinformationsmodell als Mastermodell für Entwurfs-, Planungs- und Fertigungsprozess

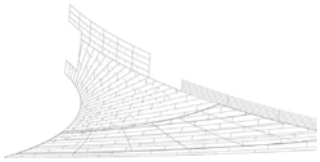
**Beschreibung:**
Das Mercedes Benz Museum zeichnet sich durch seine besondere Geometrie, die durch zwei spiralförmig ineinander verflochtene Rampen definiert wird, aus. Diese Rampen bilden mit den drei innen liegenden Kernen einen einzigartigen Raum, welcher mit herkömmlichen Planungsmethoden nahezu unmöglich zu beschreiben ist. Für den Entwurfs-, Planungs- und Bauprozess war es unabdingbar, die Geometrie darstellen und diese in kürzester Zeit an erforderliche Änderungen anpassen zu können. designtoproduction programmierte ein parametrisches 3D-Datenmodell des gesamten Gebäudes als Mastermodell um alle weiteren folgenden Schritte darauf aufzubauen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Das parametrische Mastermodell wurde währende des Entwurfs- und Planungsprozesses Schritt für Schritt entwickelt/ausgebaut und mit Informationen gefüttert. Es diente zur Entwicklung des Entwurfes und Kommunikation mit internen und externen Projektpartnern, als Grundlage für den weiteren Planungs- und Bauablauf. Durch die Parametrisierung des Modells konnten Änderungen mit weitreichenden Folgen für die Geometrie innerhalb kürzester Zeit im Modell eingearbeitet und die Pläne automatisch aktualisiert werden. Während des kompletten Prozesses wurden tausende Pläne automatisch generiert. Diese Automation des Prozesses ermöglichte die Einhaltung der knappen Planungs- und Bauzeit von gerade einmal 4 Jahren und die pünktliche Fertigstellung des Gebäudes sowie die Einhaltung der Kosten.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Das Projekt zeigt beispielhaft, welches Potential in der Nutzung von digitaler Entwurfs-, Planungs- und Fertigungsmethoden für die Bauwirtschaft verborgen ist. Hochkomplexe Geometrien können innerhalb eines geringen Zeitfensters geplant gefertigt und ohne Steigerung der veranschlagten Baukosten/-zeit durchgeführt und umgesetzt werden.

**Quellen:**
http://www.designtoproduction.ch
http://www.unstudio.com
From Control to Design S.168-171
Wendepunkte im Bauen: Von der seriellen zur digitalen Architektur S.164-167
Digitales Entwerfen S. 206-217

# Mercedes-Benz Museum (Fertigungsplanung Betonschalung)



**Planer:** UNStudio
**Spezialplaner:** designtoproduction, Züblin
**Standort:** Stuttgart, Deutschland
**Fertigstellung:** 2006

**Schwerpunkt:**
parametrisches Planungsmodell, digitale Fertigung, elastische Verformung

**Materialien:**
Betonschalung (Plattenwerkstoff Holz)
Stahl, Beton

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteile:**
Betontwist (Betonschalung aus CNC-gefrästen Einzelplatten)
Stahlstützen und Fassade (CNC-Fertigung)

**Beschreibung:**
Das Mercedes-Benz Museum mit seiner überaus komplexen Geometrie der Ebenen und deren Übergänge musste schon früh in der Planungsphase auf ein komplexes 3D-Informationsmodell zurückgegriffen werden, mit dessen Hilfe sowohl die komplexe Betonschalung als auch die unterschiedlichen Stahlstützen gefertigt werden konnten. Dieses Mastermodell diente als Grundlage für den weiteren Planungsverlauf aller nachfolgender Akteure, so wickelten die beteiligten Firmen in der Bauausführung die Produktions- und Montageplanung bis hin zur Simulation der Baulogistik in enger Abstimmung mit den Architekten komplett über diesen digitalen 3D-Datensatz ab.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Betonschalung, sowie die Stützen und die Fassade wurden mit Hilfe der Daten aus dem 3D-Informationsmodell computergesteuert hergestellt. Die komplexe doppelt gekrümmte Sichtbetonoberfläche der Twists konnte mit den herkömmlichen Methoden des Schalungsbaus nicht realisiert werden. designtoproduction entwickelte dafür eine Methode, welche es ermöglichte den Formenbau für die doppelt gekrümmte Form aus platten Holztafeln zu realisieren. Die mit einer CNC-Fräse präzise zugeschnittenen Holztafeln wurden vor Ort unter der Ausnutzung ihrer Elastizität in die gewünschte Form gebracht.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die hier angewandte Methode der Nutzung dünner Schalungstafeln aus Plattenwerkstoffen für die Fertigung einfach oder doppelt gekrümmter Oberflächen unter Ausnutzung der elastischen Verformung, stellt ein Novum im Betonbau dar. Sie ist sowohl auf Fertigteile als auch auf Ortbeton anwendbar. Ebenso die digitale Planungs- und Fertigungsmethode beispielhaft für kosten- und zeitbewusste Planung.

**Quellen:**
http://www.designtoproduction.ch
http://www.unstudio.com
From Control to Design S.168-171
Wendepunkte im Bauen: Von der seriellen zur digitalen Architektur S.164-167

# Trumpf Hauptpforte

**Planer:** Barkow Leibinger Architekten
**Spezialplaner:** Werner Sobek
**Standort:** Ditzingen, Deutschland
**Fertigstellung:** 2007

**Schwerpunkt:**
Digitale Fertigung, Tragwerksoptimierte Überdachung

**Materialien:**
Stahl (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Laserschneider
CNC-Schweißgerät

**Bauteile:**
Dachtragwerk (Rost) 32 x 8 m und 50 cm Bauhöhe bestehend aus 17 parallel geschweißten und geschraubten Trägern (Hohlkastenquerschnitt), mit ausgelaserten Edelstahlblechen verkleidete Unterseite

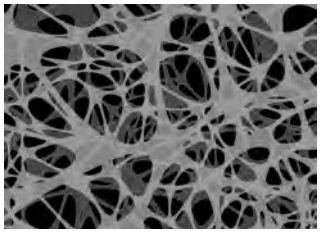
**Beschreibung:**
„Entwurfsbestimmend war die Idee, das neue Pförtnerhaus mit Hilfe der Laser- und Metallverarbeitungstechnologie des Bauherrn zu entwickeln und zu bauen: Ein schlankes, insgesamt 32 Meter langes Dach kragt, ausgehend von einem gläsernen Körper, auf einer Länge von 20 Metern frei über die Fahrspuren hinweg aus.“[1] Die Idee zum Dach und der damit verknüpften Form und Fertigung kam den Architekten bei der Durchsicht der Produkte die mit den Maschinen der Firma Trumpf gefertigt werden, darunter eine CNC-gelaserte und geschweißte Tischplatte. Das Gebäude soll die Fertigungstechnologien der Firma Trumpf veranschaulichen. Der Kräfteverlauf des Tragwerks spiegelt sich in den Trägern und der Formensprache der Deckenverkleidung wieder, deren ein digitales Kräftemodell zugrunde lag.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Fertigung der Hohlträger fand im Werk in Thüringen statt. Mehrere Träger wurden in Streifen zusammengefasst und nach Ditzingen gebracht, auf der Baustelle wurde das Dachtragwerk anschließend vorgefertigt und von zwei Autorkränen innerhalb eines Nachmittags in ihre angestammte Position gebracht und mit den Stützen verbolzt. Die Verkleidung der Unterseite wurden ebenfalls mit CNC-Lasern der Firma Trumpf ausgelasert.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Tragwerksoptimierter Entwurf, mit möglichst großem Vorfertigungsgrad im Werk, ermöglicht eine schnelle, präzise und sichere Montage auf der Baustelle.

**Quellen:**
[1]http://www.barkowleibinger.com
Stahlbau 78 (2009), Heft 11 S.869-872
Digital Fabrication in Architecture S. 94-95
Manufacturing Material Effects S. 96-97

# Airspace



**Planer:** Studio M.; Faulders Studio
**Spezialplaner:**
**Standort:** Tokyo, Japan
**Fertigstellung:** 2007

**Schwerpunkt:**
Mehrschichtige Fassadengestaltung

**Materialien:**
Aluminium, Kunststoffverbundwerkstoffe (Plattenwerkstoffe)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Laserschneider

**Bauteile:**
Individuelle Fassadenpaneele als Sichtschutz und zur Verschattung

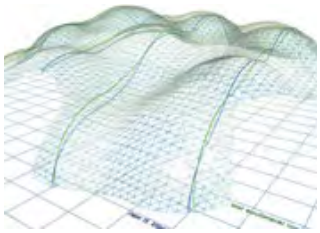
**Beschreibung:**
Für den Neubau eines Wohnhauses in Tokyo dient die Fassadengestaltung als eine kompakte Pufferzone zwischen dem Gebäudeinneren und der urbanen Außenwelt. Auf einem schmalen Streifen von etwa 30 cm übernimmt die neue Hülle die Aufgaben einer ehemaligen dichten Vegetation. Die Fassadengestaltung bricht den Wind und sorgt durch Reflektion und Umleitung für indirektes, diffuses Licht. Einblicke werden durch die Fassadengestaltung bewusst verwehrt oder zugelassen. Durch die Schichtung der einzelnen Lagen entstehen unterschiedliche ein und Ausblicke je nach Standort in oder außerhalb des Gebäudes.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Für die Entwicklung der Fassadenhülle wurden verschiedene Skripte erstellt, die die Fassade in zellulare Strukturen unterteilten, sich jedoch an den statischen Rahmenbedingungen und den Anforderungen der Hülle orientierten. Jeweils zwei Layer wurden auf einer Ebenen zusammengefasst, sodass eine deutlich vernetzte Struktur entstand. Die nötigen Fertigungsdaten wurden mit Hilfe von Skripten aus den verwendeten Programmen ausgelesen. Die Fertigung erfolgte mit einem CNC-Laser. Die Platten konnten aufgrund ihrer 2D-Geometrie einfach mittels CNC-Laserschneider ausgeschnitten und zusammengesetzt werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Wie diese Projekt zeigt sind CNC-Laser für die Fertigung individueller Bauteile aus Plattenwerkstoffen hervorragend geeignet, jedes Bauteil ist individuell gestaltet, unterscheidet sich in der Fertigung lediglich in der benötigten Dauer für die unterschiedlich Längen der auszuschneidenden Flächen.

**Quellen:**
http://faulders-studio.com/AIRSPACE-TOKYO
Paper: Sean Ahlquist - Collaboration and altered Process

# Atrium Złote Tarasy



**Planer:** Jerde Partnership
**Spezialplaner:** Arup; Waagner Biro
**Standort:** Warschau, Polen
**Fertigstellung:** 2007

**Schwerpunkt:**
Parametrische Formfindung und digitale Fertigung

**Materialien:**
Stahl (Kastenprofil, Plattenwerkstoff)
Glas (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
5-Achs-Laserschneider

**Bauteile:**
2300 Knoten, 7123 Stäbe und 4788 Glaspaneele - Jedes Bauteil ist ein Einzelstück

**Beschreibung:**
Das Atrium der Złote Tarasy besteht aus sieben kugelförmigen Hügeln mit unterschiedlichen Durchmessern und erstreckt sich auf einer Länge von 116 mal 100 Metern über eine Fläche von 10500m². Für die Geometriesierung des Stahltragwerks, sowie der Stahlstäbe, Knoten und Verglasung wurden unterschiedliche von den Ingenieuren entwickelte Programme und Skripte eingesetzt. Die Geometrie wurde trianguliert und verfeinert. Die einzelnen Stäbe besitzen konstante äußere Abmessungen von 200mm Höhe und 100mm Breite mit unterschiedlicher Länge. Die Dicke der Profilwände variiert zudem von 5mm bis zu 17.5mm um den unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden. Bei den 213 am stärksten belasteten Stäben kam zudem ein deutlich belastbarer Stahl zum Einsatz.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Während des Planungsprozess hatten die Ingenieure versucht Bauteile zu standardisieren. Um keinen zu großen Eingriff in die Gesamtgeometrie vorzunehmen, hätte nur eine geringe Anzahl an Bauteilen standardisiert werden können, ein Einsparung wäre kaum zustande gekommen. Alle Bauteile, sowohl Stäbe, als auch Knoten und Glaspaneele wurden industriell in einem digitalen Prozess nach den jeweiligen Fertigungsdaten aus dem Datenmodell gefertigt und markiert. Im Werk wurden größtmögliche Elemente vorgefertigt um das Schweißen auf der Baustelle zu minimieren; mehr als 70 Prozent aller Stäbe wurden bereits im Werk verbaut.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Arup und Waagner Biro brachten bei diesem Projekt ihre wertvollen Kenntnisse von der bereits realisierten Überdachung des Great Courts des British Museums ein und verfeinerten diese. Die Art und Weise des Designs, der Planung und Realisierung von freigeformten, triangulierten Dachschalen könnte mit standardisierten Systemen zur Detailgenerierung (Stäbe, Knoten, Glaspaneele) für das allgemeine Bauwesen weiterentwickelt, verbessert und einer breiteren Masse zugänglich werden.

**Quellen:**
http://www.arup.com
http://www.waagner-biro.com
Arup Building Design - Detail Engineering 2 S. 140
Arup Journal 1/2008 S.31-51

# Smithsonian Institution

**Planer:** Foster+Partners; Buro Happold
**Spezialplaner:** Arnold Walz (designtoproduction)
**Standort:** Washington DC, USA
**Fertigstellung:** 2007

**Schwerpunkt:**
Vollständig parametrisiertes Modell der Überdachung

**Materialien:**
Stahl, Glas (Plattenwerkstoff

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fertigung (Plasmaschneider)

**Bauteile:**
ca. 10000 Einzelteile, darunter Stäbe, Gläser und Knoten

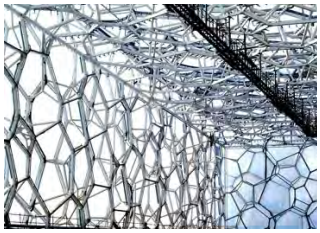
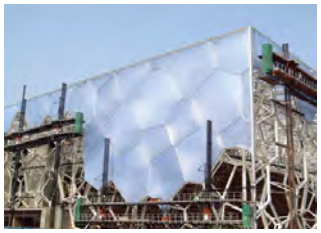
**Beschreibung:**
Die sanft gewellte Gitterschale die den Innenhof des Smithsonian Institutes überdacht besteht aus drei flachen, fließend ineinander übergehenden Kuppeln. Die Hauptparameter des Planungsmodells waren die Lastabtragung des Gitterrostes und eine einfache Scheibenverglasung mit viereckigen flachen Elementen, dabei musste der Abfluss von Regenwasser und Schnee gewährleistet sein. Die Stäbe der Gitterschale unterscheiden sich in ihrer Breite und Bauhöhe von besonders großen Stäben an den Auflagern zu schlankeren Stäben in Richtung Feldmitte. Als Planungsgrundlagen dienten die Grundgeometrie der Außenhaut und das Raster des Grundrisses. Während der Planung wurden drei parametrische Modelle entwickelt, von den Architekten, den Bauingenieuren und dem Fassadenhersteller. Das Skript für den Fassadenhersteller generierte ein vollständig ausformuliertes 3D-Modell aller Stäbe und Knoten zur Fertigung der Bauteile.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Um die Fertigung zu rationalisieren und zu vereinfachen wurde die Geometrie für den Fassadenbauer (Josef Gartner GmbH) nochmals überarbeitet. Alle Bauteile der Überdachung sind individuell, jedes Bauteil wurde mit einer eindeutigen Identifizierungsnummer bzw. Barcode versehen. Die Bauteile wurden in größeren Modulen zu so genannten „Leitern" vorgefertigt, deren Größe auf die Maße von Schiffscontainern und Kranlasten limitiert war.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Bei diesem Beispiel sieht man, dass für die präzise Fertigung komplexer geometrischer Formen mit einer Vielzahl an individuellen Bauteilen die Planung anhand eines parametrischen Modells und dessen Nutzung in der Fertigung unabdingbar sind. Man sieht aber auch, dass trotz sehr guter Zusammenarbeit der Akteure jeder für sich ein solches parametrisches Modell entwickelt hatte, da die Vergütung bzw. die Vorteile die dadurch für den einzelnen Akteur entstehen nicht klar geregelt waren.

**Quellen:**
http://www.fosterandpartners.com
http://www.burohappold.com/

# Water Cube

**Planer:** PTW; CSCEC + design
**Spezialplaner:** ARUP
**Standort:** Peking, China
**Fertigstellung:** 2008

**Schwerpunkt:**
Parametrisiertes Datenmodell des Tragwerks

**Materialien:**
Stahl (Profile), ETFE-Kissen (Kunststoffmembran)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fertigung
Schweißen (vor Ort)

**Bauteile:**
22000 Stahlrohre, 12000 Knoten, 4000 EFTE-Kissen

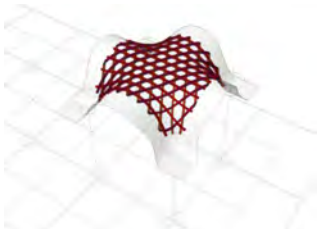
**Beschreibung:**
Die Planung und Realisierung des WaterCube war ein joint venture Projekt unter der Führung von Arup mit PTW und CCDI. Das Ergebnis des Projekts ist die Integration und Gleichgewichtung sämtlicher Ingenieursdisziplinen. Für das Gebäude mit den Maßen eines 117 x 117 x 31 m großen Kasten erarbeitete und entwickelte das interdisziplinäre Planungsteam schon im Wettbewerbsentwurf ein parametrisches Datenmodell der Tragwerksstruktur. Die Tragstruktur wurde aus einem Weaire-Phelan Strukur, einem geometrischen Gebilde, abgeleitet. Das Datenmodell konnte bei Änderungen (z.B. Form oder Abmessungen) innerhalb einer Woche einen kompletten Datensatz generieren. Es ist eines der ersten Projekte für das ein 4D-Informationsmodell entwickelt wurde.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Auf Grundlage des 4D-Informationsmodells konnten sämtliche Bauteile des Tragwerks (Stahlrohre und Knoten) im Werk vorgefertigt und einzeln auf die Baustelle transportiert werden, erst dort wurden sie miteinander verschweißt. Aufgrund der verwendete Weaire Phelan Struktur sind viele Bauteile baugleich, auch wenn es dem Betrachter durch die unterschiedliche Anordnung der Geometrie nicht auffällt, gibt es bei den EFTE-Kissen an den Wänden nur 15 und im Dach nur sieben unterschiedliche Formen.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Planungsmodelle wie das für die Tragstruktur im Wettbewerbsentwurf entwickelte Datenmodell sind für die Zukunft des Bauwesens außerordentlich wichtig, da diese die Generierung der Planungsdaten selbstständig abwickeln und auf Planungsänderungen automatisch reagieren.

**Quellen:**
http://www.arup.com
Arup Building Design - Detail Engineering 2 S. 54-57

# Haesley Nine Bridges Golf Club House



**Planer:** Shigeru Ban Architects
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** Yeoju, Süd-Korea
**Fertigstellung:** 2008

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Modell des Holztragwerks zur Planung und Fertigung

**Materialien:**
Holz (Leimbinder)

**Fertigungsmethode:**
CNC-5-Achs-Abbundmaschine

**Bauteile:**
467 unterschiedlich detaillierte Holzleimbinder mit insgesamt über 15000 überlappenden Verbindungen

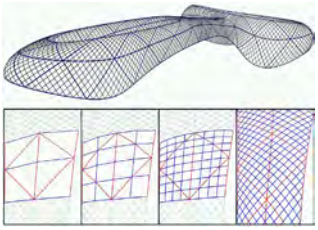
**Beschreibung:**
Das aus miteinander verwobenen Holzträgern bestehende Tragwerk besteht aus 32 Elementen die auf 21 Stützen ruhen und erinnert an Baumstrukturen mit ineinanderlaufenden Kronen. Die Anforderungen an die Struktur (u.a. Brandschutz) und an die Einhaltung der Geometrie, machten die Planung mit Hilfe eines 3D-Informationsmodells notwendig. Aus diesem konnten die über 3500 komplizierten, davon 467 unterschiedlich detaillierte, Holzleimbinder mit insgesamt mehr als 15000 überlappenden Verbindungen ausgelesen werden.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Aufgrund der Anisotropie von Holzwerkstoffen musste für die Bearbeitung der Einzelteile auf der 5-Achs-Abbundmaschine ein eigenes Fertigungsskript entwickelt werden. Damit bei der Fertigung keine Fehler entstehen, müssen Schnitte bzw. Fräsarbeiten immer mit Faser des Holzes erfolgen. Auf Grund des 3D-Informationsmodells konnte der ausführende Holzbaubetrieb sämtliche Bauteile mit Hilfe einer CNC-Abbundmaschine fertigen lassen, diese wurden vor Ort zu insgesamt 32 Modulen vorgefertigt und eingebaut.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Der Anwendungsbereich im Bauwesen ist groß. Besonders für den Holzbau ist die Entwicklung der richtigen Planungs- und Fertigungswerkzeuge, in diesem Fall vor allem die Software von enormer Bedeutung, da für Fräsarbeiten mit Holz unter anderem auf die Faserrichtung zu achten ist, dies entfällt zum Beispiel bei Arbeiten mit Metallen und wurde bisher vernachlässigt. Das bei diesem Projekt entwickelte Fertigungsskript bildet einen Grundstein und lässt sich für weitere Arbeiten modifizieren.

**Quellen:**
http://www.designtoproduction.ch
http://www.freiform-holzbau.ch

# The Yas Hotel (Überspannende Freiformfläche)



**Planer:** Asymptote Architecture;
**Spezialplaner:** Waagner Biro
**Standort:** Abu Dhabi, Vereinigte Arabische Emirate
**Fertigstellung:** 2009

**Schwerpunkt:**
Parametrisierung der Gesamtgeometrie und der Detaills

**Materialien:**
Stahl (Profil),
Glas (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fertigung

**Bauteile:**
5100 individuelle unterschiedlich eingerahmte Glaselemente
10700 individuell gefertigte Stäbe

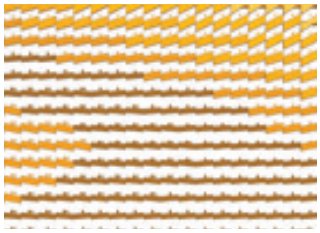
**Beschreibung:**
Über die quer zueinander stehenden siebengeschossigen Volumina des Hotelkomplexes legt sich wie ein Schleier, die als „Grid-Shell" bezeichnete Gitterschale aus Stahl und Glas, welche die beiden Gebäude zu einer gemeinsamen architektonischen Einheit verbindet. Die Freiformfläche der Gitterschale wiegt insgesamt 2800t Stahl und besteht aus 10700 individuell gefertigten Stäben, sie ist mit 5100 individuell eingerahmten Glaselementen bestückt. Für die Planung und Realisierung standen den Teams lediglich 18 Monate zur Verfügung. Dafür entwickelte das beauftragte Unternehmen (Waagner Biro) ein digitales Datenmodell mit parametrisierten Details, aus welchem die Daten der jeweiligen Bauteile ausgelesen und für die Fertigung verwendet werden konnten.

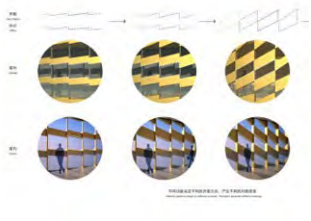
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Das parametrische Modell war soweit optimiert, dass zwar sämtliche Glaspaneele und Stäbe als Unikate gefertigt werden mussten, die komplexen Knotenpunkte zur Anbringung der Paneele wurden jedoch standardisiert und in Serie gefertigt. Große Teile der Tragstruktur als so genannte „Leitern" vorgefertigt, dabei handelt es sich um die Teile der Gitterschale, die Unterkonstruktion für ca. 20 Gläser. Diese wurden vorgefertigt am Gebäude angebracht und die fehlenden Felder dazwischen auf der Baustelle geschweißt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Bei diesem Projekt wurde das Bauteil bei dem eine Serienfertigung, bei Beibehaltung der Ausgangsgeometrie, am meisten Einsparung bringt identifiziert und als Massenprodukt gefertigt, die anderen Bauteile bei denen die Einzelanfertigung günstiger war, wurden in einem parametrischen Modell an die Rahmenbedingungen angepasst. Es wird das optimierungspotenzial parametrischer Details auf die Planung und vor allem Fertigung für das Bauwesen aufgezeigt.

**Quellen:**
http://www.waagner-biro.com
http://www.asymptote.net

# YJP Administrative Center





**Planer:** HHD/FUN; BIAD
**Spezialplaner:**
**Standort:** Binhai, China
**Fertigstellung:** 2009

**Schwerpunkt:**
Parametrische Fassadenpaneele, Belichtungsoptimierung

**Materialien:**
Metall (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Laserschneider

**Bauteile:**
Fassade aus 6 unterschiedlichen Grundpaneele, durch Spiegelung insgesamt 12 Variationen

**Beschreibung:**
Das Bürogebäude ist auf allen Etagen mit einer umlaufenden Veranda umgeben. Diese findet wiederum mit den hier beschriebenen Fassadenpaneelen einen äußeren Abschluss. Diese äußere Fassade besteht aus sechs unterschiedlichen Grundpaneelen, deren Variation durch Spiegelung auf insgesamt 12 Paneele erweitert wird. Das Muster, das sich durch die Paneele ergibt hat direkten Bezug zur benötigten Belichtung der dahinter liegenden Räumlichkeiten. Die Veranda dient als Freiräume für die Mitarbeiter, die Paneele als Lichtfilter für die dahinter liegenden Büroflächen sowie als Gestaltung des äußeren Erscheinungsbildes.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Da die Paneele in ihrer Grundform aus flachen Platten bestehen konnten diese auf einer CNC-Laserschneideanlage automatisch hergestellt und anschließend miteinander verschweißt werden. Durch die gering gehaltene Variation der einzelnen Bauteile konnte die Fertigung vereinfacht und der gesamte Prozess beschleunigt werden. Das Gebäude wurde innerhalb von sieben Monaten fertig gestellt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Durch die Vereinfachung von Bauteilen und die Reduzierung der Variationen wurde bei diesem Projekt die Fertigung der Paneele industrialisiert und schneller Abgewickelt, die wahrnehmbare Reduzierung der Bauteilvariation wurde durch Spiegelung der Bauteile aufgehoben. Dieses Projekt zeigt, dass es nicht unbedingt notwendig ist jedes Bauteile individuell zu gestalten.

**Quellen:**
http://blog.hhdfun.com/?s=YJP+Administrative+Center
http://www.hhdfun.com/#!200801-yjp-administrative-center/c10te
http://openbuildings.com/buildings/yjp-administrative-center-profile-121

# My Zeil

**Planer:** Massimiliano Fuksas
**Spezialplaner:** Knippers Helbig; Waagner Biro
**Standort:** Frankfurt, Deutschland
**Fertigstellung:** 2009

**Schwerpunkt:**
Optimierung des Gittertragwerks und digitale Fertigung

**Materialien:**
Stahl (Profil- und Plattenwerkstoff
Glas (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
5-Achs-Laserschneider
CNC-Fräse

**Bauteile:**
8250 unterschiedliche Stäbe
3500 dreieckige Einzelscheiben

**Beschreibung:**
Das 13500m² große Freiformdach mit Sonderfassade überdacht das Einkaufszentrum MyZeil in Frankfurt in Form eines Canyons zwischen den angrenzenden Gebäuden. Im Zentrum fungiert ein Trichter als Stütze und Lichtschneise für die unteren Geschosse, zudem ist der Canyon mit einer so genannten „Trompete" mit der Hauptfassade an der Straßenseite verbunden. Im Planungsprozess erhielten die Tragwerksingenieure ein einfaches 3D Model. Dieses 3D-Modell sollte als Basis für eine filigrane, möglichst homogene Tragstruktur in Form eines Stahlgittertragwerks mit dreieckförmigen Maschen dienen. Dieses Modell wurde in einem iterativen Prozess zuerst an die geometrischen Rahmenbedingungen sowie die aufkommenden Lasten angepasst werden. In einem weiteren Schritt wurde die Linienführung der Stäbe, aus ästhetischen, aber auch aus Gründen der Entwässerung und Technik optimiert.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Umsetzung der Gitterschale basiert auf einer durchgängigen Prozesskette. Die 8250 unterschiedlichen Stäbe aus Rechteckhohlprofilen mit einer Breite von 60mm, einer Höhe von 120mm und einer Wandstärke von 5mm variieren in ihrer Länge zwischen ein bis drei Metern, dies ist den unterschiedlichen Krümmungen der Gesamtgeometrie geschuldet. Die Sternknoten wurden nach den geometrischen Bedingungen aus den Anschlüssen der Stäbe gefräst. Aus Stäben und Knoten vorgefertigte „Leitern" wurden auf die Baustelle geliefert und dort an der richtigen Position mit den noch fehlenden Bauteilen verschweißt. Im Anschluss wurden die insgesamt 3500 Einzelscheiben, mit unterschiedlichem Aufbau, je nach ihren Anforderungen entsprechend auf der Gitterschale montiert.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Ähnliche Fassaden- bzw. Überdachungssysteme bei anderen Projekten (siehe S.103 u. 114) die direkte Anwendbarkeit ist gegeben.

**Quellen:**
http://www.fuksas.it/
http://www.robotsinarchitecture.org/wp-content/uploads/2011/09/ecaade_ddp.pdf
Fassade 5/2009 S.12-13
Stahlbau 77 (2008), Heft 10, Seite 696 – 707

# 10 Hills Place

**Planer:** Amanda Levete Architects
**Spezialplaner:** Frener & Reifer
**Standort:** London, Vereinigtes Königreich
**Fertigstellung:** 2009

**Schwerpunkt:**
Fertigung der doppelt gekrümmten Fassade

**Materialien:**
Aluminium (Strangpfrofile)

**Fertigungsmethode:**
Stranggepresste Aluminiumprofile aus dem Schiffsbau

**Bauteile:**
Doppelt gekrümmte Fassade aus Aluminiumstrangprofilen (140mm)

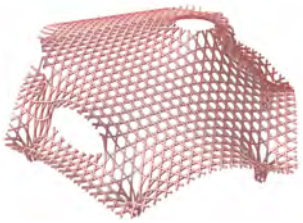
**Beschreibung:**
Das 10 Hills Place mit seiner gewölbten Fassade mit den vier, dem Himmel entgegen gerichteten, „Bullaugen" ist das Ergebnis des Umbaus, Aufstockung sowie Aufwertung eines unscheinbaren Nebengebäudes. Gestalterisch orientierten sich die Planer an den berühmten Schlitzbildern von Lucio Fontana. Sie wollten ein modernes, funktionelles sowie ansprechendes Bürogebäude mit, für die Rahmenbedingungen, viel Tageslicht schaffen, dabei orientiert sich die Fassade an den Öffnungen des Bestandsgebäudes. Die Planung der Fassade fand anhand eines 3D-Modells statt, dieses wurde aus Aluminiumprofilen, die sonst im Schiffsbau Verwendung finden und sich elastisch verformen lassen, im Stecksystem gefertigt.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die einzelnen Bauteile sowohl die eigentlichen Bullaugen, als auch die Aluminium wurden nach den Vorgaben des Modells gefertigt. Die Fassadenabschnitte mit den Bullaugen sowie der doppelt gekrümmten Fläche wurden in etagenweisen Modulen im Werk gefertigt und auf der Baustelle durch einen Kran angebracht. Die restliche Beplankung der geraden Fassadenflächen fand direkt vor Ort statt. Im Anschluss musste die Fassade noch mit einem speziellen Lack versiegelt werden, der den ästhetischen Anforderungen der Architekten entsprach.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Auch dieses Projekt zeigt, dass für spezielle Bauaufgaben Fertigungs- und Produktsysteme aus anderen Industrien verwendet werden und sich dafür hervorragend eignen. Das einfach anzubringende Stecksystem in Verbindung mit Dauerhaftigkeit, Sortenreinheit (Recycling) und elastischer Verformung bietet großes Potenzial für den Fassadenbau.

**Quellen:**
http://www.amandalevetearchitects.com
http://www.frener-reifer.com/projekte/hills-place-bueroerweiterungsbau/

# Centre Pompidou



**Planer:** Shigeru Ban Architects
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** Metz, Frankreich
**Fertigstellung:** 2009

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Modell des Holztragwerks zur Planung und Fertigung

**Materialien:**
Holz (BSH-Leimbinder)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Abbundmaschine

**Bauteile:**
1790 individuell gekrümmte Brettschichtholzträger (18 km Gesamtlänge)

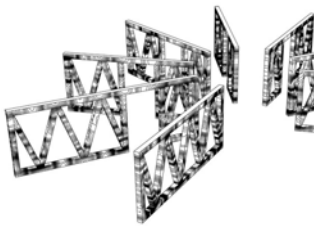
**Beschreibung:**
Wie ein riesiger Strohhut wirkt das gebaute Holzdach des Centre Pompidou in Metz mit seiner transluzenten Membran. Zu Beginn der Realisierung stand nur ein einfaches 3D-Modell des Architekten zur Verfügung aus dem keinerlei fertigungsrelevanten Daten ausgelesen werden konnten. Auf Grundlage diese Modells wurde in monatelanger Arbeit ein 3D-Informationsmodell erzeugt aus dem sämtliche relevante Daten ausgelesen werden konnten. Das zeltartige Dach überspannt eine Gesamtfläche von 7500m² und besteht aus 1790 individuell gekrümmten Brettschichtholzträgern mit einem Querschnitt von 14 x 44 cm, diese liegen in einem hexagonalen Netz, basierend auf dem sechseckigen Grundriss, in sechs Lagen übereinander, jeweils zwei davon verlaufen parallel. An einem Knotenpunkt sind jeweils vier Stränge über eine Dolle miteinander verbunden.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
In einem parametrischen Modell wurden die regelbasierten Details simuliert und hinsichtlich ihrer Statik und Fertigung optimiert. Schließlich mussten daraus die Fertigungsdaten für 1790 Träger mit über 7000 Aussparungen generiert werden. Anstatt sonst üblicher 2D-Pläne, wurden zur Fertigung einzig digitale Daten verwendet, zur Montage gab es schließlich nur axonometrische Zeichnungen zur richtigen Platzierung der einzelnen Träger.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Für die CNC-Fertigung der einzelnen Leimholzbinder musste eine eigene Fertigungssoftware geschrieben werden. Diese kann nun für weitere Projekte mit ähnlicher/artverwandter Geometrie und Detaillierung genutzt werden.

**Quellen:**
http://www.shigerubanarchitects.com
http://www.designtoproduction.ch
TEC21 7 / 2010 S.30-34

# Neue Monte Rosa Hütte



**Planer:** Prof. Deplazes & Prof. Hovestadt (ETH Zürich)
**Spezialplaner:** Gramazio und Kohler (digitale Fertigung)
**Standort:** Zermatt, Schweiz
**Fertigstellung:** 2009

**Schwerpunkt:**
Digitale Fertigung der Wandelemente

**Materialien:**
Holz (Balken/ Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteile:**
420 vorfabrizierte Holzelemente als Stab-Platten-Verbund (Balken mit 120/120 bzw. 140mm)

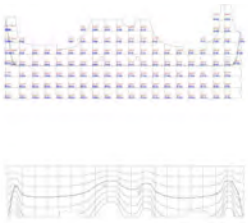
**Beschreibung:**
Die neue Monte Rosa Hütte wurde in einem mehrjährigen Prozess unter Einbezug der Studenten an der ETH Zürich entwickelt und in den Jahren 2008 und 2009 umgesetzt. Auf einer Höhe von 2883 m. ü.M. steht auf einem achteckigen Grundriss die Kristalline Struktur. Da es in diesen Höhen weder Wasser- noch Stromleitungen gibt, wurde dieses Gebäude als autonomer Selbstversorger mit neuester Gebäudetechnik geplant. Auf einem Fundament aus Stahl und Stahlbeton ragt die Konstruktion über fünf Ebenen in (Fachwerk-) Holzbauweise. Das Gebäude wurde komplett in einem digitalen Modell geplant um sämtliche relevante Eigenschaften zu simulieren, auch die Fertigungsdaten für die Elemente wurden aus diesen Daten generiert.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Da alle Bauteile per Hubschrauber eingeflogen werden mussten und zudem unberechenbare Wetterverhältnisse, sowie ein geringes Zeitfenster von gut 5 Monaten für die Bauarbeiten herrschte, wurde der Großteil der Hütte in Form von 420 vorfabrizierten Holzelementen angeliefert. Die Verbindungen der Tragelemente und Fachwerkwände wurden in CNC-gefrästen Schwalbenschwänzen ausgeführt. So kam traditionelle Verbindungstechnik mit neuster Fertigungstechnik zusammen und führte zu einer sehr hohen Qualität und Präzision in der Vorfertigung der Holzteile. Die Bauteile wurden mit dem Hubschrauber direkt an Ort und Stelle eingebaut.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Digitale CNC-gesteuerte Fertigung ermöglicht die Anwendung alter und traditioneller Verbindungen im Holzbau, die dadurch mit höchster Präzision und geringerem Zeitaufwand als in der händischen Ausführung. So kann zum Beispiel auf unnötige Verbindungselemente aus Metall wie z.B. Verbinder, Schrauben und Nägel verzichtet werden. Allgemein bietet die computerstützte Vorfertigung verbesserte Qualität bei geringeren Arbeitszeiten auf der Baustelle.

**Quellen:**
http://www.neuemonterosahuette.ch/
http://wiki.arch.ethz.ch/twiki/bin/view/Extern/MonteRosa.html
Jenseits des Rasters – Architektur und Informationstechnologie
Tec 21 41/2009 S. 23-26

# Kilden Performing Arts Center



**Planer:** ALA Architects
**Spezialplaner:** designtoproduction; Blumer-Lehmann; SJB Kempter-Fitze
**Standort:** Kristiansand, Norwegen
**Fertigstellung:** 2010

**Schwerpunkt:**
Parametrische Planung und digitale Fertigung der Holzfassade

**Materialien:**
Holz (BSH, Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteile:**
14309 individuelle Einzelteile, darunter 1769 gekrümmte BSH-Träger, 292 gerade BSH-Träger, 895 Bolzen und 12248 Eichenbretter

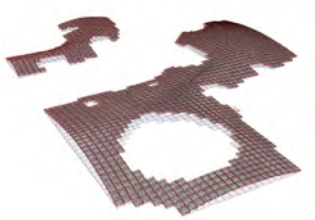
**Beschreibung:**
Die schräge geschwungene Holzfassade der norwegischen Oper in Kristiansand wellt sich über die komplette Länge von 100 Metern und zieht sich von der Traufkante in 22 Metern Höhe schräg nach hinten in das Innere des Gebäudes. Für die nötigen Anforderungen an die Planung und Ausführung wurde ein parametrisches Modell mit regelbasierten Abhängigkeiten und Details entwickelt. Bei der Vielzahl an individuellen Bauteilen und Verbindungen liegen diese jedoch auf lediglich zehn Bauteil- und acht Verbindungs-Typen zugrunde. Aus diesem digitalen Planungsmodell wurden unter anderem die statischen Daten sowie die Fertigungsdaten ausgelesen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die einzelnen Holzbauteile wurden mit Hilfe unterschiedlicher CNC-Fräsen in der Schweiz und in Norwegen gefertigt und in Norwegen in einer Werft vormontiert. Da die Fassade doppelt gekrümmt ist und die Schalbretter daher leicht verdreht sind und sich deren Breite ändert wurde für jedes Brett auf den Trägern eine Nut und die Schraublöcher im Schalbrett CNC-gefertigt. Die in der Schweiz und Norwegen vorgefertigten Komponenten wurden schließlich zu 126 Fassadenelementen vormontiert. Die Vormontage fand in einer Werft unter Optimal-Bedingungen und mit eigens erstellten Schablonen statt. Die vorgefertigten Elemente wurden auf dem Seeweg direkt zur Baustelle gebracht und verbaut, dadurch konnten auch große Elemente ohne Probleme transportiert werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Besonders wichtig ist in diesem Projekt die Vorverlagerung von Arbeitsschritten in die Planung und Vorfertigung, dies vergrößert zwar den Planungsaufwand und Kosten, erspart jedoch ein Vielfaches Zeit und Geld in den nachfolgenden Arbeitsschritten und ermöglicht eine deutlich präzisere Qualität der Bauteile.

**Quellen:**
http://www.designtoproduction.ch
Digitaler Workflow im Freiform-Holzbau | F. Scheurer

# Rolex Learning Center (EPFL)



**Planer:** Sanaa
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** Lausanne, Schweiz
**Fertigstellung:** 2010

**Schwerpunkt:**
parametrisierte Planung, digitale Fertigung der Betonschalung

**Materialien:**
Beton (Formlos)
Holzschalung (Plattenwerksotff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteile:**
1400 individuelle Schalungstische, bestehend aus 1500 individuellen Schalungstafeln sowie ca. 10000 individuellen Holzspanten

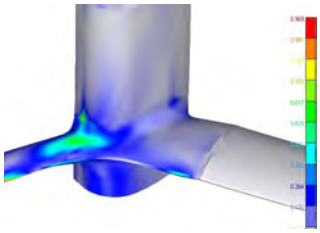
**Beschreibung:**
Der eingeschossige Wellenförmige Bau erstreckt sich über eine Fläche von 166 x 122 Metern und besitzt 14 unterschiedliche Patios mit einem Durchmesser von sieben bis 50 Metern. Während die Botenplatte aus zwei gespannten Stahlbetonschalen bestehen ist das Membrandach mit einer Unterkonstruktion aus Brettschichtholz- und Stahlträgern versehen. Die Formfindung zur statischen Optimierung der endgültig gebauten Form fand in einem Iterativen Prozess zwischen den Architekten und den verantwortlichen Ingenieuren statt.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Zur Herstellung der 1400 individuellen Schaltische mit den Maßen 2,5 x 2,5 Metern, deren Oberfläche dem Krümmungsverlauf der zu betonierenden Schalenunterseite folgt, wurde ein regelbasiertes Skript erzeugt. Die Schaltische bestehen aus zwei Holzträgern sowie sieben dazu quer verlaufenden Holzspanten, die abschließende Oberfläche wird von einer Laminierten Holzfaserplatte gebildet. Die Bauteile der Tische wurden regelbasierend computergeneriert und per CNC-Fräse digital Hergestellt. Die fertigen Schalungstische wurden auf der Baustelle mittels GPS positioniert und ausgerichtet.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die hier gemachten Erfahrungen in der Fertigung individueller Betonschalung, sowie der Positionierung der Schalungselemente via GPS können auf weitere Projekte übertragen und angepasst werden. Dadurch werden ein erhöhtes Maß an Qualität und Präzision auf der Baustelle sowie der Bauwerke erreicht.

**Quellen:**
http://www.designtoproduction.ch
http://bollinger-grohmann.de/
Digitale Prozesse S.77-81

# The Walbrook



**Planer:** Foster+Partners
**Spezialplaner:** Josef Gartner GmbH
**Standort:** London, Vereinigtes Königreich
**Fertigstellung:** 2010

**Schwerpunkt:**
Parametrisiertes Modell der Lamellen, teilweise digitalisierte Herstellung

**Materialien:**
GFK (glasfaserverstärkter Kunststoff); Polyurethan-Hartschaum

**Fertigungsmethode:**
5-Achs-CNC-Fräse; Handlaminieren; Innendruckformpressen

**Bauteile:**
ca. 6000 Elemente, darunter 4000 individuelle Bauteile auf 14000m² Fassade mit insgesamt 150 Tonnen GFK-Laminat

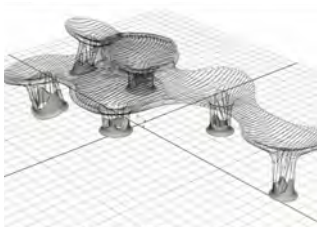
**Beschreibung:**
Das Bürogebäude The Walbrook ist das erste Gebäude, bei dem glasfaserverstärkter Kunststoff in dieser Größenordnung in der Fassadengestaltung zum Einsatz kam. Die filigranen Sonnenschutzlamellen wurden aus GFK gefertigt, da GFK frei formbar ist und somit die doppelten Krümmungen und organischen Formen realisiert werden konnten. Eine Fassade aus Aluminiumblechen oder im Extrusionsverfahren war aus wirtschaftlicher Sicht nicht realisierbar.
Für die Detailplanung wurde die Geometrie der Gebäudehülle parametrisch generiert. In den Prozess flossen sämtliche Parameter aus der Entwurfsidee, der Materialeigenschaften und Fertigungsverfahren ein. In der Detailplanung griff der Fassadenhersteller Gartner auf ein parametrisches Planungsmodell zurück. Dies war nötigt, da die vielen unterschiedlichen Detailpunkte eine manuelle Konstruktion in CAD nahezu unmöglich machten. Die Daten dienten als Grundlage für die CNC-Fertigung, Erzeugung von Bestelllisten und der Montageplanung.

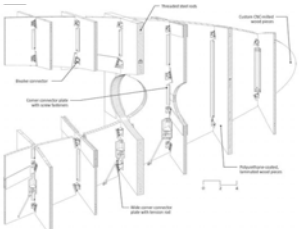
**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Fertigung der ca. 4000 erfolgte in drei wesentlichen Schritten, zunächst wurden mithilfe der parametrischen Daten und einer 5-Achs-CNC-Fräse die Urformen aus Polyurethan-Hartschaum gefräst. Im nächsten Schritt wurden aus GFK die Negativformen manuell hergestellt. In einem speziellen Verfahren wurde dann in diesen Formen ein von noch nassem glasfaserverstärktem Kunststoff umgebener Folienschlauch unter Druck gesetzt und dieser presste das GFK in die Formen. Im Anschluss wurden alle Bauteile nochmal mittels 5-Achs-CNC-Fräse passgenau bearbeitet.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
The Walbrook stellt im Bauwesen ein Novum für den Einsatz von GFK dar. Das Projekt zeigt, dass auch eine manuelle Herstellung mittels GFK wirtschaftlich realisiert werden kann. Für die Bearbeitung von GFK fehlen derzeit die nötigen digitalen Werkzeuge.

**Quellen:**
http://www.thewalbrookbuilding.co.uk
http://www.fosterandpartners.com

# Metropol Parasol





**Planer:** Jürgen Mayer H.; Arup
**Spezialplaner:** MetsäWood
**Standort:** Sevilla, Spanien
**Fertigstellung:** 2010

**Schwerpunkt:**
digitales Planungsmodell; digitale Fertigung

**Materialien:**
Furnirschichtholz (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteile:**
3400 Einzelteile aus Kerto-Furnierschichtholz mit einer Stärke von 68 und 331 mm

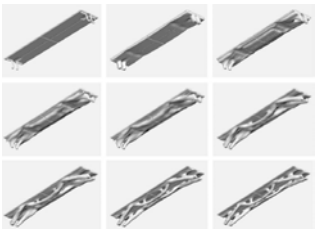
**Beschreibung:**
Die pilzförmige Struktur, die die Plaza de la Encarnación im Zentrum Sevillas auf 150 x 75 Meter mit einer maximalen Höhe von 28 Metern überspannt besteht aus einem orthogonalen Netz aus Kerto-Furnierschichtholzrippen mit einem Raster von 1,5 x 1,5 m. Die Struktur schichtet den Platz in vier Ebenen, die erste Ebene im Untergeschoss ermöglicht es den Besuchern die antiken Mosaiken und römische Grundmauern zu begutachten. Im Erdgeschoss ist der neue Marktplatz untergebracht, darüber befindet sich die eigentliche Plaza über die sich die sechs Baumstützen der neuen Holzkonstruktion erheben, in deren Wipfeln ein öffentlicher Raum mit fließender Dachlandschaft und Cafés sowie Panoramaweg befinden.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Geometrie wurden von den Architekten 3D-Modell in Rhino modelliert und beinhaltete alle geometrischen Informationen, wie das 1,5x1,5m-Raster, die Bauhöhen der einzelnen Elemente aus der architektonischen Form sowie die Winkel der Holzfasern zur Elementachse, wie von MetsäWood zur Fertigung vorgegeben. Nach der Berechnung der nötigen Bauteilstärke, konnten die über 3400 Bauteile, mit einer Mindestbauhöhe von 80 cm und einer Länge, zumeist über drei Felder, sowie einer Dicke zwischen 68 und 331mm nach den Vorgaben des 3D-Modells mittels CNC-Fräse gefertigt werden. Die Bauteile wurden im Anschluss von Deutschland auf die Baustelle in Sevilla transportiert und dort zusammengebaut. Die Furnierschichthölzer bekamen im Anschluss an die Montage eine Polyurethan-Beschichtung die sie gegen Umwelteinflüsse und Verwitterung schützten soll

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Hier wird der klassische Holzbau durch die Verwendung von CNC-Fräsen zur industriellen Herstellung einer Vielzahl individueller Bauteile geführt. Im Verbund mit einer Polyurethan-Beschichtung wurde das geeignetste Material für diese Bauaufgabe gewählt.

**Quellen:**
http://www.jmayerh.de/19-0-Metropol-Parasol.html
http://www.arup.com/Projects/Metropol_Parasol.aspx
Wendepunkte im Bauen S. 172
Arup Building Design - Detail Engineering 2 S. 22-27

# National Convention Centre



**Planer:** Arata Isozaki
**Spezialplaner:** Buro Happold (SMART Group)
**Standort:** Doha, Katar
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
Parametrische Formfindung der Baumstützen

**Materialien:**
Stahl (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
Fertigung in der Schiffswerft

**Bauteile:**
Baumstützen bestehend aus einer inneren, tragenden Struktur aus flachen Platten und einer äußeren, doppelt gekrümmten Verkleidung

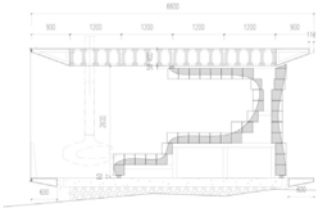
**Beschreibung:**
Die riesige Überdachung des Eingangsbereichs wird anstatt von herkömmlichen vertikalen Stützen von zwei Baumstützen mit jeweils vier Hauptästen getragen. Die Vision hierzu kam von Arata Isozaki und seinem Team, welcher mit der so genannten Extended ESO (Evolutionary Structural Optimization) Methode die Form entwickelte. Ursprünglich sollte der asiatische Banyan Baum (Feigenbaum) das Vorbild sein, für Quatar wurde der Sidra Baum als Vorbild genommen. Der Formfindungsprozess fand vollautomatisch statt und optimierte die Baumform nach ihren statischen Anforderungen. Das Dabei erzeugte 3D-Modell wurde an die nachfolgenden Planer weiter gegeben. Aus dem generierten Modell entwickelten die Ingenieure von Buro Happold eine vereinfachte Form mit verbesserter Oberfläche. Die von den Architekten gelieferte Geometrie wurde zur äußeren Hülle der Struktur degradiert, um die Berechnung und die Fertigung zu vereinfachen und in einem wirtschaftlichen Rahmen zu halten. Für die Tragstruktur wurde ein inneres System, aus weitestgehend geraden und aus Stahlplatten hergestellten Modulen entwickelt, welches über Abstandhalter mit doppelt gekrümmten Blechen, welche die äußere Oberfläche bildeten, verkleidet wurden.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Durch die Vereinfachung der Geometrie des inneren, statischen Systems konnten die stützen deutlich wirtschaftlicher hergestellt werden. Die Herstellung des Inneren Systems und Teilen der äußeren Hülle fand über Victor Buyck Construction in Malaysia statt, die Bauteile wurden anschließend nach Doha verschifft. Besonders aufwendige Bauteile wurden unter anderem von Ostseestaal gefertigt. Die Konstruktion wurde von Oben nach Unten auf einer temporären Hilfskonstruktion gebaut.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Trotz der parametrischen Entwicklung eines optimierten Tragwerks musste dieses im Verlauf der Fertigung aufgeteilt und vereinfacht werden um ein realisiert zu werden.

**Quellen:**
http://www.qatarconvention.com/
http://www.isozaki.co.jp/
From Control to Design – Parametric/Algorithmic Architecture S.108-115
http://misfitsarchitecture.com/tag/qatar-national-convention-centre/

# Norwegian Wild Reindeer Centre Pavillon



**Planer:** Snøhetta
**Spezialplaner:**
**Standort:** Dovre, Norwegen
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
Digital modelliert und gefertigte Innenraumgestaltung

**Materialien:**
Holz (Profilwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteile:**
Holzbalken (10x10 inch bzw. 25,4x25,4 cm)

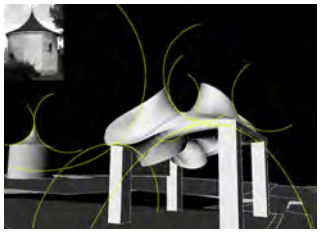
**Beschreibung:**
Der Pavillon dient den Besuchern des Naturparks als Unterstand und Beobachtungspunkt. Die einzigartige natürliche, kulturelle und mystische Landschaft diente als Basis der architektonischen Formensprache des Pavillons, die Außenkubatur besteht aus glatten, geradlinigen Stahl- und Glasflächen während der Innenraum als organische Holzskulptur gestaltet ist. Die Holzskulptur soll den Besuchern als warmer, schützender Platz dienen, während sie das Panorama genießen können.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Die Holzinstallation besteht aus einzelnen Kanthölzern (10x10 inch bzw. 25,4x25,4 cm) die an die Geometrie mit Hilfe einer robotergesteuerten Fräsmaschine angepasst wurden. Neben den fortgeschrittenen digitalen Fertigungsmethoden kam alte Zimmermannskunst aus dem Schiffsbau zum Einsatz, denn die digital gefrästen Kanthölzer wurden nur mit Holzdübeln und Verbindern miteinander verbunden. Auf der geschützten Innenseite wurde das Holz eingeölt, während es auf der Außenseite mit Kiefernteer behandelt wurde.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Das Projekt zeigt, dass neben der Anwendung neuer digitaler Fertigungsmethoden auch traditionelle Methoden parallel verwendet werden können, wo sich diese gegenseitig ergänzen und/oder sinnvoller sind. Auf das Bauwesen allgemein bezogen sollten digitale Prozesse da angewandt werden, wo sie eine Zeit- und/oder Kostenersparnis sowie Qualitätssteigerung erzeugt. Für die Anwendung digitaler Methoden müssen zum Beispiel wie hier Fügetechniken nicht unbedingt neu erfunden werden.

**Quellen:**
http://www.snoarc.no/
http://www.archdaily.com/180932/tverrfjellhytta-snohetta/

# Martin Luther Kirche



**Planer:** coop Himmelb(l)au; bollinger + grohmann
**Spezialplaner:** ostseestaal
**Standort:** Hainburg, Österreich
**Fertigstellung:** 2011

**Schwerpunkt:**
Digitale Modellierung sowie Fertigung des freigeformten Dachs

**Materialien:**
Stahlblech (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
Fertigung in der Schiffswerft

**Bauteile:**
Freigeformtes Dach, aus vier im Werk vorgefertigten Teilen

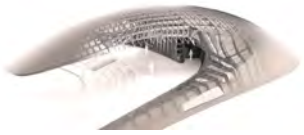
**Beschreibung:**
Das freigeformte Dach mit seinen drei schneckenförmigen Oberlichtern wurde in einem parametrischen Modell in Rhino und Grasshopper geplant. Das Dach ist in Monocoque-Bauweise als ein sich selbst aussteifendes und die Tragwirkung erhöhendes Raumtragwerk aus Haupt- und Nebenspanten ausgeführt.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Das Dach wurde in vier großen Teilen im Werk gefertigt, diese Einzelteile bestehen aus Haupt- und Nebenspanten und sind mit Blechen verkleidet. Die Bleche bilden die Außenhaut, sind 8mm dick und doppelt gekrümmt, an die Unterkonstruktion angepasst und verschweißt. Die vier Einzelteile wurden separat auf die Baustelle angeliefert, dort miteinander verschweißt, die Außenhaut fertig gestellt und im Anschluss wurde das komplette Dach mit einem Schwerlastkran in ihre endgültige Position gebracht.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die Fertigung von Sonderbauteilen insbesondere mit freigeformten und doppelt gekrümmten Flächen findet häufig in Schiffswerften statt, da diese die nötige Expertise und Erfahrung besitzen. Ausschlaggebend für die Größe einzelner Module ist die Möglichkeit des Transports an den Zielort.

**Quellen:**
http://www.bollinger-grohmann.com/de.projekte.neubau-martin-luther-kirche.html?f=2011
http://www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/martin-luther-church
http://www.bauforumstahl.de/upload/publications/B311_Stahlbaupreis_2012.pdf

# Porsche Pavillon



**Planer:** Henn Architekten; Schlaich Bergermann und Partner
**Spezialplaner:** Centraalstall Construction B.V, und Ostseestaal GmbH
**Standort:** Wolfsburg, Deutschland
**Fertigstellung:** 2012

**Schwerpunkt:**
Umsetzung, Fertigung und Logistik des Edelstahlmonocoque

**Materialien:**
Stahl (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
Fertigung in der Schiffswerft (Biegen und Schweißen)

**Bauteile:**
Monocoque-Dach bestehend aus 56 Segmenten (max. 14 x 4,8 m) bekleidet mit 620 unterschiedlich kaltgeformten Deckblechen

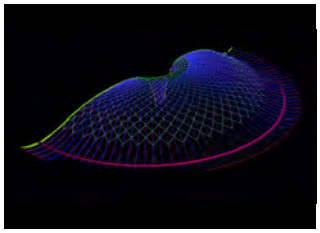
**Beschreibung:**
Die 25 Meter weite Auskragung des Porschepavillons wurde in Monocoque Bauweise realisiert, die fugenlose Hülle mit teilweise stark doppelt gekrümmten Flächen verleiht dem Pavillon einen skulpturalen Charakter. Die Planung fand in enger Zusammenarbeit von Architekten, Bauingenieuren und Schiffbauern, sowie einem mutigen Bauherrn in einem interdisziplinären Team statt. Als Planungsgrundlage diente ein 3D Modell der Architekten in Rhino. Ausgehend von diesem Modell wurden sämtliche Berechnungen zur Statik und zur Fertigung erstellt.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Das Monocoque-Dach wurde in 56 Einzelsegmenten mit Abmessungen bis zu 14 x 4,8 Metern in Stralsund in der Schiffswerft gefertigt. Die nötigen Fertigungsdaten für Rippen und Spanten, sowie für die 620 zwischen 10 und 30 mm starken, individuell zugeschnittenen und kaltverformten Deckbleche wurden aus dem 3D-Modell ausgelesen. Die Verformung und das Schweißen musste jedoch händisch durchgeführt werden und die Bauteile an analogen Schablonen abgeglichen werden, damit die gewünschte Oberflächengüte erzielt werden konnte. Die einzelnen Segmente konnten im Anschluss auf der Baustelle montiert und verschweißt werden, die Schweißnähte sowie die Oberfläche wurden im Anschluss mit einer Edelstahlkörnung gestrahlt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die Anwendung von Monocoque-Schalen findet im Bauwesen bisher selten Anwendung, auch aufgrund der bisher geringen Erfahrungen, dennoch bietet diese Fertigungs- / Konstruktionsmethode ein enormes Potenzial, da die Strukturen einen geringen Materialbedarf (Leichtbau) aufweisen und zudem die Sortenreinheit des Werkstoffes gewährleisten. Als Nachteil kann man die bisher aufwendige Fertigung und die Baustellenmontage identifizieren.

**Quellen:**
www.henn.com
www.sbp.de
Bauingenieur Band 89, Januar 2014

# Kings Cross Station



**Planer:** John McAslan + Partners
**Spezialplaner:** ARUP
**Standort:** London, Vereinigtes Königreich
**Fertigstellung:** 2012

**Schwerpunkt:**
Parametrische Formfindung, digitale (Vor-) Fertigung

**Materialien:**
Stahl (Profil-, Plattenwerkstoff, Formlos)
Glas (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fertigung
Gußverfahren
Schweißen

**Bauteile:**
Stahltragwerk (Trichter, Gitterschale, Baumstützen)
Unterkonstruktion des Dachtragwerks (Stahl)
Dacheindeckung (Triangulierte Paneele)

**Beschreibung:**
Die im Grundriss halbkreisförmige Gitterschale des Western Concours mit zentralem Trichter und Auflager in Form von 16 Baumstützen an den Rändern wurde mit FE-Methoden und der von ARUP entwickelten Software GSA in einem 3D-Modell nach statischen, ästhetischen und Nutzungsspezifischen Anforderungen entwickelt. Das Stahltragwerk der Gitterschale ist konzeptionell in radiale Rippen die vorwiegend Biegekräfte aufnehmen und ein Stabnetz das vorwiegend Axialkräfte aufnimmt unterteilt. Die Profile der Radialstäbe sind aus Hohlkastenprofilen mit einer Breite von 150mm und einer Höhe von 250-450mm ausgeführt, das Stabnetz hingegen besteht aus Rohrprofilen mit Durchmessern zwischen 139-219. Durch die doppelt gekrümmte Geometrie konnte der Trichter ebenfalls aus sehr schlanken Profilen ausgeführt werden. Die Gitterschale hat eine Spannweite von etwa 54,6 Metern vom Trichter zu den Baumstützen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Aus dem Entwickelten 3D-Modell wurden die jeweiligen Statischen Anforderungen (u.a. Wandstärken, Bauhöhen, Durchmesser etc.) der einzelnen Bauteile, sowie deren Abmessungen ausgelesen. Bauteile wie Knoten, Baumstützen und ganze Trichter- und Schalensegmente wurden im Werk vorgefertigt, auf die Baustelle gebracht und vor Ort montiert oder miteinander verschweißt.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Die statische Optimierung von (Stahl-)Tragwerken in parametrischen/digitalen Planungsmodellen führt in der Regel nicht nur zu einer ästhetischeren Form sondern auch zu einer erheblichen Materialeinsparung. Zudem können die Daten direkt für die Fertigung verwendet werden, bzw. Fertigungsrelevante Daten bereits in den Formfindungsprozess einfließen und diesen steuern.

**Quellen:**
http://www.mcaslan.co.uk/projects/king-s-cross-station
The Arup Journal (Issue 2012 - 2)
Arup Building Design - Detail Engineering 2 S. 42-49

# InterContinental Spa & Resort

**Planer:** Oikios; Wilhelm + Partner
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** Davos, Schweiz
**Fertigstellung:** 2013

**Schwerpunkt:**
Parametrische Planung und digitale Fertigung der Fassadenelemente

**Materialien:**
Stahl (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Laserschneider
Schweißen

**Bauteile:**
791 unterschiedliche Brüstungselemente aus über 62000 Einzelteilen

**Beschreibung:**
Die von Experten zuvor als „nicht baubar" eingeschätzte Fassade des InterConti wirkt mit seiner fließenden Metallfassade wie ein überdimensionierter Fichtenzapfen, die wellenförmige Gebäudehülle erzeugt mit seinem Wechselspiel aus offenen und geschlossenen Flächen aus jedem Blickwinkel andere Impressionen. Schon zu Beginn der Auftragsvergabe arbeitete das interdisziplinäre Team von seele, designtoproduction und Wilhelm + Partner zusammen an der Entwicklung der Fassade. Nachdem die Konstruktions- und Detaillösungen festgelegt wurden, erstellte designtoproduction ein parametrisch gesteuertes Skript, dass die sämtliche 3D-Daten der Fassaden-Geometrie erzeugte, diese Daten wurden zur Berechnung an Wilhelm + Partner und zu Fertigung an Seele weitergegeben.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Jedes Brüstungselement wurde als Unikat aufgefasst, sodass Seele 791 Brüstungselemente, mit einer Abmessung von rund 1,6 x 4,5 m und bei Sonderfällen bis zu einer Länge von 14,6m aus insgesamt über 62000 Einzelteilen, fertigen mussten. Für die meisten Elemente wurde eine innere meist gleich aufgebaute quadratische Stahlrippenkonstruktion verwendet, welche mit den jeweils drei Millimeter starken, individuell gelaserten Blechen elastisch bespannt wurden. Zur richtigen Zusammenfügung der Bleche wurde ein spezielles Fügedetail entwickelt, welches das Fügen nur in der gewünschten Ausgangsgeometrie zuließ. In ihrer Verarbeitung sind die einzelnen Brüstungselemente mit der Präzision bei Möbelstücken vergleichbar. Zwischen den Elementen und dem Rohbau herrschten lediglich 2-3 Millimeter Toleranzen, diese wurden durchgehend eingehalten.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Bei diesem Projekt sieht man, dass das richtige Team mit den richtigen Werkzeugen auch eine zuvor als unbaubare Bauaufgabe zu moderaten Kosten stemmen kann. Planungs- und Fertigungsmethoden sind ohne Weiteres anwendbar.

**Quelle:**
http://seele.com/structure-de/intercontinental-davos-resort-spa-davos-schweiz.html
http://www.baunetz.de (Meldung vom 24.03.2014)

# Fondation Jérôme Seydoux-Pathé

**Planer:** Renzo Piano Building Workshop
**Spezialplaner:** designtoproduction
**Standort:** Paris
**Fertigstellung:** 2014

**Schwerpunkt:**
Strukturiertes parametrisches Gebäudemodell

**Materialien:**
Glas (Plattenwerkstoff), Alumninium (Profil-, Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Laserschneider

**Bauteile:**
7600 Aluminiumlamellen, 174 unterschiedlich doppelt gekrümmte Isoliergläser

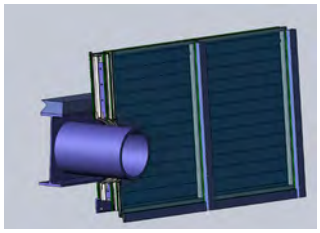
**Beschreibung:**
Die amorphe Gebäudeform ist nicht nach designtechnischen Aspekten entworfen worden, sondern folgt der Unterbringung des nötigen Volumens auf dem Baufeld als auch die Belichtungs- und Belüftungsoptimierung der Nachbarbebauung. Für die Planung wurde von designtoproduction ein parametrisches Informationsmodell entwickelt, das in Zusammenarbeit mit den Architekten immer weiter verfeinert und angepasst wurde. Dieses Modell diente für alle weiteren Schritte und Akteure als so genanntes Mastermodell, aus dem jeder Beteiligte Akteur die Informationen die er für seinen Bereich benötigte herausfiltern und schlussendlich weiterbearbeiten konnte. Diese weiterbearbeitenden Modelle konnten wiederum in das Mastermodell zurückgeführt und untereinander auf Kollisionen geprüft werden. Durch diese direkte Datenbeschaffung konnte bei allen Beteiligten Zeit und Kosten eingespart werden.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Für die Planung der Fassade mit 174 unterschiedliche doppelt gekrümmten Isoliergläsern und 7600 Aluminiumlamellen wurden die Rahmenbedingungen aus dem oben genannten Mastermodell ausgelesen und in einem weiteren Script parametrisch detailliert und die nötigen Fertigungsdaten erzeugt. Diese konnten ohne weiteres zur digitalen Fertigung genutzt werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**

**Quelle:**
DBZ - Deutsche BauZeitschrift 12/2014 S. 30-37
www.designtoproduction.com
http://www.baunetz.de (Meldung vom 03.09.2014)

# Central Bank Kuwait



**Planer:** HOK International Ltd.
**Spezialplaner:** Priedemann Fassadenberatung / Facade-Lab
**Standort:** Kuwait City, Kuwait
**Fertigstellung:** 2014

**Schwerpunkt:**
Digitalisierung der Elementfassade

**Materialien:**
Glas (Plattenwerkstoff)
Stahl, Aluminium (Profilwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Bearbeitung

**Bauteile:**
35.000m² Fassadenfläche, alle Bauteile individuell angepasst

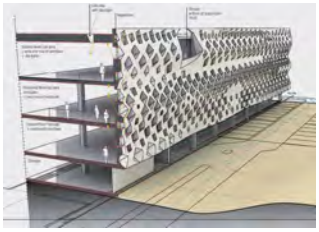
**Beschreibung:**
Das neue Hauptgebäude der Central Bank of Kuwait besteht in seiner Grundform aus einem dreieckigen Pyramidenstumpf. Die beiden nach Süden gewandten Fassaden sind mit Naturstein verkleidet und dienen als Klimapuffer, tagsüber wird die Wärme der Sonne absorbiert und der Innenraum vor Überhitzung geschützt, Nachts gibt der Massespeicher seine Wärme an das Gebäude ab. Die Nordseite ist zwischen den Ebenen und dem markanten Exoskelett vollständig verglast. Als besondere Schwierigkeit bei der Planung der Fassade stellte sich die enorme Abweichung zwischen Roh- und Stahlbau und den gefertigten Werkplänen heraus, denn die im Rohbau üblichen Toleranzen wurden bei weitem Überschritten. Für die Werk- und Montageplanung der Fassade wurde ein parametrisiertes Modell auf der Basis von 2D Daten sowie des Aufmaßes des Rohbaus entwickelt. Aus diesem Modell wurden die Werkpläne und die Fertigungsdaten der Fassade generiert.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Da es Schnittstellenprobleme zwischen den digitalen Planungsdaten und den genutzten Werkzeugmaschinen gab, wurden die relevanten Daten schließlich in Form von 2D-Daten an das ausführende Unternehmen weitergegeben.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Mit dem wie hier angewandten Prinzip eines parametrischen Modells kann zum Beispiel eine Fassade, aber auch andere Bauteile schon während der Planungsphase bzw. des Rohbaus komplett durchgeplant werden und im Verlauf des Baufortschritts mit den Ist-Daten gefüttert und angepasst werden. Die Planungsdaten, Details etc. passen sich automatisch an die Gegebenheiten der Ist-Daten an. Der Datensatz zur Fertigung kann automatisch generiert werden und mit einem geeigneten Skipt können die Schnittstellen zwischen Planung und Fertigung geschlossen werden.

**Quelle:**
Priedemann Fassadenberatung GmbH

# Sipchem



**Planer:** LAVA
**Spezialplaner:**
**Standort:** Al Khobar, Saudi Arabien
**Fertigstellung:**

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Informationsmodell, digitale Fassadenfertigung

**Materialien:**
Polystyrol (Materialblock)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fräse

**Bauteile:**
Fassade aus Polystyrol mit einer Wandstärke von bis zu 1 Meter (U-Wert 0.08W/m²K)

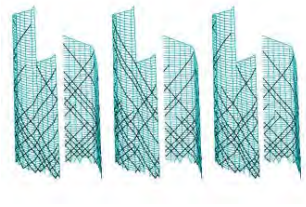
**Beschreibung:**
Das Forschungszentrum Product Application Development Centre (PADC) der Saudi International Petrochemical Company (Sipchem) ist ein wellenförmig gestaltetes vierstöckiges Gebäude. Das rechteckige Gebäude öffnet sich in einem zentralen Atrium um welches sämtliche Nutzungen angeordnet sind. Die interne Organisation wird durch Technik zur Verbesserung der Arbeitsumgebung sowie Energieeinsparung und -Erzeugung vervollständigt. Die äußere Fassade aus bis zu 1 Meter starkem Polystyrol dient nicht nur der Einhaltung der selbst gestellten Energieeinsparung, sondern ist als direkte Werbefläche der Bauherren zu verstehen, da hierbei die Möglichkeiten der Produkte erlebbar dargestellt werden. Die unterschiedliche Wandstärke macht die dahinter liegende Nutzung ablesbar. Die Öffnungen sind so angelegt, dass möglichst viel Licht bei geringer Hitzeeinwirkung in das Innere des Gebäudes gelangt. Gestaltet wurde die Fassade unter der Nutzung eines parametrischen Modells, die nötigen Parameter waren unter anderem die Belichtung, Hitzeeinwirkung sowie Nutzung im Inneren.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Aus dem parametrischen Modell wurden sämtliche Daten zur CNC-Fertigung der Blöcke ausgelesen. Die Geometrien wurden aus den vollen Blöcken gefräst, diese wiederum nummeriert um später an der richtigen Stelle platziert zu werden. Im Anschluss wurden die Polystyrol-Blöcke mit einer Putzschicht überzogen um gegen Witterungseinflüsse geschützt zu werden. Das nicht-repetitive Muster verleiht dem Gebäude eine skulpturale Erscheinung.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Das Projekt zeigt, dass die Dämmung mit Polystyrol-Platten keineswegs langweilig und ohne Innovation sein muss, wie es leider hierzulande an zu vielen Projekten die derzeit energetisch optimiert werden der Fall ist. Mit den richtigen Werkzeugen und mitteln können diese sowohl ansprechend als auch intelligent gestaltete werden.

**Quellen:**
http://www.l-a-v-a.net

# The Pinnacle (Bishopsgate Tower)



**Planer:** Kohn Pedersen Fox (KPF)
**Spezialplaner:** Arup
**Standort:** London, Vereinigtes Königreich
**Fertigstellung:**

**Schwerpunkt:**
Parametrisches Informationsmodell, digitale Fassadenfertigung

**Materialien:**
Stahl (Profilwerkstoff), Glas (Plattenwerkstoff)

**Fertigungsmethode:**
CNC-Fertigung

**Bauteile:**
Doppelfassade, die äußeren Paneele der Doppelfassade besitzen alle die gleichen Abmessungen

**Beschreibung:**
Der Bishopsgate-Tower wurde anhand eines parametrischen Informationsmodells entworfen bei dem die drei Haupttreiber die Entwicklung des Entwurfs, das Auslesen und Bewerten von Gebäudeinformationen sowie das Optimieren der Gebäudeeigenschaften waren. Darunter auch die Optimierung der Fassadengeometrie. Die geometrisch komplexe Form des Bishopsgate Towers wird von einer Doppelfassade verhüllt. Während die innere Fassade die isolierende Schicht darstellt und plan zwischen den Ebenen angebracht ist, besteht die äußere Schicht, aus identischen planen Glaselementen, die im Winkel versetzt schuppenförmig überlagernd angebracht sind. Dies gewährleistet zum einen die Gestaltung der doppelt gekrümmten Gebäudegeometrie und zum anderen ermöglicht es öffenbare Elemente der inneren Hülle sogar in den oberen Etagen.

**Auswirkungen auf Fertigung/Nutzung:**
Durch dei Optimierung der Doppelfassade konnten die Abstände zwischen der inneren und der geschuppten äußeren Schicht um insgesamt ein Drittel reduziert werden, dadurch erhielten die Planer einen Zuwachs von knapp 3% der Nutzfläche. Durch das verwendete und optimierte Fassadensystem, bei dem alle Module aus planaren Scheiben bestehen und die äußeren geschuppten Paneele alle dieselbe Abmessung besitzen, konnten die Produktionskosten der Fassade stark reduziert werden.

**Anwendungsbereiche im Bauwesen:**
Bei der Fassade des Bishopsgate-Towers wird das parametrische Planen nicht dazu genutzt die Geometrien unterschiedlicher Module auszulesen und zu fertigen, sondern das optimale Anbringen von ein und demselben Seriengefertigten Produkt um die gewünschte Gesamtgeometrie zu erhalten. Auch dies ist ein Ansatz um den Herausforderungen einer großmaßstäblichen Freiformfläche entgegen zu treten.

**Quellen:**
Arup-Journal 2-2012
http://www.kpf.com/project.asp?ID=67
http://www.designbuild-network.com/projects/the-pinnacle/

# 4.5 Zusammenfassung der Projekte

In diesem Kapitel werden die einzelnen Kapitel der Kategorien kurz zusammgefasst um einen schnellen Überblick zu bekommen. Eine vertiefte Auswertung findet im nachfolgenden Kapitel 5 statt.

### 4.5.1 Zusammenfassung Fertigungsmethoden/-Verfahren

Im Bereich der Erforschung von Verfahren sind im Besonderen die Automatisierung und der materialsparende Umgang zu erkennen. Bei den Metallen wird verstärkt Wert auf materialsparende und -optimierte Verfahren und Nutzungsformen gelegt. Es werden unterschiedliche Stanz-, Faltungs- und Umformungsverfahren getestet. Im Bereich des 3D-Drucks ist auf Laborebene mittlerweile fast alles möglich, so können neben Kunststoffen, Metalle (Stahl, Kupfer, Aluminium, etc.), mineralische Werkstoffe wie Sand und Beton, aber auch Holz, Papier- und Keramikwerkstoffe gedruckt werden. Zudem findet eine größere Automatisierung durch mobile Roboter und Drohnen sowie durch die Nutzung von großformatigen Portalrobotern, zur Anwendung von 3D-Druckmethoden im Maßstab von Bauteilen und ganzen Häusern, statt. Ein vermehrter Trend zur Erforschung und Erprobung von additiven Verfahren in der Unikat und Nullserie ist zu verzeichnen.

### 4.5.2 Zusammenfassung Installationen und Mock-ups

Im Bereich der Installationen und Mock-ups sind Holz- und Metallwerkstoffe vorherrschend. Zur Bearbeitung von Holzwerkstoffen werden in der Mehrheit spanende Verfahren genutzt, bei den Metallwerkstoffen kommen neben spanenden Verfahren strahlschneidende Verfahren zum Einsatz.

Die Meisten Projekte sind nur „einfache“ temporäre Installationen mit „geringen“ Ansprüchen an Bauphysik und Dauerhaftigkeit. Bei vielen Projekten wurde von der Idee bis zur Fertigung, teilweise auch bis in die Ausführung eine durchgängig digitalisierte Prozesskette angewandt. Im Kern wurden alle Projekte im Bereich Planung und Fertigung durchgängig digitalisiert geplant.

Es gibt zwei Schwerpunkte zu verzeichnen, zum einen sind viele Projekte, die unter der Leitung von Gramazio & Kohler, an der ETH Zürich entstanden sind vorhanden. Diese Projekte befassen sich mit der Erprobung robotergestützter Fertigung, sowie der Nutzung unterschiedlicher Effektoren, Werkzeuge und Werkstoffe.

Hier lassen sich deutliche Muster erkennen, so zum Beispiel das Fräßen von Plattenwerkstoffen aus unterschiedlichen Materialien, wie zum Beispiel Kunststoffe, Schäume oder Holz, zur direkten Nutzung oder zur temporären Nutzung als Schalung/Formteil. Bleche werden bevorzugt Strahlgeschnitten und durch Biegung in Form gebracht. Ein weiteres Muster ist die Stapelung von Ziegelsteinen oder Holzprofilen zu formenden und tragenden Bauteilen.

Der andere Schwerpunkt ist die Bearbeitung von Platten- und Profilwerkstoffen mit CNC-Strahlschneidern und CNC-Fräsen. Aus seriellen Produkten und Massenware werden durch Trennung  und Subtraktion präzise angepasst Einzelstücke und Bauteile.

### 4.5.3 Zusammenfassung Pavillons

Auch bei den Pavillons werden Holz- und Metallwerkstoffe in besonderem Maße verwendet. Die meisten Pavillons wurden nur zur temporären Nutzung entworfen und gefertigt, lediglich fünf der 26 Projekte sind auf eine längere Nutzung ausgelegt und müssen weiteren Anforderungen, wie zum Beispiel der Dauerhaftigkeit, gerecht werden.

Die meisten Projekte wurden durch Subtraktive Verfahren realisiert: Die gewünschten Bauteile wurden mehrheitlich aus seriellen Halbzeugen gefertigt.
Im Bereich der Plattenwerkstoffe auf Holzbasis wurden zur Fertigung vor allem CNC-Fräsen und Abbundmaschinen eingesetzt, ebenso wurden 6-Achs-Roboter zu Fräsarbeiten verwendet. Bei der Bearbeitung von Plattenwerkstoffen aus Metall wurden vorwiegend strahlschneidende Verfahren angewandt.

Als Exoten sind das in zwei Teilen 3D-gedruckte Haus in Friedberg bei Augsburg sowie der „an einem Stück" gewickelte Pavillon der Uni Stuttgart aus dem Jahr 2012 aus glasfaser- und kohlefaserverstärktem Kunststoff zu verzeichnen.

### 4.5.4 Zusammenfassung Gebäude

Die Gruppe der Gebäude stellt mit Abstand die größten Ansprüche in allen Bereichen, sei es die Präzision, Belastbarkeit, Dauerhaftigkeit der Bauteile als auch bauphysikalische Eigenschaften der eingesetzten Materialien, etc.

Holzwerkstoffe werden in Form von Holzleimbindern und Vollholz mittels CNC-Fräse und Abbundmaschine verarbeitet. Systemische Zusammenhänge sind in der Nutzung von Plattenwerkstoffen aus Holz für die Schalung von Ortbeton und Betonfertigteilen zu erkennen, durch die mögliche Verformbarkeit der Platten in bestimmten Radien lassen sich einfach und doppelt gekrümmte Oberflächen erzeugen.

Weitere Materialien zur Schalung von Betonteilen sind unter anderem Kunststoffe und Schäume wie Styropor, bei welchen die Form aus dem Vollen gefräst wird.

Stahl ist neben Holz im Gebäudebau, das Material, welches aufgrund seiner Verarbeitungs- und Materialeigenschaften am häufigsten zur Kleinserien- und Unikatfertigung genutzt wird. In den meisten Fällen werden die Bauteile aus Platten oder Profilwerkstoffen mit strahlschneidenden Verfahren gefertigt.

Im Bereich des Fassadenbaus von Freiformen in Glas und Stahl sind besonders häufig Systemähnlichkeiten und Muster zu erkennen, die obwohl es sich um Einzelanfertigungen handelt auf gewisse Standards, Details, Fertigungsverfahren und Lösungen festgelegt werden könnten.

Bei großen freigeformten Stahlbauteilen wird häufig auf die Erfahrungen im Schiffsbau zurückgegriffen, diese Bauteile werden zumeist direkt in Schiffswerften gefertigt und in Baugruppen auf die Baustelle gebracht.

Generative Verfahren, auch 3D-Drucker genannt, finden im Bauwesen bisher nur als Exoten Anwendung, hier als verlorene Form im Metallguss.

# 5
# Auswertung und Übertragbarkeit

Im vorangegangenen Kapitel wurden 100 ausgewählte, beispielhafte Projekte mit dem Schwerpunkt der parametrischen Planung und digitalen Fertigung vorgestellt und nach unterschiedlichen Kriterien  bewertet. Im Folgenden findet eine Auswertung der Kriterien statt, dieses Kapitel gliedert sich in die zwei Teile »Systemanalyse« und »Material-Fertigungs-Systeme«.
In Teil eins, »Systemanalyse« werden grundlegende Fragen geklärt, z.B. welche Fertigungsmethoden wurden eingesetzt oder welche Materialien wurden verwendet. Unter anderem werden die Projekte kategorisiert, um zu klären um was für eine Art Projekt es sich handelt. Über das Jahr der Fertigstellung der jeweiligen Projekte soll Aufschluss darüber gegeben werden ob es einen Anstieg von Projekten dieser Art zu verzeichnen gibt. Im Anschluss daran findet eine Kategorisierung der Fertigungsmethoden statt, die bisher erfolgreich in der Sonderanfertigung von Bauteilen angewandt werden und sich besonders dafür eignen. Die zum Einsatz kommenden Materialien werden ähnlich wie die Fertigungsmethoden ausgewertet.

Im Abschnitt »Material-Fertigungs-Systeme« wird die Auswertung von Martial und Fertigung aus Kapitel 4.1 in Form einer Gegenüberstellung mittels Matrix vertieft und fortgeführt. Und dabei besondere Schwerpunkte identifiziert, zum Beispiel, welches Material in welcher Form mit welcher Fertigung besonders häufig zur Anwendung kam. Zudem wurde ein Vergleich der beiden Kategorien »Additive/Formende« Verfahren und »Subtraktive/Trennende Verfahren« angestellt, deren bisherige Bedeutung in der Fertigung von Sonderbauteilen hervorgehoben und Ausblicke auf die Zukunft gegeben. Zudem wurden erkennbare Muster von Entwurf,  Material und Fertigung im Bereich von Fassaden-Systemen, der Verwendung von Plattenwerkstoffen aus Metall in nicht verformtem, sowie im plastisch oder elastisch verformten Zustand sowie im Holzbau identifiziert und herausgearbeitet.

# 5.1
# Systemanalyse und Auswertung

Die Auswahl der Projekte bildet keinen globalen Querschnitt der parametrischen Planung und digitalen Fertigung. Vielmehr wurden beispielhafte Projekte herangezogen, welche in der deutschsprachigen und internationalen Fachliteratur, sowie Fachportale im Internet zum Thema parametrische Planung oder digitale Fertigung vorhanden sind. Zudem wurden weitere Projekte der in der Literatur genannten Planer/Projektbeteiligten identifiziert und in die Sammlung aufgenommen.

### 5.1.1 Aufteilung nach Projekttyp

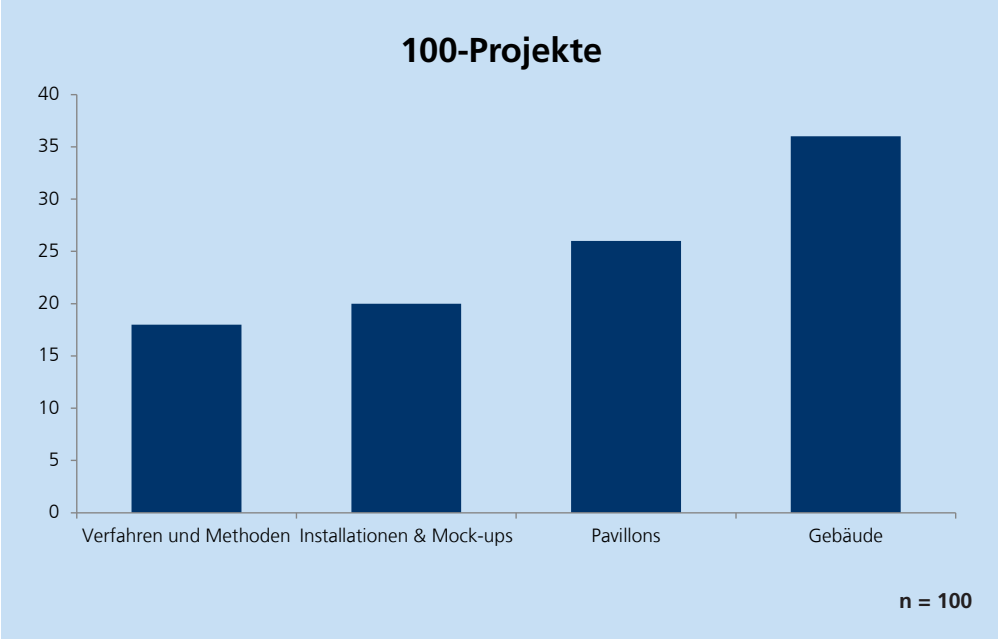



**Abb. 11:**
**Verteilung der 100 Best-Practice Projekte nach Projekttyp**

Die 100 Best-Practice Projekte wurden in die vier Kategorien »Verfahren und Methoden«, »Installationen & Mock-ups«, »Pavillons« und »Gebäude« unterteilt. Dabei entfallen 36 Projekte auf die Kategorie »Gebäude«, 26 Projekten sind zu den Pavillons zu zählen, 20 Projekte gehören zu »Installationen & Mock-ups« und 18 Projekte sind den »Verfahren und Methoden« zuzuordnen. Es wurde darauf geachtet eine möglichst ausgewogene Auswahl an Projekten zu treffen.

Eine gewisse Problematik entsteht bei der Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Projekte der vier Kategorien. Während unter »Verfahren und Methoden« die eigentliche Erforschung dieser gilt, findet unter »Installationen & Mock-ups«, sowie »Pavillons« die Erprobung unter unterschiedlichen Voraussetzungen und Schwierigkeit statt. Die Kategorie »Gebäude« ist in ihren Anforderungen die anspruchsvollste, hier findet die finale Anwendung von Planung und Fertigung statt. Im Weiteren werden die Kategorie und ihre Unterschiede genauer beschrieben.

In der Kategorie Verfahren und Methoden sind Forschungsarbeiten an neuartigen Fertigungsverfahren und -Methoden, wie zum Beispiel unterschiedliche 3D-Druckverfahren oder Biegeverfahren in der Blechbearbeitung, verortet, dabei geht es primär um das Verfahren, weniger um den kompletten Planungs- und Fertigungsprozess. Zur Kategorie Installationen & Mock-ups gehören insbesondere unterschiedliche praktische Anwendungen/Projekte von Hochschulen, Forschungseinrichtungen und/oder Planungsbüros zur Erprobung und Verbesserung von Fertigungsmethoden/-prozessen. In der Kategorie Pavillons finden sich aufwendigere Projekte wieder, die trotz meist temporärer Nutzung,

aufgrund ihrer Größe höheren Anforderungen, wie zum Beispiel der Statik, gerecht werden müssen. Fünf der 26 Projekte sind zudem auf eine längere Nutzung ausgelegt und müssen den Anforderungen der Dauerhaftigkeit gerecht werden. Die Gruppe der Gebäude stellt mit Abstand die größten Ansprüche in allen Bereichen, sei es bei Präzision, Belastbarkeit, Dauerhaftigkeit der Bauteile als auch bauphysikalischen Eigenschaften der eingesetzten Materialien. Hier sind die Anforderungen an den Gesamtprozess und dessen Komplexität am größten.

### 5.1.2 Digitalisierungsgrad der einzelnen Prozessschritte

Allgemein ist bei den 100 Projekten zu erkennen, dass die wenigsten Projekte vom Anbeginn der Idee über den Entwurf, die Planung und Fertigung bis hin zur Ausführung mit einer durchgängigen digitalen Prozesskette realisiert wurden. Jedoch ist zwischen Planung und Fertigung, bei nahezu allen Projekten eine durchgängige digitale Prozesskette zu erkennen. Die Projekte aus dem Bereich Verfahren und Methoden unterscheiden sich hierbei erheblich von den anderen Projekten, da es sich dabei um einzelne Fertigungsverfahren, -Methoden und -Maschinen und keine kompletten Planungs- und Ausführungsketten handelt. Die Verfahren und Methoden eignen sich zwar alle grundsätzlich für die Nutzung einer durchgängigen digitalen Prozesskette, diese ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Während die Fertigung im Werk schon größtenteils digitalisiert und industrialisiert ist, findet eine Digitalisierung der Ausführung (auf der Baustelle) bisher nur in geringem Maße statt, als gutes Beispiel für digitale Anwendungen im Bauwesen gilt die Ausrichtung und Einmessung der Schalungstafeln via GPS beim Rolex Learning Center in Lausanne (S.122).

### 5.1.3 Jahr der Fertigstellung

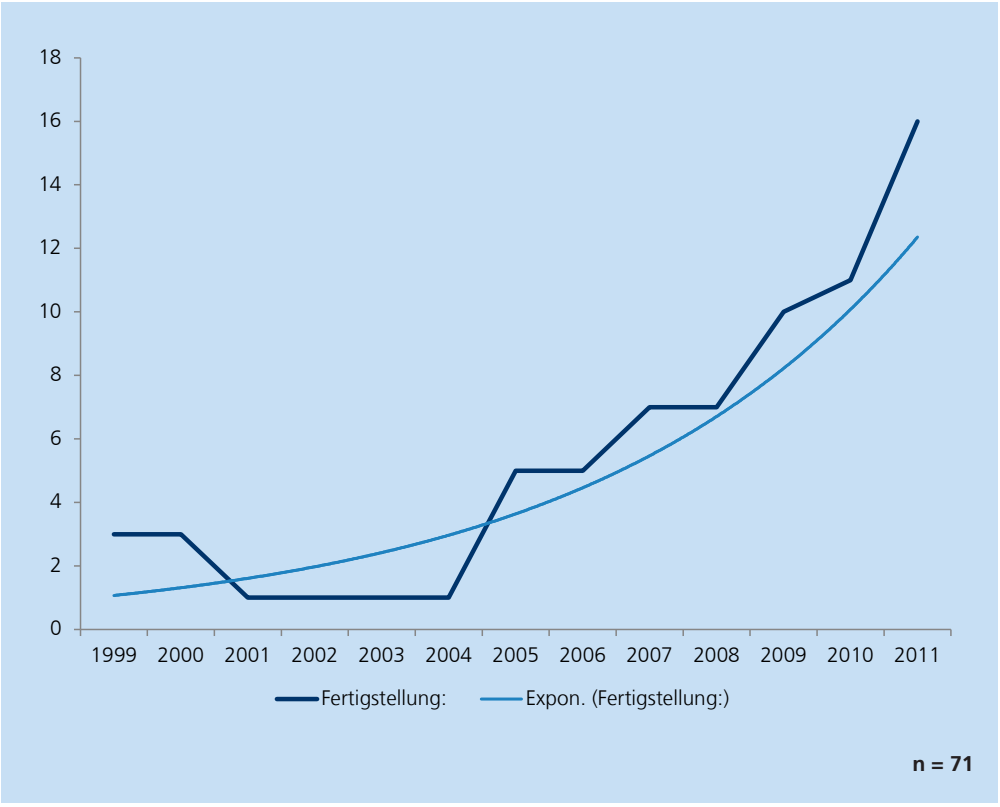



**Abb. 12: Verteilung der 100 Best-Practice Projekte nach dem Jahr der Fertigstellung**

Zur Auswertung der Fertigstellung der Projekte ist zu sagen, dass der Anteil von parametrisch geplanten und digitalisiert gefertigten Gebäuden/Projekten ein seit Jahren steigender Trend ist. Dies ist auf die zunehmende Verbesserung und Vereinfachung von (parametrischer) Planungssoftware und gleichzeitiger Steigerung der Hardwareleistung

im Bereich der Personal Computer (PCs) sowie auf Entwicklungen im Bereich der Fertigungsmaschinen und -Verfahren zurückzuführen. Dies bedeutet, dass insbesondere die Nutzung von digitaler/parametrischer Planung aufgrund von benutzerfreundlicheren Oberflächen einer breiteren Masse von Planern zur Verfügung steht. Die Planungswerkzeuge für komplexe Aufgaben sind immer einfacher zu bedienen. Ebenso macht sich im Bereich der computergestützten Fertigung, der Fortschritt im Bereich Soft- und Hardware bemerkbar. Die Fertigungsmaschinen werden benutzerfreundlicher und flexibler, Aufgaben und Prozessschritte können leichter eingegeben werden. Mittlerweile werden diese neuen Planungs- und Fertigungsmethoden, wenn auch in geringem Maße, an den Hochschulen und Universitäten in der Lehre und Forschung angewandt. Zudem wächst die Gemeinschaft der Nutzer immer weiter, die ihr Know-How insbesondere über das Internet und Kongresse bzw. Workshops austauschen, verbessern und Interessierten zur Verfügung stellen. Mit den derzeitigen technischen Voraussetzungen und den Bestrebungen der Forschungsvorhaben, wie zum Beispiel Industrie 4.0, wird es in Zukunft möglich sein, Unikate, Sonderanfertigungen und Kleinstserien in ähnlicher Wirtschaftlichkeit wie Serienprodukte zu fertigen.

### 5.1.4 Die Anwendung eines digitalen Prozesses und dessen Effekte

Die Anwendungen im Bereich der »Verfahren und Methoden« sind von denen der anderen drei Kategorien deutlich zu unterscheiden, der Schwerpunkt liegt hierbei bei der Erforschung bzw. Entwicklung und Erprobung von Verfahren und Maschinen und nicht in der direkten Umsetzung in konkreten Projekten.

Bei den Kategorien »Installationen & Mock-ups«, »Pavillons« und »Gebäude« reicht der Schwerpunkt von einzelnen Bauteilen über komplexe Baugruppen, komplette Pavillons bzw. Überdachungen bis hin zu ganzen Fassaden oder Gebäuden/Gebäudeteilen. Die meisten Projekte wurden anhand eines digitalen, in den meisten Fällen parametrischen, Informationsmodells geplant. Teilweise wurden komplette Informationsmodelle des gesamten Projekts, teilweise auch nur der relevanten Bereiche genutzt. Bei den Projekten Rose Center for Earth and Space(S.101) und Lentille du Métro Saint Lazare(S.102) wurden lediglich Einzelteile wie Punkthalter oder Kreuzknoten der Fassade betrachtet, hingegen wurde bei den Projekten 30 Street Mary Axe(S.103) oder dem Mercedes Benz Museum(S.107) das komplette Gebäude in einem parametrischen Informationsmodell abgebildet und die Bauteile digital gefertigt. In einigen wenigen Fällen wurde konventionell bzw. analog geplant und im Anschluss digital gefertigt, zum Beispiel beim Winnipeg Skating Shelter (S.63). In anderen Fällen wurden komplexe parametrische Informationsmodelle zur Planung genutzt die Endmontage fand jedoch analog auf der Baustelle statt, siehe Water Cube in Peking (S.113). Im Anschluss an die Nutzung des parametrischen Informationsmodells wurde jedoch bei den meisten Projekten eine digitale Fertigung der Bauteile durchgeführt. Bei einer Mehrzahl der vorgestellten Projekte sogar als von der Planung bis in die Fertigung durchgängige digitale Prozesskette.

Bei einigen Projekten wurden Simulationen zum Material-, Tragwerks- und Fertigungsverhalten aus den parametrischen Informationsmodellen genutzt, dies ermöglichte einen optimierten Ressourcenverbrauch, wodurch zum Beispiel leichtere Strukturen gefertigt werden konnten, oder allgemein weniger Material in der Fertigung benötigt wurde, zum Beispiel durch optimierte Verteilung der Einzelteile, dem so genannten „Nesting“ von Bauteilen auf einem Halbzeug (Plattenwerkstoff).

Viele der in den Projekten entwickelten Lösungen, Methoden und Werkzeuge, sowohl digitale Werkzeuge(Software) als auch zur Anwendung kommende Maschinen weisen einen hohen Wiederverwendungsgrad auf und können somit auf andere Projekte übertragen werden. Dies ist insbesondere bei den Projekten von Gramazio & Kohler sowie bei designtoproduction zu erkennen, die immer wieder auf ihren bisherigen

Projekten aufbauen. Ein einmal entwickeltes Werkzeug kann somit, wenn möglich ohne größeren Arbeitsaufwand, für eine Vielzahl weiterer Projekte genutzt werden.

Gramazio und Kohler zum Beispiel erforschen das robotisch gesteuerte Stapeln von Ziegeln und anderen Halbzeugen. Als Beispiel der Weiterentwicklung von Forschungsergebnissen sind die Projekte die programmierte Wand (S.54), die rein als Testobjekt genutzt wurde und das Projekt Weingut Gantenbein (S.106) bei dem die Technik zur Fassadengestaltung eines Neubaus verwendet wurde, aufzuweisen. Bei den Projekten von designtoproduction werden regelmäßig neue Softwarewerkzeuge entwickelt, die in späteren Projekten, wenn die Möglichkeit besteht, in ähnlicher Weise Wiederverwendung finden. So zum Beispiel das Flankenfräsen bei den Projekten Inventioneering Architecture (S.52) sowie die Weiterentwicklung beim Projekt Station Hungerburgbahn (S.79) zur Fertigung der dem Krümmungsverlauf folgenden Halterungsprofile aus PE-Platten. Im Holzbau musste für das Projekt Haesley Nine Bridges Golf Club House (S.114) neue Software für die Fertigung der BSH-Träger mit einer 5-Achs-Abbundmaschine entwickelt werden, diese wurde für die Fertigung des Tragwerks des Centre Pompidou in Metz (S.119) weiterentwickelt.

### 5.1.5 Computergestützte Fertigung

CNC-Fertigung findet bei nahezu allen Projekten für die Fertigung der Sonderbauteile statt. Halbzeuge wie Platten, Profile, Träger, etc. werden üblicherweise industriell und in Serie als Massenprodukt hergestellt, dabei kommt ebenfalls CNC-Fertigung zum Einsatz. Die Betrachtung, der Fertigung der hier vorgestellten Projekte, spiegelt lediglich die Fertigung der Unikat- bzw. Sonderbauteile wieder.

Für die Fertigung der Sonderbauteile wurden je nach Anforderung an die Fertigung unterschiedlich komplexe Maschinen genutzt, von 2,5-Achs bis 5-Achs bzw. 6 bis 7-Achs bei Industrierobotern. 2-3-achsige Fertigungsmaschinen wurden bei einfachen Fertigungs-/Bearbeitungsformen, zum Beispiel von Plattenwerkstoffen, eingesetzt. Generative Verfahren können ebenfalls zu den 3-achsigen Fertigungsmaschinen gezählt werden, da die Bauteile in der Regel schichtweiße aufgebaut werden. 5-Achs Fertigung fand im Bereich der Fertigung von dreidimensional bearbeiteten Werkstücken mit hohen Anforderungen an die Oberflächen und anspruchsvoller Geometrie (z.B. Haesley Nine Bridges Golf Club House (S.114) und Centre Pompidou Metz (S.119)) statt..
6-7-Achs Fertigung ist hier generell mit der Verwendung von Industrierobotern gleichzusetzten, diese sind im Vergleich zu anderen CNC-Maschinen deutlich flexibler, im Hinblick auf Bauteilgröße und Bearbeitungswerkzeug, kann sowohl additive/formende, als auch subtraktive/trennende Werkzeuge/Effektoren nutzen. Industrieroboter sind jedoch durch ihre Flexibilität und die Nutzung von 6-7 Achsen über einen Arm zum einen teuer in der Anschaffung, zum anderen jedoch nicht so präzise wie eine 5-Achs-CNC-Fräse, die für einen schienengeführten, begrenzten Arbeits-/Funktionsbereich ausgelegt ist. Die Nutzung von 2-3-Achsigen Fertigungsanlagen ist in den meisten Fällen die günstigste Variante, die Maschinen sind robuster, günstiger in der Anschaffung sowie im Betrieb und beeinflussen somit die Fertigungskosten erheblich.

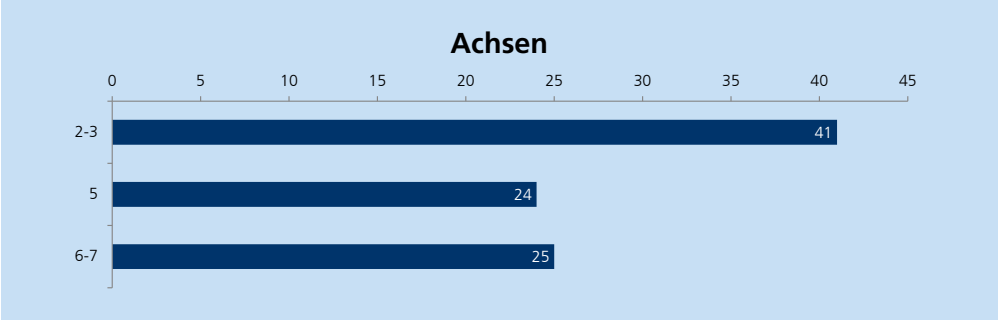



**Abb. 13:**
**Verteilung der Achsenanzahl der Fertigungsmaschinen in den Projekten**

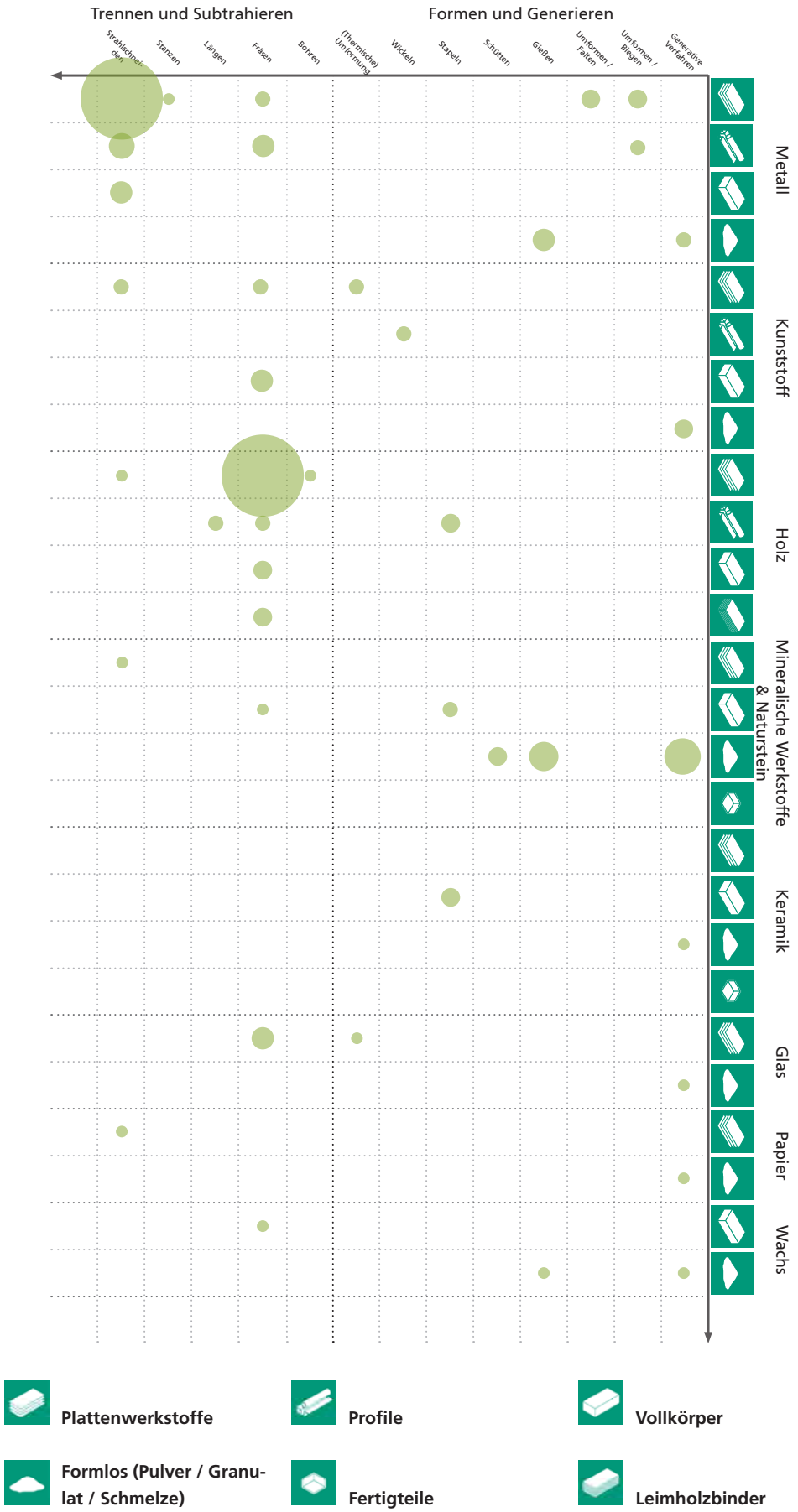
# 5.2 Ableitung von Material-Fertigungs-Systemen

Unter dem Kapitel Material-Fertigungs-Systeme werden die Materialien in ihrer verwendeten Rohformen / Halbzeuge mit den dazu genutzten Fertigungsmethoden in einer Matrix eingeordnet und verglichen um Schwerpunkte, Unterschiede und Trends zu identifizieren. Die Materialien werden in jeweils bis zu vier Zustands-/Handelsformen aufgelistet, die Fertigungsverfahren sind in die Hauptgruppen »Trennen und Subtrahieren« sowie »Formen und Generieren« unterteilt. Hier soll identifiziert werden welche Verfahren besonders vorherrschend sind und wie sich die Trends in Zukunft entwickeln. Im Anschluss daran werden besonders vorherrschende Gemeinsamkeiten und Systematiken unter den 100 Projekten bezüglich ihrer Geometrie, Details, (Statik, Tragwerkverhaltens) und Fertigungsverfahren identifiziert, um daraus Handlungsbedarfe abzuleiten.

### 5.2.1 Matrix zu Material-Fertigungs-Systemen

Die Matrix befasst sich mit der Verteilung von Material auf unterschiedliche Fertigungsverfahren und -methoden. Aufgeteilt ist die Matrix in Richtung Fertigungsverfahren in die beiden Kategorien »Formen und Generieren« und »Trennen und Subtrahieren«. Unter »Formen und Generieren fallen unter anderem Generative Verfahren (»3D-Druck«), Biegen, Falten, Gießen, etc. »Trennen und Subtrahieren, besteht unter anderem aus Fräsen, Strahlschneiden, Bohren, Längen usw. Die Materialien sind jeweils in zwei bis vier Formvarianten unterteil, die den Formzustand des Ausgangsstoffes wiedergeben. Bei Metallen und Kunststoffen sind das Platten, Profile, Vollkörper und Formlos (Granulat / Pulver / Schmelze), bei Holz ebenfalls Platten, Profile und Vollkörper, zudem Leimholzbinder. Die Materialien der mineralischen Werkstoffe und Naturstein, sowie Keramik sind in Platten, Vollkörper, Formlos (Granulat / Pulver) und Fertigbauteile unterteilt. Glas und Papier sind lediglich in die beiden Gruppen Platte und Formlos untereilt. Wachs ist ebenfalls in nur zwei Gruppen, zum einen Vollkörper und zum anderen Formlos, unterteilt.

Es ist deutlich zu erkennen, dass Holz- und Metallwerkstoffe am häufigsten Verwendung finden sowie trennende/subtraktive Verfahren angewendet werden. Unter »Trennen und Subtrahieren« werden vor allem fräsende und strahlschneidende Verfahren angewendet. Besonders Holzwerkstoffe werden gefräst, die Bearbeitung von Platten findet meist an 2½- bis 3-Achs-Fräsmaschinen statt, während Vollholz oder Leimholzbinder mit speziell für die Holzbearbeitung entwickelten Abbundmaschinen bearbeitet werden. Neben Holz werden auch Metall, Kunststoffe, mineralische Werkstoffe & Naturstein sowie Glas und Wachs mit Fräsmaschinen bearbeitet. Werkstoffe aus Metall werden bevorzugt strahlschneidend, sei es mit Laser-, Wasser- oder Plasmastrahl, bearbeitet, am häufigsten kommen hierbei Werkstücke in Plattenform zum Einsatz, da sich deren Bearbeitung besonders einfach gestaltet. Im Bereich der Verfahren »Formen und Generieren« werden metallene Werkstücke vor allem gefaltet und gebogen, sowie gegossen und im generativen Verfahren lasergesintert. Kunststoffe kommen sehr unterschiedlich zum Einsatz, bei »Formen und Generieren« werden Kunststoffe entweder im 3D-Drucker verwendet, als Fasern/Fäden gewickelt oder thermisch umgeformt. Bei den trennenden Verfahren werden Kunststoffe ebenfalls spanabtragend/fräsend oder strahlschneidend bearbeitet. Mineralische Werkstoffe und Naturstein finden in der Sonderanfertigung vor allem in formlosen Granulaten Anwendung und werden dann mit Generativen Verfahren (3D-Druck) bzw. durch Gießen ((Ort-)Beton) oder Schütten (Granulate/Sand/etc.) in die gewünschte Form gebracht. Diese Formlose Nutzung macht vor allem den mineralischen Werkstoff Beton für Sonderbauten und Sonderbauteile sehr interessant, aufwendig dafür ist jedoch in vielen Fällen die Schalung die zumeist aus Holzwerkstoffplatten oder Kunststoff (z.B. Styropor) gefertigt wird. Zugeschnittene Natursteinblöcke werden häufig mit fräsenden Verfahren in die gewünschte Form gebracht. Mineralische Werkstoffplatten (z.B. fiber-C) können strahlschneidend bearbeitet und auf Wunschform zugeschnitten werden.




**Plattenwerkstoffe**

**Profile**

**Vollkörper**

**Formlos (Pulver / Granulat / Schmelze)**

**Fertigteile**

**Leimholzbinder**

**Abb. 14:**
**Matrix**
**Material-Fertigungs-Systeme**

Keramik, Glas, Papier und Wachs finden in sehr geringem Umfang in der Sonderanfertigung Verwendung. Obwohl Glas relativ häufig auf spezielle Gegebenheiten angepasst werden muss handelt es sich jedoch in den meisten Fällen allein um den Zuschnitt der Scheiben die keine weitere Sonderbehandlung empfangen. Werkstoffe aus Papier finden kaum Anwendung, lediglich bei temporären Projekten, dies liegt nicht zuletzt an der geringen Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse. Wachs wurde in zwei der 100 Projekte verwendet, kam jedoch nie als primärer Baustoff zur Anwendung, Wachs wurde bei jedem Projekt aufgrund seiner Materialeigenschaften und einfachen Wiederverwendbarkeit für den Formenbau von Einzelstücken und Kleinstserien genutzt.

### 5.2.2 Auswertung der Matrix

Für die Sonderbauteile der einzelnen Projekte werden die notwendigen Materialien in unterschiedlichen Handelsformen und Formen von Halbzeugen genutzt. Halbzeuge und Handelsformen werden in der Regel industriell hergestellt, dies schließt ebenfalls computergesteuerte bzw. automatisierte Fertigung ein, dabei handelt es sich jedoch um serielle Fertigung von Massenprodukten.

In diesem Abschnitt wird auf die Materialität der genutzten Werkstoffe, sowie deren Handelsformen eingegangen. Diese werden in Bezug mit den jeweiligen Projekten und Materialität gebracht.

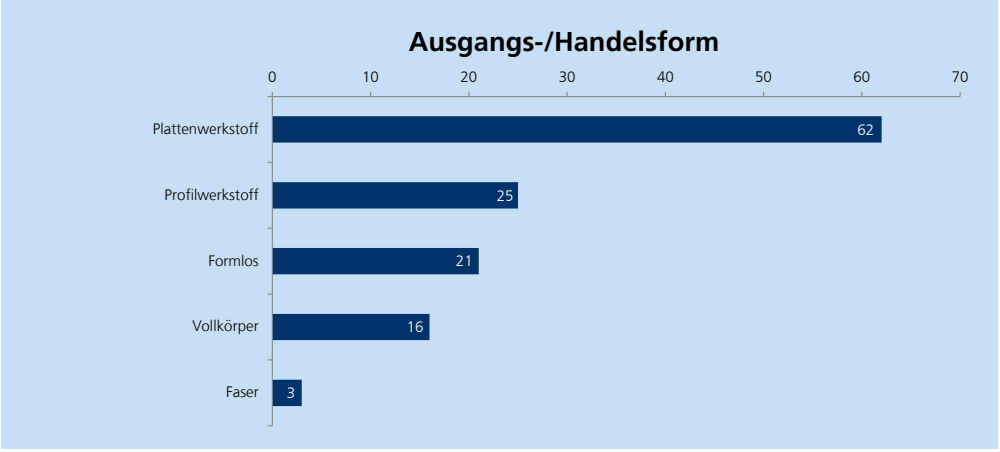



**Abb. 15:**
**Anzahl der Ausgangs- / Handelsformen der Rohprodukte zur Sonderfertigung bei den Projekten**

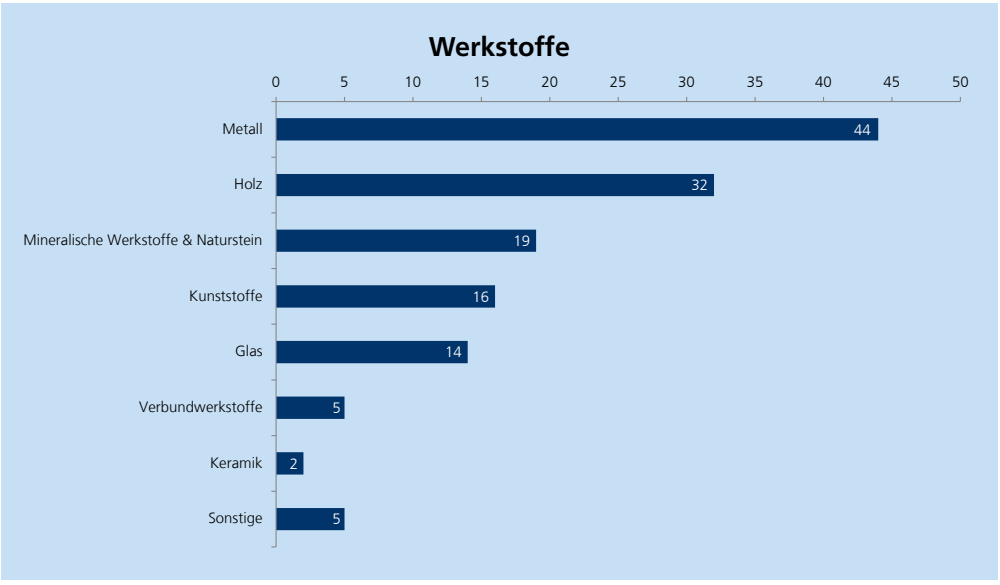



**Abb. 16:**
**Verwendung unterschiedlicher Werkstoffe bei den Projekten**

**Metalle**
Bei 44 Projekten werden die Sonderbauteile aus Metallen gefertigt, dabei kommen unterschiedliche Ausgangsformen zum Einsatz, bei Metallen in der Regel als Platten-, und Profilwerkstoffe, aber auch als Vollkörper und Schmelze.

Plattenwerkstoffe sind sehr einfach zu bearbeiten, in unterschiedlichen Stärken von dünnhäutigen Folien über Bleche bis hin zu zentimeterdicken Platten in unterschiedlichen Abmessungen erhältlich und bieten als Massenprodukt eine kostengünstige Ausgangsform, sie finden bei 27 der 100 Projekte Anwendung. Normalerweise genügen 2-3-Achsige Fertigungsmaschinen mit fräsenden oder strahlschneidenden Verfahren zur Bearbeitung der gewünschten Endgeometrie. Plattenwerkstoffe aus Metallen können zudem, zumeist im Nachgang unterschiedlich bearbeitet werden unter anderem durch plastisches Verformen durch Falten wie bei den Projekten zu neuen Fertigungsverfahren Robofold (S.35), Industrial Origami (S.34) oder der Installation Arum (S.68). Weitere plastische Formtechniken kommen bei den Projekten F3T (S.33) und FIDU (S.32) zur Anwendung. Elastische verformte Werkstücke aus Metallplatten werden bei den Projekten Point.One (S.92) und InterContinental Spa & Resort (S.130) genutzt.

Neben den Plattenwerkstoffen werden Metalle in einer Bandbreite an Profilen angeboten, darunter Vollprofile wie Stäbe und unterschiedliche Träger, sowie Hohlprofile in Form von Rohren, Kastenträgern und weitaus komplexeren stranggepressten Profilen. Letztere finden besonders häufig Anwendung im Fassaden-Systembau. Vollprofile und Stäbe wurden unter anderem bei den Projekten Futuropolis (S.51), Wave Pavillon (S.61) und Boston Harbor Island Pavillon (S.88) verwendet. Hohl- und Kastenprofile kamen zum Beispiel bei den Projekten Accelerator (S.74), Tiger & Turtle (S.93) und der Überdachung der der Capodichino Metro Station (S.97) sowie dem Water Cube (S.113) in Peking zum Einsatz. Stranggepresste Profile wurden für die Projekte 30Street Mary Axe (S.103), Weltstadthaus Peek & Cloppenburg (S.104) und The Pinnacle/Bishopsgate-Tower (S.134) genutzt.

Mit der Handels- bzw. Bearbeitungsform Vollkörper sind Ausgangskörper gemeint die von mehrachsigen Maschinen „dreidimensional" bearbeitet werden, es können auch dicke Plattenwerkstoffe dazu gezählt werden, diese werden, im Vergleich zu den vorherig behandelten Plattenwerkstoffen, nicht „zweidimensional" 2-3-achsig bearbeitet, das Endresultat ist deutlich komplexer. Zur Bearbeitung können sowohl spanende als auch strahlschneidende Verfahren genutzt werden, bei den Projekten Überdachung des Great Court Britisch Museum (S.100), Złote Tarasy (S.111) sowie MyZeil (S.117) wurden die sechsachsige Knoten auf diese Weise gefertigt.

Geometrisch besonders komplexe bzw. anderweitig zu kompliziert oder zu kostspielig zu fertigende Bauteile werden in der Regel im Gussverfahren gefertigt, dazu wird in der Regel das Metall in flüssiger Form (Schmelze) in eine (Negativ-)Form gegossen. Die Projekte Rose Center for Earth and Space (S.101), Lentille du Métro Saint Lazare (S.102), Kings Cross Station (S.129) fanden im Sandgussverfahren statt. Beim Projekt Rose Center for Earth and Space wurden die Punkthalter der Glasfassade in diesem Verfahren gefertigt, dazu wurden verlorene Formen mittel 3D-Druck hergestellt. Für das Projekt Lentille du Métro Saint Lazare wurden ebenfalls verlorene Formen genutzt, hier bestanden sie jedoch aus Wachs und konnten auf die gewünschte Variation angepasst werden.

**Holz**
32 Projekte wurden mit Holz realisiert, Holz wird in der Regel spanend bearbeitet, dies geschieht in der Regel mit Fräsmaschinen. Sonderbauteile aus Holz werden aus Platten- und Profilwerkstoffen sowie aus Vollkörpern gefertigt.

Dabei ist zu beobachten, dass bei 24 der 32 mit Holzwerkstoffen im Sonderbau diese in Form von Plattenwerkstoffen genutzt werden. Bei einigen Projekten wird der Werkstoff

mit einfachen 3-Achs-CNC-Fräsen verarbeitet, zum Beispiel bei FACIT (S.36), WikiHouse (S.37), den Winnipeg Skating Shelters (S.63) und der Schalung des Mercedes Benz Museum (S.108). Neben dieser „zweidimensionalen" Bearbeitung können Bauteile aus Plattenwerkstoffen geometrisch aufwändiger gestaltet werden zum Beispiel durch das Flankenfräsen wie bei den Projekten Inventioneering Architecture (S.52), Futuropolis (S.51) oder Sportalm (S.59). Sonderbauteile aus Plattenwerkstoffe finden ebenfalls unterschiedliche Anwendung, entweder als Platte Bauteile, auch Konturen genannt wie beim Projekt Metropol Parasol (S.124), in Form von Gitter- oder Schalentragwerken wie bei Robotic Reticulations (S.66) und dem Forstpavillon in Schwäbisch Gmünd (S.95). Ebenso als elastisch verformte Bauteile wie den Winnipeg Skating Shelters oder dem Forschungspavillon der Uni Stuttgart aus dem Jahr 2010 (S.86) oder als primäre Schalung von Ortbeton wie beim Mercedes Benz Museum oder dem Rolex Learning Center (S.122).

Profilwerkstoffe wie Stäbe, Latten und Rundhölzer finden bei der Anwendung von Holz deutlich weniger Verwendung als zum Beispiel bei den Metallen, da die Vielzahl der angebotenen Produkte aus material- und fertigungstechnischen Gründen deutlich geringer ist. Bei den drei Projekten die sequenzielle Wand (S.60), West Fest Pavillon (S.82) und Das sequenzielle Tragwerk (S.84) finden sie dennoch Anwendung.

Die Handelsform des Vollholzes kann unter bestimmten Vorrausetzungen ebenfalls zu den Profilen gerechnet werden, wir nehmen hier jedoch eine bewusste Trennung vor, da die Bauteile in ihren Abmessungen deutlich größer sind und deren Bearbeitung ebenfalls deutlich komplexer von statten geht. Zur Anwendung kommen sowohl Vollholzbalken in natürlicher Form als auch Brettschichtholzbinder, die teilweise projektspezifisch vorgeformt wurden. In natürlicher Form wurden Holzbalken bei den Projekten Neue Monte Rosa Hütte (S.120) und Norwegian Wild Reindeer Centre Pavillon (S.126) verwendet. Besonders geformte Brettschichtholzbinder kamen bei den Projekten Haesley Nine Bridges Golf Club House (S.114), Centre Pompidou (S.119) sowie Kilden Performing Arts Center (S.121) zur Anwendung.

Im Bereich der generativen Verfahren wird seit einigen Jahren an druckbarem bzw. flüssigem Holz geforscht, dieses wird teilweise aus Holzbestandteilen hergestellt und besitzt gewisse Materialeigenschaften des Holzes, beim Projekt Emerging Objects (S.43) wird der Einsatz diese künstlichen Holzes erprobt.

**Mineralische Werkstoffe & Naturstein**
19 Projekte mit Mineralischen Werkstoffen & Naturstein. Naturstein wird naturgemäß in Platten oder als Vollkörper verarbeitet, bei den hier gezeigten Projekten wurde der Naturstein in Form von Vollkörpern verarbeitet (Stone Ideas (S.39) u. Stone Vault Pavillon (S.70)). Mineralische Werkstoffe, allen voran Beton und ähnliche Werkstoffe werden formlos Verarbeitet, in Formen gegossen oder durch additive Verfahren schichtweise aufgebaut. Bei den Projekten Mercedes Benz Museum in Stuttgart (S.108), dem Neuen Zollhof in Düsseldorf (S.99) und dem Rolex Learning Center in Lausanne (S.122) wurde konventioneller Beton mit Schalung verwendet. Bei den Projekten d_shape (S.47), Contour Crafting (S.49) und Digital Grotesque (S.69) kommen Mischungen aus Sand, Kies und speziellen Bindern zum Einsatz. Beim Projekt Sportalm (S.59) wurden mineralische Werkstoffe in Form von Corian als Plattenwerkstoff verarbeitet, dieser lässt sich unter anderem durch Hitzeeinwirkung plastisch bearbeiten.

**Kunststoffe**
Kunststoffe kommen bei 16 der ausgewählten Projekte zum Einsatz, unter anderem als Komponente von Verbundwerkstoffen wie bei den Projekten Rotary Weaver (S.38) und The Walbrook (S.123). Ebenfalls kommen Kunststoffe im Bereich der additiven Verfahren zum Einsatz, teilweise als verlorene Form im Metallguss, so geschehen beim Projekt Rose Center (S.104) zur Herstellung der Kreuzknoten. Als Vollkörper werden Kunststoffe in den häufigsten Projekten als Schalung für den Formenbau verwendet, als

Betonschalung beim Projekt Neuer Zollhof (S.99) sowie als Form für die Fassadenteile des Projekts The Walbrook. Zur direkten Anwendung kommen gefräste Kunststoffblöcke in Form von Polystyrol bei der Fassade von Spichem (S.133). In Form von Plattenwerkstoffen, werden zum Beispiel Acrylglas plastisch verformt als Außenhülle des Pavillons Bubble (S.72) verwendet, ebenfalls als Außenhülle jedoch elastisch verformt findet Acrylglas beim Projekt Point.One (S.92) Verwendung. Für das Projekt Hungerburgbahn (S.79) wurden aus Polyethylen-Platten die Profile zur Anbringung doppelt gekrümmter Scheiben im Flankenfräsverfahren gefertigt. Membrane aus Kunststoff bzw. Textilien wurden in den Projekten Dynaform (S.75) und Water Cube (S.113) verwendet.

**Glas**
Glas findet in 14 Projekten im Bereich des Sonderbaus Anwendung. Bei fast allen Projekten wird es in der handelsüblichen Form von Plattenwerkstoffen genutzt und auf die richtigen Abmessungen zugeschnitten. (z.B. Peek & Cloppenburg; Überdachung Great Court Britisch Museum; Smithsonian Institut; Zlote Tarasy; MyZeil) Glas wird in den wenigsten Fällen thermisch verformt, so geschehen bei der Außenhaut der Stationen der Hungerburgbahn (S.79). Für die (thermische) Verformung von Glas aus Plattenwerkstoffen hat sich bisher noch kein besonders geeignetes Verfahren herauskristallisiert, da das Materialverhalten sehr schwierig vorherzusehen ist.

**Verbundwerkstoffe**
Verbundwerkstoffe werden bei nur fünf der 100 ausgewählten Projekte angewandt, darunter bei zwei Projekten aus dem Bereich Fertigungsmethoden und -Verfahren. Dem Projekt Rotary Weaver (S.38) von Toyota zur Herstellung von Bauteilen des Lexus LF aus Kohlefaserverbundwerkstoffen mit Hilfe eines Rotationswebstuhls. Ein weiteres Projekt ist die Nutzung von Verbundwerkstoffen im Bereich der additiven Verfahren (S.43). Des Weiteren wurde die Anwendung von Kohlefaser- und Glasfaserverstärken Kunststoffen in Form einer Wicklung aus einer „endlos"-Faser an der Universität Stuttgart anhand eines Forschungspavillons erprobt (S.94). Bei Gebäuden wurden im Projekt Airspace (S.110) Verbundwerkstoffplatten zur Fassadeneinkleidung verwendet und beim Projekt The Walbrook (S.123) wurden die plastisch geformten Verschattungselemente der Fassade aus Verbundwerkstoffen gefertigt.

**Keramik**
Im Bereich Keramik finden sich zwei Projekte wieder, bei denen Ziegelsteine verwendet werden, im Vergleich zu anderen Projekten werden diese jedoch nicht als Sonderbauteile hergestellt, sondern seriell gefertigte Ziegel verwendet, die durch spezielle Stapelung ein Sonderbauteil als Mauerwerk ergeben. Der Unterschied zum normalen Mauern besteht darin, dass die Ziegel nicht mit Mörtel sondern mit einem speziellen Kleber verbunden werden. Ein Industrieroboter stapelt die Ziegel nach einem bestimmten vorgegebenen Muster. Die Projekte, die programmierte Wand (S.54) und das Weingut Gantenbein (S.106) sind nur ein kleiner Auszug der Forschungsarbeit von Gramazio und Kohler zum Thema Ziegel.

**Sonstige**
Unter der Kategorie Sonstige sind die Materialien Papier, Pappe und Wachs angesiedelt, allesamt Materialien, die sich nicht für dauerhafte Bauteile eignen, daher wird Papier unter anderem im Bereich der additiven Verfahren zur Prototypen Herstellung verwendet (S.43). Pappe wird für temporäre Projekte wie etwa Ausstellungen wie Voilà - AKA-Gastspiel in der Staatsgalerie (S.67) oder Pavillons (Hexigloo Pavillon S.89) verwendet. Wachs wird für gewöhnlich der Werkstoffgruppe Substanzen und Flüssigkeiten zugerechnet und findet in der Regel als Sekundärwerkstoff im Formenbau seine Anwendung, beim Projekt TailorCrete (S.42) wird Wachs als wiederverwendbare Schalung im Betonbau verwendet. Beim Projekt Lentille du Métro Saint Lazare (S.102) dient Wachs der Herstellung unterschiedlicher Kreuzknoten auf Basis einer Masterform im Metallgussverfahren.

### 5.2.3 Fazit »Additiver/Formender« Verfahren und zu »Subtraktiven/Trennenden« Verfahren

Aus der Matrix ist zu entnehmen, dass im Bereich der Einzel- und Kleinstserienfertigung derzeit die subtraktive/trennenden Verfahren vorherrschend sind. Dies liegt daran, da für die Fertigung genormte/standardisierte Halbzeuge und Werkstücke genutzt werden und aus diesen die gewünschten Formen und Geometrie geschnitten oder gefräst werden können. Um passende Abmessungen zu erhalten ist es in der Regel notwendig diese durch Zuschnitt der Werkstücke zu erzeugen. Seit einigen Jahren ist ein Paradigmenwechsel zu verzeichnen, denn seit dem Aufkommen der ersten 3-Drucker im Bereich des Rapid Prototyping in der Luft & Raumfahrt oder der Automobilindustrie, ist es möglich Werkstücke bzw. Bauteile aus Material in Pulverform oder aus Granulat zu erzeugen. Dabei wird lediglich das für die Geometrie benötigte Material verwendet, im Vergleich zum (Spritz-)Gießen oder Sintern von zum Beispiel Metallen werden jedoch keine (aufwändigen) Formen oder Matrizen benötigt. Die Bauteile werden (zumeist in einem Bauraum) Schichtweise aufgetragen und je nach Material mit einem Binder/ Kleber zusammengefügt oder durch Erhitzung direkt miteinander Verschweißt. Da mittlerweile nahezu jedes Material in einem geeigneten 3D-Druckverfahren verwendet werden kann, könnte dies in Zukunft eine Alternative zu herkömmlichen Verfahren sein. Wie aus den Projekten zu entnehmen ist, sind bisher verlorene Formen für Gussteile gefertigt worden. Im Bereich der Forschung setzen sich mehrere Institutionen mit der Nutzung von Generativen Verfahren und beton-/zementähnlichen Materialien auseinander.

### 5.2.4 Zukunftsweisende Anwendungsfelder

Bei der Begutachtung und Auswertung der einzelnen Projekte sind neben den angewandten Material-Fertigungs-Systemen noch deutlich engere Ähnlichkeiten zwischen den einzelnen Projekten aufgefallen. Viele Projekte weißen ähnliche Systematiken in Design, Struktur und Fertigung auf. Bei einigen Projekten war ein Teil der Projektpartner/ des Projektteams derselbe, die lediglich ihr schon angewandtes System weiter verbesserten, bei anderen waren es komplett eigenständige Teams die auf vorhandenes Wissen zurückgriffen und ihre eigenen Systeme entwickelten. Im Folgenden sind fünf solcher Systeme (3 Anwendungsfelder) aufgelistet und kurz beschrieben, darunter ein Fassaden-System,  Systeme von Plattenwerkstoffen in unverformtem und verformtem Zustand und Muster im Holzbau.

#### 5.2.4.1 Anwendungsfeld 1:
#### Parametrisierte Fassadensysteme

Im Bereich der Fassade sind in der Projektsammlung einige Projekte vorhanden, die systemische Gemeinsamkeiten besitzen, bei denen in der Planung und Herstellung jedoch abweichend verfahren wurde. Besonders starke Ähnlichkeiten sind in den Projekten Überdachung des Great Court des British Museum (S.100), der Fassade des Kaufhaus MyZeil (S.117) und des Atriums des Kaufhauses Złote Tarasy (S.111) sowie der Kings Cross Station (S.129) zu erkennen.

**Abb. 17: (v.l.n.r) Überdachung des British Museum, MyZeil, Złote Tarasy**

Es handelt sich immer um eine frei geformte Fläche, die durch Triangulation aus Profilstäben und zumeist sechsfachen Knotenpunkten besteht. Das Prinzip der Fügung und Herstellung der benötigten Bauteile ist bei diesen Projekten ähnlich. Zudem gibt es

weitere Projekte die auf einer ähnlichen Systematik aufbauen, hieraus ergibt sich ein möglicher Handlungsbedarf für ein (parametrisches) Fassadensystem zur Realisierung weiterer ähnlicher Projekte. Schwerpunkte sind die statischen und fertigungstechnischen Anforderungen an Profile und Knoten, sowie die Ermittlung wirtschaftlicher und (füge-)technischer Grenzen.

### 5.2.4.2 Anwendungsfeld 2: komplexe Formen aus unverformten Plattenwerkstoffe

Eine weitere erkennbare Systematik ist die Anwendung von Plattenwerkstoffen, die sich entweder lediglich in der Geometrie ihrer Schnittkanten unterscheiden und somit in ihrer Abfolge oder durch geschickte Verknüpfung mit geeigneten Knoten-/Anschlusspunkten eine plastische/dreidimensionale Geometrie erzeugen. Im Metallbau sind beispielsweise folgende Projekte zu verzeichnen: Lentille du Métro Saint Lazaare (S.102), Dynaform (S.75), Web of North Holland (S.76), Tiger & Turtle (S.93).

**Abb. 18: (v.l.n.r) Lentille du Métro Saint Lazaare, Dynaform, Tiger&Turtle**

Im Holzbau sind unter anderem die Projekte Sperentine Gallery Pavillon (S.78) und Metropol Parasol (S.124) zu verzeichnen. Dies ist eine der häufigsten Anwendungen, da die Bauteile relativ einfach und kostengünstig gefertigt werden können, »der strahlschneidenden Maschine ist es egal, welchen Weg sie in X- und Y-Richtung zurücklegt«, und das Ausgangsmaterial ist ebenso ein serielles, vergleichsweise kostengünstiges Produkt. Neben der sehr einfachen Fertigung durch 2-3-achsige Bearbeitung finden auch deutlich komplexere Fertigungsverfahren Anwendung, zum Beispiel zur Fertigung unterschiedlich angeordneter Keilzinken oder ähnlicher Verbindungsdetails wie bei den Projekten Forschungspavillon Uni Stuttgart 2011 (S.90) sowie Forstpavillon in Schwäbisch Gmünd (S.95).

**Abb. 19: (v.l.n.r) Serpentine Gallery Pavillon, Metropol Parasol, Forstpavillon Schwäbisch Gmünd**

### 5.2.4.3 Anwendungsfeld 3: komplexe Formen aus plastisch verformten Plattenwerkstoffe

Eine daraus fortgeschrittene Anwendung ist die Nutzung der strahlschneidenden und fräsenden Verfahren zur Herstellung von zuerst flachen Elementen, die im Nachgang durch Kraft- und oder Hitzeeinwirkung plastisch verformt werden, dies kann durch Biegen oder Falten bzw. durch Erzeugung eines Innendrucks entstehen.

**Abb. 20: (v.l.n.r) Robofold (Bentley), F3T, Dragon Skin Pavillon**

Beim Projekt FIDU - Freie Innen Druck Umformung findet die plastische Verformung der Bauteile durch die Erzeugung eines Innendrucks statt. Bei den Projekten Robofold (S.35), Curved Folding (S.64) und Arum werden die Bauteile entlang einer Kurve gefaltet, dies erzeugt durch doppelte Krümmung der Bauteile eine innere Steifigkeit. Eine stufenweise kundenspezifische Umformung von Blech findet beim Forschungsprojekt F3T - Ford Freeform Fabrication Technology (S.33) statt. Im Holzbau werden unterschiedlichen Methoden zur plastischen Verformung beim Projekt Dragon Skin Pavillon (S.87) werden die Holzplatten unter Hitzeeinwirkung in einer Form umgeformt.

### 5.2.4.4 Anwendungsfeld 4: komplexe Formen elastisch verformter Plattenwerkstoffe

Durch den geschickten Einsatz und die Ausnutzung der Materialeigenschaften lassen sich flache, aus Plattenwerkstoffen gefertigte, Bauteile im Verbund elastisch verformen und können einfache und doppelt gekrümmte Oberflächen erzeugen. Als Beispiele dafür sind die Projekte Point.One (S.92) und das Intercontinental Spa & Resort in Davos (S.130) zu verzeichnen.

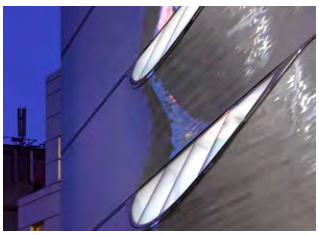


**Abb. 21: (v.l.n.r) Point.One, Intercontinental Resort & Spa, 10 Hills Place**

Eine Besonderheit stellt das Projekt 10 Hills Place (S.118) dar, dabei wurden standardisierte Aluminiumprofile durch elastische Verformung in eine doppelt gekrümmte Oberfläche eingearbeitet. Die Halbzeuge stammen dabei aus dem Schiffsbau und konnten im Werk analog gelängt werden.
Ebenso wie die Nutzung von Plattenwerkstoffen aus Metall, werden diese auch in unterschiedlichster Weise in Holz verwendet. Die elastische Verformung von Werkstücken aus Holzplatten kann vielseitig genutzt werden, zum einen als direktes Bauteil, wie zum Beispiel beim Forschungspavillon der Uni Stuttgart (S.86) sowie des Winnipeg Skating Shelters (S.63), oder zur Herstellung geeigneter Schalungsoberflächen im Betonbau wie bei den Projekten Boston Harbor Island Pavillon (S.88), Mercedes Benz Museum (S.108), Rolex Learning Center (S.122).

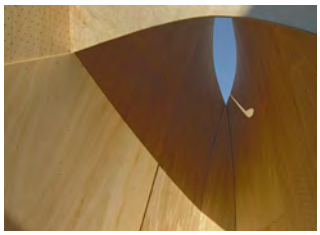


**Abb. 22: (v.l.n.r) Winnipeg Skating Shelter, Forschungspavillon Uni Stuttgart 2010, Schalungsbau Mercedes Benz Museum**

### 5.2.4.5 Anwendungsfeld 5: komplexe Raumtragwerke aus Vollholz

Vollholz und Leimholzbinder werden bevorzugt für Tragwerke genutzt und mit Abbundmaschinen bearbeitet, da diese das komplette Werkstück, in bedingten Fällen sogar ohne umspannen, bearbeiten können. Hier sind ebenfalls systemisch ähnliche Projekte zu verzeichnen, zum Beispiel das Haesley Nine Bridges Golf Club House (S.114) und das Centre Pompidou in Metz (S.119). Bei Projekten mit stark doppelt gekrümmten Bauteilen wurden dafür extra vorgefertigte Leimholzbinder verwendet um den Verschnitt möglichst gering zu halten.

**Abb. 23: (v.l.n.r)**
**Z-Plus Pavillon (dtp),**
**Haesley Nine Bridges Golf Club House,**
**Centre Pompidou Metz**

### 5.2.5 Abschließende Betrachtung der Anwendungsfelder

Die Auswertung der Projekte zeigt, dass eine Vielzahl an unterschiedlichen Systemen bereits existiert. Diese sind funktionsfähig und wurden bereits in mehreren Projekten realisiert. Jedoch in den meisten Fällen von unterschiedlichen Teams jeweils neu geplant ohne verstärkt Erfahrungen, Methoden und Verfahren aus bereits realisierten Projekten zu verwenden. Die Fertigung der Bauteile fand meist in ähnlicher Weise und ähnlichem Ausgangsmaterial bzw. Werkstoffen und Halbzeugen statt.
Zielführend ist jedoch die Systeme gemeinsam weiter zu entwickeln bzw. zu verfeinern und zu optimieren.

Das Anwendungsfeld Fassadensysteme zeigt, dass der Bedarf an Gitterschalen zur Überdachung bzw. als Fassadengestaltung bereits anhand einiger Prestigeprojekte vorhanden ist. Bisher fand die Planung jedoch immer für jedes Projekt neu und im Einzelfall statt. Es besteht Bedarf bzw. Potenzial für ein Gitterschalensystem, welches unterschiedliche Formen und Spannweiten annehmen kann. Dazu gehört die Entwicklung eines Planungstools / Plug-ins zur Optimierung einer Startgeometrie sowie der Generierung aller notwendiger Bauteile, wie Knoten, Stäbe, Paneele usw. Mit den nötigen gestellten Systemen, sowohl in der Planung (Entwurf, Berechnung und Simulation) als auch Halbzeugen in der Fertigung könnten diese Systeme deutlich öfter und kostengünstiger zur Anwendung kommen.

Parametrisches Planungssystem für triangulierte Überdachungs- bzw. Fassadensysteme, Bauteile, deren Abmessungen und Detaillierung durch den Hersteller bzw. Herstellungsprozess vorgegebenen sind und genormte Überdachungssysteme im Systemsortiment ergeben ein Alleinstellungsmerkmal für Fassadenhersteller. Die Nutzung eines offenen Planungssystems ermöglicht es einer großen Bandbreite an Planern dieses System anzuwenden.

Alle drei Anwendungen, im Bereich der Plattenwerkstoffe, sowohl das direkte Nutzen von nicht verformten Plattenwerkstoffen, als auch das elastische und das plastische Verformen ermöglichen es „dreidimensionale“ Geometrie zu erzeugen.

Die Einfachheit des Systems liegt in der Fertigung, bei den meisten Anwendungen genügt eine einfache 2-3-Achs-Fertigung, bei den Halbzeugen handelt es sich in der Regel um Plattenwerkstoffe die als Massenware erhältlich sind. Durch intelligente Anordnung der Bauteile auf den Platten, dem so genannten „Nesting“, welches in der Regel automatisch vorgenommen wird, erfolgt eine deutliche Reduzierung des Restmaterials. Zudem lassen sich die Reste im Allgemeinen sehr gut recyceln.

Anwendungen mit unverformten Bauteilen sind sehr einfach mit 2-3-Achs-Fertigungsmaschinen herzustellen. Eine Ausnahme bildet das Flankenfräsen hierzu werden mindestens 5-Achsen benötigt, die Bauteile können jedoch auch deutlich anspruchsvoller gestaltet werden, wie etwa für die Profile der Station Hungerburgbahn (S.79).

Bei den vorgestellten Projekten Tiger&Turtle (unverformt), Point.One und Intercontinental Resort & Spa (beide elastisch verformt), wurden die Bauteile mit einfachen Details ausgestattet um ausschließlich in der richtigen Konfiguration montiert zu werden. Dies setzt jedoch nicht nur die Nutzung von Plattenwerkstoffen und die Beherrschung ihrer Materialeigenschaften, sondern ein intelligentes Planungs- und Fügesystem voraus.

Die bei diesen Projekten entwickelten Systeme können auch auf weitere Geometrie übertragen werden, sie sind lediglich in den Biegeeigenschaften der Plattenwerkstoffe limitiert. Wichtig für die elastische Verformung von Werkstoffen ist die Erforschung und Dokumentation der jeweilig maximal erreichbaren Krümmungsgrade/-radien. Die Planungswerkzeuge müssen das Materialverhalten sinngemäß simulieren und übertragen, damit eine sichere Planung möglich ist.

Für die plastische Verformung müssen sowohl im Bereich des inkrementellen umformen (F3T) als auch dem geraden und gekrümmten Falten (Industrial Origami, Robofold) neue, passende Werkzeuge entwickelt und erprobt, sowie Materialeigenschaften und -Verhalten weiter erforscht werden.

Die Anwendungsfelder für diese Systeme sind breit gestreut, für Metalle bieten sich besonders der Bereich Fassade und Tragwerk an. Holz kann ebenfalls für Fassadenbekleidung, Inneneinrichtungen oder als Sekundärmaterial in Form von Schalungstafeln verwendet werden.

Im Bereich Vollholz bzw. Brettschichtholz oder Leimholzbinder ist die Auswahl der Projekte geringer. Die in der Studie vorgestellten Projekte Haesley Nine Bridges Golf Club House (S.114) und das Centre Pompidou in Metz (S.119) bauen jedoch aufeinander auf. Für die Fertigung der geschwungenen Bauteile wurde eine speziell für die Bearbeitung von Holz entwickelte Software programmiert, die nun für weitere Projekte zur Verfügung steht und bei jedem Projekt ausgebaut und verbessert werden kann. Die vorhandenen Werkzeuge dienen den Planern bei ihren Entwürfen und der effizienten, wirtschaftlichen Fertigung der Bauteile. Sobald Systeme als Lösungen angeboten werden, besteht eine erprobte Prozesskette bzw. Infrastruktur, die von Projekt zu Projekt optimiert wird und dadurch zuverlässiger und wirtschaftlicher wird.

# 6 Resultate

## 6.1 Studienergebnisse im Überblick

**Design als Haupttreiber**
Bei vielen der vorgestellten Projekte war das Design der ausschlaggebende Treiber, eine möglichst spektakuläre Geometrie sollte die Form des Projekts bestimmen, bei einigen Projekten sollte sich der so genannte „Bilbao-Effekt" einstellen. Zugleich dienen viele dieser Projekte als Initialzündung für neue Planungs- und/oder Fertigungswerkzeuge und -Methoden. Sobald diese einmal entwickelt und erprobt wurden, sind die Kosten und der Arbeitsaufwand für ähnliche Projekte und der Weiterentwicklung der Werkzeuge und Methoden geringer. In den letzten Jahren wurden zudem neue Software zur Simulation und Optimierung der Gebäudeparameter im Bereich Tragwerk, Energie, Gebäudehülle usw. Ebenso wurden im Bereich der Fertigung neue Methoden und Maschinen entwickelt um aufwändige Projekte realisieren zu können, diese Technik steht nachfolgenden Projekten nun zur Verfügung.

**Digitale Werkzeuge und Schnittstellen**
Bei den Projekten ist zu erkennen, dass zwischen Planung und Fertigung keine größeren Brüche in der digitalen Prozesskette vorhanden sind, dennoch ist bekannt, dass in der Regel zwischen den Formaten der Planungssoftware und der Fertigungssoftware Brüche entstehen und diese aufgearbeitet werden müssen, dies wiederum führt zu steigendem Zeit- und Kostenaufwand und macht diese Schnittstelle weniger flexibel als gewünscht. Eine weitere Einschränkung auf diesen Bereich ist damit begründet, dass die angebotenen Softwarepakte für Planer und Architekten zwar in den letzten Jahren deutliche Fortschritte im Bereich der digitalen und parametrischen Planung vollzogen haben, jedoch auf einem bauteilorientierten Baukastensystem aufgebaut sind und der Nutzer bereits zu Beginn der Planung sehr konkrete Vorstellungen des zu planenden Objekt besitzen muss. Ein gewisser Abstraktionsgrad der die Planung von der Idee bis zum Gebäudebetrieb immer weiter mit Informationen füttert und sich dabei entwickeln lässt, wird bisher nicht angeboten. Auch wenn die Planung innerhalb einer Softwarefamilie bzw. anhand eines durchgängigen digitalen Datenmodells stattgefunden hat gibt es in der Regel beim Wechsel in die Fertigung einen Bruch dieser Durchgängigkeit. Oftmals müssen die digitalen Daten in eine andere Software, die zur Ansteuerung der Maschinen notwendig ist, übertragen und aufgearbeitet werden. Einige Planer schaffen sich direkte Schnittstellen zur Aus- bzw. Einlese der Daten im Maschinencode zur direkten Ansteuerung bzw. Fertigung.

**Weiterentwicklung von Sytemen und Lösungen**
Die identifizierten Systeme und Muster in Kapitel 5.2, zeigen auf, dass enormes Potenzial im Bereich der Materialforschung, Produkt-, Werkzeuge- (Software) und Maschinenentwicklung steckt. Denn wie bereits beschrieben, werden ähnliche Systeme für ähnliche Bauaufgaben von unterschiedlichen Planungsteams in vielen Fällen „neu" geplant, dies führt zu einem deutlichen Mehraufwand in der Planung, aber auch in der Fertigung. Häufig werden notwendige und erfolgsrelevante Werkzeuge und Methoden entwickelt, die ausschließlich für eine geringe Anzahl an Projekten genutzt werden. Diese Projekte müssen wie vorherig beschrieben als Initialprojekte verstanden und weiterentwickelt, zugänglich gemacht bzw. zur Verfügung gestellt werden. Wenn diese Systeme Schritt für Schritt ganzheitlich, mit allen notwendigen Bedingungen weiterentwickelt werden, eröffnen sich für das Bauwesen und die Architektur allgemein neue Möglichkeiten. Die hier gezeigten Techniken und Formensprache könnten durch das Angebot von Planungstools, Fertigungsverfahren bzw. Systemlösungen einer breiten Masse zugänglich werden.

**Parametrische Planung und digitale Fertigung in Lehre und Ausbildung**
Neben der Weiterentwicklung dieser Planungs- und Fertigungsmethoden, wird wie bereits in Kapitel 2 beschrieben und anhand der Projekte zu identifizieren ist, die Anzahl parametrisch geplanter und digital gefertigter Projekte in Zukunft weiter steigen. Dieser Trend verlangt nicht nur im Bereich der Planung ein versiertes und geschultes Personal, sondern ebenso im Bereich der Bauausführung und Fertigung, folglich in allen Bereichen der Baubranche. Das parametrische Planen und Bauen wird sich in Zukunft nicht auf Neubauten beschränken, sondern wie in den Projekten zu sehen ist auch mit der Umgestaltung von Bestandsbauten befassen müssen. Dazu ist geschultes und gut ausgebildetes Personal notwendig, auch wenn heute schon an einigen Hochschulen parametrisches Planen gelehrt und in einigen Büros und ausführenden Unternehmen angewandt wird, sind diese derzeit in der Minderheit. Parametrische Planung und digitale Fertigung muss neben der Lehre an Hochschulen und Universitäten ebenso Einzug in die Ausbildung von Facharbeitern im Bauwesen erhalten, für Mitarbeiter müssen Schulungen und Weiterbildungen angeboten werden.

**Potenzialfelder - Bestandssanierung durch digitale Werkzeuge**
Deutschland wird sich in den nächsten Jahren verstärkt mit dem Thema der Bestandssanierung und -Umnutzung auseinandersetzen müssen, möchte die Bundesregierung ihre bis 2050 gesteckten Klimaziele einhalten. Derzeit werden vielerorts Altbauten mit WDVS verpackt und optional mit einer neuen Lüftungsanlage ausgestattet. Bei vielen Gebäuden ist dies jedoch keine respektable Lösung, zum Beispiel bei Gebäuden mit Schmuckfassaden oder bei Fachwerkhäusern ist diese Art der energetischen Sanierung aus architektonischer Sicht schlichtweg indiskutabel. Zudem bestehen von den wenigsten Bestandsgebäuden präzise, verwertbare Pläne, des Weiteren schlummern viele unbekannte Parameter in der Bausubstanz, z. B. Wand- und Bodenaufbauten. Dies sind alles Faktoren, die die Kosten einer konventionellen Sanierung in die Höhe treiben und sie oftmals unrentabel machen. Nach einer Digitalisierung des Bestandes kann mit Hilfe von parametrischer Planung und flexiblen parametrischen Modellen ein/e minimalinvasive/r Aufstockung, Sanierung, Umbau oder Nachrüstung vorgenommen werden.

**Industrie 4.0 auf der Baustelle**
Industrie 4.0 ist das große Forschungsvorhaben der Bundesrepublik, um die Fortschritte und Effizienz in der Industrie unter der Einbindung der weltweiten Vernetzung weiter zu steigern. Ziel ist die intelligente Fabrik, vernetzt über das Internet der Dinge, ist diese besonders wandlungsfähig und energie-/ressourceneffizient. Durch nahtlose Kommunikation und intelligente Maschinen ist die Produktion nicht mehr auf einzelne vorher zugewiesene Standorte festgelegt, sondern kann flexibel an unterschiedlichen Orten stattfinden. Auf die Baubranche übertragen würde das bedeuten, dass zum Beispiel in der Nähe des Standortes bzw. in kleinen Einheiten direkt auf der Baustelle ohne weiteres gefertigt werden kann. Ein anderer Punkt wäre das simultane Fertigen ähnlicher Bauteile und Gruppen zur besseren Auslastung in unterschiedlichen Werken.

**Baubranche als zukunftsfähiger Markt**
In Deutschland gibt es versierte und ambitionierte Planungsbüros die bereits parametrisch Planen und digital Fertigen. Dennoch wird das Thema in der deutschen Baubranche nur am Rande behandelt. Es haben sich bisher einige kleine Netzwerke gebildet, die sich dieser Thematik annehmen. Im Bereich der Planung gehen immer mehr Architektur- und Planungsbüros den Weg der digitalen bzw. parametrischen Planung. Größere Bauunternehmen und Softwareentwickler nehmen sich der Thematik ebenfalls an, da dadurch ein enormes Potenzial an Effizienzsteigerung möglich ist. Maschinenbauer und Zulieferer aus anderen Branchen sind zwar im Bereich der Digitalisierung der Prozessoptimierung am besten aufgestellt, liefern jedoch nicht unbedingt die Werkzeuge und Produkte die das Bauwesen benötigt, da sich für sie an dieser Stelle noch kein rentabler Markt aufzeigt.

## 6.2 FUCON 4.0 - Ausblick und weiteres Vorgehen

Die Potenzialanalyse zu parametrischer Planung und digitaler Fertigung dient dem Verbundprojekt »Future Construction«, kurz FUCON 4.0, als Ausgangsbasis der Forschung. Dazu wurde, wie beschrieben eine Vielzahl an richtungsweisenden Projekten recherchiert und analysiert, von diesen Projekten wiederum wurden 100 Projekte in dieser Studie kurz vorgestellt und ausgewertet.

Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens werden aus diesen 100 Projekten, die Projekte mit dem größten Potenzial hinsichtlich ihres Planung-, Fertigung-, oder Gesamtprozess ausgewählt. Diese Projekte werden mit jeweils an der Planung und Umsetzung beteiligten Experten hinsichtlich Prozesse, Methoden und Verfahren besprochen und vertieft analysiert um zu prüfen ob, und welche Bausteine oder Elemente dieser Prozesse auf einen Idealprozess übertragen werden können. Zudem wird ermittelt, welche Vorteile sich durch den Planungsprozess ergeben und welche Hürden bzw. Probleme sich aufgetan haben .

Die gefassten Erkenntnisse sollen im Anschluss mit den Projektpartnern in Form von Prototypen und kleineren Projekten überprüft und realisiert werden. Ziel ist sowohl die wissenschaftliche, theoretische als auch praktische Erarbeitung (von Elementen) einer für das Bauwesen beispielhaften durchgängigen, digitalen Prozesskette.

# 7
# Literatur

[Baue14]
Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.)(2014): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung - Technologien - Migration. Springer Fachmedien Wiesbaden.

[BBSR13]
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) (2013): Bericht zur Lage und Perspektive der Bauwirtschaft 2013.
Online verfügbar unter: http://www.bbr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2013/DL_13_2013.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (letzter Zugriff: 30.09.2014).

[BDSD13]
Bund der Steuerzahler Deutschland e.V. (Hrsg.)(2013): 41. Schwarzbuch des Bundes der Steuerzahler – Die öffentliche Verschwendung - 2013. Berlin.

[Beor12]
Beorkrem, Christopher(2012): Material strategies in digital fabrication. Routledge Chapman & Hall.

[BMVBS13]
Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)(Hrsg.)(2013): Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe. Berechnungen für das Jahr 2012. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (15).
Online verfügbar unter http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/DL_ON152013.pdf. (letzter Zugriff: 30.09.2014).

[BMWi]
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)(Hrsg.)(2012): Zentrale Vorhaben Energiewende für die 18. Legislaturperiode (10-Punkte-Energie-Agenda des BMWi)
Online verfügbar unter:
http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/0-9/10-punkte-energie-agenda.pdf (letzter Zugriff: 30.10.2014).

[Both13]
Both, Petra von; Koch, Volker; Kindsvater, Andreas (2013): BIM - Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Analyse der Potentiale und Hemmnisse bei der Umsetzung der integrierten Planungsmethodik Building Information Modeling - BIM - in der deutschen Baubranche und Ableitung eines Handlungsplanes zur Verbesserung der Wettbewerbssituation. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag.

[DEST14a]
DESTATIS, Statistisches Bundesamt (Hrsg.)(2014): Bruttoinlandsprodukt 2013 für Deutschland. Wiesbaden. Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressekonferenzen/2014/BIP2013/Pressebroschuere_BIP2013.pdf?__blob=publicationFile (letzter Zugriff: 30.09.2014).

[DEST14b]
DESTATIS, Statistisches Bundesamt (Hrsg.)(2014): Fachserie 4. Reihe 5.1. Produzierendes Gewerbe - Tätige Personen und Umsatz der Betriebe im Baugewerbe. Wiesbaden
Online verfügbar unter:
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/BaugewerbeStruktur/PersonenUmsatzBaugewerbe.html (letzter Zugriff: 30.10.2014).

[DEST14c]
DESTATIS, Statistisches Bundesamt (Hrsg.)(2014): Fachserie 18. Reihe 1.4. Tabelle 2.14 Stand 2013 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen – Inlandsproduktberechnung, detaillierte Jahresergebnisse. Wiesbaden
Online verfügbar unter:
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/VolkswirtschaftlicheGesamtrechnungen/Inlandsprodukt/InlandsproduktsberechnungEndgueltig.html (Zugriff: letzter Zugriff: 30.10.2014).

[DEST14d]
DESTATIS, Statistisches Bundesamt (Hrsg.)(2014): Fachserie 17. Reihe 4. Preisindizes für die Bauwirtschaft. Wiesbaden
Online verfügbar unter:
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Baupreise/BauwirtschaftPreise.html (letzter Zugriff: 30.10.2014).

[DRSO13]
Drees & Sommer. Häusser, Thomas. Vortrag RealFM day 2013 – Zukunftsimpulse für das Real Estate & Facility Management: think smart!

[Dunn12]
Dunn, Nick (op. 2012): Digital fabrication in architecture. London: Laurence King Publishing Ltd.

[East11]
Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks, Rafael; Liston, Kathleen (2011): BIM handbook. A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2. Aufl. Hoboken, NJ: Wiley.

[Egge13]
Egger, Martin; Hausknecht, Kerstin; Liebich, Thomas; Przybylo, Jakob (2013): BIM-Leitfaden für Deutschland (Endbericht), Forschungsprogramm ZukunftBAU, i.A. des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung (BBR).
Online verfügbar unter:
http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/3Rahmenbedingungen/2013/BIMLeitfaden/Endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (letzter Zugriff: 30.10.2014).

[EURO14]
EUROSTAT, Statistisches Amt der Europäischen Union (2014): Waste generation by economic activity and households, 2010
Online verfügbar unter:
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Waste_generation_by_economic_activity_and_households,_2010_.png (letzter Zugriff: 10.12.2014).

[Haus11]
Hauschild, Moritz; Karzel, Rüdiger (op. 2011): Digitale Prozesse. Planung Gestaltung Fertigung. 1. Aufl. Basel, Munich: Birkhäuser; Edition Detail.

[Hemm10]
Hemmerling, Marco; Tiggemann, Anke (2010): Digitales Entwerfen. Computer-Aided-Design in Architektur und Innenarchitektur. Paderborn: Fink (UTB, 8415).

[Hehe11]
Hehenberger, Peter (2011): Computerunterstützte Fertigung. Eine kompakte Einführung. 1. Aufl. Berlin[u.a]: Springer Berlin.

[Hove10]
Hovestadt, Ludger (op. 2010): Jenseits des Rasters. Architektur und Informationstechnologie: Anwendungen einer digitalen Architektonik = Beyond the grid : architecture and information technology : applications of a digital architectonic. Basel: Birkhäuser.

[Iwam13]
Iwamoto, Lisa (2013): Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques. 2. Aufl. Princeton Architectural Press.

[Jern08]
Jernigan, Finith E. (2008): BIG BIM little bim – Second Edition. The Practical Approach to Building Information Modeling. 2. Aufl. 4Site Press. Salisbury, Maryland.

[Kola05]
Kolarevic, Branko (2005): Architecture in the digital age. Design and manufacturing. New York: Taylor & Francis.

[Kola08]
Kolarevic, Branko; Klinger, Kevin R. (2008): Manufacturing material effects. Rethinking design and making in architecture. New York: Routledge.

[Kore10]
Koren, Yoram (2010): The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems. 1.Aufl. New Jersey: John Wiley & Sons.

[Lieb11]
Liebich, Thomas; Schweer, Carl-Stephan; Wernik, Siegfried (2011): Die Auswirkungen von Building Information Modeling (BIM) auf die Leistungsbilder und Vergütungsstruktur für Architekten und Ingenieure sowie auf die Vertragsgestaltung. Schlussbericht, Stand 3.Mai 2011. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung (BBR).

[Maub14]
Maubach, Klaus-Dieter (2014): Energiewende. Wege zu einer bezahlbaren Energieversorgung. 2. Aufl. 2014. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

[McGH10]
Bernstein, Harvey M. (2010): The Business Value of BIM in Europe. Getting Building Information Modeling to the Bottom Line in the United Kingdom, France and Germany. McGraw_Hill Construction (Smart Market Report). Online verfügbar unter www.construction.com.

[McGH12]
Bernstein, Harvey M. (2012): The Business Value of BIM in North America. Mulit-Year Trend Analysis and User Ratings (2007-2012). McGraw_Hill Construction (Smart Market Report). Online verfügbar unter www.construction.com.

[Nerd10]
Nerdinger, Winfried; Barthel, Rainer; Junge, Richard; Krippner, Roland; Petzold, Frank (2010): Wendepunkte im Bauen. Von der seriellen zur digitalen Architektur; [Publikation zur Ausstellung des Architekturmuseums der TU München in der Pinakothek der Moderne, 18. März bis 13. Juni 2010]. München: Ed. Detail.

[NIBS12]
National Institute of Building Science (2012): United States National Building Information Modelling Standard, Version 2.0.2012.
Online verfügbar unter:
http://www.bim.org.tw/.%5CThesisFile%5C20120629001%5CNational%20BIM%20Standard-United%20States%20Version%202.pdf (letzter Zugriff: 30.10.2014).

[Pete13]
Peters, Brady; Peters, Terri (2013): Inside Smartgeometry. Expanding the architectural possibilities of computational design. (AD smart, 01): John Wiley & Sons.

[PlIn13]
Blog Plattform Industrie 4.0 (05.07.2013)
http://www.plattform-i40.de/blog/was-industrie-40-f%C3%BCr-uns-ist
(Zugriff 17.08.2014)

[RWTHa]
Internet link:
http://www.plm-info.de/de/default.html (letzter Zugriff: 30.10.2014)

[Saka08]
Sakamoto, Tomoko; Ferré, Albert (Hg.) (2008): From control to design. Parametric/algorithmic architecture. Barcelona, New York: Actar-D.

[Schi13]
Schittich, Christian (2013): DETAIL engineering 2: Arup Building Design. München: Ed. Detail.

[STAT14]
Statista: Entwicklung des Bauvolumens in Deutschland in den Jahren 2008 bis 2015
Online verfügbar unter:
http://de.statista.com/statistik/daten/studie/167953/umfrage/bauvolumen-in-deutschland-seit-2008/ (letzter Zugriff: 10.12.2014).

[VBI14]
VBI – Verband beratender Ingenieure: Dobrindt: BIM wird Standard.
Online verfügbar unter:
http://www.vbi.de/aktuelles/newsletter/news/digitalisierung-des-bauens-bim-als-standard-1/ (letzter Zugriff: 10.12.2014).

[VHWZ09]
Vajna, Sándor; Bley, Helmut; Hehenberger, Peter; Weber, Christian; Zeman, Klaus (2009): CAx für Ingenieure. Eine praxisbezogene Einführung. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

**Kontakt**
Competence Team
Urban Systems Engineering

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

© Fraunhofer IAO, Stuttgart 2015

*Titelbild © designtoproduction*

# AP 1.2
# Ergebnisse der Experteninterviews

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT

FuCON ZUKUNFT BAU

# AP 1.2
# Qualitative Expertenbefragung zum Ist-Zustand und Entwicklungen heutiger digitaler Planungs- und Fertigungsprozesse

**Aufgabe:**
Zukunftsbild der Baubranche bei Experten eruieren.
In den Experteninterviews werden die angeregten Rahmenbedingungen für den Wandel der Baubranche diskutiert und in ihrer Relevanz bewertet.
Die Befragung soll ein umfassendes Bild an Ansätzen, Hürden und Chancen generieren.

**Experten zu den Bereichen:**
_Planung und Optimierung
_Fertigungsplanung/ Fertigung und Baustoffe
_Ausführung/ Ausbau / Montage
_Vergabe/ HOAI
_Logistik
_Industrie 4.0
_Lebenszyklus
_Stadt

**Expertenauswahl nach Gruppen: (siehe Exeltabelle Liste möglicher Experten)**
_Industriegetriebener Ansatz
_Forschungsgetrieben
_Planer/ Fachplaner
_Ausführende Gewerke

**Allgemeine Informationen zum Experten abfragen:**
_Art: Forschungseinrichtung/ Unternehmen (Größe)
_Position
_Berufserfahrung/ Sachkenntnis
_Leistungen /Portfolio Unternehmen/ Einrichtung
_An welcher Stelle der Prozesskette ist das Unternehmen/ die Einrichtung relevant?
_Ab welchem Zeitpunkt wird an einem digitalen Datenmodell gearbeitet?
_Welche Planungsdaten im Austausch mit Partnern ?(Word, PDF, Excel, DWG/DXF, IFC)

**Befragungsmethode:**
Zunächst offenen Fragen folgen dann je nach Fachgebiet des Experten detaillierte Fragen zu Planungsmethoden, Optimierung, Fertigung, Werkstoffe, Industrie 4.0, Logistik u.a.

## Inhalt

**1.1 Fragen** ..... 2
**1.2 Ergebnisse:** ..... 6

# 1.1 Fragen

**1_EXPERTEN Planung und Optimierung, BIM -Experten**

1.) Mit welchen Planungsmethoden arbeiten sie? Werden diese auch in Zukunft für sie relevant sein? Warum?

2.) Bei Negation: Welche Planungsmethoden werden Sie in Zukunft anwenden? Warum? Was versprechen Sie sich davon?

3.) Wie werden wir in 5, 10 und 15 Jahren Bauprojekte planen, optimieren und abwickeln?

4.) In den nächsten 10 bis 15 Jahren wird sich BIM bzw. digitale vernetzte Gebäude(informations)modelle als Planungsmethode mehrheitlich durchsetzen! Digitale Planungsdaten werden somit zum Standard.
Wie stehen sie zu dieser Aussage? Was sind die Hemmnisse?

5.) Projekte werden durch BIM effizienter – wie stehen sie zu dieser Aussage?

6.) Neben BIM-Methoden werden sich in Zukunft vor allem geeignete Prozessoptimierungsmethoden, die aus dem Bereich der Industrie und des Automobilbaus adaptiert und übernommen werden, im Bauwesen durchsetzen und dieses positiv beeinflussen. Wie stehen sie zu dieser Aussage?
(Z. Bsp. Lean Management/Toyota Produktions-Management (Just-in-Time) oder Baukybernetik).

7.) a) Wird sich ihrer Meinung nach bedingt durch digitale, vernetzte Gebäudedatenmodelle die Art der Gebäudekonzeption verändern?
b) Hat die genannte Planungsmethode Auswirkung auf den Umgang mit Bestandsbauten? / auf Sanierungskonzepte?
c) Welche Auswirkungen können genannte Planungsmethoden auf unsere Städte haben? (z.B. im Hinblick auf Nachhaltigkeit?)

8.) Digitale vernetzte Gebäudemodelle ermöglichen die Realisierung komplexer Geometrien (Blob-Architektur) Welche Vorzüge bieten diese Planungsmethode in Zukunft? Oder Welche Vorzüge könnten sich ihrer Meinung nach für Großprojekte ergeben?
(Bieten sie ihrer Meinung nach auch die Chance Großprojekte kosteneffizient, nachhaltig und im Zeitplan zu realisieren? Wie?)

9.) Virtual Reality VR) und Augmented Reality (AR) werden im Planungs- und Bauprozess, zum Beispiel zur Simulation oder zum Soll-Ist Abgleich oder als Montagehilfe, eine übergeordnete Rolle spielen. Wie stehen sie zu dieser Aussage?

10.)
a)Wie sollte ihrer Meinung nach der SOLL-Bauprozess aussehen?
b)Was können Sie dazu beitragen?
c)Welche Potentiale und Herausforderungen sind damit verbunden?

11.) Schnittstelle Planung – Fertigung. Wie stehen sie zu folgender Aussage:
Planer können zwar die für die digitale Fertigung benötigten Daten liefern, enthalten diese jedoch den ausführenden Firmen vor, da Unklarheiten bei der Vergütung der Leistungen herrschen, bzw. die Planer für ihre Leistung nicht entsprechend vergütet werden.

12.) Wie stehen sie zu folgender Aussage:
Es fehlen geeignete Schnittstellen zwischen Planung und Fertigung.

## 2_EXPERTEN Fertigungsplanung, Fertigung, Materialien/ Baustoffe

1.) Mit welchen Planungs- und / oder Fertigungsmethoden arbeiten sie? Werden diese auch in Zukunft für sie relevant sein?
2.) Bei Negation: Welche Fertigungsmethoden werden Sie in Zukunft anwenden? Warum? Was versprechen Sie sich davon?
3.) Wie werden wir ihrer Meinung nach in 5, 10 und 15 Jahren Bauteile fertigen und Bauprojekte realisieren?

4.) In Zukunft werden Gebäude zunehmend mit Hilfe von digitalen / vernetzten Gebäudeinformationsmodellen geplant und auch mittels digitalen Fertigungsmethoden realisiert werden. Wie stehen sie zu dieser Aussage?
Wird diese Entwicklung Auswirkungen auf verwendete Baustoffe haben?

5.) Inwieweit betrachten Sie es als notwendig, sich Kompetenzen anzueignen, um sich in Zukunft in die digitale Fertigungsplanung und Fertigung einzubinden?

6.) Dank neuer Fertigungsmethoden wie beispielsweise Rapid Prototyping-Verfahren, ist es möglich die Produktionskosten von Werkstücken und Bauteilen im Bereich der Prototypen-/Null-/Kleinserienherstellung, soweit zu verbessern, dass sie bezüglich Zykluszeit und Herstellungskosten mit großserieller Produktion vergleichbar sind (Wirtschaftlichkeit). Wie stehen sie zu dieser Aussage?

7.) Wie stehen sie zu folgender These:
Obwohl das Bauwesen immer wieder mit der Automobilbranche verglichen wird, ist dieser Vergleich aufgrund des Unikatcharakters von Bauwerken nicht haltbar. Lediglich ein Vergleich mit der Produktion von Prototypen oder Nullserien in der Industrie ist sinnvoll. Durch Industrie 4.0 wird die Unikat-/Prototypenfertigung einen ähnlichen Wandel durchführen wie die Serienfertigung durch die Automatisierung im letzten Jahrhundert.

8.) Vorfertigung vs. Baustellenfertigung/ Industrie 4.0): Das Bauen wird durch industrialisierte Vorfertigung stattfinden. Die Bauteile werden nach einem strengen Zeitplan (Just-in-Time) auf die Baustelle geliefert und nach dem Baukastenprinzip zügig zusammengebaut! Baustellen benötigen in Zukunft weniger Stell- und Lagerfläche,

ebenso wird sich die Bauzeit von Projekten drastisch reduzieren. Wie stehen sie zu dieser These?

9.) Gegenthese: Die Produktion verlagert sich dank Industrie 4.0-Methoden komplett auf die Baustelle. Es werden lediglich Grundstoffe und Halbzeuge angeliefert werden (Just-in-Time). Die benötigten Bauteile werden vor Ort in mobilen Fabrikeinheiten, Robotern oder großformatigen 3D-Druckern erstellt werden. Wie stehen sie zu dieser Aussage?

13.) Virtual Reality VR) und Augmented Reality (AR) werden im Planungs- und Bauprozess, zur Simulation, zum Soll-Ist Abgleich oder als Montagehilfe, eine übergeordnete Rolle spielen. Wie stehen sie zu dieser Aussage?

14.) Die Robotik wird im Bauwesen zukünftig noch stärker vertreten sein. Sei es zur Vermessung von Baufeldern/Baugrund oder Bestand (bzw. zum Soll-Ist-Abgleich), bei der Fertigung/Logistik im Werk oder auf der Baustelle, oder im späteren Betrieb der Gebäude.

10.) Erleben sie in ihrer Berufspraxis Probleme an der Schnittstelle Planung – Fertigung.
Bei Bejahung: Welche? Was sind ihrer Meinung nach die Ursachen dafür und wie können diese behoben werden?

11.) Wie stehen sie zu folgender These:
Planer können zwar die für die digitale Fertigung benötigten Daten liefern, enthalten diese jedoch den ausführenden Firmen vor, da Unklarheiten bei der Vergütung der Leistungen herrschen, bzw. die Planer für ihre Leistung nicht entsprechend vergütet werden.

12.) Wie stehen sie zu folgender These: Produkthersteller werden ihre Produktpalette vom kataloggebundenen zum kundenspezifischen Produkt ändern und ihre Fertigungsparameter offenlegen / zur Verfügung stellen um frühzeitig am Planungs- und Bauprozess zu partizipieren und damit ausschreibungsrelevant werden.

**Stadt:**

**1.)** Wird sich ihrer Meinung nach die Planungsmethode BIM durchsetzen? Wenn ja, wann? Warum? Warum nicht /was sind die Hemmnisse?
Welche Chancen/ Möglichkeiten ergeben sich durch Gebäudeinformationsmodelle für die Stadt? (Datenmodelle können auch für den Gebäudebetrieb genutzt werden)

**2.)** Wie stehen sie zu folgender Aussage?
Durch die ständige Digitalisierung der (gebauten) Umwelt werden Gebäude nicht mehr isoliert, sondern als (interagierender) Baustein (einer Stadt/ eines Stadtgefüges) gesehen und geplant!

**BIM, Verträge/Vergütung/Recht:**

1.) These (aus Roundtable abgeleitet):
Die HOAI und VOB in ihrer jetzigen Form sind für das zukünftige Bauen nicht mehr

anwendbar und benötigen eine angepasste Überarbeitung. Wie stehen sei zu dieser Aussage?

2.) Man wird Gebäude zunehmend mit digitalen Gebäudeinformationsmodellen planen, realisieren und betreiben. Dadurch ergibt sich mehr Planungsleistung im Vorfeld.

(Vgl. Studie: Die Auswirkungen von Building Information Modeling (BIM) auf die Leistungsbilder und Vergütungsstruktur für Architekten und Ingenieure sowie auf die Vertragsgestaltung; <- Wiederspricht der These)

3.) In einigen Ländern müssen bei öffentlichen Projekten Dateninformationsmodelle abgegeben werden. Wäre so eine Regelung in Deutschland auch sinnvoll? Warum (nicht)?

**Industrie 4. 0 (Internet der Dinge etc.)**

1.) Wird die vierte industrielle Revolution ihrer Meinung nach auch das Bauwesen revolutionieren? Wenn ja, wie? Warum nicht, Was sind die Hemmnisse/Herausforderungen?

2.) (beispielsweise in Form von Internet der Dinge)? Lebenszyklus Bauteile mit RFID → Recycling oder Wartung organisieren weitere Fragen siehe unten

3.) Anwendung von CPS in Bauteilen?
4.) Werden ihrer Meinung nach verstärkt Industrieroboter für die Vorfertigung eingesetzt?
5.) Wie kann es gelingen Schnittstellen zwischen den am Bauprozess Beteiligten zu beseitigen?
6.) Wie kann industrie 4.0 in der Bauindustrie realisiert werden?

**Logistik**

7.) Wird Industrie 4.0 die Logistik des Bauablaufes beeinflussen? (durch digtiale/ parametrische Planung und digitale Fertigung? Wenn ja wie? / bzw. warum nicht?

8.) In Zukunft wird jedes Bauteil individuell sein und eine einmalige Einbausituation aufweisen. Wie kann diese Komplexität logistisch gelöst werden?
(Digitale Planung und Fertigung erlaubt die kostengünstige Fertigung unterschiedlicher Bauteile durch CAM).

**Robotik:**

9.) These: neue Fertigungsverfahren werden die Architektur verändern? Wie stehen sie zu dieser Aussage?

10.) Werden/ wie werden Industrieroboter die Architektur verändern?
Werden Roboter in Zukunft vermehrt an der Realisierung von Gebäuden beteiligt sein.

11.) Wird dies ihrer Meinung nach Auswirkung auf die Art der verwendeten Materialien haben?

**Recycling, Lebenszyklus, Nachhaltigkeit**

12.) Welche Möglichkeiten ergeben sich durch digitale Planungsmodelle für den Rückbau, die Lebenszyklusbetrachtung

## 1.2 Ergebnisse:

Industriegetriebener Ansatz

SCHÜCO International KG/ Bielefeld (Fassaden, Fenster, Türen, Balkone)

**Gesprächspartner:**

Prof. Dr.-Ing. Winfried Heusler; Senior Vice President SCHÜCO,
Honorarprofessor an der Detmolder Schule für Architektur und Innenarchitektur der Hochschule Ostwestfalen-Lippe. Er vertritt dort das Lehrgebiet „Façade Design and Technology".

Wie werden wir ihrer Meinung nach in 5, 10 und 15 Jahren Bauteile fertigen und Bauprojekte realisieren?

Durch digitale Pläne kann man in Zukunft alles digital fertigen. Halbzeuge wie Bleche, Platten oder Strangpressprofile lassen sich in der Massenfertigung am günstigsten herstellen. Kombiniert mit der CNC- oder robotischen Bearbeitung können wir diese Halbzeuge dann individuell bearbeiten. Komplexe individuelle Bauteile wie Verbindungen könnte man in Zukunft mittels 3D-Druck herstellen. Die dezentrale Fertigung hält Prof. Dr.-Ing. Heusler für ideal. Der Coil oder andere Halbzeuge werden direkt an die Baustelle geliefert. So entfallen teure Transportkosten für Formteile (z.B. Verschiffung in den mittleren Osten). Auf der Baustelle können dann direkt die Daten nach dem SOLL-IST Abgleich an die Fertigungsmaschine gesendet werden.

Forschungsgetriebener Ansatz

LEHRSTUHL TECHNOLOGIE- UND INNOVATIONSMANAGEMENT, RWTH AACHEN

**Gesprächspartner:**

Prof. Dr. Frank Piller

Frage: Jedes Gebäude ist ein Unikat. Digitale Planungsmethoden führen vermehrt zu Gebäuden mit freien Geometrien, woraus mannigfach unterschiedlich zu fertigende Bauteile resultieren. Kann Industrie 4.0 hier die Lösung sein, kosteneffizient zu produzieren (Mass Customization)?

*"Zunächst muss man natürlich festhalten, dass der Stararchitekt überhaupt nicht für Mass Customization steht, weil er klassisch Einzelfertigung betreibt. Allerdings braucht der Stararchitekt heute, um seine komplexen Formen umsetzen zu können, in der Regel standardisierte Komponenten und parametrisierte Software. Dies spielt sich aber nur auf der Komponentenebene ab. Aber auf der Produktebene ist der Stararchitekt im Grunde ein "Handwerker".*

*" …Der klassische Produktdesigner hasst Mass Customization, weil er ein integriertes Produkt entwickelt hat, bei dem alles aufeinander abgestimmt ist. Deswegen ist es sehr wichtig, nicht das Produkt oder das Haus durch Mass Customization zu entwickeln, sondern den Lösungsraum. Dieser Lösungsraum legt fest, was man individuell verändern kann und was man nicht miteinander kombinieren darf. Ich glaube, das in diesem Modelldenken eine große Chance liegt und das heißt auch, dass man nicht Mass Customization mit alles ist möglich in Verbindung bringen darf, es ist vielmehr ein Prozess. Ich sehe die gestalterische Leistung in der Zukunft liegt darin, nicht mehr in dem Prinzip integriertes Produkt oder modularisierte Bausteine zu denken, sondern sehr stark in den Regelsystemen, die diese Bausteine verbinden und auch sehr klar sagen, was nicht möglich ist. Dazu sollte die Mentalität des Gestalters offener und holistischer werden, weil er nicht mehr in integrierten Produkten denken darf, bei dem er jedes Detail festlegt. Vielmehr sollte der Gestalter seine Kreativität für den Lösungsraum verwenden.*
*Auf der anderen Seite wird aber auch ein Gestalter gebraucht, der seinen Kunden führt und berät, wie es auch ein guter Schneider macht. Der Planer muss also in Zukunft viel mehr zuhören und aufnehmen, um gezielt interpretieren zu können. Das ist auch das Problem bei all den Konfiguratoren, die alle extrem schlecht in der Beratung des Kunden sind…."*

*"Die Zukunft von Mass Customization liegt im Passformdesign, also z.B. im be to be Bereich, wo Maschinen auf die individuelle Situation hin angepasst wird…"*
*(E-Mail-Antwort 11.03.2015)*

Forschungsgetriebener Ansatz / Fachplanung

LEHRSTUHL Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE), Universität Stuttgart
**Gesprächspartner:**
Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers (Institutsleiter), Knippers Helbig Advanced Engineering (Partner)

1.) A) Wie werden wir ihrer Meinung nach Bauprojekte in 5, 10 und 15 Jahren planen und realisieren?

Integrierende Datenmodelle und Gebäudeinformationsmodelle werden der Standard sein.

B) Und warum?

Planung effizienter und sicherer machen. Erfüllung immer komplexerer Anforderungen, Integration von immer mehr Spezialisten, bzw. Anforderungen an die Planung.

C) Welche Potentiale und Herausforderungen sind damit verbunden?

Schnelle und sichere Planung immer komplexerer Gebäude. Vermeidung von Fehler, die zu Terminverschiebungen und Mehrkosten führen.

D) Was sind die eventuellen Hemmnisse für ihre Prognose?

Die Hemmnisse sehe ich weniger auf der technischen Ebene. Die Software Voraussetzungen sind schon jetzt gegeben und auch für mittelgroße Büros implementierbar. Die Hemmnisse liegen eher in der Planungskultur: wie sind die Verantwortlichkeiten geregelt? Wie ist die vertragliche Situation geregelt. Wie werden die Leistungen honoriert?

E) Was können Sie/ ihr Unternehmen dazu beitragen?

Wir haben die Software verfügbar und die Mitarbeiter entsprechend geschult. Wir bieten die Erstellung oder die Mitwirkung an Gebäudeinformationsmodellen als Planungsleistung an.

2.) F) In den nächsten 10 bis 15 Jahren wird sich BIM bzw. werden sich digitale Gebäudeinformationsmodelle als Planungsmethode mehrheitlich durchsetzen. Digitale Planungsdaten werden somit zum Standard.
Wie stehen sie zu dieser Aussage? Was sind die Hemmnisse?

Digitale Gebäudeinformationsmodelle sind ja in vielen Ländern schon üblich und werden sich mittelfristig in Deutschland sicher auch durchsetzen. Die Vorteile (siehe oben) liegen auf der Hand. Die Hemmnisse sind oben bereits angesprochen.

3.) Arbeitet ihr Büro mit Gebäudeinformationsmodellen? Wenn nein, werden sie in Zukunft damit arbeiten? Wenn nicht, warum nicht?

Wir haben in unserem Büro für Tragwerksplanung die Voraussetzung für Gebäudeinformationsmodelle schon seit längerem geschaffen, aber in Deutschland bisher noch nicht eingesetzt. Die Gründe dafür sind, dass bei unseren Planungspartnern auf Architektenseite die entsprechende Expertise nicht vorhanden ist und dass unsere Bauherren nicht bereit sind entsprechende Leistungen zu honorieren bzw. sich auf eine entsprechende Verschiebung der Leistungsphasen einzulassen. Das allgemeine Verständnis für die Sinnhaftigkeit und

Notwendigkeit von BIM scheint in Deutschland noch nicht weit verbreitet zu sein. Hier fehlen Vorgaben und Anreize von Seiten der öffentlichen Hand.

4.) Schnittstelle Planung – Optimierung (Tragwerk): Werden in ihrem Unternehmen eigene Gebäudedateninformationsmodelle modelliert, wenn sie beauftragt werden oder enthalten die Dateien, die sie erhalten bereits die Informationen, die sie in gewünschtem Dateiformat benötigen?

Wir müssen derzeit eigentlich immer unsere eigenen Modelle aufbauen. Wir sind noch relativ weit davon entfernt, dass die Schnittstelle zwischen Geometriemodellierung des Architekten und Simulationen der Ingenieure automatisiert ist. Das wird noch eine ganze Weile brauchen. Der erste Schritt ist, die Integrierung der Simulationsergebnisse zum Beispiel in Form von Bewehrungsgehalten oder Durchmesser von Lüftungsrohren in einem gemeinsamen Informationsmodell.

5.) A) Verändert sich ihrer Meinung nach die Art der Zusammenarbeit mit den am Bauprozess Beteiligten? Durch regelbasiertes Entwerfen und evolutionäre Algorithmen lassen sich auch im Hinblick auf Materialverbrauch/ Tragfähigkeit etc. optimale Lösungen eruieren. Die Planung ist ein zunehmend iterativer Prozess, bei welchem Architekt und Statiker enger zusammen als früher. Denken sie dieser Trend wird in Zukunft die Regel sein?

‚Regelbasiertes Entwerfen und evolutionäre Algorithmen' werden derzeit noch fast ausschließlich als Instrumente zur Formgenerierung eingesetzt. Dass auch physikalische Parameter aus der Statik, der Energiebilanz oder ähnlichem in einen regelbasierten Entwurfsprozess einfließen, ist derzeit noch nicht in der Praxis angekommen. Das, denke ich, wäre der nächste Schritt. Ich glaube aber, dass der Trend in diese Richtung geht.

B) Wie verändert sich ihrer Meinung nach in Zukunft die Zusammenarbeit mit anderen am Bauprozess beteiligten Partnern und warum? Wird beispielsweise ihrer Meinung nach Expertenwissen immer früher in den Bauprozess integriert werden? Welche Potentiale ergeben sich daraus?

Durch die Arbeit an gemeinsamen Datenmodellen wird sich auch die Planungskultur ändern. Der Austausch wird intensiver und statt einem linearen und hierarchischen Planungsprozess (erst die Form durch den Architekten und dann die technische Bearbeitung durch die Ingenieure) wird es eher zu einem iterativen hin und her kommen, bei dem die Performance-Parameter schon früher in den Planungsprozess integriert werden.

Fragen als Experte _ Institutsleiter ITKE, SFB Bionik

6.) A) Wird sich ihrer Meinung nach bedingt durch digitale, vernetzte Gebäudedatenmodelle die Art der Gebäudekonzeption verändern oder generell

gefragt, werden unsere Gebäude in Zukunft anders konzipiert und auch gefertigt sein?

Derzeit konzentrieren sich die Bemühungen darauf, einerseits integrierende Datenmodelle für die Planung zu entwickeln und andererseits die Ausführungsplanung auf Gewerke bezogen (Stahl-, Holz- und Fertigteilbau) mit der Maschinensteuerung zu verknüpfen. Durchgängige Datenmodelle die von der frühen Planung bis zu den Fertigungsdaten und der Maschinensteuerung reichen, sind derzeit noch Gegenstand der Forschung und Entwicklung. Erst diese Verknüpfung wird dazu führen, dass sich die Planung verändert und schon in der frühen Gebäudekonzeption die Bedingungen der Fertigung berücksichtigt werden.

F) Welche Möglichkeiten ergeben sich durch digitale Planungsmodelle für den Rückbau, die Lebenszyklusbetrachtung

Ein digitales Planungsmodell ermöglicht einen anderen Umgang mit dem Gebäude während und nach der Nutzung. Das ist ja die Hauptmotivation zur Einführung solcher Systeme. Insofern kann von Beginn an die Werkstoffreine Entsorgung geplant werden.

7.) Wie wird man in Zukunft mit Bestandsbauten umgehen? Zukünftige Sanierungs-konzepte?

Aus Sicht der Tragwerksplanung ist das Hauptproblem beim Bauen im Bestand, dass die nach Entfernen der Bekleidungen, Beläge und Aufbauten vor Ort gefundene tragende Bausubstanz hinsichtlich Lage, Abmessung und Baustoffeigenschaften anders ist, als nach den Bestandsunterlagen oder der Bestandsrekonstruktionen (durch UV, Infrarot …) vermutet. Dann muss man die Planung schnell anpassen können. Hier können Gebäudeinformationsmodelle helfen. Deren Potential für das Bauen im Bestand ist derzeit noch nicht ausreichend erforscht.

9.) Vorfertigung vs. Baustellenfertigung/ Industrie 4.0): Das Bauen wird in Zukunft durch industrialisierte Vorfertigung stattfinden. Bauteile werden nach einem strengen Zeitplan (Just-in-Time) auf die Baustelle geliefert und nach dem Baukastenprinzip zügig zusammengebaut! Baustellen benötigen in Zukunft weniger Stell- und Lagerfläche, ebenso wird sich die Bauzeit von Projekten drastisch reduzieren. Wie stehen sie zu dieser These?

Das ist keine These sondern genauso wie beschrieben zumindest in einigen Gewerken (z.B. Stahlbau oder Fertigteilbau) schon seit über 10 Jahren Realität. Die Aufgabe besteht darin, gewerkeweise Lösungen zu einem übergreifenden Gesamtmanagement der Bauausführung zu integrieren.

10.) Gegenthese: Die Produktion verlagert sich dank Industrie 4.0-Methoden komplett auf die Baustelle. Es werden lediglich Grundstoffe und Halbzeuge angeliefert werden (Just-in-Time). Die benötigten Bauteile werden vor Ort in mobilen Fabrikeinheiten, von Industrierobotern oder großformatigen 3D-Druckern erstellt werden. Wie stehen sie zu dieser Aussage?

Das ist der logische Schritt der auf der Integration nach 9) aufbaut.

11.) Neue Fertigungsverfahren werden die Architektur verändern? Wie stehen sie zu dieser Aussage?

Neue Fertigungsverfahren haben schon immer zu allen Zeiten der Baugeschichte die Architektur verändert. Neu ist, dass wir nicht mehr seriell die immer gleichen Bauteile fertigen müssen, sondern Geometrie und Eigenschaften der Bauteile kleinräumig und schnell (siehe oben: Bau im Bestand oben) anpassen können und somit auf die lokalen Anforderungen aus Statik, Energie, Licht …. kleinräumig reagieren können. .

B) Welche Materialien werden hierfür verwendet?

Was derzeit in der Architektur noch aussteht ist die Einführung von faserverstärkten Kunststoffen, wie sie in anderen Bereichen schon stattgefunden hat (Flugzeugbau) oder gerade massiv forciert wird (Automobilbau)

12.) Werden/ wie werden Industrieroboter die Architektur verändern bzw. werden Roboter in Zukunft vermehrt an der Realisierung von Gebäuden beteiligt sein?

Industrieroboter sind in anderen Feldern der Technik ja schon seit vielen Jahren ein alltägliches Werkzeug. Es ist völlig logisch, dass das beim Bauen genauso sein wird. Als generische Werkzeuge erlauben sie eine flexibere Anpassung der Fertigung. Sie werden sich neben anderen computergesteuerten Werkzeugen für spezifische Prozesse (Abbund im Holzbau oder Glaszuschnitt) etablieren

A) Welche Potentiale und Herausforderungen sind damit verbunden?
B) Was sind die eventuellen Hemmnisse für ihre Prognose?

Die Hemmnisse bei der Anwendung von Industrierobotern liegen weniger in den Investitionskosten, als eher im hohen Aufwand für die Programmierung und Steuerung bzw. den hohen Anforderungen an die Qualifikationen der Mitarbeiter

Planer / Forschungsgetriebener Ansatz

Architekturbüro LAVA - Laboratory for Visionary Architecture

**Gesprächspartner:**

Prof. Tobias Wallisser (Partner LAVA), Professor für Entwerfen Architektur/Innovative Bau- und Raumkonzepte (Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart

1)a) Wie werden wir ihrer Meinung nach Bauprojekte in 5, 10 und 15 Jahren planen und realisieren? Und warum?

In Zukunft werden keine Planunterlagen mehr erforderlich sein. Der Bauprozess wird von der Planung bis zu Realisierung digital. Wir planen mit dem Hintergrund aus unserem parametrischen Mastermodell Fertigungsinformationen abzuleiten ("design to production"). Die Vorfertigung, auch robotisch, wird elementar sein.
Herkömmliche und neue Materialien und Fertigungsmethoden werden sich durchmischen.
Unterschiedliche Teilleistungen werden mehr und früher integriert werden

b) Welche Potentiale und Herausforderungen sind damit verbunden?

Die Anforderungen an die Logistik werden sich ändern. Vorfertigung und Fertigung vor Ort (z.B. auch robotisch) werden kombiniert eingesetzt.

c) Was sind die eventuellen Hemmnisse für ihre Prognose?

Zum einen sind es die wettbewerbstechnischen Voraussetzungen: Jeder Bieter soll seine eigene Methode vorschlagen können. Zum anderen müssen die Verschiebungen in der Herstellung von Daten, wie auch die Verantwortung in der Honorarordnung für Planer berücksichtigt werden, Neue Haftungsgesetze sind notwendig. Der Aspekt der rechtlichen Absicherung spielte schon bei der Fassade des Mercedes Benz Museum eine Rolle, da wir diese mit einem 3d-Model vergeben haben. Wenn das nicht besser geregelt wird, haben wir immer ein Problem der Verantwortung für die Daten.

d) Was können Sie/ ihr Unternehmen dazu beitragen?

Wir können die komplexen Zusammenhänge, den Prozess und das Ergebnis entwickeln und visualisieren. Wir arbeiten mit Firmen in prototypischen Projekten zusammen und forschen anwendungsspezifisch. Weiterhin bringen wir für die jeweiligen Projekte die richtigen Beteiligten zusammen – nach Möglichkeit bereits in sehr früher Leistungsphase.

2) Wie werden wir in Zukunft Bauteile/ Gebäude fertigen? Welche Materialsysteme werden vorherrschen?

Es werden zusätzlich neue, bisher nicht verwendete Materialien und innovative Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen eingesetzt werden. Hierbei spielt auch die Rezyklierbarkeit sowie

die Life Cycle Analyse eine wichtige Rolle. Materialqualitäten und –Eigenschaften werden adaptiv sein und es erfolgt eine intelligente Steuerung der Performanz.

Industriegetriebener Ansatz

Sto SE & Co. KGaA, Baustoffe

**Gesprächspartner:**

Silvio Czikora-Pozar, Projektplaner Bautechnik / Bauphysik-MFUP, iD-Lösungen Individiual Digital Engineering -

Unser Ansatz für die Optimierung der Planungsprozesse ist ebenfalls, dass wir als Baustofflieferant und Systemanbieter den Architekten frühzeitig eine Planungssicherheit über unserer Produkte bzw. Systeme geben wollen. Oft werden in der Praxis (meist im ersten Kontakt) Dinge zugesagt, welche dann erst in der späteren Bearbeitung sich als schwierig realisierbar oder finanziell nicht darstellbar erweisen. Hier sehen wir ein großes Potential um schon in früher Phase des Projekts bessere Grundlagen und Sicherheit für den Planer zu schaffen.

Wir versuchen Standard-BIM Modelle für die jeweiligen Systemaufbauten mit den entsprechenden Informationen zur Verfügung zu stellen.
Problem ist derzeit, dass es noch nicht genau definiert ist, wann, welche Informationen ins Modell geladen werden sollen, müssen?! Geplant haben wir zwei Informationstiefen einzuführen (Generic, Specific). Zum zweiten sehen wir die Chance, Tools in Form von PlugIns, Add ons zu entwickeln, diese wir als Systemanbieter dem Architekten zur Verfügung stellen. Hierbei soll er bei der Planung unterstützt werden und wir wollen versuchen die Prozesskette so weit als möglich beizubehalten, sodass man die Daten vom Planer auch aus Sicht der Fertigung weiterverwenden kann.
Das ist der generelle Standpunkt, der hier im Hause Sto definiert wurde.

Industriegetriebener Ansatz

Güdel AG, Maschinen- und Anlagenbau, Industrieroboter

**Gesprächspartner:**

Markus Ruprecht, CEO Güdel AG

2.) Wie werden wir ihrer Meinung nach in 5, 10 und 15 Jahren Bauteile fertigen und Bauprojekte realisieren?

Bauprojekte werden mittels vorgefertigten Standardelemente, welche aber beliebig kombinierbar sind, in sehr kurzen Bauzeiten realisiert.

3.) In Zukunft werden Gebäude zunehmend mit Hilfe von digitalen / vernetzten Gebäudeinformationsmodellen geplant und auch mittels digitalen Fertigungsmethoden realisiert werden.
a) Wie stehen sie zu dieser Aussage?

Aussage ist korrekt, denn die Daten sind bereits heute (zumindest teilweise) verfügbar und können somit auch für die Elemente-herstellung verwendet werden.

b) Wird diese Entwicklung Auswirkungen auf verwendete Baustoffe haben?

Ja, denn das klassische Mauerwerk entspricht nicht dieser Bauart.

4.) Dank neuer Fertigungsmethoden wie beispielsweise Rapid Prototyping-Verfahren, ist es möglich die Produktionskosten von Werkstücken und Bauteilen im Bereich der Prototypen-/Null-/Kleinserienherstellung, soweit zu verbessern, dass sie bezüglich Zykluszeit und Herstellungskosten mit großserieller Produktion vergleichbar sind (Wirtschaftlichkeit). Wie stehen sie zu dieser Aussage?

Die Aussage stimmt nur zum Teil. Komplett neuartige Einzelteile werden immer aufwendiger in der Herstellung sein als ein bekanntes Serienteil bzw. vorher schon gefertigtes Teil. Wenn das neu Teil aber nur ein Variante eines bestehenden Standard Produktes ist, dann werden diese Herstellkosten unmerklich höher sein.

5.) Wie stehen sie zu folgender These:
Obwohl das Bauwesen immer wieder mit der Automobilbranche verglichen wird, ist dieser Vergleich aufgrund des Unikatcharakters von Bauwerken nicht haltbar. Lediglich ein Vergleich mit der Produktion von Prototypen oder Nullserien in der Industrie ist sinnvoll. Durch Industrie 4.0 wird die Unikat-/Prototypenfertigung einen ähnlichen Wandel durchführen wie die Serienfertigung durch die Automatisierung im letzten Jahrhundert.

Wenn wir die Automobilbranche heute betrachten, bestehen die heutigen Fahrzeuge zu einem sehr hohen Anteil aus identischen Bauteilen oder Baugruppen und dies markenübergreifend. Somit stellt sich im Bauwesen doch nur die Frage, auf welcher Komplexitätsstufe sich eine Verwendung von standardisierten Bauteilen oder Baugruppen durchsetzen kann, um die Individualität noch zu gewährleisten oder, zumindest wie in der Automobilbranche, den Eindruck der Individualität zu wahren.

6.) Vorfertigung vs. Baustellenfertigung/ Industrie 4.0): Das Bauen wird durch industrialisierte Vorfertigung stattfinden. Die Bauteile werden nach einem strengen Zeitplan (Just-in-Time) auf die Baustelle geliefert und nach dem Baukastenprinzip zügig zusammengebaut! Baustellen benötigen in Zukunft weniger Stell- und Lagerfläche, ebenso wird sich die Bauzeit von Projekten drastisch reduzieren. Wie stehen sie zu dieser These?

Korrekte Aussage!

8.) These: neue Fertigungsverfahren werden die Architektur verändern? Wie stehen sie zu dieser Aussage?

Stimme ich voll zu, denn ich bin überzeugt, dass der modulare Hausbau nur sehr langsam wächst, weil sich der Architekt nicht mehr in der selben Form „verwirklichen" kann und somit diese Art von Bauen auch nicht unterstützt.

9.) Werden/ wie werden Industrieroboter die Architektur verändern?

Roboter werden in Zukunft vermehrt an der Realisierung von Gebäuden beteiligt sein und die Art der Architektur verändern. Wie stehen sie zu dieser These?

Siehe Antwort unter 8.)

Wird dies ihrer Meinung nach Auswirkung auf die Art der verwendeten Materialien haben?

Ja, denn die Materialien müssen automatisch verarbeitet werden können.

10.) Erleben sie in ihrer Berufspraxis Probleme an der Schnittstelle Planung – Fertigung. Bei Bejahung: Welche? Was sind ihrer Meinung nach die Ursachen dafür und wie können diese behoben werden? Bei Negation: Warum nicht.

Ja, diese erleben wir auch in der Maschinenindustrie. Ein Hauptgrund ist die Differenz zwischen den „idealen" Bauteilen in der Planung und die vorhandenen Toleranzen der Bauteile in der Wirklichkeit.

11.) Wie stehen sie zu folgender These: Produkthersteller werden ihre Produktpalette vom kataloggebundenen zum kundenspezifischen Produkt ändern und ihre Fertigungsparameter offenlegen / zur Verfügung stellen um frühzeitig am Planungs- und Bauprozess zu partizipieren und damit ausschreibungsrelevant werden

Wozu braucht der Planer die Fertigungsparameter? Er will doch nur ein Katalog- oder sein kundenspezifisches Bauelement einsetzen können und dies direkt aus dem Internet in seine Pläne integrieren.

12.) Neue Entwicklungen im Bereich der (Hochleistungs-)Baustoffe (Ultrahochfester Beton, Carbon, etc.) und die Verwendung nachwachsender Rohstoffe etc. werden einen großen Einfluss auf Architektur sowie Planung und Fertigung haben. Neue Fertigungsverfahren, Anwendungsfälle und Architekturen entstehen dadurch. Wie stehen sie zu dieser Aussage? Welche Baustoffe bestimmen ihrer Meinung nach das Bauen der Zukunft? Warum? Was sind ihrer Meinung nach die Treiber dieser Entwicklung?

Dazu kann ich ihnen leider keine Antwort geben, weil ich hier keinerlei Fachkenntnisse besitze.

zur Logistik
13.) Industrie 4.0 wird die Logistik des Bauablaufes beeinflussen? Wie stehen sie zu dieser These?

In der Logistik der Anlieferung der Bauelemente ja, nicht aber im Bauablauf – oder doch?

14.) In Zukunft wird jedes Bauteil individuell sein und eine einmalige Einbausituation aufweisen. Wie kann diese Komplexität logistisch gelöst werden?

Der Bauablauf ist vorgegeben und kann somit bereits bei der Bereitstellung der Bauelemente in den Herstellerwerken berücksichtigt werden (funktioniert ja auch in der Automobilbranche).

1)Werden Roboter in Zukunft vermehrt an der Realisierung von Gebäuden beteiligt sein? Was ist hierzu ihre Meinung? a)Wenn ja, warum

Ja, werden sie. Weil die Baukosten gesenkt werden müssen und zwar bei der Herstellung der Gebäude (-elemente), sowie auch auf der Baustelle.

b) wenn nein, was sind die Hemmnisse?

2) Sie schreiben mehrmals von elementen, verstehen sie darunter Elemente in Standardgeometrien?

Es braucht nicht unbedingt Standardgeometrien, aber zumindest Standardkomponenten, aus welchen diese Elemente hergestellt werden.

Ein Argument das Architekten/ Planer immer vorbringen ist, dass es bei der Fertigung unerheblich ist, ob man 1000 gleiche oder 1000 unterschiedliche Teile fertigt (CAM). Wie sehen sie das?

Grundsätzlich korrekt, aber auch nur dann, wenn die vorgängige Bedingung erfüllt ist!

**Weiterhin wurden weitere Experten zu folgenden Themen kontaktiert. Aus Kapazitätsgründen konnten wir kein Experteninterview bzw keine Antworten erhalten:**

- Building Lifecycle Management
- Städte/ Stadtarchiv: Bestandsdokumentation künftig über BIM?
- Logistik
- Recycling

Fraunhofer
IAO

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ARBEITSWIRTSCHAFT UND ORGANISATION IAO

Steffen Braun, Dr. Alexander Rieck, Dr. Carmen Köhler-Hammer

# ERGEBNISSE DER BIM-STUDIE FÜR PLANER UND AUSFÜHRENDE »DIGITALE PLANUNGS- UND FERTIGUNGSMETHODEN«

GEFÖRDERT DURCH

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

SCHÜCO

# INHALT


| | | |
|---|---|---|
| **1.** | **Anlass und Ziel der Studie** | **3** |
| **2.** | **Kernaussage der Studie** | **5** |
| **3.** | **Rücklauf und Teilnehmerkreis** | **7** |
| **4.** | **Ergebnisse der Befragung im Detail** | **10** |
| 4.1. | Einstiegszeitpunkt in Projekte | 10 |
| 4.2. | IST-Stand verwendeter Planungsmethoden | 10 |
| | Planung mit der BIM-Methode | 13 |
| | BIM und Planer mit Projektgrößen > 10 Mio. € | 13 |
| | Planungsmethode BIM - Häufigkeit der Anwendung | 15 |
| 4.3. | Zusammenarbeit mit Planungspartnern und Austausch von Planungsdaten | 16 |
| | Abgleich verschiedener Planungsstände und Austauschformate | 17 |
| | Das Austauschformat IFC | 18 |
| 4.4. | Fertigung von Bauteilen und Ausführung | 19 |
| 4.5. | Erfahrungen mit der Planungsmethode BIM und Meinungen | 22 |
| 4.6. | Virtuelle und erweiterte Realität sowie 3D-Laserscanning | 24 |
| **5.** | **Fazit** | **25** |
| **6.** | **Ausblick** | **28** |
| | **Kontakt** | **30** |
| | **Literaturverzeichnis** | **31** |
| | **Abbildungsverzeichnis** | **32** |

# 1. ANLASS UND ZIEL DER STUDIE

**Forschungsprojekt FUCON 4.0 - Parametrische Planung und digitale Fertigung**

Die Online-Umfrage zu digitalen Planungs- und Fertigungsmethoden für Planer und Ausführende fand im Rahmen des Forschungsprojektes Future Construction 4.0 (FUCON 4.0) statt.

Ziel des Innovationsnetzwerks FUCON 4.0 ist die konsequente Umsetzung neuer Planungsansätze und Fertigungstechnologien zur ganzheitlichen Optimierung einer ressourcen- und kosteneffizienten Wertschöpfungskette Bau.

Das Forschungsprojekt *Future Construction - Neue Bauprozesse durch parametrische Planungs- und digitale Fertigungsmethoden* wird im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau vom Bundesinstitut für Bau-, Raum- und Stadtforschung (BBSR) gefördert.

**Forschungspartner:**
- Fraunhofer-Institut Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)
- Institut für Arbeitswissenschaften und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart
- Designtoproduction (DTP)

**Industriepartner:**
- SCHÜCO International KG
- Bollinger und Grohmann GmbH
- Priedemann Facade-Lab GmbH
- LAVA Europe

Während herkömmliche Planungsstrategien nur eine begrenzte Anzahl von Optimierungszielen verwalten können, zeigt die Integration parametrischer Planungs- und digitaler Produktionsmethoden Lösungen für die Durchführung von Bauprojekten auf, die es ermöglichen, trotz stetig steigender Planungskomplexität material- , energie-, kosten- und zeiteffizient zu bauen.

Der Einsatz von parametrisch assoziativen Planungsmodellen bietet eine hohe Flexibilität, Transparenz und ein hohes Maß an Planungssicherheit. Dieses Vorgehen setzt hingegen eine neue Art des Denkens bei allen Beteiligten voraus.

Der klassische Entwurfsprozess muss früh in ein geschlossenes geometrisches System von Anforderungen, Beziehungen und Abhängigkeiten überführt werden, das auch bei Pla-

nungsveränderungen stets automatisiert aktualisiert werden kann. So erhält man ein flexibles Planungsinstrument für die gesamte Prozesskette, das selbst komplexen Anforderungen in Hinblick auf Änderungen und Optimierung gerecht werden kann.
Grundlagen für ein solches Vorgehen sind strukturierte 3D-Modelle von Gebäudeentwürfen, welche jederzeit durch Anpassung von Parametern, geometrischen Regeln oder die Veränderung von Abhängigkeiten aktualisiert werden können. Aus einem zentralen Modell können beliebige Ableitungen organisiert werden wie z.B. die Generierung von Schnitten, Ausgangsdaten zur statischen Berechnung, Stücklisten oder Daten zur Steuerung digitaler Produktionsprozesse.

**Ziel der Studie zu Planungs- und Fertigungsmethoden für Planer und Ausführende**

Ziel der Online-Befragung ist es, den IST-Zustand hinsichtlich eingesetzter Planungs- und Fertigungsmethoden zu identifizieren und Probleme in den Bauprozessabläufen zu eruieren. Um Schnittstellenprobleme zwischen unterschiedlichen Gewerken identifizieren zu können waren neben Planern und Fachplanern ausdrücklich auch Ausführende und Subunternehmer, die im Bauprozess integriert sind, zur Teilnahme eingeladen.
Im ersten Teil der Studie wurden Basisinformationen zum Unternehmen abgefragt, um eine differenzierte Auswertung der Daten zu ermöglichen. Fokus der Befragung richtete sich auf die Planungsmethode BIM. Weiterhin sollte eruiert werden, an welchen Stellen der Planung und Bauabwicklung es zu prozessbedingten Problemen kommt und welche Potenziale hier verborgen sind.

# 2. KERNAUSSAGEN DER STUDIE

- Jeder fünfte Befragte kennt die Planungsmethode BIM nicht. Seit längerer Zeit (> 1Jahr) arbeiten 14% nach der BIM-Methode. 18% der Teilnehmer finden diese Methode jedoch gänzlich ungeeignet.
- Unter den Befragten, die nicht mit Gebäudeinformationsmodellen (BIM) arbeiten, geben 39%, an, dass für ihre Projekte bewährte Planungsmethoden ausreichend sind.
- Jeder zweite befragte Planer (Generalplaner, Architekten, Fachplaner) arbeitet immer anhand 2D-Zeichnungen (analog/ digital), 25% der Planer häufig. 22% entwickeln ihre Projekte immer oder häufig anhand bauteilorientierter Gebäudemodelle (BIM), wobei nur 0,5% der Planer auch Zeitpläne und Kosten in die Datenmodelle integrieren (5D).
- BIM für Großprojekte: Die Ergebnisse der einzelnen Teilnehmergruppen isoliert betrachtet, zeigen, dass vor allem bei den Gruppen der Planer (Architekten, Fachplaner, Generalunternehmen), Bauunternehmen und Projektsteurer, die überwiegend Projektgrößen mit über 25.000.000 € bearbeiten, bereits jedes dritte Unternehmen nach der BIM-Methode arbeitet.
- Fast jeder Vierte geht davon aus, dass sich die Planungsmethode BIM bis in zehn Jahren flächendeckend durchgesetzt haben wird. 13% sind der Meinung, dass dies bereits in 5 Jahren der Fall sein wird. 17% der Befragten schätzen hingegen, dass sich diese Planungsmethode gar nicht durchsetzen wird.
- 42% der befragten Tragwerksplaner, 37% der Ausführenden (Ausbau) und 33% der Unternehmen, die schlüsselfertigen Ausbau anbieten, sind der Meinung, dass der Einstiegszeitpunkt in Projekte zu spät erfolgt. 53% der Befragten aus dem Bereich Forschung wünschen sich eine (frühere) Integration in Bauvorhaben.

- Das Abgleichen verschiedener Planungsinhalte und -Stände erfolgt bei 69% der Befragten zu 75-100% anhand 2D-Dateien. 15% gleichen den Planungsstand mit den Projektpartnern immer mit Papierplänen ab. 14% häufig.
- Bei der Frage, in welchen Formaten Planungsdaten mit Projektbeteiligten ausgetauscht werden, geben 87% der an der Studie Mitwirkenden an, häufig oder immer die Formate .dwg oder .dxf zu verwenden.
- 2,6% der Befragten tauschen häufig Planungsdaten mit dem Austauschformat IFC (Industry Foundation Classes) aus. 72,5% verwenden das IFC-Format nie.
- Für keinen der Befragten erfüllt das Austauschformat IFC die inhaltlichen und formalen Anforderungen an den Austausch von Projektdaten zu 100%.
- 47% der Teilnehmer stimmen der Aussage zu 75-100% zu, dass sich durch die Verwendung von digitalen Gebäudemodellen die Kommunikation im Planungs- und Bauprozess

verbessert hat. Fast genauso viele bestätigen, dies in Puncto  Kostenkalkulation und Controlling.

- Jeder zweite vertritt die Meinung, dass der erhöhte Planungsaufwand zum Erstellen von Gebäudeinformationsmodellen in der HOAI (anders) berücksichtigt werden muss.
- 41% stimmen zu, dass die inhaltliche und formale Qualität sowie die Übergabeart des Gebäudeinformationsmodells und Haftungsfragen für eine sichere Vertragsgestaltung festgelegt werden müssen. Genauso viele bekräftigen, dass Urheber- und Nutzungsrechte unzureichend geklärt sind.
- Nur 6% der Befragten sind der Meinung, dass die Abgabe von digitalen Gebäudeinformationsmodellen vom Gesetzgeber vorgeschrieben werden sollte.

- In 29% der Aufträge zur Fertigung von Bauteilen, dienen 2D/3D Planungsdaten immer oder häufig als Grundlage für ein eigenes Modell.
- Bei der Frage, ob es in den Projekten Schnittstellenprobleme zwischen den an der Planung, Ausführung und Fertigung beteiligten Partnern gibt, geben 59% an, dass dies aufgrund unterschiedlicher Software und fehlender Austauschformate der Fall ist.
- Betrachtet man die einzelnen Teilnehmergruppen isoliert, so beklagen fast 86% der an der Studie beteiligten Zulieferer, dass es aufgrund unterschiedlicher Software und fehlender Austauschformate zu Schnittstellenproblemen zwischen den beteiligten Partnern kommt. Bei den befragten Bauhandwerkern sind es sogar 100%. Bei der Gruppe der Investoren, Bauträger und Projekt-, Objektentwickler sind es 79%, bei den Bauunternehmen und der öffentlichen Hand je 65%.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Planung mit Gebäudeinformationsmodellen noch längst nicht im Alltag von Planungsbüros verankert ist. Die meisten Büros sind mit  2D-Dateien und Papierplänen zufrieden und sehen auch keinen Anlass sich mit anderen Planungsmethoden zu befassen. Zum einen sind umfassende Informationen zur Planungsmethode BIM und deren Vorteile relevant, zum anderen wird ersichtlich, dass rechtliche Aspekte unzureichend gelöst sind, die HOAI angepasst werden und das Vorgehen mit der Planungsmethode normiert werden muss. Weiterhin könnte man Partnering-Modelle, die auch in öffentlichen Projekten die frühzeite Zusammenarbeit aller Gewerke ermöglichen, mehr publik machen. Befragte Fachplaner, Wissenschaftler und Ausführende finden es zielführender früher in Bauvorhaben integriert zu werden.

# 3. RÜCKLAUF UND TEILNEHMER KREIS

An der Studie, die im März und April 2015 online stand, haben insgesamt 378 Personen teilgenommen. Angesprochen wurden

- Planer (Architekten, Fachplaner, Generalunternehmer)
- Bauhandwerk
- Bauunternehmen, Generalunternehmer
- Bauherrenvertreter, Projektsteuerer, Projektmanager
- Investor, Bauträger, Projekt-/ Objektentwickler
- Zulieferer von Bauprodukten
- Forschungseinrichtungen, Beratung, sonstige Dienstleistung
- Öffentliche Hand

72% der Befragten sind Planer, darunter fallen Generalplaner, Architekten und Fachplaner. Weiterhin gehören die Bauherrenvertreter, Projektsteurer und Projektmanager mit 7,2% zur zweitgrößten Gruppe der Teilnehmenden (Abb. 1).
Mehrfachnennungen waren möglich. Der Großteil der Teilnehmer geben als Tätigkeitsfeld Architektur mit den Leistungsphasen 1-9 (28,5%), Bauleitung (13%) und Beratung (10,5%) an.

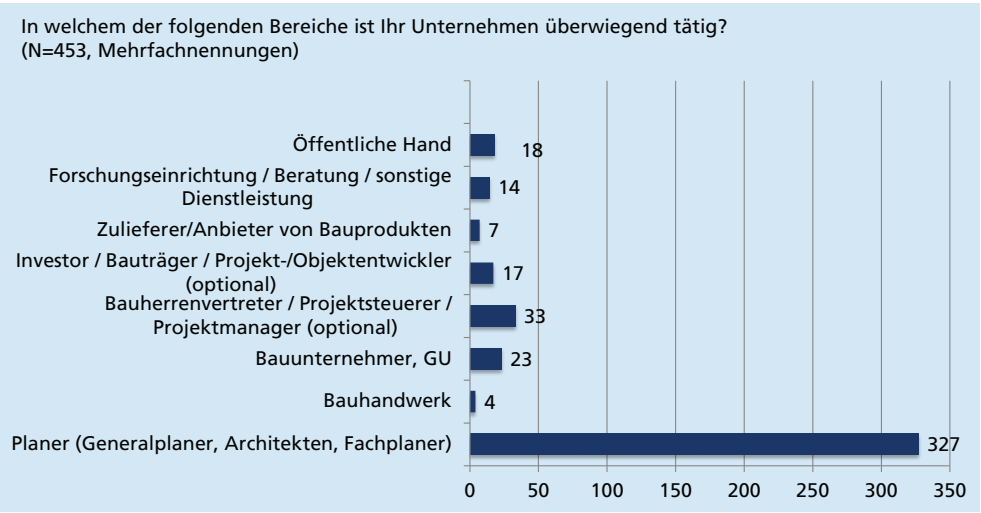



*Abbildung 1: Verteilung der an der Studie beteiligten Branchen und Fachbereiche*

Nahezu die Hälfte des Rücklaufs wird von den Geschäftsinhabern selbst und 29% von Projektmitarbeitern bearbeitet.

60% der Befragten arbeiten in einem Unternehmen mit maximal zehn und 13% in einer Firma mit bis zu 25 Mitarbeitern. 8% der Teilnehmer gehören zu einem Unternehmen mit über 500 Beschäftigten (Abb. 2).

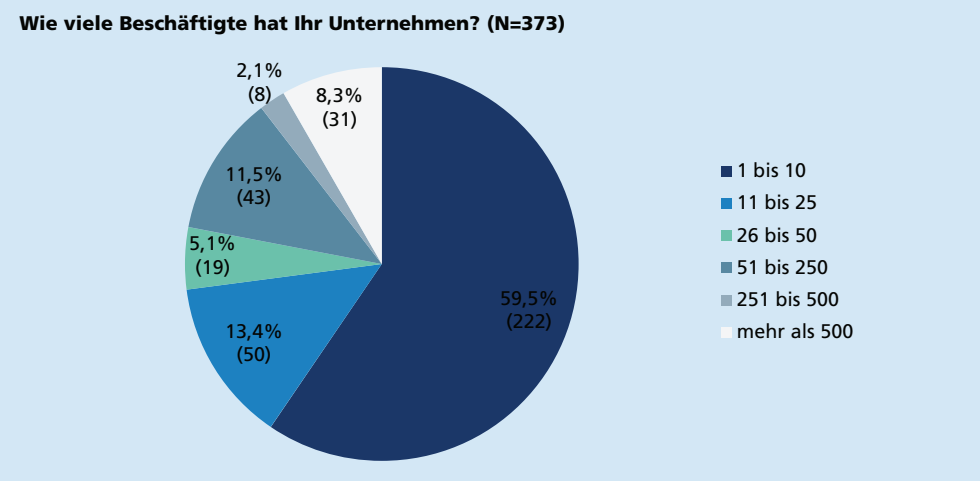



*Abbildung 2: Anzahl der Beschäftigte im Unternehmen*

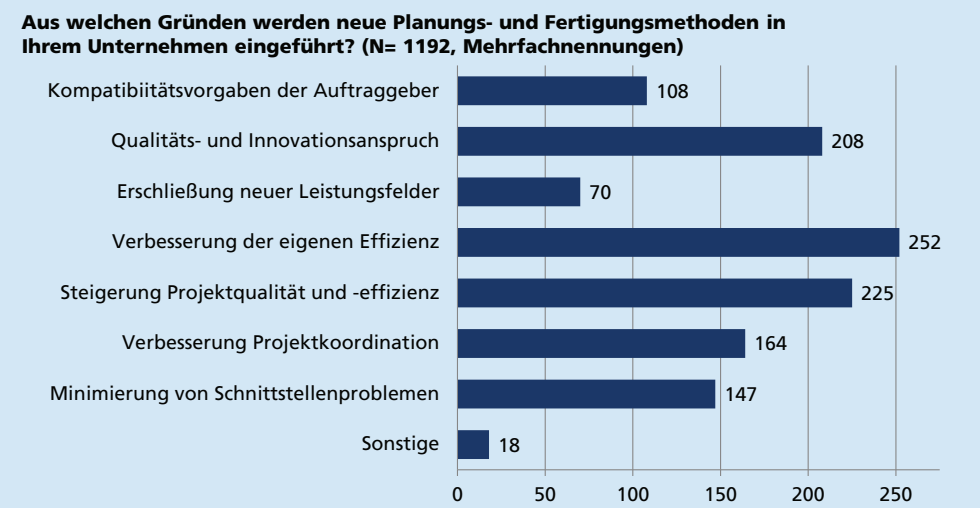



*Abbildung 3: Gründe der Teilnehmer für das Einführen neuer Planungs- und Fertigungsmethoden*

Die Mehrheit der Befragten Unternehmen führen neue Planungs- und Fertigungsmethoden zur Effizienzsteigerung des Unternehmens, zur Steigerung der Projektqualität und aufgrund des Innovationsanspruches der Geschäftsleitung ein (Abb. 3).

### Projektgrößen

Jeder dritte Teilnehmer bearbeitet Projektgrößen bis maximal 2,5 Mio. € Euro.11% bearbeiten vornehmlich größere Projekte mit Autragsvolumina von über 25 Mio € (Abb. 4).

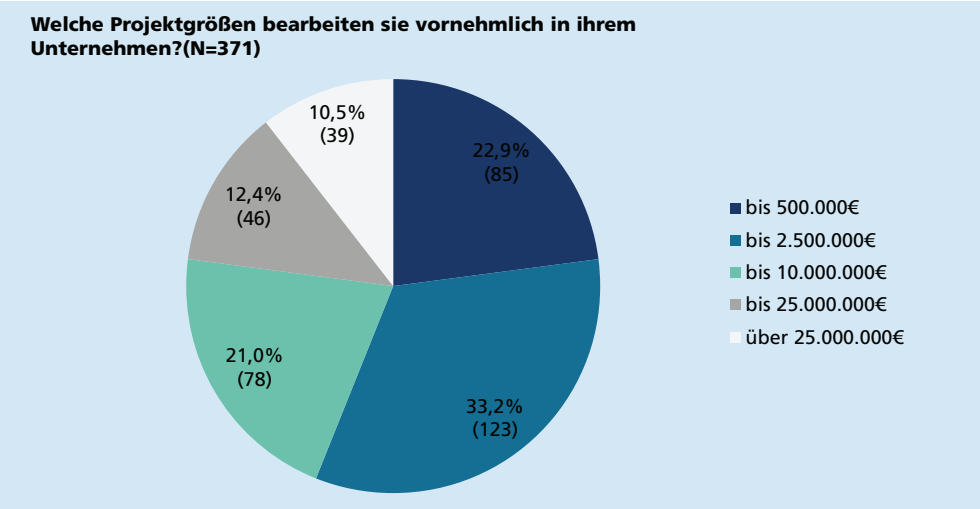



*Abbildung 4: Vornehmlich bearbeitete Projektgrößen*

# 4. DIE ERGEBNISSE IM DETAIL

### 4.1 Einstiegszeitpunkt in Projekte

83% der Befragten geben an, dass sie den Einstiegszeitpunkt ihres Unternehmens in Projekte genau richtig einschätzen, wobei 15,8% die Integration in ein Projekt zu spät empfinden. Betrachtet man die Ergebnisse nach speziellen Leistungen isoliert (Abb. 5), so geben 42% der befragten Tragwerksplaner, 37% der Ausführenden (Ausbau) und 33% der Unternehmen, die schlüsselfertigen Ausbau anbieten an, dass der Einstiegszeitpunkt in Projekte zu spät erfolgt. 53% der Befragten aus dem Bereich Forschung wünschen sich eine (frühere) Integration in Bauvorhaben.

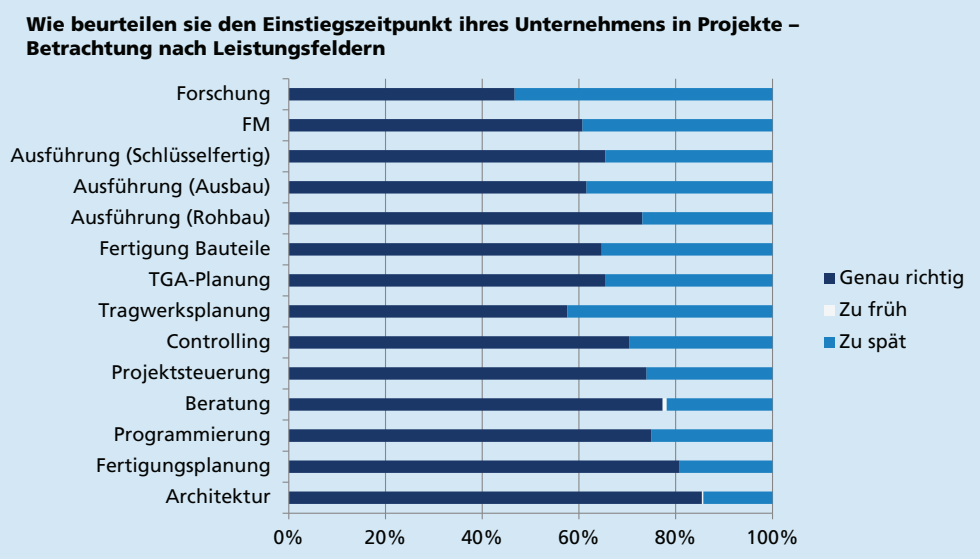



*Abbildung 5: Beurteilung des Einstiegszeitpunktes in Projekte je nach Leistungsfeldern*

### 4.2 Ist-Stand verwendeter Planungsmethoden

76% der Teilnehmer geben bei der Frage nach der angewendeten Planungsmethode an, dass sie häufig oder immer anhand zweidimensionaler Zeichnungen planen. Zur Erstellung der Geometrie wenden 43% der Befragten häufig oder immer 3D-Modelle an (Abb. 6).

Die Planungsmethode BIM wird von 22% der Befragten immer oder häufig eingesetzt. Demgegenüber geben 41% an, bauteilorientierte Gebäudemodelle nie anzuwenden.

Die Integration weiterer Prozessinformationen wie Zeit und Kosten (5D) werden bisher von den Teilnehmern kaum durchgeführt. Sechs von 246 Antworten, das sind 2%, geben an, immer

oder häufig mit 5D-Gebäudeinformationsmodellen zu arbeiten. 5,7% der befragten Teilnehmer nutzen die parametrische Modellierung und Skripting für ihre Planung (Abb. 6).

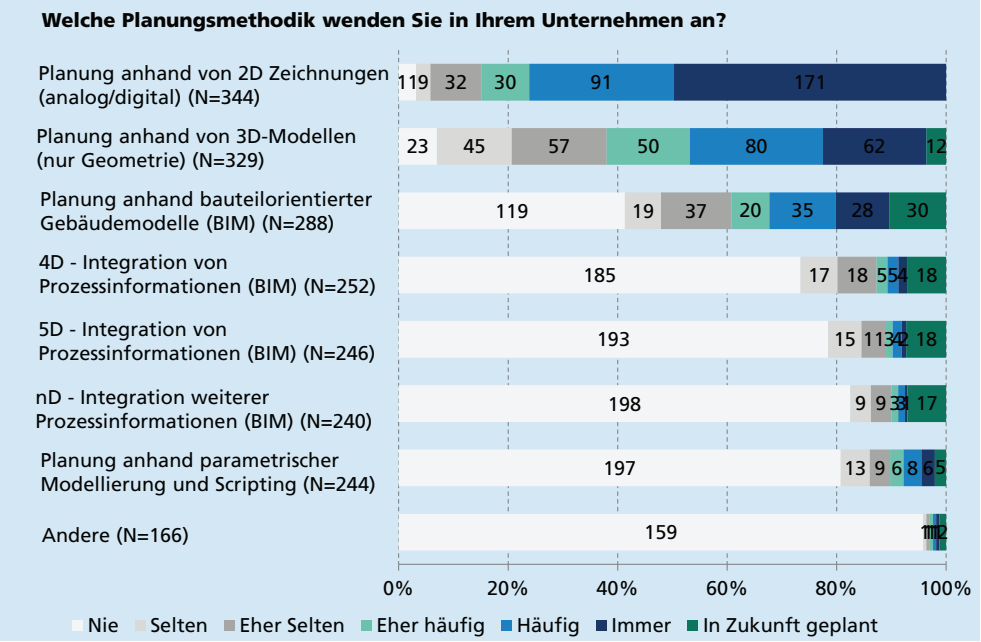



*Abbildung 6: Welche Planungsmethoden werden eingesetzt?*

Betrachtet man lediglich die Antworten aus der Gruppe der Planer (Generalplaner, Architekten, Fachplaner) (Abb. 8), so entwirft jeder Zweite immer anhand 2D-Zeichnungen (analog/ digital). 20% planen immer anhand 3D-Modellen und 9% entwickeln ihre Projekte immer und 13% häufig anhand bauteilorientierter Gebäudeinformationsmodelle (BIM), wobei nur 0,5% der Planer auch Zeitpläne und Kosten in die Datenmodelle integrieren (5D). 11% der Befragten wollen in Zukunft mit der Planungsmethode BIM arbeiten und 6 % wollen in Zukunft nach der Methode 5D-BIM vorgehen.

Nur durch die frühzeitige Integration von Arbeitsabläufen, Zeitplänen und Kosteninformationen in das Gebäudedatenmodell, lassen sich die Kosten bereits in der Planungsphase beeinflussen und optimieren. Dadurch wird Zeit- und Kosteneffizienz möglich.

Berücksichtigt man die Ergebnisse der Bauunternehmen und Generalunternehmer isoliert (Abb.9), so lässt sich erkennen, dass bereits heute 11% immer und 16% häufig nach der BIM-Methode planen. 29% dieser Gruppe wollen in Zukunft auch Zeit-und Kosteninformationen in

*Abbildung 7: Construction Fotolia.com*

digitale Gebäudemodelle integrieren. Gegenwärtig tun dies bereits 6% der an der Studie beteiligten Bau- und Generalunternehmen.

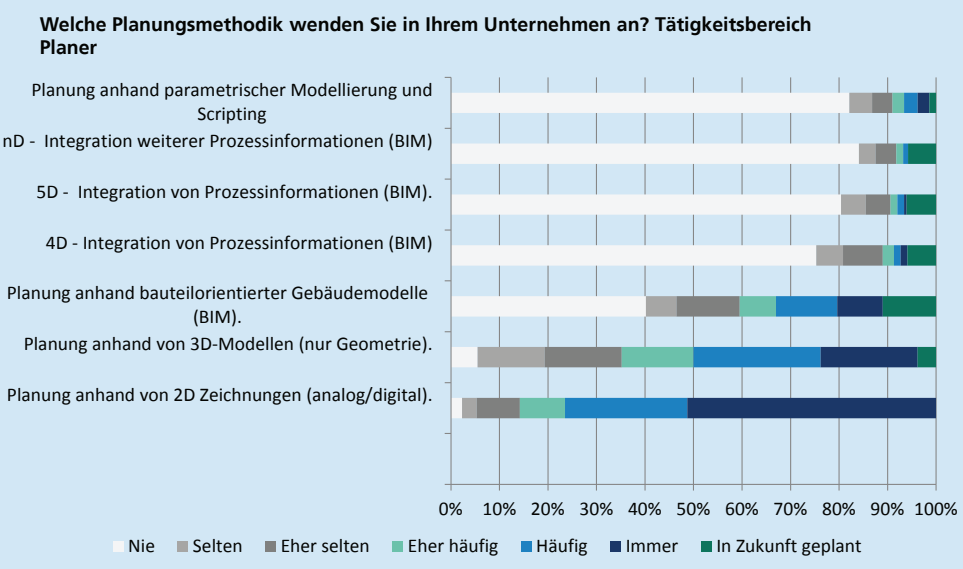



*Abbildung 8: Isolierte Betrachtung der Planer (Architekten, Fachplaner, Generalplaner) zu verwendeten Planungsmethoden*

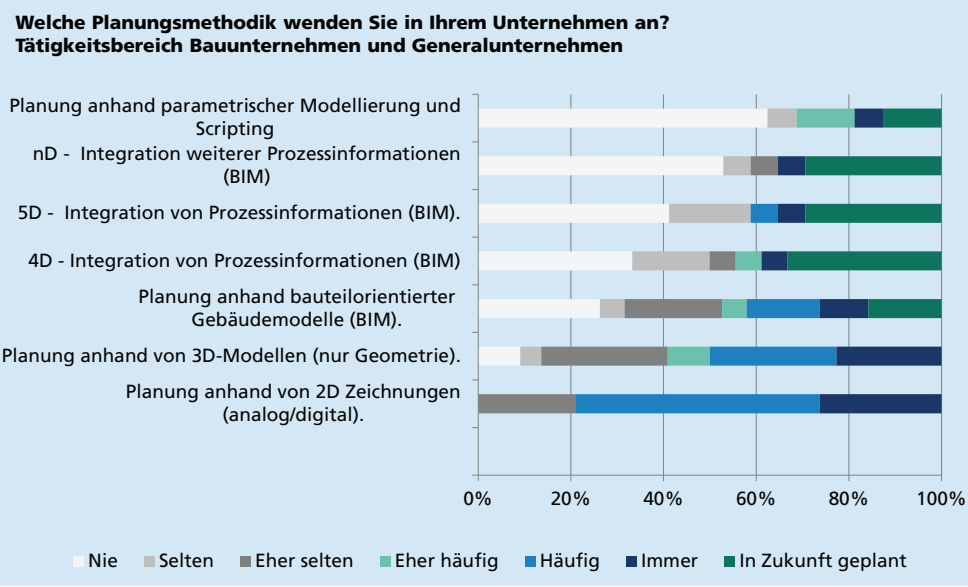



*Abbildung 9: Isolierte Betrachtung der Bau- und Generalunternehmen zu verwendeten Planungsmethoden*

### Planung mit der BIM-Methode

Jeder fünfte Befragte kennt die Planungsmethode BIM nicht (Abb.10). 34 % der Unternehmen wollen sich in Zukunft jedoch mit dieser Planungsmethode auseinandersetzen oder diese anwenden. Seit längerer Zeit (> 1Jahr) arbeiten 14% nach der BIM-Methode. 18% der Teilnehmer hingegen finden diese Methode ungeeignet.

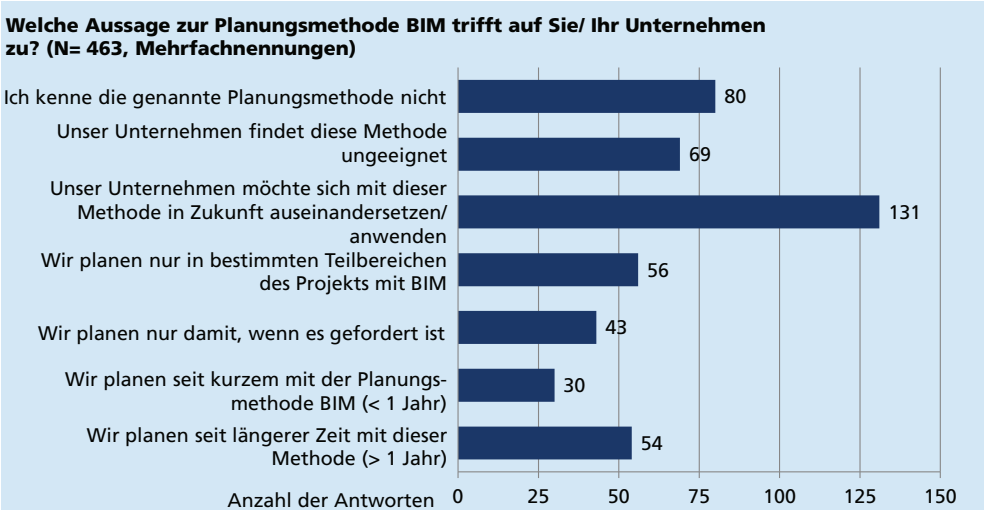



*Abbildung 10: Aussagen zur Planungsmethode BIM*

### Planer mit Projektgrößen über 10.000.000 €

Die Gruppe der Planer (Generalplaner, Architekten, Fachplaner), die vornehmlich Projektgrößen über 25.000.000€ bearbeiten, isoliert betrachtet (Abb. 11), zeigt, dass 29 % bereits seit längerem mit dieser Planungsmethode arbeiten. Rund 10% sind es bei Planungsbüros mit Projektgrößen bis 25.000.000€.
Etwa 50% der Architeken, Fachplaner und Generalunternehmer, die überwiegend Projekte über 10.000.000.€ bearbeiten, wollen sich in Zukunft mit BIM auseinandersetzen.

12% der Planer, die überwiegend Projekte über 25.000.000€ bearbeiten, halten digitale Gebäudedatenmodelle (BIM) für ihre Projekte ungeeignet.

**Aussagen zur Planungsmethode BIM aus der Gruppe der Planer, die Projekte > 10 Mio. € bearbeiten**

| | Planer: Projekte bis 25 Mio. | | Planer: Projekte > 25 Mio. | |
|---|---|---|---|---|
| **Antwort** | Anzahl | Prozent | Anzahl | Prozent |
| Ich kenne die genannte Methode nicht | 65 | 17,6 | 2 | 5,9 |
| Unser Unternehmen findet die Methode ungeeignet | 59 | 16,0 | 4 | 11,8 |
| Unser Unternehmen möchte sich mit dieser Methode in Zukunft auseinandersetzen | 106 | 28,7 | 7 | 20,6 |
| Wir planen nur in bestimmten Teilbereichen mit dieser Methode | 46 | 12,5 | 4 | 11,8 |
| Wir planen nur damit, wenn es gefordert ist | 35 | 9,5 | 4 | 11,8 |
| Wir planen seit kurzem mit BIM | 23 | 6,2 | 3 | 8,8 |
| Wir planen seit längerem mit BIM | 35 | 9,5 | 10 | 29,4 |

*Abbildung 11: Aussagen zur Planungsmethode BIM von der Gruppe der Planer, die vornehmlich Projekte >10 Mio. € bearbeiten*

Unter den Befragten, die nicht mit Gebäudeinformationsmodellen (BIM) arbeiten, geben 39%, an, dass für ihre Projekte bewährte Planungsmethoden ausreichend sind. 31 % der Mitwirkenden sind der Meinung, dass diese Planungsmethode erst ab einer gewissen Büro-/ Projektgröße rentabel ist und finden die Kosten für Software und Schulungen für ihr Büro oder ihren Betrieb zu hoch.

**Warum nutzen sie diese Planungsmethode nicht?**

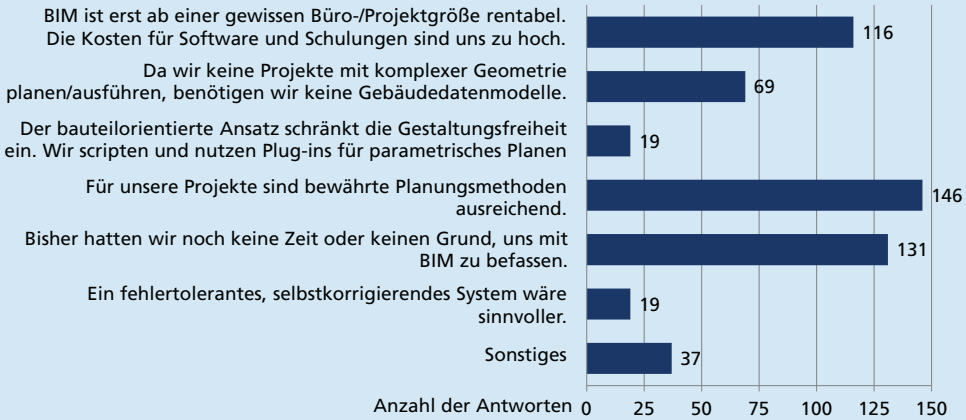



*Abbildung 12: Gründe, warum die Befragten die Planungsmethode BIM nicht nutzen*

**Planungsmethode BIM - Häufigkeit der Anwendung**

8 % der Unternehmen, die die Planungsmethode BIM verwenden, setzen diese Methode bei allen Projekten ein (Abb. 13). Bei 22 von 131 BIM-Nutzern (17%) wird jedes zweite Vorhaben mit Gebäudeinformationsmodellen realisiert. 44 % geben hingegen an, dass sie weniger als 25% ihrer Projekte mit BIM bearbeiten.

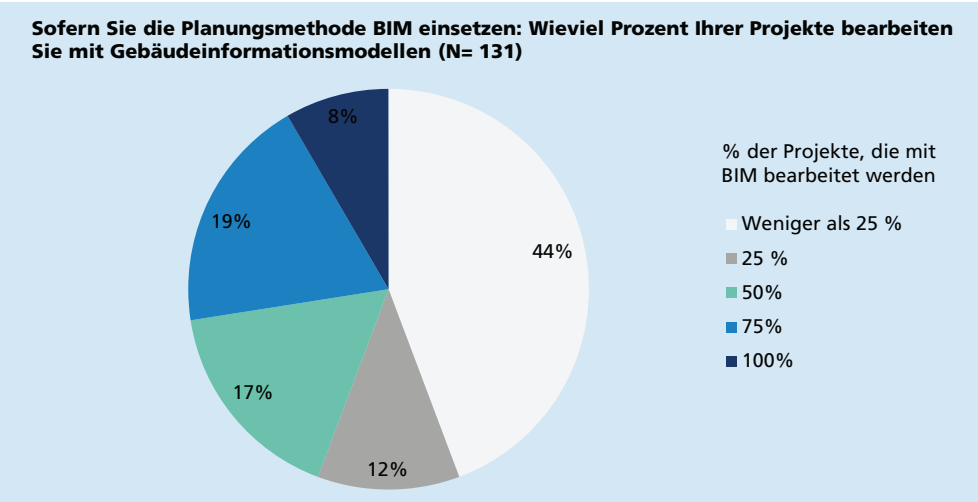



*Abbildung 13: BIM-Methode - Intensität der Nutzung*

**Planungsmethode BIM - Grund und Intensität der Anwendung**

Gebäudedatenmodelle werden von den Nutzern vor allem für den Entwurf, die Modellierung/ Optimierung und zur Simulation eingesetzt.

35% der BIM-Nutzer geben bei der Frage, wie intensiv modellorientierte Werkzeuge eingesetzt werden, an, dass sie Gebäudedatenmodelle zu 75-100% für den Entwurf (Leistungsphase 1-5) einsetzen (Abb.14). Das zusätzliche Potential Gebäudedatenmodelle für die Projektüberwachung/ Controlling, logistische Planung oder das Facility Management zu nutzen, findet bisher kaum Anwendung.

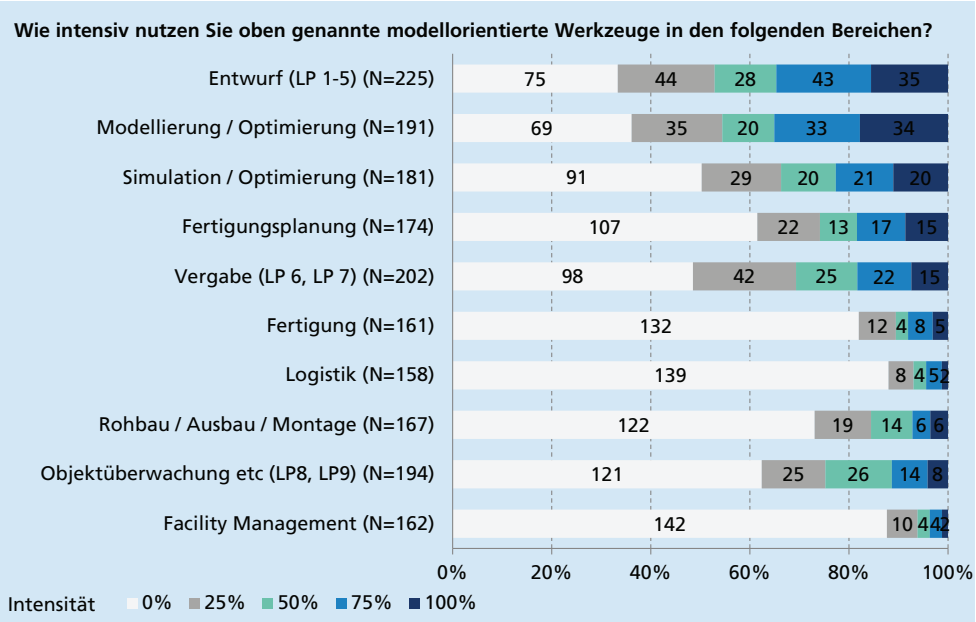



*Abbildung 14: Für welche Tätigkeiten wird die Planungsmethode BIM vornehmlich verwendet?*

### 4.3 Zusammenarbeit mit Planungspartnern und Abgleich/ Austausch von Planungsdaten

Bei der Frage, wie die Unternehmen, die BIM einsetzen mit anderen Unternehmen zusammenarbeiten, zeigt sich, dass 36 % angeben, dass Projektpartner keine objektbasierte Planung nutzen (Abb. 15). Lediglich 8%, geben an, dass sie mit Planungspartnern immer oder häufig an einem gemeinsamen digitalen Planungsmodell über einen Onlineserver arbeiten. Nur 4 % arbeiten immer oder häufig mit mehreren digitalen Planungsmodellen mit Modulen und Hierarchien.

Jeder fünfte BIM-Nutzer gibt an, dass jeder Projektbeteiligte häufig oder immer an seinem eigenen Modell arbeitet, Änderungen jedoch über die Import-/ Exportfunktion schnell übernommen werden können.

21% der Befragten geben weiterhin an, dass jeder Planer häufig oder immer an einem eigenen Modell arbeitet und dass Änderungen manuell übernommen werden müssen.

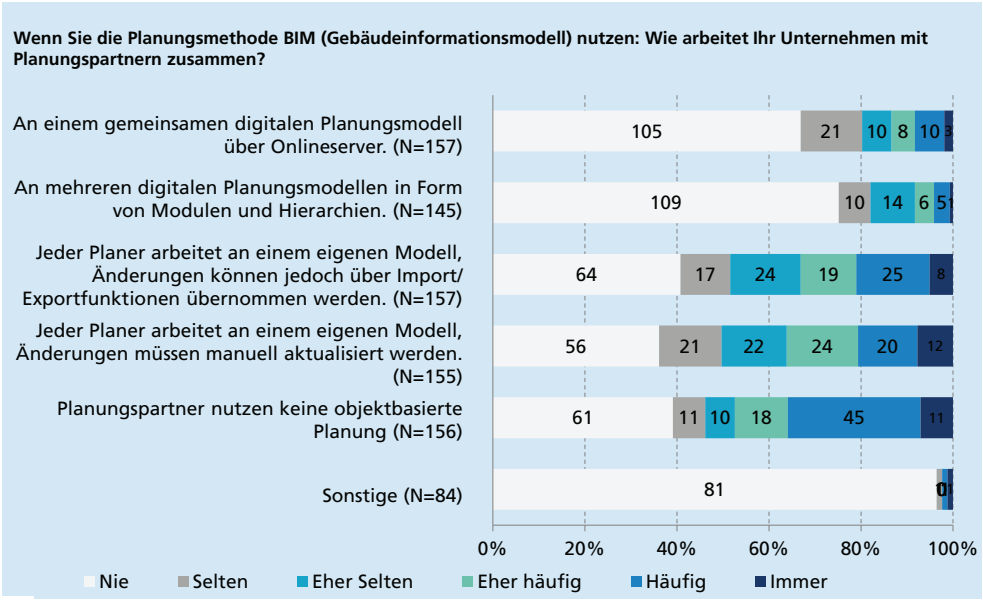



*Abbildung 15: Wie arbeiten die Unternehmen, die nach der BIM-Methode arbeiten mit Planungspartnern zusammen?*

### Abgleich verschiedener Planungsstände und Austauschformate

Das Abgleichen verschiedener Planungsinhalte und -Stände erfolgt bei 69% der Befragten zu 75-100% anhand 2D-Dateien (Abb. 16). 15% gleichen den Planungsstand mit den Projektpartnern immer mit Papierplänen ab. 14% häufig.

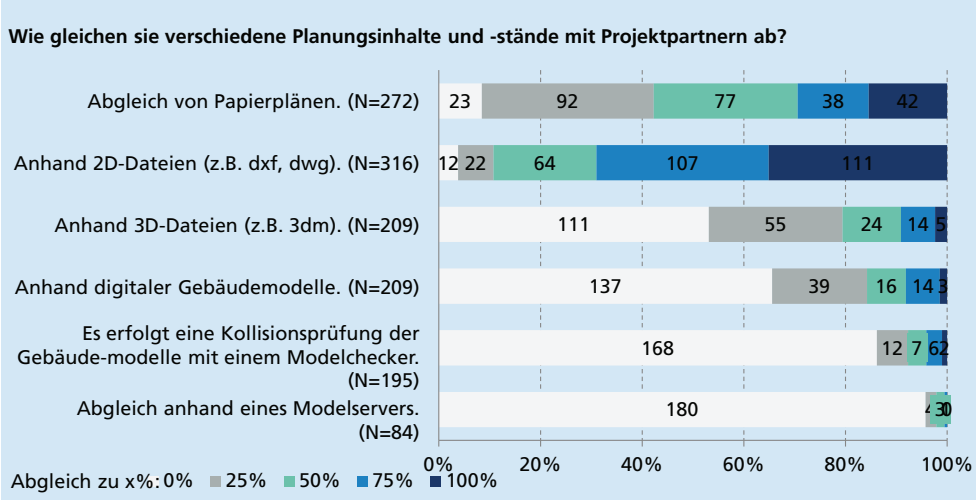



*Abbildung 16: Abgleich von Planungsinhalten und Arbeitsständen*

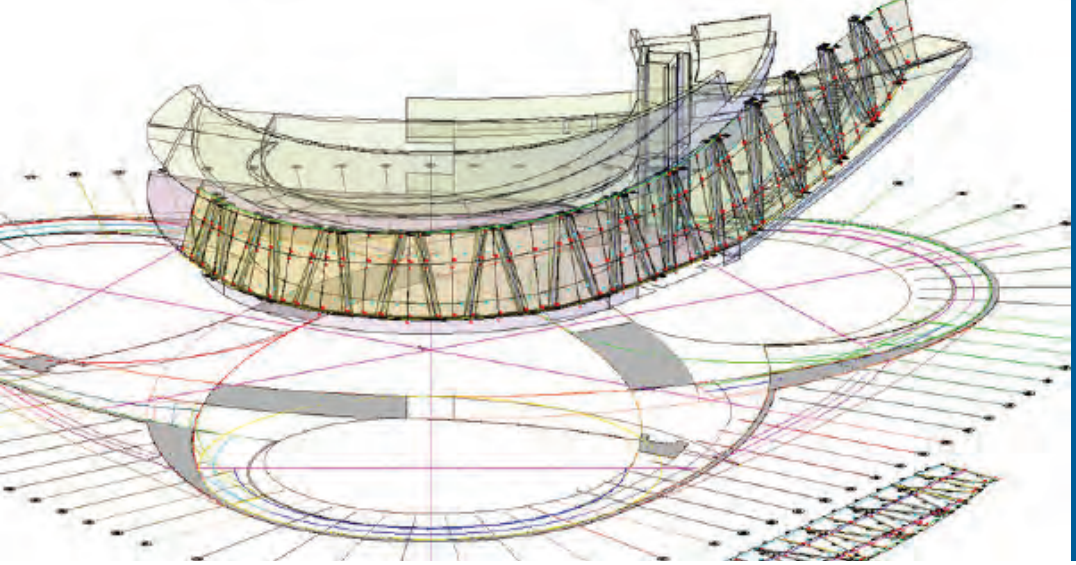


*Abbildung 17: Fassadenabwicklung Mercedes-Benz Museum, Stuttgart © designtoproduction*

**Ausstauschformate**

Bei der Frage, in welchen Formaten Planungsdaten mit Projektbeteiligten ausgetauscht werden, geben 96% der Teilnehmer an, dass sie häufig oder immer das PDF verwenden (Abb. 18). 87% der an der Studie Mitwirkenden verwenden häufig oder immer die Formate .dwg oder .dxf. 3D-Daten wie 3dm werden lediglich von 7% immer bis häufig zum Datenaustausch verwendet.

**Das Austauschformat IFC**

Nur 2,6% der Befragten tauschen häufig Planungsdaten mit dem Austauschformat IFC (Industry Foundation Classes) aus, 21% verwenden es eher selten bis selten. 72,5% verwenden das IFC-Format nie.

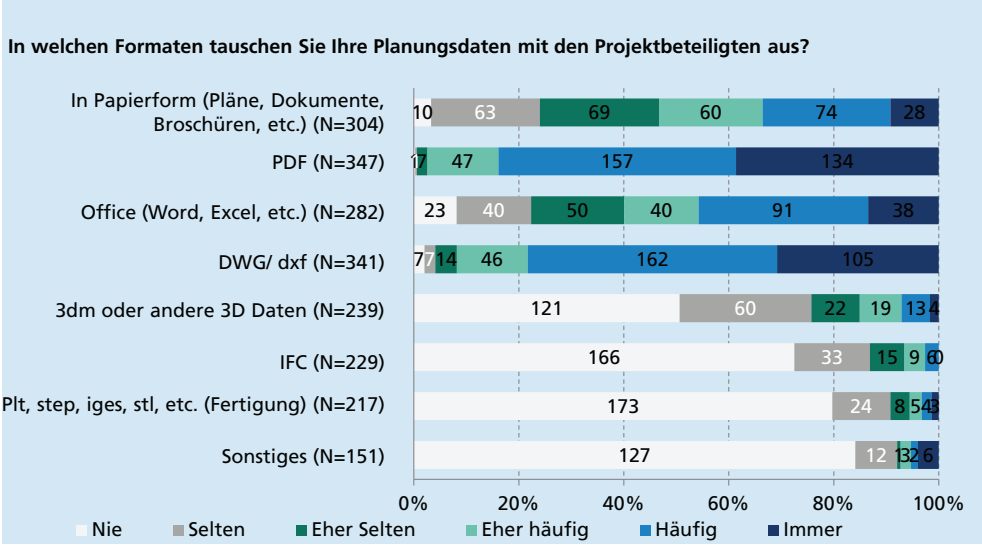



*Abbildung 18: Austauschformate bei der Zusammenarbeit mit Projektpartnern*

Für keinen der Befragten erfüllt das Austauschformat IFC die inhaltlichen und formalen Anforderungen an den Austausch von Projektdaten zu 100% (Abb. 19). Nur 7% geben an, dass das IFC Format ihre Anforderungen zu 75% erfüllen kann. 60% der Unternehmen und Büros geben an, dass das Austauschformat IFC ihre inhaltlichen und formalen Anforderungen gar nicht erfüllt. Diese Frage haben 40% der Teilnehmer beantwortet. Die Aussagen der Teilnehmer beziehen sich in etwa zu gleichen Teilen auf die verwendeten Versionen IFC 1, IFC 2, IFC 3 und IFC 4.

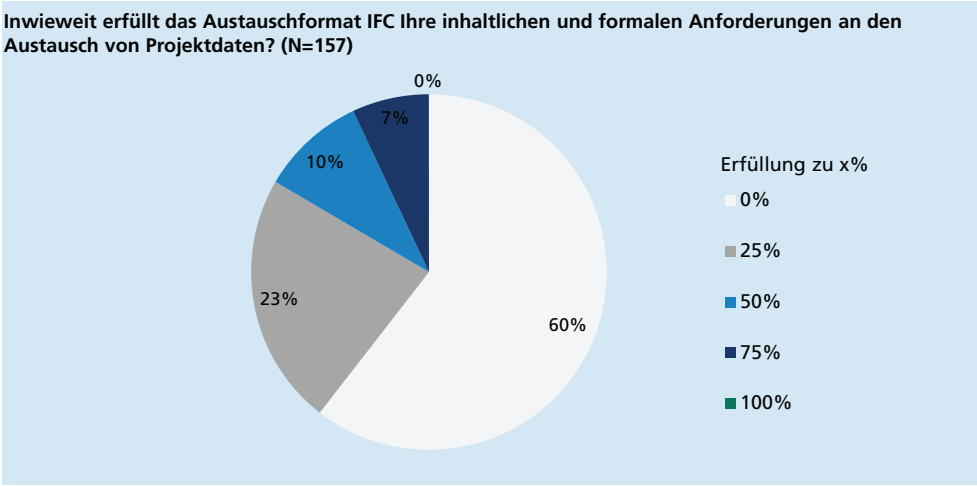



*Abbildung 19: Zufriedenheit mit dem Austauschformat IFC*

### 4.4 Fertigung von Bauteilen und Ausführung

**Schnittstellenprobleme**

Bei der Frage, ob es in den Projekten Schnittstellenprobleme zwischen den an der Planung, Ausführung und Fertigung beteiligten Partnern gibt, geben 59% an, dass dies aufgrund unterschiedlicher Software und fehlender Austauschformate der Fall ist (Abb. 20).

7% bestätigen, dass die Planungssoftware keine Schnittstelle für die Fertigung enthält.
Betrachtet man die einzelnen Teilnehmergruppen wieder isoliert, so beklagen fast 86% der an der Studie beteiligten Zulieferer, dass es aufgrund unterschiedlicher Software und fehlender Austauschformate zu Schnittstellenproblemen zwischen den beteiligten Partnern gibt.

Bei den befragten Bauhandwerkern sind es sogar 100%. Bei der Gruppe der Investoren, Bauträger und Projekt-, Objektentwickler sind es 79%, bei den Bauunternehmen und der öffentlichen Hand je 65%. Die Fallzahlen in diesen Gruppen sind aufgrund der hohen Teilnehmerzahl der Planer von 72% jedoch gering.

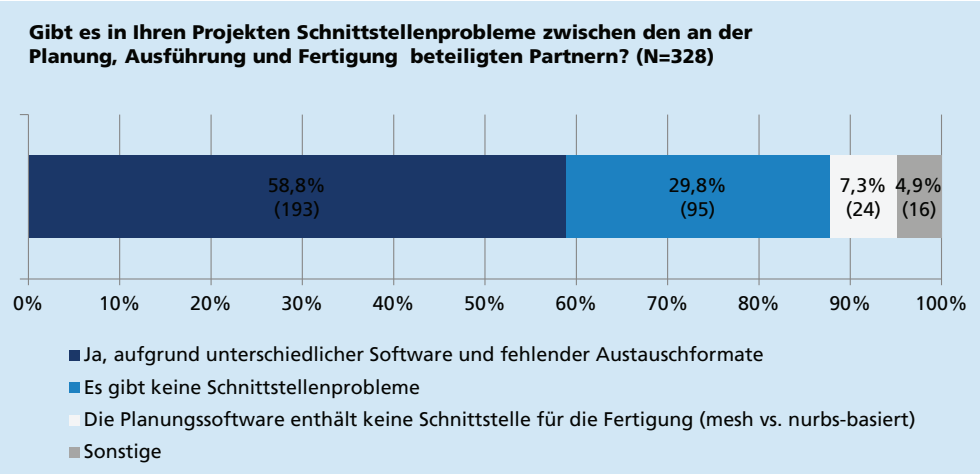



*Abbildung 20: Schnittstellenprobleme zwischen den an der Planung, Ausführung und Fertigung beteiligten Partnern*

**Dateiformate für die Fertigung von Bauteilen**

Die Frage in welcher Form ihr Unternehmen Planungsdaten von Planungspartnern zur Ausführung oder Fertigung von Produkten erhält, wurde von 100 Teilnehmern beantwortet.

In 29% der Aufträge dienen 2D/3D Planungsdaten immer oder häufig als Grundlage für ein eigenes Modell (Abb. 21).

16 % der produzierenden oder ausführenden Unternehmen geben an, dass sie immer oder häufig analoge Pläne, bzw. Pläne im PDF-Format digitalisieren und programmieren müssen.

Bei 3% der Befragten sind die unternehmenseigenen Fertigungsmaschinen zu alt, so dass die Fertigungsdaten daher in das maschineneigene Programm übertragen werden müssen.

Es geben jedoch nur 1% der Befragten an, dass der Programmieraufwand für die Konvertierung der Planungsdaten in Fertigungsdateien groß ist.

Nur 4% der Ausführenden erhalten die Daten für die Produktion von Bauteilen immer oder häufig im Leseformat der Fertigungsmaschine. Das bedeutet, die Dateien müssen nicht mehr bearbeitet und können direkt verwendet werden. Bei 5 % der Unternehmen müssen die Planungsdaten lediglich in ein für die Fertigungsmaschine kompatibles Format konvertiert werden.

11% geben an, dass die ihnen überlieferten 3D-Planungsdaten nach kurzer Prüfung direkt weiter verwendet werden können (direkter Import). Bei 23% der Unternehmen sind analoge Planungsdaten oder Daten im PDF –Format immer oder häufig für die Fertigung von Bauteilen oder die Ausführung ausreichend.

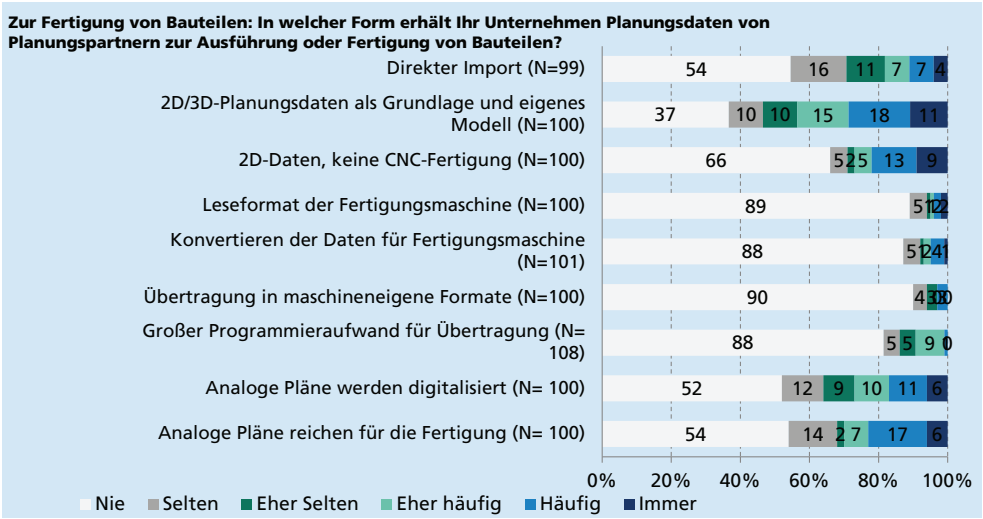



*Abbildung 21: In welchem Format erhalten ausführende Unternehmen und Fertigungsunternehmen Daten zur Fertigung von Bauteilen?*

### Bauteil-Bibliotheken

Mehr als jedes zweite Unternehmen erstellt eigene Bauteil-Bibliotheken. Auf Bibliotheken der Hersteller und Zuliefererindustrie greifen 38% zurück. Lediglich 11% nutzen überwiegend Internetplattformen wie beispielsweise BIMobject als Bauteil-Bibliothek (Abb. 22)

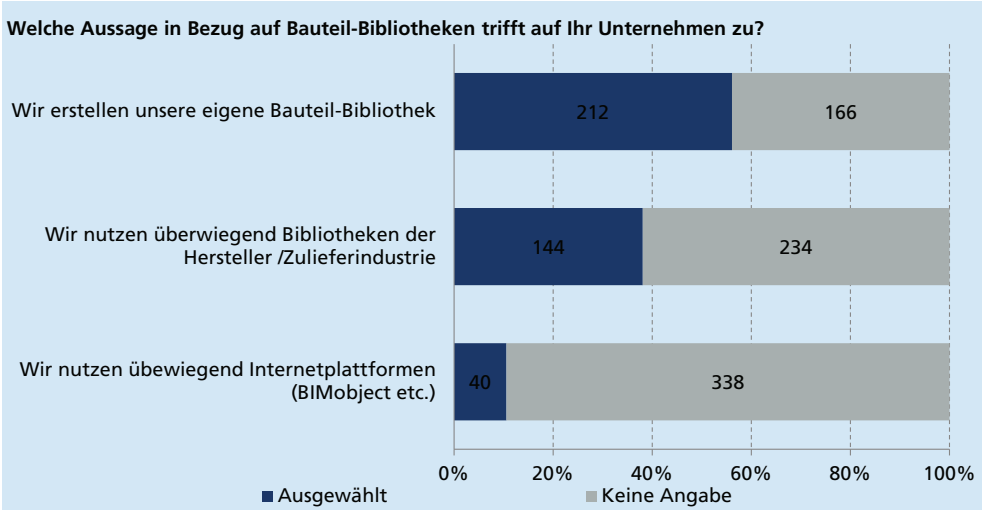



*Abbildung 22: Bauteil-Bibliotheken*

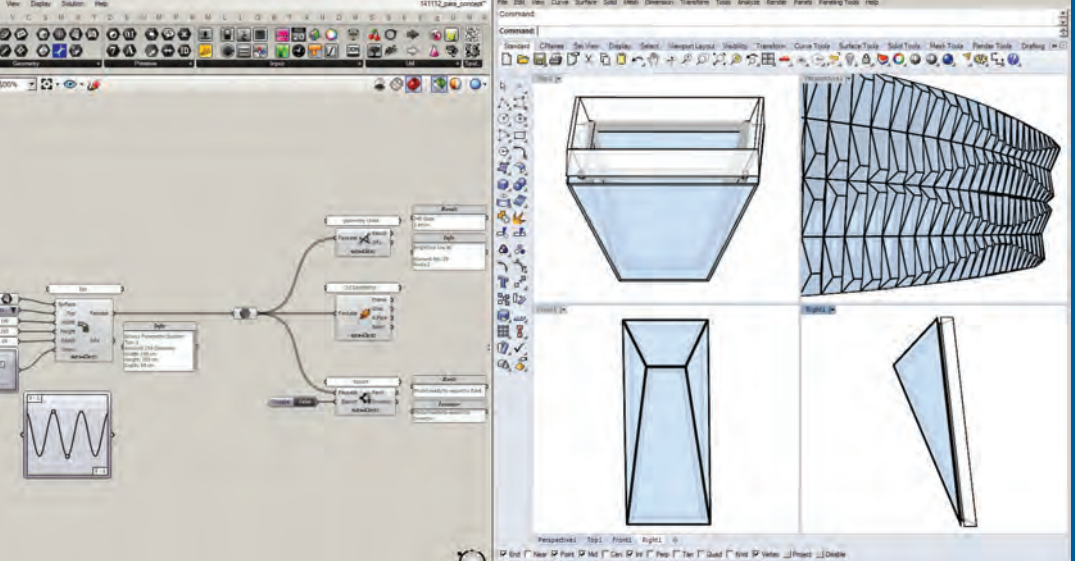


*Abbildung 23: Grasshopper Scripting zur Planung des Schueco Parametric System © SCHÜCO International KG*

### 4.5 Erfahrungen mit der Planungsmethode BIM und Meinungen

47% der Teilnehmer stimmen der Aussage, dass sich durch die Verwendung von digitalen Gebäudeinformationsmodellen die Kommunikation im Planungs- und Bauprozess verbessert hat, zu 75-100% zu (Abb. 24).

Fast genauso viele bestätigen, dass sich die Kostenkalkulation und das Controlling verbessert haben.

Eine 75-100 prozentige Bejahung wird von 44% der Mitwirkenden in Bezug auf ein verbessertes Controlling getätigt.

Immerhin sind 40% der Teilnehmer zu 75-100% der Meinung, dass Projekte besser geplant werden können. Zu diesem Punkt haben sich 280 Personen geäußert. 19% bestätigen, dass die Modelldaten auch nach der Realisierung des Bauprojektes hilfreich sind und vermarktet werden können.

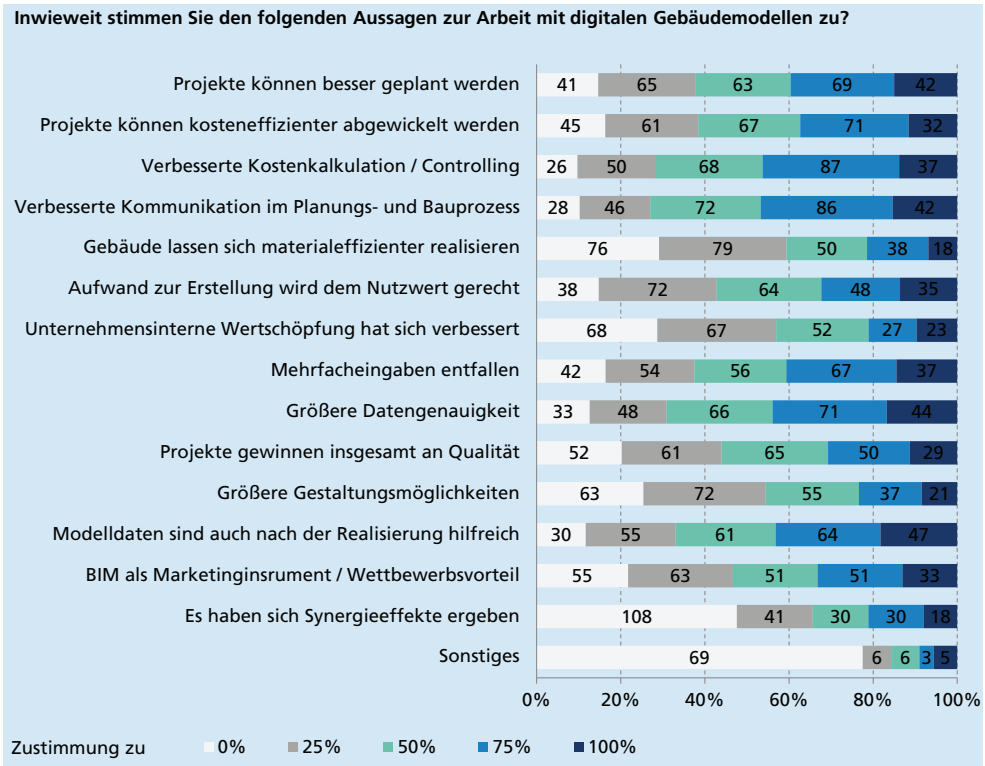



*Abbildung 24: Erfahrungen mit der Planungsmethode BIM*

**Meinungen zur Planungsmethode BIM**

Jeder zweite vertritt die Meinung, dass der erhöhte Planungsaufwand zum Erstellen von Gebäudeinformationsmodellen in der HOAI (anders) berücksichtigt werden muss ( Abb.25). 41% stimmen zu, dass die inhaltliche und formale Qualität sowie die Übergabeart des Gebäudeinformationsmodells und Haftungsfragen für eine sichere Vertragsgestaltung festgelegt werden müssen.

Genauso viele bekräftigen, dass Urheber- und Nutzungsrechte unzureichend geklärt sind. Nur 6% der Befragten sind der Meinung, dass die Abgabe von digitalen Gebäudeinformationsmodellen vom Gesetzgeber vorgeschrieben werden sollte. Lediglich 10% sehen das Potential, dass der hohe Informationsgehalt des Gebäudemodells genauere Betrachtungen und Simulationen ermöglicht, wodurch kostenintensive Änderungen und Anpassungen vermieden werden.

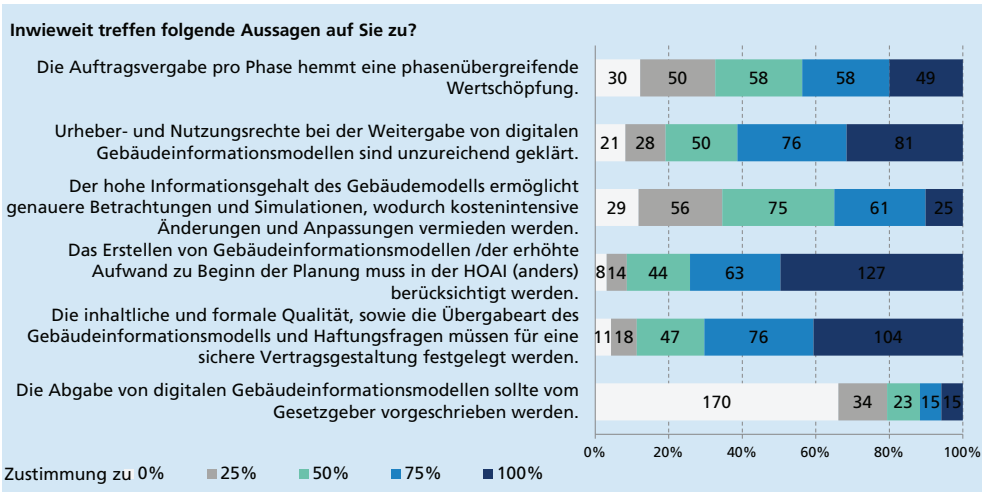



*Abbildung 25: Meinungen zur Planungsmethode BIM*

**Wird sich die Planungsmethode BIM durchsetzen?**

Fast jeder Vierte geht davon aus, dass sich die Planungsmethode BIM bis in zehn Jahren Flächendeckend durchgesetzt haben wird (Abb. 27). 13% sind der Meinung, dass dies bereits in 5 Jahren der Fall sein wird. Jedoch schätzen17%, dass sich diese Planungsmethode nicht durchsetzen wird.

*Abbildung 26: Das digitale Gebäudemodell © unstudio und Fraunhofer IAO*

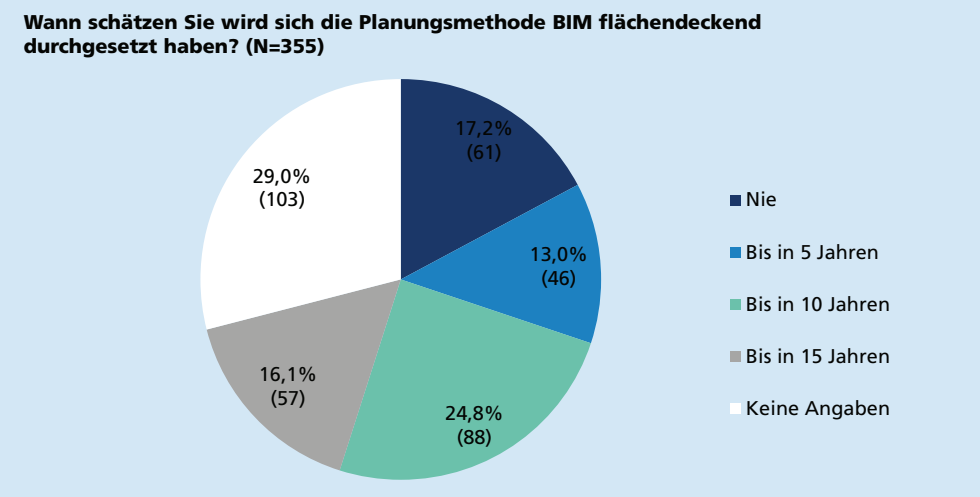



*Abbildung 27: Wann wird sich die Planungsmethode BIM durchsetzen?*

### 4.6 Virtuelle und erweiterete Realität und 3D- Laserscanning

Mehr als jeder dritte Befragte ist der Meinung, dass 3D-Kameras/ 3D-Echtzeit-Laserscanner (45%), Augmented Reality AR (37%) und Virtual Reality VR (35%) für das Unternehmen im Planungs- und Bauprozess keinen Nutzen haben (Abb.28).

Jeweils 5% der Befragten verwenden VR und 3D-Kameras/3D-Laserscanner erfolgreich in ihren Projekten.

Mit Hilfe digitaler, dreidimensionaler Modelle und räumlicher Interfacetechniken (VR/AR/MR) lassen sich digitale Baubesprechungen aufgrund Echtzeitdaten durchführen. Kollisionen, z.B. mit der Gebäudetechnik oder andere Problempunkte, die oft erst auf der Baustelle erkannt werden, können sofort ermittelt und bearbeitet werden.

3D-Laserscanner können dem SOLL-IST-Abgleich des Rohbaus oder des Bestands dienen. Damit können korrekte Echtzeitdaten in den Fertigungsprozess eingespeist werden.

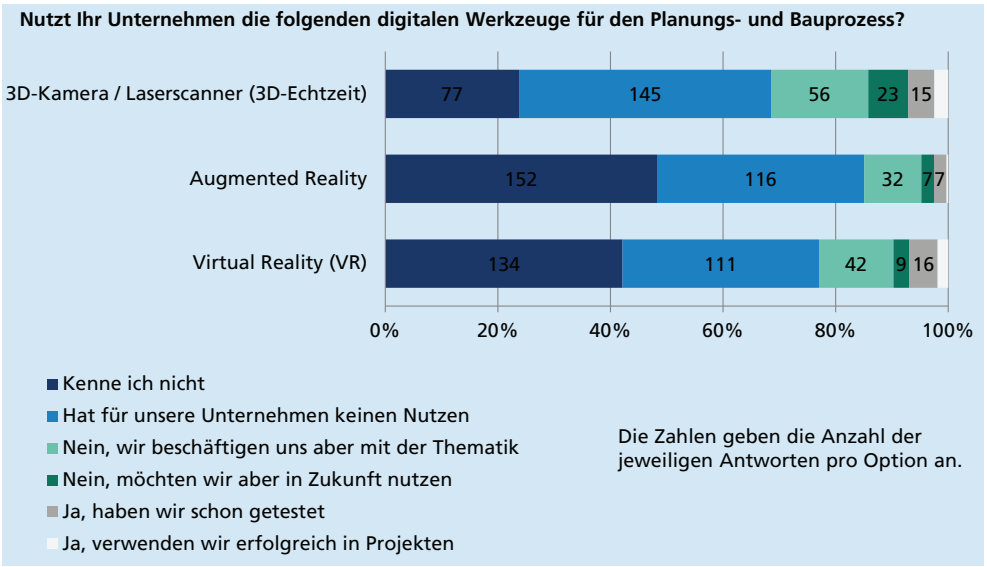



*Abbildung 28: Digitale Werkzeuge für den Planungs- und Bauprozess*

# 5. FAZIT

**Teilnehmerkreis**

Fast dreiviertel der 378 Befragten sind Planer und 60% der Teilnehmenden arbeiten in kleineren Unternehmensstrukturen mit maximal 10 Mitarbeitern.

**Planungsmethoden und Datenaustausch**

Etwa 75% der befragten Planer planen immer oder häufig anhand 2D-Zeichnungen. Papierpläne zum Austausch von Projektinformationen und Ständen sind bei fast jedem dritten Teilnehmer noch die Regel.

*Abbildung 29: Immersive Baubesprechung Bildnachweis: Bernd Müller © Fraunhofer IAO*

**Planungsmethode BIM und Datenaustausch**

Beinahe 18% der Planer, die vornehmlich Projekte bis 25.000.000€ bearbeiten, kennen die Planungsmethode BIM nicht. Fast 40 % der Befragten, die nicht mit Gebäudedatenmodellen arbeiten argumentieren, dass für ihre Art von Projekten bewährte Planungsmethoden ausreichend sind und für fast jeden dritten Teilnehmer, sind die Kosten für Software und Mitarbeiterschulung zu hoch. BIM wird vor allem mit der Nutzung einer BIM-Software assoziiert. 22% der Planer arbeiten jedoch immer oder häufig nach der Planungsmethode BIM. Nur 0,5% allerdings integrieren auch Zeit- und Kosteninformationen in die Datenmodelle.

**BIM - bisher vor allem für Großprojekte**

Mit Gebäudeinformationsmodellen (BIM) wird bisher vor allem bei den Planern, Bauunternehmen und Projektsteurern, die Projektgrößen über 25 Mio. Euro bedienen, gearbeitet.

**Erfahrungen mit der Planungsmethode BIM**

Fast die Hälfte der BIM-Nutzer bestätigen eine bessere und transparentere Kommunikation im Planungs- und Bauprozess sowie ein bessere Kostenkalkulation und Projektcontrolling. Auch herrscht generell eine größere Datengenauigkeit und Mehrfacheingaben entfallen. Im Allgemeinen können Projekte besser geplant werden, finden 40% der Teilnehmer.

**Fertigung von Bauteilen und Schnittstellenprobleme**

Nur 22% der befragten Firmen nutzen 2D-Daten für die Fertigung, die nicht CNC gesteuert ist. Lediglich 4% der Ausführenden erhalten Daten ihrer Projektpartner im Leseformat der Fertigungsmaschine und können diese ohne Weiterbearbeitung nutzen. Fast jeder dritte Ausführende baut sich sein eigenes Datenmodell für die Fertigung. Fast 60% der Befragten bestätigen, dass es aufgrund unterschiedlicher Software und fehlender Austauschformate zu Schnittstellenproblemen zwischen den an der Planung, Ausführung und Fertigung beteiligten Partnern gibt. Die einzelnen Teilnehmergruppen isoliert betrachtet, beklagen diesen Aspekt vor allem 86% der Zulieferer und alle Bauhandwerker.

**Zusammenarbeit mit Projektpartnern**

Mehr als die Hälfte der Befragten aus dem Bereich Forschung wünschen sich eine (frühere) Integration in Bauvorhaben. Beinahe dreiviertel der Tragwerksplaner, die an der Studie teilgenommen haben, fänden eine frühere Integration in Projekte sinnvoll.
Auch 37% der Ausführenden (Rohbau) und jedes dritte Unternehmen, das schlüsselfertigen Ausbau anbietet, finden, dass der Einstiegszeitpunkt in Projekte zu spät erfolgt.

Die baldige Einbindung von Informationen und Spezifikationen der beteiligten Gewerke (Frontloading) ermöglicht es, Probleme die oft erst auf der Baustelle oder im Fertigungsprozess auftreten, bereits im Planungsprozess zu lösen und Bauteile aufeinander abzustimmen. Bauteilgrößen werden oft willkürlich gewählt ohne Informationen zu Fertigungskosten bei anderen Bauteilabmessungen.

**Zentrale Botschaft der Ergebnisse und offene Fragen**

Von der durchgängig digitalen Prozesskette liegt man in der Praxis noch weit entfernt.
Die Bereitschaft neue Planungsmethoden einzuführen ist jedoch auch nicht wirklich hoch. Die meisten sehen keinen Grund mit Gebäudeinformationsmodellen zu arbeiten oder sie assoziieren BIM mit hohen Softwarekosten, die sich die überwiegend kleinstrukturierte Planerlandschaft nicht leisten kann.
BIM könnte in Zukunft eine Hürde darstellen, vor allem wenn es bei öffentlichen Aufträgen gesetzliche Vorschriften diesbezüglich geben sollte. Eine drastische These wäre, dass die kleinen Büros aussterben könnten oder sie lernen damit umzugehen.
Generell fehlen softwareunabhängige Informationen zur Planungsmethode BIM und deren Vorzüge. Obwohl jeder Fünfte Befragte bereits mit Gebäudeinformationsmodellen arbeitet, nutzt kaum einer das Potential der 4D- und 5D- Planung

Die bisherigen BIM-Nutzer bearbeiten vor allem Großprojekte. Weiterhin fehlen zur durchgängig digitalen Bauprozesskette passende (informationsverlustfreie) Austauschformate.

Rechtliches wie Haftungsfragen sowie Urheber- und Nutzungsrechte müssen geklärt werden. Das Planen und Ausführen mit der BIM-Methode muss reglementiert werden. Hierzu hat sich ein DIN-Normungsausschuss seit Januar 2015 formiert. Weiterhin ist die Frage, inwieweit sich die HOAI ändern muss, da insbesondere der Zeitaufwand mit der Planungsmethode BIM zu Beginn höher, in späteren Leistungsphasen aber geringer ist. Die Benefits und sätzlichen Vermarktungspotentiale müssen klar herausgestellt werden.

*Abbildung 30: Immersive Engineering Lab: Räume digital planen und erleben. Foto:B. Müller © Fraunhofer IAO*

# 6. AUSBLICK

**Wie unterscheidet sich der FUCON 4.0-Ansatz von der Planungsmethode BIM?**
Generell ist ein anderer Planungsansatz zunächst mit einer anderen Denkweise und nicht unbedingt mit einer spezifischen Software verbunden.

Im Innovationsnetzwerk FUCON 4.0 sind wir davon überzeugt, dass sich der Bauprozess von der Planung bis zur Realisierung durch folgende Methoden optimieren lässt:

- Frontloading - integration von Fach- und Fertigungsinformationen in den Planungsprozess
- regelbasierte/ parametrische Gebäudeinformationsmodelle
- teilautomatisierte Fertigung

Durch frühzeitige Integration von Fachinformationen (Frontloading) wie Materialeigenschaften, Lieferbedingungen, Fertigungsspezifikationen und daraus resultierende Kosten in ein regelbasiertes Mastermodell, stellen sich in einem iterativen Prozess schrittweise Optimierungen ein (z.B. kosteneffiziente Bauteilgrößen in Abhängigkeit von Fertigungsinformationen und Logistik, Tragkonstruktion in Abhängigkeit von der verfügbaren Stahlgüte etc.). Das Frontloading ist auch in öffentlichen Projekten durch Partnering-Modelle möglich.
Die Parametrisierung des Gebäudedatenmodells erlaubt den Optimierungsprozess, da Änderungen automatisiert aktualisiert werden können. Fehlertolerante Echtzeitmodelle gestatten ein flexibles Agieren bei Abweichungen des ursprünglichen SOLL-Standes (z.B. Bautoleranzen, Änderungswünsche des Bauherrn).

*Abbildung 31: Wie unterscheidet sich FUCON 4.0 von weiteren Aktivitäten rund um die Planungsmethode BIM?*

Ohne Parametrisierung wäre die Optimierung nicht zeiteffizient realisierbar. Im konventionellen Planungsprozess führen Planungsfehler, nicht berücksichtigte Aspekte oder erforderliche Änderungen im fortgeschrittenen Planungsprozess meist zu kosten- und zeitaufwendigen Maßnahmen.

Das Vorliegen digitaler parametrischer Gebäudemodelle erlaubt zudem das Ableiten von Fertigungsinformationen. Gemeinsam mit unseren Forschungs- und Industriepartnern untersuchen wir weiterhin mögliche alternative kosteneffiziente Fertigungs, - und Ausführungsmethoden. Dies kann beispielsweise die teilautomatisierte Fertigung im Vergleich zur handwerklichen Anpassung auf dem Bau sein oder die generative Herstellung von Detail-Sonderlösungen in Kombination mit Produkten aus linearer Fertigung (Halbzeuge als Massenware), die dezentral und nichtlinear mittels CNC individuell bearbeitet werden.

**gefördert durch**

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

*Abbildung 32: Fördermittelgeber, Forschungs-, Industrie- und Kommunikationspartner im Innovationsnetzwerk FUCON 4.0*

**Forschungspartner**

Fraunhofer IAO

Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT

D-P DESIGNTOPRODUCTION

**Industriepartner**

SCHÜCO

BOLLINGER + GROHMANN Ingenieure

LAVA

priedemann building envelope consultants

FACADE LAB

**Kommunikationspartner**

DETAIL research Building the Future

raumprobe

*Abbildung 33: ZVE  Foto:Christian Richters © Fraunhofer IAO*

# KONTAKT


Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
» Urban Systems Engineering«
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

**Steffen Braun**
Tel.: +49 (0) 711/ 970 – 2202
steffen.braun@iao.fraunhofer.de

**Dr.-Ing. Alexander Rieck**
Tel.: +49 (0) 711/ 970 – 5478
alexander.rieck@iao.fraunhofer.de

**Dipl.-Ing. Sebastian Bullinger**
Tel.: +49 (0) 711/ 970 – 5433
sebastian.bullinger@iao.fraunhofer.de

**Dr.-Ing. Carmen Köhler-Hammer**
Telefon +49 (0)711 970-5433
carmen.koehler-hammer@iat.uni-stuttgart.de

www.iao.fraunhofer.de
www.fucon.eu

**Umsetzung Online-Befragung und statistische Auswertung**

**Dipl.-Soz. Alexander Schletz**
Dienstleistungsmanagement
alexander.schletz@iao.fraunhofer.de

# IMPRESSUM

**Autoren**
Steffen Braun
Dr. Alexander Rieck
Dr. Carmen Köhler-Hammer

**Kontaktadresse**
Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
Telefon: +49 711 970 5433
carmen.koehler-hammer@iao.fraunhofer.de

www.iao.fraunhofer.de

Copyright Fraunhofer IAO, 2015

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN; VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, können die Autoren un dFörderer der Studie keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

**Haftungsausschluss**
Die Autoren und Förderer übernehmen keinerlei Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der bereitgestellten Informationen. Haftungsansprüche gegen die Autoren und Förderer, welche sich auf Schäden materieller oder ideeller Art beziehen, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen bzw. durch die Nutzung fehlerhafter und unvollständiger Informationen verursacht wurden, sind grundsätzlich ausgeschlossen, sofern seitens der Autoren und Förderer kein nachweislich vorsätzliches Verschulden vorliegt. Alle Informationen sind freibleibend und unverbindlich. Die Autoren und Förderer behalten es sich ausdrücklich vor, Teile der Seiten oder das gesamte Angebot ohne gesonderte Ankündigung zu verändern, zu ergänzen, zu löschen oder die Veröffentlichung zeitweise oder endgültig einzustellen.

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS


| | | |
|---|---|---|
| Titelbild: | Immersiver Gebäudeprototyp Fraunhofer ZVE: Lüftung / © Fraunhofer IAO | |
| Abbildung 1: | Verteilung der an der Studie beteiligten Branchen und Fachbereiche | 7 |
| Abbildung 2: | Anzahl der Beschäftigte im Unternehmen | 8 |
| Abbildung 3: | Gründe der Teilnehmer für das Einführen neuer Planungs- und Fertigungs-methoden | 8 |
| Abbildung 4: | Vornehmlich bearbeitete Projektgrößen | 9 |
| Abbildung 5: | Beurteilung des Einstiegszeitpunktes in Projekte je nach Leistungsfeldern- | 10 |
| Abbildung 6: | Welche Planungsmethoden werden eingesetzt? | 11 |
| Abbildung 7: | Construction Fotolia.com | 12 |
| Abbildung 8: | Isolierte Betrachtung der Planer (Architekten, Fachplaner, Generalplaner) zu verwendeten Planungsmethoden | 12 |
| Abbildung 9: | Isolierte Betrachtung der Bau- und Generalunternehmen zu verwendeten Planungsmethoden | 12 |
| Abbildung 10: | Aussagen zur Planungsmethode BIM | 13 |
| Abbildung 11: | Aussagen zur Planungsmethode BIM von der Gruppe der Planer, die vornehmlich Projekte >10 Mio. € bearbeiten | 14 |
| Abbildung 12: | Gründe, warum die Befragten die Planungsmethode BIM nicht nutzen | 14 |
| Abbildung 13: | BIM-Methode - Intensität der Nutzung | 15 |
| Abbildung 14: | Für welche Tätigkeiten wird die Planungsmethode BIM vornehmlich verwendet? | 16 |
| Abbildung 15: | Wie arbeiten die Unternehmen, die nach der BIM-Methode arbeiten mit Planungspartnern zusammen? | 17 |
| Abbildung 16: | Abgleich von Planungsinhalten und Arbeitsständen | 17 |
| Abbildung 17: | Fassadenabwicklung Mercedes-Benz Museum, Stuttgart © designtoproduction | 18 |
| Abbildung 18: | Austauschformate bei der Zusammenarbeit mit Projektpartnern | 18 |
| Abbildung 19: | Zufriedenheit mit dem Austauschformat IFC | 19 |
| Abbildung 20: | Schnittstellenprobleme zwischen den an der Planung, Ausführung und Fertigung beteiligten Partnern | 20 |
| Abbildung 21: | In welchem Format erhalten ausführende Unternehmen und Fertigungsun- ternehmen Daten zur Fertigung von Bauteilen? | 21 |
| Abbildung 22: | Bauteil-Bibliotheken | 21 |
| Abbildung 23: | Grasshopper Scripting zur Planung des Schueco Parametric System © SCHÜCO International KG | 22 |

| | | |
|---|---|---|
| Abbildung 24: | Erfahrungen mit der Planungsmethode BIM | 22 |
| Abbildung 25: | Meinungen zur Planungsmethode BIM | 23 |
| Abbildung 26: | Das digitale Gebäudemodell © unstudio und Fraunhofer IAO | 24 |
| Abbildung 27: | Wann wird sich die Planungsmethode BIM durchsetzen? | 24 |
| Abbildung 28: | Digitale Werkzeuge für den Planungs- und Bauprozess | 25 |
| Abbildung 29: | Immersive Baubesprechung Bildnachweis: Bernd Müller © Fraunhofer IAO | 26 |
| Abbildung 30: | Immersive Engineering Lab: Räume digital planen und erleben. Foto:B. Müller © Fraunhofer IAO | 28 |
| Abbildung 31: | Wie unterscheidet sich FUCON 4.0 von weiteren Aktivitäten rund um die Planungsmethode BIM? | 28 |
| Abbildung 32: | Fördermittelgeber, Forschungs-, Industrie- und Kommunikationspartner im Innovationsnetzwerk FUCON 4.0 | 29 |
| Abbildung 33: | ZVE Foto:Christian Richters © Fraunhofer IAO | 30 |

# AP
# 1.3 BIM-Umfrage-Fragenkatalog

# Onlineumfrage für Planer und Ausführende

## Welche (digitalen) Planungs- und Fertigungsmethoden wenden Sie in Ihrem Unternehmen an?

Im Fraunhofer Innovationsnetzwerk **Future Construction (FUCON 4.0)** gilt, es die Vorzüge vernetzter Gebäudeinformationsmodelle für einen nachhaltigen und ressourceneffizienten Bauprozess darzustellen. Das Forschungsprojekt wird im Rahmen der Forschungsinitiative *Zukunft Bau* vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) gefördert.

Bei der Planung von Gebäuden müssen immer mehr Anforderungen berücksichtigt werden, die sich mit konventionellen Planungsmethoden nur schwer verwalten lassen. Digitale, vernetzte Gebäudemodelle sind in der Lage beliebig viele Varianten zu erzeugen und hinsichtlich verschiedener Parameter zu bewerten. Durch definierte Abhängigkeiten können Änderungen in Echtzeit aktualisiert und Informationen für die Fertigung durch geeignete Datenstrukturen auch abgeleitet werden. Projekte, die bereits mit Hilfe einer vollständig digitalisierten Planungs- und Fertigungskette realisiert wurden zeigen, dass sich große oder komplexe Projekte im Zeitrahmen, kosten-, sowie materialeffizient und somit nachhaltig bauen lassen.

Ziel der Online-Befragung ist es, den IST-Zustand hinsichtlich eingesetzter Planungs- und Fertigungsmethoden zu identifizieren und Probleme in den Bauprozessabläufen zu eruieren.

Wir möchten neben Planern auch Fachplaner oder Ausführende und Subunternehmer, die im Bauprozess integriert sind, zur Teilnahme an der Befragung einladen, um Schnittstellenprobleme zwischen unterschiedlichen Gewerken identifizieren zu können.

Im ersten Teil der Studie werden Basisinformationen zum Unternehmen abgefragt, um eine differenzierte Auswertung der Daten zu ermöglichen.

Der nächste Block beschäftigt sich mit der Planungsmethode BIM und der Frage, wo es in der Planung und Bauabwicklung zu prozessbedingten Problemen kommt und welche Potenziale hier verborgen sind.

Bitte überspringen Sie Fragen, die sie nicht beantworten können. Die Beantwortung der Fragen dauert ca. 20 Minuten.

Die Ergebnisse der Online-Studie werden interessierten Teilnehmern in einer kostenlosen Veranstaltung zum Thema BIM im Zentrum für Virtuelles Engineering (ZVE) des Fraunhofer IAO präsentiert.

**Ihre Angaben werden streng vertraulich behandelt und gehen nur anonym in die Gesamtbewertung ein, so dass keine Rückschlüsse auf einzelne Unternehmen oder Personen möglich sind.**

Die Zusammenfassung der Ergebnisse wird Ihnen auf Wunsch per E-Mail zugesandt.

Vielen Dank für Ihr Interesse und Ihre Unterstützung! Sollten Sie Fragen oder Anmerkungen haben, steht Ihnen Carmen Köhler-Hammer gern zur Verfügung.

Dipl.-Ing. Carmen Köhler-Hammer
Fraunhofer IAO, Competence Team »Urban Systems Engineering«
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-5433
carmen.koehler-hammer@iao.fraunhofer.de
www.iao.fraunhofer.de

Impressum Datenschutzerklärung

Diese Umfrage enthält 54 Fragen.

# Allgemeine Fragen zu Ihrem Unternehmen

## In welchem der folgenden Bereiche ist Ihr Unternehmen überwiegend tätig?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

☐ Planer (Generalplaner, Architekten, Fachplaner)

- [ ] Bauhandwerk
- [ ] Bauunternehmer, GU
- [ ] Bauherrenvertreter / Projektsteuerer / Projektmanager (optional)
- [ ] Investor / Bauträger / Projekt-/Objektentwickler (optional)
- [ ] Zulieferer/Anbieter von Bauprodukten
- [ ] Forschungseinrichtung / Beratung / sonstige Dienstleistung
- [ ] Öffentliche Hand
- [ ] Sonstige

## In welchem sonstigen Bereich ist Ihr Unternehmen tätig?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war bei Frage '1 [A1]' (In welchem der folgenden Bereiche ist Ihr Unternehmen überwiegend tätig? )

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

## Welche Leistungen bietet Ihr Unternehmen an?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- [ ] Architektur (LP 1-9 oder einzelne LP)
- [ ] Fertigungsplanung
- [ ] Programmierung
- [ ] Beratung
- [ ] Projektentwicklung
- [ ] Projektsteuerung
- [ ] Controlling
- [ ] Sachverständigenleistung
- [ ] Generalplanung
- [ ] Tragwerksplanung
- [ ] TGA-Planung
- [ ] Bauleitung
- [ ] Fertigung (Bauteile)
- [ ] Ausführung (Rohbau)
- [ ] Ausführung (Ausbau)
- [ ] Ausführung (Schlüsselfertig)
- [ ] Facility Management
- [ ] Forschung
- [ ] Andere

## Welche weiteren Leistungen bietet Ihr Unternehmen an?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war bei Frage '3 [A2]' (Welche Leistungen bietet Ihr Unternehmen an? )

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Welche Position haben Sie in Ihrem Unternehmen?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ Inhaber
- ○ Geschäftsleitung
- ○ Mittleres Management
- ○ Projektmitarbeiter
- ○ Sonstige

Welche sonstige Position haben Sie in Ihrem Unternehmen?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Sonstige' bei Frage '5 [A3]' (Welche Position haben Sie in Ihrem Unternehmen?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Wie viele Beschäftigte hat Ihr Unternehmen?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ 1 bis 10 Beschäftigte
- ○ 11 bis 25 Beschäftigte
- ○ 26 bis 50 Beschäftigte
- ○ 51 bis 250 Beschäftigte
- ○ 251 bis 500 Beschäftigte
- ○ Mehr als 500 Beschäftigte

Welche Projektgrößen bearbeiten sie vornehmlich in ihrem Unternehmen?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ bis 500.000€
- ○ bis 2.500.000€
- ○ bis 10.000.000€
- ○ bis 25.000.000€
- ○ über 25.000.000€

Aus welchen Gründen werden neue Planungs- oder Fertigungsmethoden in Ihrem

## Unternehmen eingeführt?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- ☐ Erfüllung von Kompatibilitätsvorgaben der Auftraggeber
- ☐ Qualitäts- und Innovationsanspruch
- ☐ Erschließung neuer Leistungsfelder
- ☐ Verbesserung der Effizienz im eigenen Unternehmen
- ☐ Steigerung der Projektqualität und -effizienz
- ☐ Verbesserung der Projektkoordination
- ☐ Minimierung von Schnittstellenproblemen zur Vereinfachung der Kooperation mit Projektpartnern
- ☐ Andere Gründe: [ ]

## Welche Planungssoftware nutzen Sie wie häufig in Ihrem Unternehmen für die Planung und Ausführung von Bauprojekten? Bitte beantworten Sie diese Frage für die im Folgenden genannten Typen von Software.

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Sonstige' *oder* 'Öffentliche Hand' *oder* 'Forschungseinrichtung / Beratung / sonstige Dienstleistung' *oder* 'Investor / Bauträger / Projekt-/Objektentwickler (optional)' *oder* 'Bauherrenvertreter / Projektsteuerer / Projektmanager (optional)' *oder* 'Bauunternehmer, GU' *oder* 'Planer (Generalplaner, Architekten, Fachplaner)' bei Frage '1 [A1]' (In welchem der folgenden Bereiche ist Ihr Unternehmen überwiegend tätig? )

## Welche CAD 2D/3D-Software nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Sonstige' *oder* 'Öffentliche Hand' *oder* 'Forschungseinrichtung / Beratung / sonstige Dienstleistung' *oder* 'Investor / Bauträger / Projekt-/Objektentwickler (optional)' *oder* 'Bauherrenvertreter / Projektsteuerer / Projektmanager (optional)' *oder* 'Bauunternehmer, GU' *oder* 'Planer (Generalplaner, Architekten, Fachplaner)' bei Frage '1 [A1]' (In welchem der folgenden Bereiche ist Ihr Unternehmen überwiegend tätig? )

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer | In Zukunft geplant |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AutoCAD | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Architectural Desktop | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ArchiCAD | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Vectorworks | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Allplan | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Maya | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Digital Project | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| SolidWorks | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| MicroStation | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Autodesk Revit | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Andere | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

## Welche hier nicht genannte CAD-Software nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Selten' *oder* 'Eher selten' *oder* 'Eher häufig' *oder* 'Häufig' *oder* 'Immer' *oder* 'In Zukunft geplant' bei Frage '11 [B1CAD]' (Welche CAD 2D/3D-Software nutzen Sie? (Andere))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

[ ]

## Welche Software zur 3D-Modellierung, Animation und zum Rendering nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
((A1_1.NAOK == "Y" or A1_3.NAOK == "Y" or A1_4.NAOK == "Y" or A1_5.NAOK == "Y" or A1_7.NAOK == "Y" or A1_8.NAOK == "Y" or A1_9.NAOK == "Y"))

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer | In Zukunft geplant |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rhino | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Cinema 4D | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3D Studio MAX | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| SketchUp | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Andere | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

## Welche weitere Software zur 3D-Modellierung, Animation und zum Rendering nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Selten' *oder* 'Eher selten' *oder* 'Eher häufig' *oder* 'Häufig' *oder* 'Immer' bei Frage '13 [B1Modellierung]' (Welche Software zur 3D-Modellierung, Animation und zum Rendering nutzen Sie? (Andere))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

## Welche Software zur algorithmischen / parametrischen Modellierung nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
((A1_1.NAOK == "Y" or A1_3.NAOK == "Y" or A1_4.NAOK == "Y" or A1_5.NAOK == "Y" or A1_7.NAOK == "Y" or A1_8.NAOK == "Y" or A1_9.NAOK == "Y"))

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer | In Zukunft geplant |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rhino – Grasshopper | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Creo Elements/Direct Modeling (Parametrik) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| T-Flex Parametric CAD | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Andere | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

## Welche weitere Software zur algorithmischen / parametrischen Modellierung nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Selten' *oder* 'Eher selten' *oder* 'Eher häufig' *oder* 'Häufig' *oder* 'Immer' bei Frage '15 [B1Algo]' (Welche Software zur algorithmischen / parametrischen Modellierung nutzen Sie? (Andere))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

## Welche Software zur Erstellung von digitalen Gebäudeinformationsmodellen nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
((A1_1.NAOK == "Y" or A1_3.NAOK == "Y" or A1_4.NAOK == "Y" or A1_5.NAOK == "Y" or A1_7.NAOK == "Y" or A1_8.NAOK == "Y" or A1_9.NAOK == "Y"))

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer | In Zukunft geplant |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Autodesk Revit | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Tekla Struktures | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Spirit | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Speedikon (BIM) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Solibri Modelchecker | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| MikroStation oder andere Bentley-Software für BIM | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| RIB-iTWO | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Autodesk Navisworks | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Graphisoft ARCHICAD | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Vectorworks | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Andere | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

## Welche weitere Software zur Erstellung von digitalen Gebäudeinformationsmodellen nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Selten' *oder* 'Eher selten' *oder* 'Eher häufig' *oder* 'Häufig' *oder* 'Immer' *oder* 'In Zukunft geplant' bei Frage '17 [B1GebInfo]' (Welche Software zur Erstellung von digitalen Gebäudeinformationsmodellen nutzen Sie? (Andere))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

## Welche Software zur Unterstützung von Ausschreibungen, Projekt-Controlling und -Management nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
((A1_1.NAOK == "Y" or A1_3.NAOK == "Y" or A1_4.NAOK == "Y" or A1_5.NAOK == "Y" or A1_7.NAOK == "Y" or A1_8.NAOK == "Y" or A1_9.NAOK == "Y"))

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer | In Zukunft geplant |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ARRIBA | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Allplan BCM | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Sidoun WinAVA | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ORCA | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Microsoft Project | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Primavera | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Andere | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

## Welche weitere Software zur Unterstützung von Ausschreibungen, Projekt-Controlling und -Management nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Selten' *oder* 'Eher selten' *oder* 'Eher häufig' *oder* 'Häufig' *oder* 'Immer' *oder* 'In Zukunft geplant' bei Frage '19 [B1ProjektControll]' (Welche Software zur Unterstützung von Ausschreibungen, Projekt-Controlling und -Management nutzen Sie? (Andere))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

## Welche Software für das Facility Management nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
((A1_1.NAOK == "Y" or A1_3.NAOK == "Y" or A1_4.NAOK == "Y" or A1_5.NAOK == "Y" or A1_7.NAOK == "Y" or A1_8.NAOK == "Y" or A1_9.NAOK == "Y"))

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer | In Zukunft geplant |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Allfa | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ARCHIBUS | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Planon | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Andere | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

Welche weitere Software für das Facility Management nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Selten' *oder* 'Eher selten' *oder* 'Eher häufig' *oder* 'Häufig' *oder* 'Immer' *oder* 'In Zukunft geplant' bei Frage '21 [B1FM]' (Welche Software für das Facility Management nutzen Sie? (Andere))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Welche Software für die Unterstützung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
((A1_1.NAOK == "Y" or A1_3.NAOK == "Y" or A1_4.NAOK == "Y" or A1_5.NAOK == "Y" or A1_7.NAOK == "Y" or A1_8.NAOK == "Y" or A1_9.NAOK == "Y"))

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer | In Zukunft geplant |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nova | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Data Design System (DDS) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Andere | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

Welche weitere Software für die Unterstützung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) nutzen Sie?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Selten' *oder* 'Eher selten' *oder* 'Eher häufig' *oder* 'Häufig' *oder* 'Immer' *oder* 'In Zukunft geplant' bei Frage '23 [B1TGA]' (Welche Software für die Unterstützung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) nutzen Sie? (Andere))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

# Fragen zu Planungs- und Fertigungsmethoden

## Ab welchem Zeitpunkt wird ihr Unternehmen in ein Projekt mit einbezogen?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entwurf (LP 1-5) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Modellierung/ Optimierung | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Fertigungsplanung | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Vergabe (LP 6, LP 7) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Fertigung | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Logistik | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Rohbau/ Ausbau/ Montage | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Objektüberwachung, Objektbetreuung, Dokumentation (LP8, LP9) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Facility Management | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

## Wie beurteilen Sie den Einstiegszeitpunkt Ihres Unternehmens in Projekte?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ Der Einstiegszeitpunkt in Projekte ist genau richtig
- ○ Zu früh
- ○ Zu spät. Relevante Informationen (zu Fertigung, Materialparameter etc. müssen früher integriert werden)
- ○ Andere Aspekte des Einstiegspunktes

## Welcher weitere Aspekt des Einstiegszeitpunkts in Projekte ist für Sie relevant?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Andere Aspekte des Einstiegspunktes' bei Frage '26 [B3neu]' (Wie beurteilen Sie den Einstiegszeitpunkt Ihres Unternehmens in Projekte?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

## Welche Planungsmethodik wenden Sie in Ihrem Unternehmen an?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer | In Zukunft geplant |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Planung anhand von 2D Zeichnungen (analog/digital). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Planung anhand von 3D-Modellen (nur Geometrie). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Planung anhand bauteilorientierter Gebäudemodelle (BIM). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 4D - Integration von Prozessinformationen (BIM). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 5D - Integration von Prozessinformationen (BIM). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| nD - Integration weiterer Prozessinformationen (BIM). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Planung anhand parametrischer Modellierung und Scripting. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Andere. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

## Welche weitere Planungsmethodik wenden Sie in Ihrem Unternehmen an?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Selten' *oder* 'Eher selten' *oder* 'Eher häufig' *oder* 'Häufig' *oder* 'Immer' *oder* 'In Zukunft geplant' bei Frage '28 [B4neu]' (Welche Planungsmethodik wenden Sie in Ihrem Unternehmen an? (Andere.))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

## Welche Aussage zur Planungsmethode BIM trifft auf sie/ ihr Unternehmen zu?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- ☐ Ich kenne die genannte Planungsmethode nicht.
- ☐ Unser Unternehmen findet diese Methode ungeeignet.
- ☐ Unser Unternehmen möchte sich mit dieser Methode in Zukunft auseinandersetzen/ möchte diese Methode in Zukunft anwenden.
- ☐ Wir planen nur in bestimmten Teilbereichen des Projekts mit BIM.
- ☐ Wir planen nur damit, wenn es gefordert ist.
- ☐ Wir planen seit kurzem mit der Planungsmethose BIM (< 1Jahr).
- ☐ Wir planen seit längerer Zeit mit dieser Methode (> 1Jahr).

## Falls sie nicht mit Gebäudeinformationsmodellen arbeiten: Warum nutzen sie diese Planungsmethode nicht?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- ☐ BIM ist erst ab einer gewissen Büro-/Projektgröße rentabel. Die Kosten für Software und Schulungen sind uns zu hoch.
- ☐ Da wir keine Projekte mit komplexer Geometrie planen/ ausführen, benötigen wir keine Gebäudedatenmodelle.
- ☐ Der bauteilorientierte Ansatz schränkt die Gestaltungsfreiheit zu sehr ein. Wir scripten und nutzen Plug-ins für parametrisches Entwerfen.
- ☐ Für unsere Projekte sind bewährte Planungsmethoden ausreichend.
- ☐ Bisher hatten wir noch keine Zeit / keinen Grund, uns mit BIM zu befassen.
- ☐ Ein fehlertolerantes, selbstkorrigierendes System wäre sinnvoller.
- ☐ Anderer Grund:

## Sofern sie die Planungsmethode BIM einsetzen: Wieviel Prozent ihrer Projekte bearbeiten sie mit Gebäudeinformationsmodellen?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ weniger als 25%
- ○ 25%
- ○ 50%
- ○ 75%

○ 100%

## Welche modellorientierten Werkzeuge nutzen Sie?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

☐ Wir arbeiten mit Bauteilorientierten Dateninformationsmodellen (BIM)

☐ Wir arbeiten mit parametrischen, gescripteten Dateninformationsmodellen

## Wie intensiv nutzen sie oben genannte modellorientierte Werkzeuge in den folgenden Bereichen?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
|---|---|---|---|---|---|
| Entwurf (LP 1-5) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Modellierung/ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Simulation/ Optimierung | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Fertigungsplanung | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Vergabe (LP 6, LP 7) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Fertigung | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Logistik | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Rohbau/ Ausbau/ Montage | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Objektüberwachung, Objektbetreuung, Dokumentation (LP8, LP9) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Facility Management | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

## Wenn sie die Planungsmethode BIM (Gebäudeinformationsmodell) nutzen: Wie arbeitet Ihr Unternehmen mit Planungspartnern zusammen?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| An einem gemeinsamen digitalen Planungsmodell über Onlineserver. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| An mehreren digitalen Planungsmodellen in Form von Modulen und Hierarchien. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Jeder Planer arbeitet an einem eigenen Modell, Änderungen können jedoch über Import/ Exportfunktion schnell übernommen werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Jeder Planer arbeitet an einem eigenen Modell, Änderungen müssen manuell aktualisiert werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Planungspartner nutzen keine objektbasierte Planung. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Sonstige | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

## Bitte beschreiben Sie die oben nicht genannte Arte der Zusammenarbeit mit Ihren Planungspartnern.

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Selten' *oder* 'Eher selten' *oder* 'Eher häufig' *oder* 'Häufig' *oder* 'Immer' *oder* 'Nie' bei Frage '35 [B9neu]' (Wenn sie die Planungsmethode BIM (Gebäudeinformationsmodell) nutzen: Wie arbeitet Ihr Unternehmen mit Planungspartnern zusammen? (Sonstige))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Wie gleichen sie verschiedene Planungsinhalte und -stände mit Projektpartnern ab?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
|---|---|---|---|---|---|
| Abgleich von Papierplänen. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Anhand 2D-Dateien (z.b. dxf, dwg). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Anhand 3D-Dateien (z.B. 3dm). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Anhand digitaler Gebäudemodelle. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Es erfolgt eine Kollisionsprüfung der Gebäudemodelle mit einem Modelchecker. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Abgleich anhand eines Modelservers. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

In welchen Formaten tauschen Sie Ihre Planungsdaten mit den Projektbeteiligten aus?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| In Papierform (Pläne, Dokumente, Broschüren, etc.) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| PDF | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Office (Word, Excel, etc.) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| DWG/ dxf | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3dm oder andere 3D Daten | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| IFC | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Plt, step, iges, stl, etc. (Fertigung) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Sonstiges | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

Bitte nennen Sie das weitere Format, über die Sie Planungsdaten mit Projektbeteiligten austauschen:

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Eher häufig' *oder* 'Selten' *oder* 'Eher selten' *oder* 'Nie' *oder* 'Häufig' *oder* 'Immer' bei Frage '38 [B11]' (In welchen Formaten tauschen Sie Ihre Planungsdaten mit den Projektbeteiligten aus? (Sonstiges))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Zur Fertigung von Bauteilen: In welcher Form erhält Ihr Unternehmen Planungsdaten von Planungspartnern zur Ausführung oder Fertigung von Bauteilen?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Nie | Selten | Eher selten | Eher häufig | Häufig | Immer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wir verwenden die uns gestellten 3D-Planungsdaten nach kurzer Prüfung direkt weiter (direkter Import). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Wir nutzen die 2D/3D-Planungsdaten als Grundlage und bauen unser eigenes Modell. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Wir nutzen 2D-Daten. Unsere Fertigung ist nicht CNC gesteuert. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Im Leseformat der Fertigungsmaschine. Die Dateien müssen nicht mehr bearbeitet werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Die Planungsdaten müssen lediglich in ein für die Fertigungsmaschine kompatibles Format konvertiert werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Unsere Maschinen sind für heutige Datensätze zu alt. Wir müssen Fertigungsdaten in das maschineneigene Programm übertragen. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Planungsdaten müssen unter großem Programmieraufwand für die Fertigung vorbereitet werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| in Form von analogen Plänen/ Plänen in PDF – Format. Die Planungsdaten müssen digitalisiert (und programmiert) werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| in Form von analogen Plänen/ Plänen in PDF – Format. Diese Planungsdaten sind ausreichend und müssen nicht weiter bearbeitet werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Sonstiges | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

## Bitte beschreiben Sie, auf welche sonstige Weise Ihr Unternehmen Planungsdaten zur Fertigung von Bauteilen erhält.

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Immer' *oder* 'Häufig' *oder* 'Eher häufig' *oder* 'Eher selten' *oder* 'Selten' bei Frage '40 [B12]' (Zur Fertigung von Bauteilen: In welcher Form erhält Ihr Unternehmen Planungsdaten von Planungspartnern zur Ausführung oder Fertigung von Bauteilen? (Sonstiges))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

## Inwieweit erfüllt das Austauschformat IFC ihre inhaltlichen und formalen Anforderungen an den Austausch von Projektdaten?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ 0%
- ○ 25%
- ○ 50%
- ○ 75%
- ○ 100%

## Auf welche von Ihnen verwendete Version von IFC bezieht sich Ihre Aussage?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ IFC 1
- ○ IFC 2

- ○ IFC 3
- ○ IFC 4

## Wann schätzen Sie wird sich die Planungsmethode BIM flächendeckend durchgesetzt haben?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ Nie
- ○ Bis in 5 Jahren
- ○ Bis in 10 Jahren
- ○ Bis in 15 Jahren
- ○ Keine Angaben

## Welche Aussage in Bezug auf Bauteil-Bibliotheken trifft auf Ihr Unternehmen zu?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- ☐ Wir erstellen unsere eigene Bauteil-Bibliothek.
- ☐ Wir nutzen vorwiegend Bibliotheken der Hersteller / Zuliefererindustrie.
- ☐ Wir nutzen überwiegend Internetplattformen (BIMobject etc.)
- ☐ Sonstige: _____

## Inwieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen zur Arbeit mit digitalen Gebäudemodellen zu?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
|---|---|---|---|---|---|
| Projekte können effizienter geplant werden (Zeit- und Personalaufwand). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Projekte können kosteneffizienter abgewickelt werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Verbesserte Kostenkalkulation und Controlling-Möglichkeit. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Verbesserte Kommunikation zwischen allen Parteien im Planungs- und Bauprozess. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Gebäude lassen sich so materialeffizienter und somit ressourcenschonender realisieren. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Der Aufwand für die Erstellung des Gebäudeinformationsmodells wird dem Nutzwert gerecht, da Änderungen stets aktualisiert werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Die unternehmensinterne Wertschöpfung hat sich verbessert. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Mehrfacheingaben entfallen. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Größere Datengenauigkeit. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Die Projekte gewinnen insgesamt an Qualität, da es mehr Optimierungsmöglichkeiten gibt. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Größere Gestaltungsmöglichkeiten (Parametrische digitale Gebäudemodelle). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Die Modelldaten sind auch nach der Realisierung des Gebäudes hilfreich (z.B. zur Gebäudeautomation, Sicherheit, Wartung etc.). | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| BIM kann als Marketing-Instrument eingesetzt werden und dient als Wettbewerbsvorteil. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Es haben sich Synergieeffekte ergeben. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Sonstiges. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

Bitte beschreiben Sie kurz die Art der Synergieeffekte, die sich bei Ihnen durch die Nutzung von digitalen Gebäudemodellen bei Ihnen ergeben haben.

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war '75%' *oder* '50%' *oder* '25%' *oder* '100%' bei Frage '46 [B16a]' (Inwieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen zur Arbeit mit digitalen Gebäudemodellen zu? (Es haben sich Synergieeffekte ergeben.))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Welche sonstige Aspekte zu digitalen Gebäudemodellen sind für Sie relevant?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war '25%' *oder* '50%' *oder* '75%' *oder* '100%' bei Frage '46 [B16a]' (Inwieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen zur Arbeit mit digitalen Gebäudemodellen zu? (Sonstiges.))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Inwiefern treffen folgende Aussage auf Sie zu?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
|---|---|---|---|---|---|
| Die Auftragsvergabe pro Phase hemmt eine phasenübergreifende Wertschöpfung. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Urheber- und Nutzungsrechte bei der Weitergabe von digitalen Gebäudeinformationsmodellen sind unzureichend geklärt. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Der hohe Informationsgehalt des Gebäudemodells ermöglicht genauere Betrachtungen und Simulationen, wodurch kostenintensive Änderungen und Anpassungen vermieden werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Das Erstellen von Gebäudeinformationsmodellen /der erhöhte Aufwand zu Beginn der Planung muss in der HOAI (anders) berücksichtigt werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Die inhaltliche und formale Qualität, sowie die | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Übergabeart des Gebäudeinformationsmodells und Haftungsfragen müssen für eine sichere Vertragsgestaltung festgelegt werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Die Abgabe von digitalen Gebäudeinformationsmodellen sollte vom Gesetzgeber vorgeschrieben werden. | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

## Gibt es in Ihren Projekten Schnittstellenprobleme zwischen den an der Planung, Ausführung und Fertigung beteiligten Partnern?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ Ja, aufgrund unterschiedlicher Software und fehlender Austauschformate
- ○ Es gibt keine Schnittstellenprobleme
- ○ Die Planungssoftware enthält keine Schnittstelle für die Fertigung (mesh- vs. nurbs-basiert)
- ○ Sonstige

## Welche sonstigen Schnittstellenprobleme gibt es bei Ihnen zwischen den an der Planung, Ausführung und Fertigung beteiligten Partnern?

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Sonstige' bei Frage '50 [B18]' (Gibt es in Ihren Projekten Schnittstellenprobleme zwischen den an der Planung, Ausführung und Fertigung beteiligten Partnern?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

## Nutzt Ihr Unternehmen folgende digitale Werkzeuge für den Planungs- und Bauprozess?
## (z.B. zur Simulation oder dem SOLL-IST-Abgleich)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

| | Kenne ich nicht. | Hat für unser Unternehmen keinen Nutzen. | Nein, wir beschäftigen uns jedoch mit der Thematik. | Nein, wir möchten es aber in Zukunft nutzen. | Ja, wir haben es schon getestet. | Ja, wir verwenden es erfolgreich in unseren Projekten. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3D-Kamera/ Laserscanner (3D Echtzeit) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Augmented Reality (AR) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Virtual Reality (VR) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

# Rückmeldung

Auf Wunsch erhalten Sie eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Befragung.

Selbstverständlich trennen wir Ihre Angaben zu Name und E-Mail-Adresse von Ihren inhaltlichen Antworten.

Bitte senden Sie mir diese zu.

Alternativ können Sie uns auch eine Nachricht schreiben und wir senden Ihnen dann die Zusammenfassung zu.

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ Ja
- ○ Nein

Bitte geben Sie hier Kontaktangaben zur Übersendung der Ergebnisse diese Befragung ein.

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**
Antwort war 'Ja' bei Frage '53 [C1]' ( Auf Wunsch erhalten Sie eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Befragung. Selbstverständlich trennen wir Ihre Angaben zu Name und E-Mail-Adresse von Ihren inhaltlichen Antworten. Bitte senden Sie mir diese zu. Alternativ können Sie uns auch eine Nachricht schreiben und wir senden Ihnen dann die Zusammenfassung zu. )

Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

Name

E-Mail-Adresse

Vielen Dank für die Teilnahme an unserer Befragung!
12.12.2015 – 00:00

Übermittlung Ihres ausgefüllten Fragebogens:
Vielen Dank für die Beantwortung des Fragebogens.

# AP 2.1
# Prozessanalyse – Performance von Prozessen Entwicklung SOLL-Bauprozesse

# AP 2.1 Prozessanalyse

## Detailanalyse SOLL-Prozesse anhand Fallstudien

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse

## Detailanalyse SOLL-Prozesse anhand Fallstudien _ Kriterien

- Aufgabe
- Materialsystem
- Beschreibung  Planungsprozess und Fertigungsprozess. Prozessschritte:
  - Entwurf
  - Optimierung, Modellierung
  - Fertigungsplanung
  - Fertigung
  - Logistik
  - Montage/ Bauausführung
  - Nutzung/ Gebäudebetrieb

- Beschreibung der Auswirkungen auf das Projekt
  - Wie kann dadurch der Gesamtprozess im Unternehmen verbessert werden?
  - Potential/ zu verbessernde  Phasen/Aspekte
  - Wo liegen die  größten Potentiale im Transfer?


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse

## Auswirkungen auf das jeweilige Projekt _Indikatoren

- Möglichkeiten der freien Formbarkeit, die zur städtebaulichen Qualität beiträgt
- Zeitersparnis, da Komponenten von Beginn an integriert werden
- Zeitersparnis durch Vorfertigung
- Montagefreundlichkeit
- Schnelle Kostenbewertung und Kosteneffizienz
- Ressourceneffizienz (Materialverbrauch)
- Ökobilanz Nachhaltigkeit
- Energieeffizienz im Gebäudebetrieb

Möglichkeit Freiform

Präzision

Ressourcen-effizienz

Projektqualität/ Optimierungs-möglichkeit

Zeiteffizienz

Montage-freundlichkeit

Kosten-effizienz

Wartungs-freundlich

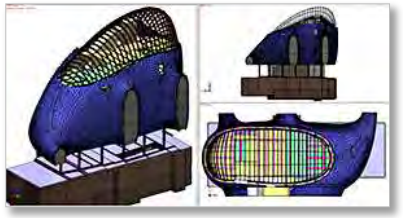

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse

## Detailanalyse SOLL-Prozesse anhand Fallstudien

Bildquellen: Seite 5

**Capricorn Gebäude (Düsseldorf)**
Gatermann + Schossig
Schüco, Trox, Heroal
**2006**



**Fondation Jérôme Seydoux-Pathé (Paris)**
Renzo Piano BW
Designtoproduction (DTP)
FRENER & REIFER GmbH
**2013**

**InterConti Davos**
Oikios
Designtoproduction
Seele
**2013**

**Haesley Nine Bridges Golf Resort (Süd-Korea)**
Shigeru Ban
Designtoproduction
**2010**

**Zentralbank (Kuwait)**
HOK International Ltd
Priedemann
**2014**

**Martin Luther Kirche (Hainburg)**
COOP Himmelb(l)au
Ostseestahl
Bollinger+Grohmann Schneider
**2011**

**Taichung Metropolitan Opera House (Taiwan)**
Toyo Ito
**2015**

**Forstpavilion (Schwäbisch Gmünd)**
Uni Stuttgart ICD/ ITKE
Kuka robotics
**2014**


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# Bild- und Textquellen

Capricorn Gebäude (Düsseldorf):
http://www.baunetzwissen.de/objektartikel/Haustechnik_Buerogebaeude-Capricorn-in-Duesseldorf_71636.html

Fondation Jérôme Seydoux-Pathé (Paris):
Graitec: http://www.graitec.com/En/news.asp?NewsID=690

Hotel InterConti Davos:
http://www.e-architect.co.uk/switzerland/intercontinental-davos-hotel

Nine Bridges Golf Club/ Yeoju, Südkorea, 2008: Blumer Lehmann

Zentralbank Kuwait:
http://www.hok.com/design/type/government/central-bank-of-kuwait/

Martin Luther Kirche Hainburg: Duccio Mallagamba

Taichung Metropolitan Opera Taiwan (Toyo Ito):
http://www.designboom.com/architecture/toyo-ito-taichung-metropolitan-opera-house-taiwan-21-08-2014/

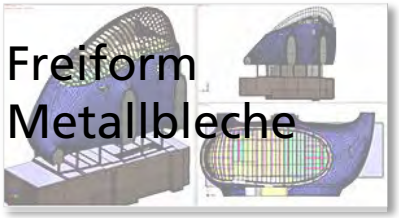
Forstpavillion Schwäbisch Gmünd: http://www.kuka-robotics.com/germany/de/pressevents/news/NN_140703_Holzpavillon.htm


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse

## Detailanalyse SOLL-Prozesse anhand Fallstudien

**Capricorn Gebäude (Düsseldorf)**
Gatermann + Schossig
Schüco, Trox, Heroal
**2006**




**Fondation Jérôme Seydoux-Pathé (Paris)**
Renzo Piano BW
Designtoproduction (DTP)
FRENER & REIFER GmbH
**2013**

**InterConti Davos**
Oikios
Designtoproduction
Seele
**2013**

**Haesley Nine Bridges Golf Resort (Süd-Korea)**
Shigeru Ban
Designtoproduction
**2010**

**Zentralbank (Kuwait)**
HOK International Ltd
Priedemann
**2014**

**Martin Luther Kirche (Hainburg)**
COOP Himmelb(l)au
Ostseestahl
Bollinger+Grohmann Schneider
**2011**

**Taichung Metropolitan Opera House (Taiwan)**
Toyo Ito
**2015**

**Forstpavilion (Schwäbisch Gmünd)**
Uni Stuttgart ICD/ ITKE
Kuka robotics
**2014**

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FuCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Einordnung der Beispiele nach Geometrie und Materialsysteme

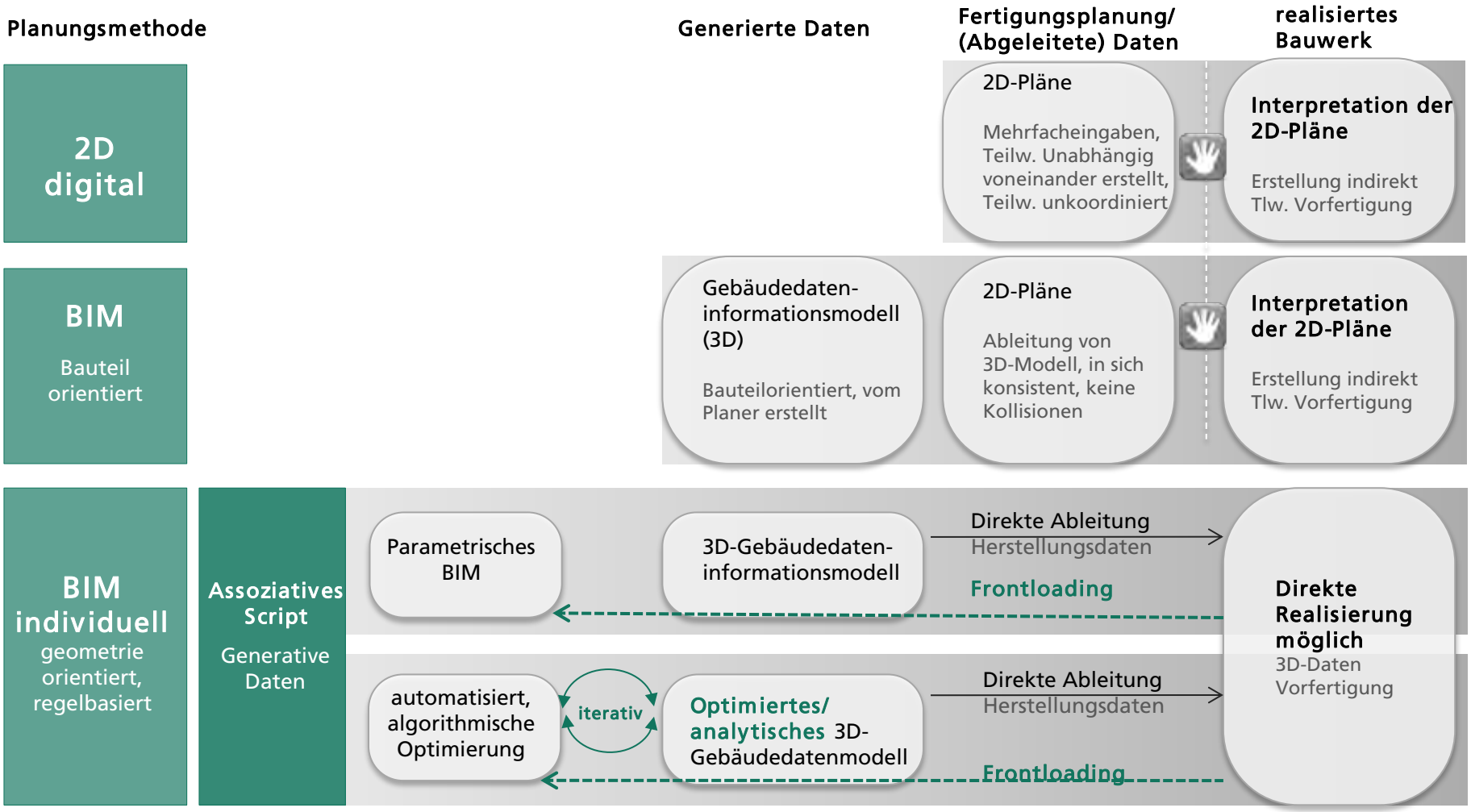
| | Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |
| Metall | | | | | | | | |
| Glas | | | | | | | | |
| Stahlbeton | | | | | | | | |
| Holz | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Bildquellen: Seite 5


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# FUCON 4.0 – Industrie 4.0 _Vergleich Planungsmethoden

## Planungsmethoden und die daraus resultierenden Fertigungsmöglichkeiten




© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Übersicht Planungsmethoden

## Übersicht Planungsmethoden und Auswirkung auf die Realisierung

| | Datengenerierung | Generierte Daten | Fertigungsplanung/ (Abgeleitete) Daten | realisiertes Bauwerk |
|---|---|---|---|---|
| **2D digital** | | | 2D-Pläne<br>Mehrfacheingaben, Teilw. Unabhängig voneinander erstellt, Teilw. unkoordiniert | Interpretation der 2D-Pläne<br>Erstellung indirekt Tlw. Vorfertigung |
| **BIM**<br>Bauteil orientiertes Gebäude-datenmodell | | | | |
| **BIM parametrisch**<br>Geometrie basiert | | | | |
| **Digitale Planung**<br>Algorithmisch optimiert Gebäudedaten | | | | Direkte Realisierung möglich<br>3D-Daten Vorfertigung |

Bildquellen: Seite 5


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Einordnung der Beispiele nach Geometrie und Materialsysteme

| | Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |
| Metall | |  | | | |  |  | |
| Glas | | | | | | |  | |
| Stahlbeton | | | | | | |  | |
| Holz | | | | |  | | |  |
| | | | | | | | | |

Bildquellen: Seite 5



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Capricorn Haus, Düsseldorf

**Aufgabe**

- Multifunktionsfassade für Schallemissionsbelastete Lage
- Serienfertigung

**Frontloading**

- Frühzeitige Interaktion mit Fachplanern ermöglichte i-Modul-Fassade

| Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage | Nutzung/ Betrieb |
|---|---|---|---|---|---|---|
| • Ziel schlanke Bautiefe | • Gesamtstruktur wurde als digitales Gebäudemodell systematisiert und programmiert<br>• Lebenszykluskosten der Nutzungsphase (70%) wurden bereits in der Planung und Optimierung berücksichtigt. | • Redundante Elemente wurden zusammengefasst zu wenigen unterschiedlichen Modulen zusammengefasst<br>• Aus dem digitalen Gebäudemodell wurden exakte Daten für die Konstruktion, Haustechnik für den Rohbau und andere Technikkomponenten, den Ausbau sowie die Fassade abgeleitet. | • Vorfertigung der i-Modul-Fassade im Werk | • Elemente 2,70 x 3,45m wurden mit dem Kran abgelassen | • Präzisions-genaue und schnelle Montage | • 3D Daten-Modell dient dem Monitoring und vollautomatischem Gebäudebetrieb<br>• Wartung (Informationen zu Bauteilen / Seriennummern)<br>• intelligentes Bus-System mit Regelstrategien<br>• für geringe Betriebskosten |

Bildquelle:
http://www.baunetzwissen.de/objektartikel/Haustechnik_Buerogebaeude-Capricorn-in-Duesseldorf_71636.html

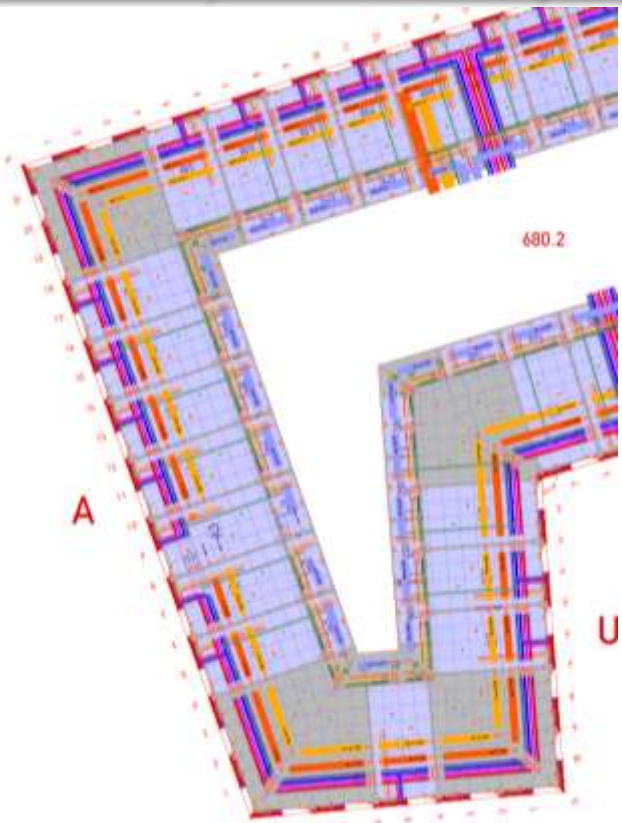

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

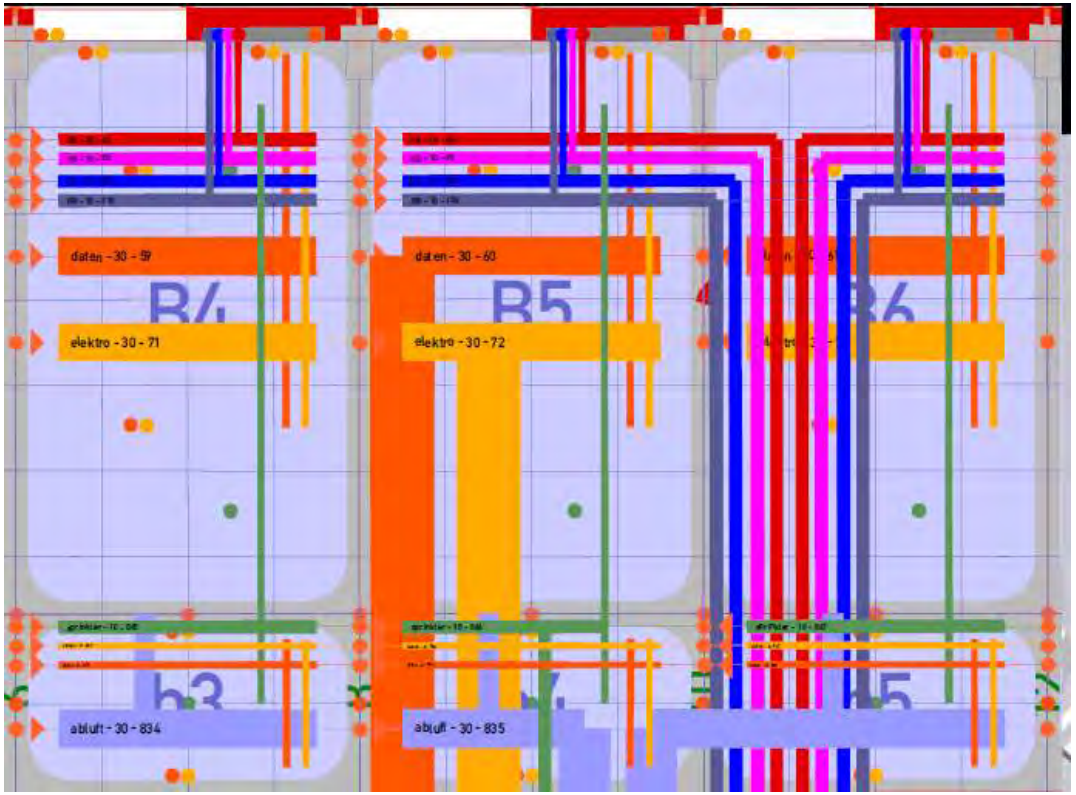
## Beispielhafte Projekte_ Capricorn Haus, Düsseldorf

http://www.digitales-bauen.de/pdf/100714_capricorn.pdf

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage




- Die Gesamtstruktur des Gebäudes wurde als digitales Modell erstellt




- Ausschnitt des programmierten Integrationsplans

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FuCON ZUKUNFT BAU

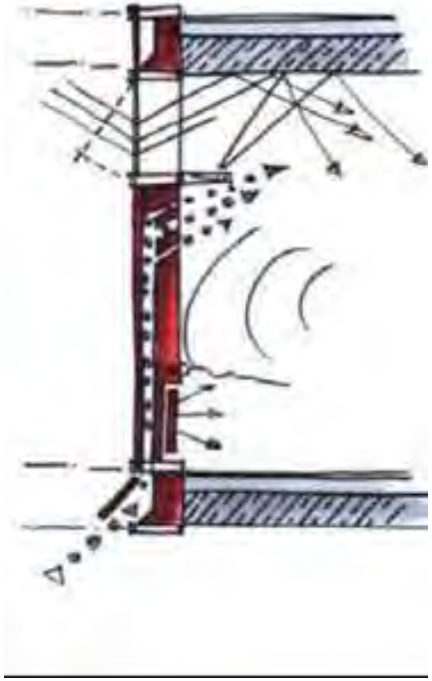
Fraunhofer IAO

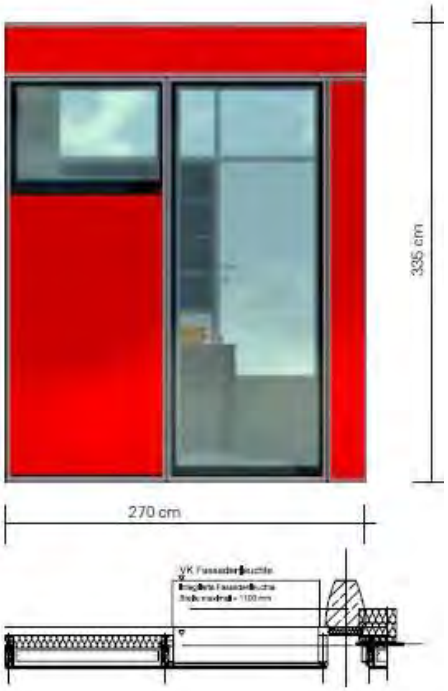
© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Capricorn Haus, Düsseldorf

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage






- Funktionen des i-Modul

- Dezentrales Lüftungsgerät

Bildquellen:
http://www.dbzplusbaucolleg.de/uploads/tx_ttproducts/datasheet/BauWerk_02.pdf

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Auswirkungen_ Capricorn Haus, Düsseldorf

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Analyse | Metall | Standard-Geometrie | | | |
| | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| Auswirkungen | Glas | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |

- Multifunktionsfassade mit geringer Bautiefe durch Vakuumisolation und aufeinander abgestimmten Technik-Komponenten (Frontloading)
- Die Integration notwendiger Technik in die Fassade ermöglicht eine flexible Umnutzung durch freie Grundrisse (dezentral Heizen, kühlen, Lüften, Wärmerückgewinnung, Luft filtern, Beleuchtung)
- hohe Wirtschaftlichkeit durch Serienfertigung
- hohe Präzision, schnelle Montage
- DGNB Gold, Einsparungen im Primärenergiebedarf von 26% unter der erforderlichen Energieeinsparverordnung (Low Energy-Gebäude)
- Ein Bürogebäude ist im Jahr das sind 8760h nur zu 25% belegt. Während der der restlichen Zeit ist die Gebäudeautomation/ Gebäudesteuerung sinnvoll. Dafür wird das Gebäudeinformationsmodell benötigt.
- einfache Wartung, da Daten des digitalen Modells verwendet werden können.

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Potential_ Capricorn Haus, Düsseldorf

**Potential**

Das Beispiel zeigt, dass durch Vorverlagerung von Experteninformationen (Frontloading) und frühzeitige Zusammenarbeit aller am Bauprozess Beteiligten folgendes erreicht werden kann:

- Die finanzielle und technische Machbarkeit kann bereits in der Planungsphase überprüft werden.
- Kollisionen und Wiederholungsschleifen können vermieden werden (Planungseffizienz).
- In einer integrierten Planung können notwendige Technik, Brandschutzregularien, Fertigungsspezifikationen etc. frühzeitig berücksichtigt und aufeinander abgestimmt werden.
- Optimierte Multifunktionsbauteile mit aufeinander abgestimmten Komponenten.
- Die Fertigung und der Montageablauf kann frühzeitig durchdacht und ggfls. korrigiert/ optimiert werden.
- Gebäudeinformationsmodelle können auch für die Steuerung und Wartung des Gebäudes genutzt werden.

**Transfer?**

Das Frontloading ist unabhängig von der Gebäudegeometrie und Bauart für alle Bauprojekte sinnvoll.

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# Bild- und Textquellen


http://www.dbzplusbaucolleg.de/uploads/tx_ttproducts/datasheet/BauWerk_02.pdf

http://www.thiele-glas.de/uploads/tx_tgproducts/Referenz_Capricorn_WEB.pdf

http://www.digitales-bauen.de/pdf/100714_capricorn.pdf

http://www.dbzplusbaucolleg.de/uploads/tx_ttproducts/datasheet/BauWerk_02.pdf





© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Einordnung der Beispiele nach Geometrie und Materialsysteme

| | Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |
| Metall |  | | | | |  |  | |
| Glas | | | | | | |  | |
| Stahlbeton | | | | | | |  | |
| Holz | | | | |  | | |  |
| | | | | | | | | |



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Zentralbank Kuwait City

© Priedemann Fassadenberatung

**Aufgabe**

Werk- und Montageplanung Elementfassade 35.000m²

- Verkleidungselemente müssen aufgrund hoher Rohbautoleranzen nachträglich an neues Aufmaß angepasst werden (Elementfassade)
- Stahltragwerk durchdringt Fassade

digitale Kette

**Frontloading** Fand nicht statt

| Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage |
|---|---|---|---|---|---|

- Digitalisierung erst ab Werkplanung der Fassade
- Digitales, parametrisches Modell der Elementfassade auf Basis eines Drahtgitter-modells, 2D Shop-drawings (Übergabe Architekten) und Aufmaß Rohbau
- Verkleidungselemente müssen nachträglich mit Hilfe eines parametrischen Modells (Script ) an das neue Aufmaß angepasst werden.

- Schnittstellenprobleme zwischen Planungs- und Maschinensoftware (daher Ausgabe in 2D (DWG , PDF)
- Daten können nicht an Fertigungsmaschine geschickt werden
- Skripte für das Extrahieren der 2D-Fertigungsdateien
- CNC-Zuschnitt Profile: 20.000 2D-Pläne (dwg) wurden aus 3D-Fassadenmodell abgeleitet und händisch in die Fertigungsmaschine eingegeben (halbautomatisiert)
- Stücklisten für die Fertigung

Priedemann Fassadenberatung
http://www.fassadenberatung.de/


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

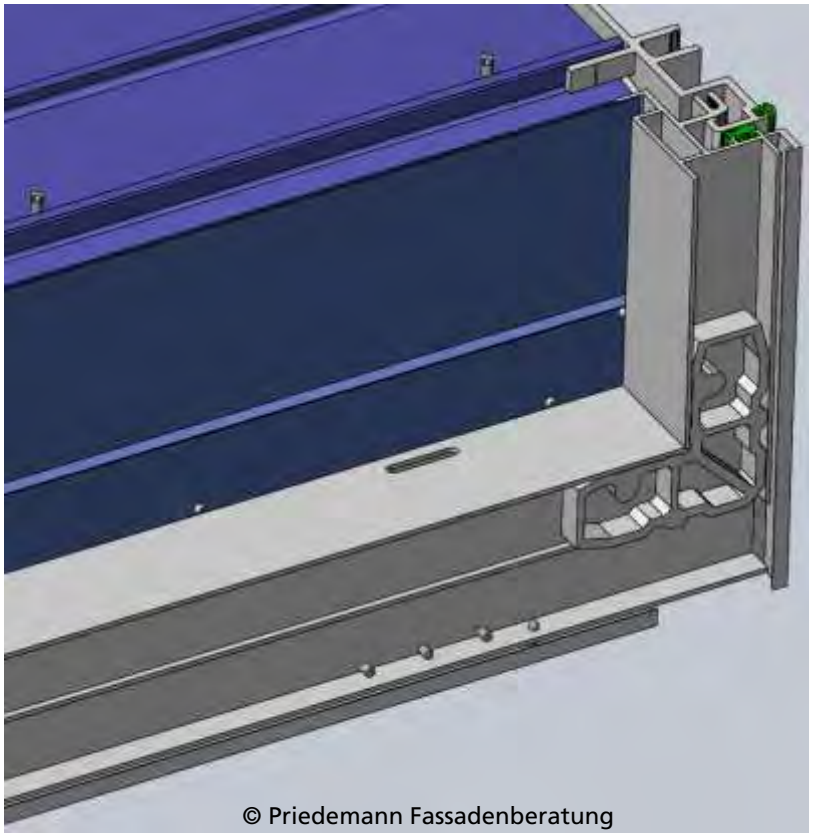
# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Zentralbank Kuwait City

Geschlossene digitale Kette

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Fassadendetail



© Priedemann Fassadenberatung

© Priedemann Fassadenberatung



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## AUswirkungen_ Zentralbank Kuwait City

**Analyse**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Metall | Standard-Geometrie | | | |
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| Glas | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |

**Auswirkungen**

- Schnittstellenprobleme zwischen Planungs- und Maschinensoftware.
  Maschinensoftware konnte digitale Daten nicht verarbeiten. Dadurch mussten 20.000 Pfade für die digitale Fertigung von Hand in die Fertigungsmaschine eingegeben werden.

- Bei früherer Integration des Fassadenplaners hätte Varianz an Durchdringungspunkten reduziert werden können, das Design hätte optimiert werden können.

- Weiterhin wäre eine bessere Toleranzaufnahme und die Anpassung der Maschinensoftware für die digitale Datenübergabe möglich gewesen

- Wiederverwendbarkeit der geleisteten Arbeit
  Ähnliche Prozesse konnten aufgrund der geschriebenen Makros ebenso schneller bearbeitet werden.

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Potential_ Zentralbank Kuwait City

**Potential**

- Werden Fachplaner frühzeitig involviert, so hätte man die Maschinensoftware für die digitale Datenübergabe anpassen können.
  **→Zeitersparnis**

- Ein parametrisiertes Gebäudemodell ist insbesondere dann sinnvoll, wenn große Bautoleranzen (oftmals bei Bauprojekten außerhalb Europas) vorliegen.
  Die passgenaue Fertigung von Gebäudeteilen nach dem Soll-IST-Abgleich des Rohbaus ist dann zeitnah möglich. (Automatisierte Anpassung)
  **→ Präzision**

- Das Vorliegen eines parametrisierten digitalen Gebäudemodells ermöglicht das Durchlaufen mehrerer Optimierungsschleifen (z.B. minimaler Materialverbrauch, Minimierung der Varianz an Durchdringungen, etc.) wodurch Bauprojekte insgesamt an Qualität und Effizienz gewinnen.

**Transfer?**

Parametrisierte Gebäudemodelle ermöglichen unabhängig von der Gebäudegeometrie und Bauart die Berücksichtigung vielfältiger Anforderungen und erlauben aufgrund der regelbasierten Vorgehensweise die stetige Präzisierung, Simulation und Optimierung im Bauprozess. Das Datenmodells kann problemlos aktualisiert werden (z.B. bei Änderungen (z.B. durch Toleranzen) und Fertigungsdaten abgeleitet werden.

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

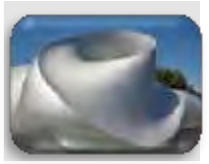
# Bild- und Textquellen

- Paul R. Denz / Facade-lab GmbH; Priedemann Fassadenberatung
  persönliche Mitteilung an Carmen Köhler-Hammer über E-Mail, 03.02.2015


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Einordnung der Beispiele nach Geometrie und Materialsysteme

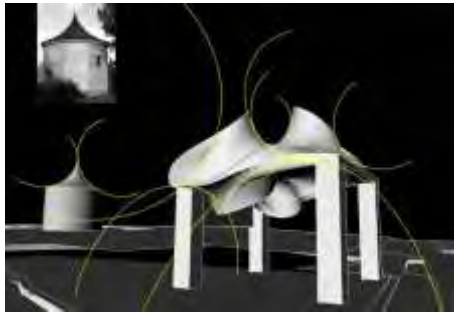
| | Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |
| Metall | |  | | | |  |  | |
| Glas | | | | | | |  | |
| Stahlbeton | | | | | | |  | |
| Holz | | | | |  | | |  |
| | | | | | | | | |



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.



**Aufgabe**

- Freigeformtes Dach aus Stahl

digitale Kette

**Frontloading** Materialeigenschaften (Verhalten verformter Stahlbleche wie z.B. innere Spannungen etc.) fließen bereits in die Optimierung des Entwurfs ein.

**Entwurf**

- Architekt gab die Form/ Geometrie des Daches vor
- Oberfläche als NURBS-Fläche
- Form leitet sich von einem benachbarten romanischen Karner ab.
- Die Geometrie wurde mit Rhino in eine zeitgemäße Form übertragen.

**Modeling / Optimierung**

- Weiterbearbeitung der NURBS-Fläche mit Nupas Cadmatic (von Ostseestahl entwickelte Software) 3D-Geometriemodell
- Programm verbindet die errechneten Freiflächen mit einer Datenbank, berücksichtigt Materialeigenschaften wie Blechstärke und Festigkeit und ermittelt damit die Reck-Werte für den Zuschnitt in den Blechen (FEM-Analyse)
- Gibt im Hinblick auf Geometrie ideale Plattengrößen an (innere Spannungen, Wirtschaftlichkeit)
- Überprüfung Statik Bollinger Grohmann mittels Karamba
- Austausch über STEP-, IGES- oder DXF-Daten

**Fertigungs-planung**

Aus 3D-Geometrie-Modell:

- exakte Abwicklung der Freiformfläche in eine ebene Kontur für den Brennzuschnitt.
- Produktionsdaten können direkt auf die Autogen-, Plasma-, Brennschneid-, Umform- und Schweißmaschinen übertragen werden.

**Fabrikation/ Fertigung**

- Die der Software zugrunde liegenden Algorithmen sind so genau, dass bereits während des Brenn-vorganges die Schweißnaht-vorbereitung für den späteren Zusammenbau angebracht wird und die Platte nach der Verformung exakt passt.
- Umformung erfolgt halbautomatisch
- Toleranzabweichung wird mit Hilfe eines 3D-Lasertrackers ermittelt.
- Programm liefert Schablonen für Überprüfung der Krümmungsradien

**Logistik/ Transport**

- Auf Tiefladern wurden die 3 Dach-segmente 1000km weit transportiert
- Abladen auf Spezial-paletten auf den Kirchhof

**Einbau/ Montage**

- Bauzeit 10 Tage
- Die 3 Einzelelemente des Dachs wurden auf dem Kirchhof zusammengeschweißt und dann mit dem Kran auf den Stahlträger-Tisch gehoben.
- Anbringen der Schilfrohrmatten als Putzuntergrund und Auftragen Innenputz erfolgt händisch

Bildquellen: Coop Himmelb(l)au/ AT
http://www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/martin-luther-church

Fraunhofer IAO

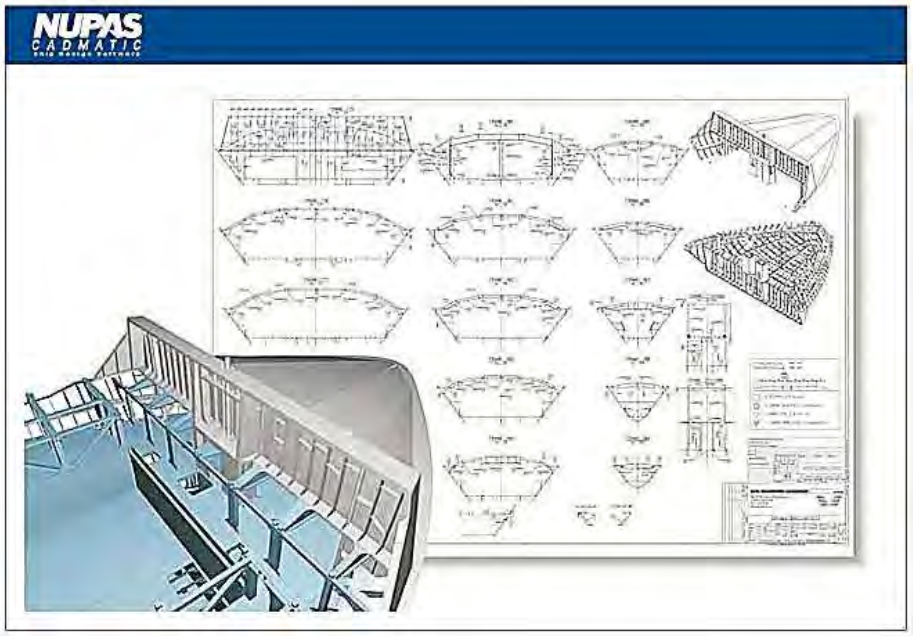
© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

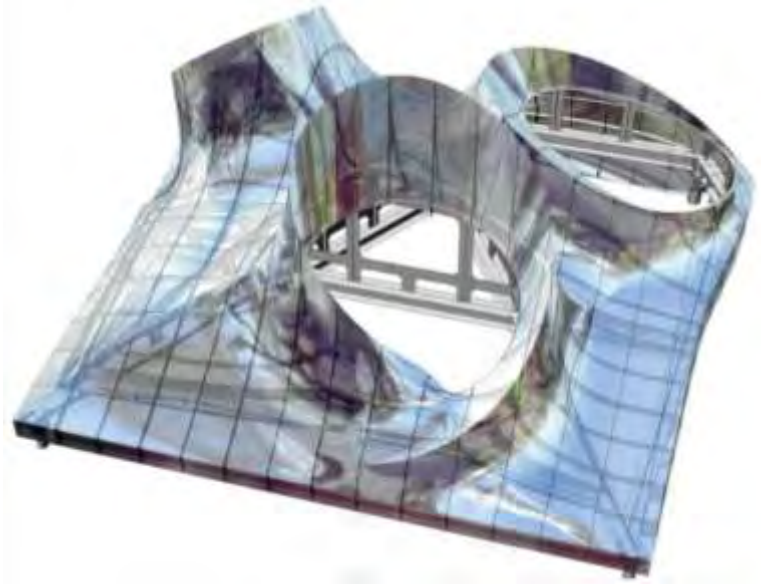
## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

digitale Kette

- Simulationen und FEM-Berechnung, Abwicklung etc. erfolgt durch Ostseestahl




© nupas cadmatic



© Bollinger Grohmann


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

digitale Kette

- Die Produktionsdaten können automatisch vom 3D Modell generiert und dann direkt auf die Autogen- und Plasma-Brennschneidmaschinen, Umform- und Schweißmaschinen übertragen werden

Signieren

Brennschneiden

Bildrechte © Ostseestahl

Bildrechte © Ostseestahl



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

- Umformen
  mehrdimensionale Kaltverformung der Bleche an halb-automatischen Pressen mit und ohne Gesenk.
- Kaltverformung von Blechen wurden mit halbautomatischen, hydraulischen 500 t-Pressen kaltverformt, wobei sich durch Verschieben der Werkstücke unter der Presse, Variation der Presskraft und mithilfe verschiedener Pressstempel unterschiedlichste Formen erzielen lassen. Fertigungsprozess ist überwiegend manuell, handwerkliche Fähigkeiten und Erfahrung sind notwendig
- Da bei dieser Technologie keine teuren Gesenke, also Negativformen, wie in der Automobilindustrie verwendet werden, lassen sich Einzelstücke und Kleinserien sehr wirtschaftlich herstellen

Bildrechte © Ostseestahl

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | **Fabrikation/ Fertigung** | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

© Ostseestahl

- Das Spantenraster fungiert als Druckgurt, angeschweißte Profilträger als Zuggurt

© Formstahl

- Soll-Ist-Abgleich mittels 3D-Lasertracker
- Programm liefert Schablonen für Überprüfung der Krümmungsradien

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FuCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | **Fabrikation/ Fertigung** | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Aus kaltverformten Stahlblechen wird die Dachform (Haut) modelliert
- Die Haut wird mit der Unterkonstruktion verschweißt und bildet die tragende Schale

© Ostseestahl

© Ostseestahl


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Anlieferung des Daches in 4 Teilen
- Fügen der Teile (Schweißen) auf dem Kirchhof

© Bollinger + Grohmann Schneider

© Bollinger + Grohmann Schneider

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

digitale Kette

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Das Stahldach wird mithilfe eines Krans auf die 4 Stahlträger gehoben
- Schilfrohrmatten werden händisch als Putzuntergrund an die Unterkonstruktion angebracht.

© Bollinger + Grohmann Schneider

© Bollinger + Grohmann Schneider


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

digitale Kette

- Auftragen des Innenputzes erfolgt händisch durch Fachkräfte für historischen Stuck. Diese Arbeit erfordert Erfahrung.

© Studio 5555

© Studio 5555


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

© Duccio Mallagamba

© Duccio Mallagamba

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

**Analyse**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Metall | Freiform | | | |
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |

**Auswirkungen**

- **Kurze Planungs- und Bauzeit:**
  Durch Verwendung von Software, die im Schiffsbau üblich ist (3D-Geometriemodelle) konnten alle relevanten Informationen für die Simulation, Optimierung und Fertigung abgeleitet werden.
- **Keine Schnittstellenprobleme** da 3D-Modellierung, Optimierung, Simulationen (FEM-Analysen etc.) und die Fertigung aus einer Hand. Intern und im Austausch mit Bollinger Grohmann werden nur Geometriedaten verwendet und keine Bauteildaten.
- **Materialersparnis (Kostenersparnis)**
  durch geringere Sicherheitsmargen aufgrund genauerer Vorhersage des Verhaltens von Bauteile mit Eigenspannung (Formteile)
  (Dr. Kühmstedt, Ostseestahl)
- **Kostengünstige Fertigung,** da bei dieser Technologie (Kaltverformung von mit halbautomatischen, hydraulischen Pressen) keine teuren Negativformen notwendig sind, wie sie in der Automobilindustrie verwendet werden. Dadurch lassen sich Einzelstücke und Kleinserien sehr wirtschaftlich herstellen
- Stahlbaupreis 2012

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Potential_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

Potential

- **Freigeformte Metallfassaden oder Metallflächentragwerke können von Werften/Werftzulieferern kostengünstiger produziert werden,**
  da die Simulations- und Berechnungstools im Schiffsbau für verformte Stahlblechen ausgelegt sind. Beispielsweise können so Eigenspannungen verformter Stahlteile zuverlässiger berechnet werden, wodurch geringere Sicherheitsmargen notwendig sind und Material und somit auch Kosten gespart werden können. Baustatikprogramme versagen aufgrund der Komplexität bzw. gehen von zu hohen Sicherheitswerten aus, da Bauingenieure mit spannungsfreie Bauteile benötigen.

  Da für die Umformung keine teuren Formwerkzeuge (Negativwerkzeuge) benötigt werden, ist die Realisierung mannigfach unterschiedliche Bauteilen, wie sie bei der Umsetzung von Freiformflächen anfallen, kein Problem.

Transfer?

Gilt für Freigeformte Metallfassaden oder Metallflächentragwerke

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Martin Luther Kirche Hainburg/ A.

Ähnliche Projekte — Metallfassade Ostseestahl

- **Porsche Pavillion, Stuttgart (Henn Architekten)**
  Hier war noch ein Baustatiker dazwischen geschaltet.

  Im Schiffsbau, bzw. bei Planungen für Offshoreanlagen geht man davon aus, dass verformte Stahlteile Eigenspannungen aufweisen und man kann das Verhalten verformter Stahlteile kalkulieren.

  Die Vorgaben der Statiker / Normen sagen jedoch aus, dass spannungsfreie Teile eingebaut werden müssen. Die Berechnungs- und Simulationstools der Baustatiker versagen hierbei.

  Die Folge: Es wurde ein vierfacher Sicherheitsfaktor gewählt. Die Berechnungen von Ostseestahl
  haben gezeigt, dass statt 10mm auch 8mm dicker Stahl gereicht hätte.

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# Bild- und Textquellen


http://www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/martin-luther-church

http://www.dbz.de/artikel/dbz_Schumi_Rhino_und_Co._Ein_Kirchendach_als_selbsttragende_Karosserie_1267250.html

http://www.studio5555.de/martin-luther-kirche-hainburg-von-coop-himmelblau/

http://www.schmidhuber.de/sites/default/files/field/file/2012-04_detail.pdf

http://www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/martin-luther-church

http://www.formstaal.de/index.php/geschaeftsfelder/architektur-main

http://www.ostseestaal.de/index.php/fertigung/konstruktion-design

http://www.bauforumstahl.de/upload/publications/B311_Stahlbaupreis_2012.pdf seite 33

www.bollinger-grohmann.com/de.projekte.neubau-martin-luther-kirche.html?f=2011





© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Einordnung der Beispiele nach Geometrie und Materialsysteme

| | Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |
| Metall | | | | | | | | |
| Glas | | | | | | | | |
| Stahlbeton | | | | | | | | |
| Holz | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

**Aufgabe**

- Tragende Leichtbau-Holzschalenkonstruktion
- Hinterschnitte fräsen (Zinkenverbindungen)

© ICD/ITKE/IIGS University of Stuttgart

© Roland Halbe

digitale Kette

**Frontloading** • Plattengeometrie, Materialeigenschaften, Parameter der Fertigungsmaschine werden bereits im Entwurf berücksichtigt

| Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage | Nutzung/ Betrieb |
|---|---|---|---|---|---|---|
| • Automatisierte Formfindungs-algorithmen<br>• Berücksichtigung der Material-eigenschaften (Buchefurnier) + Fertigungs-parameter wurden in den Entwurfsprozess integriert | • Formfindung und Tragwerksplanung sind eng verzahnt.<br>• Durch optimierten Datenaustausch ist es möglich, die komplexe Geometrie wiederholt in ein FE-Programm einzulesen, mechanisch zu analysieren und zu modifizieren. | • Maschinensteuerungs-codes (NC-Code) für die Maschinenan-steuerung wurde auf Grundlage des Geometriemodells automatisiert<br>• SOLL-/IST-Ableich: mehrfache Vermessung des Bauwerks mittels Lasertracker, 3D-Laserscanner | • Ermöglicht ökonomische Fertigung 850 unterschiedlicher Bauteile, 100.000 unterschiedlicher Zinken<br>• Größere Freiheitsgrade durch Industrieroboter (7-achs, Hinterschnitte)<br>• Roboter schneiden die Holzplatten, wasserführende Schicht und Dämmung | • Textdaten können ausgelesen werden | • Markierung zeigt Lage der Elemente und benachbarte Teile<br>• Positionsplan der Dämmung<br>• Montage/ Aufbau innerhalb 3 Wochen durch hohen Vorfertigungsrad<br>• Hohe Präzision: Abweichung der Bauteile: 0,86mm | • Analyse des Langzeit-verhaltens mittels Laserscanner möglich |

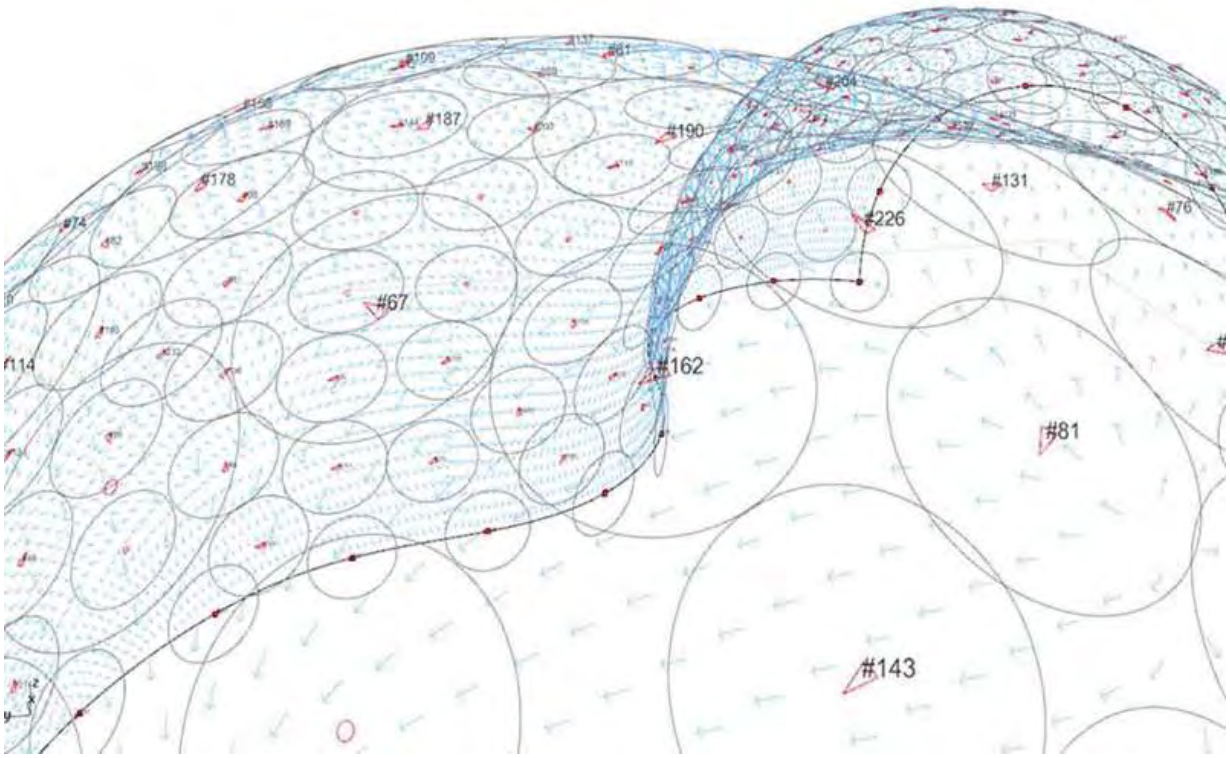

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Die Platten wurden nicht einzeln gezeichnet oder modelliert.
- Sie finden in einem digitalen Simulations- und Optimierungsprozess ihre Lage, Größe und Form, in Übereinstimmung mit den Möglichkeiten der robotischen Fertigung, von selbst.




Bildrechte © ICD/ITKE/IIGS Universität Stuttgart


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

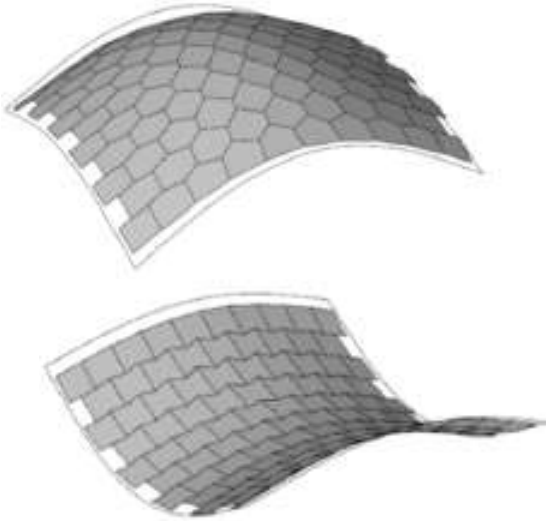
# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

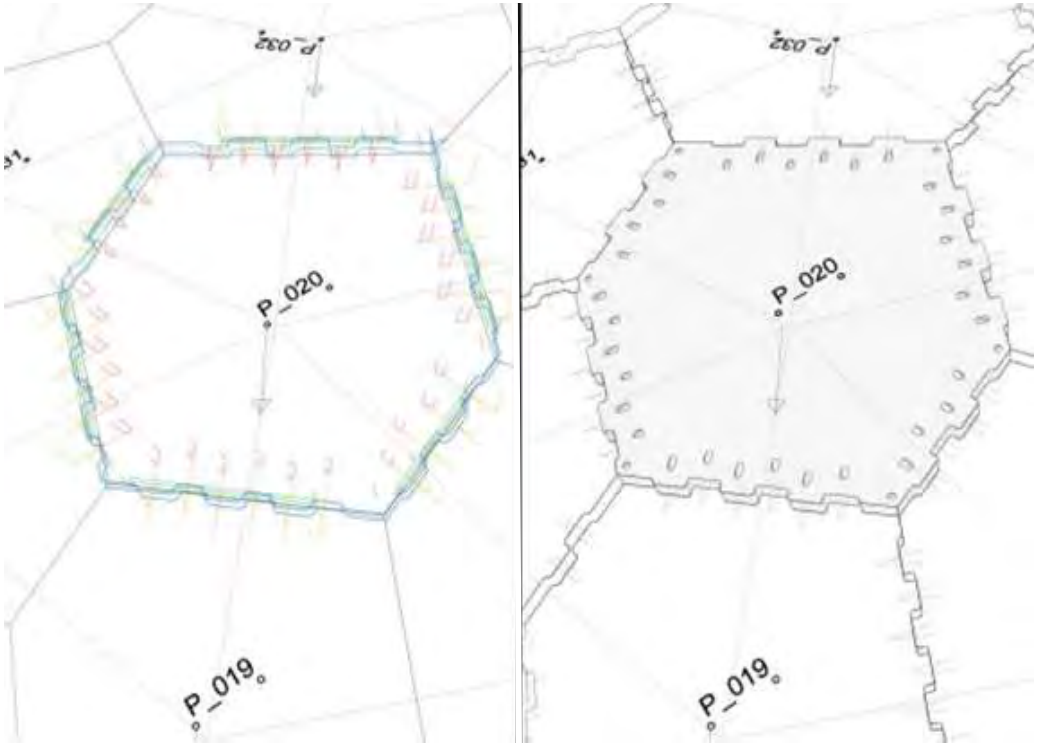
Geschlossene digitale Kette

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Plattenmorphologie positive u. negative Gaußsche Krümmung



- Werkzeugpfade




FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU
© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart
FuCON ZUKUNFT BAU
Bildrechte © ICD/ITKE/IIGS Universität Stuttgart
Fraunhofer IAO

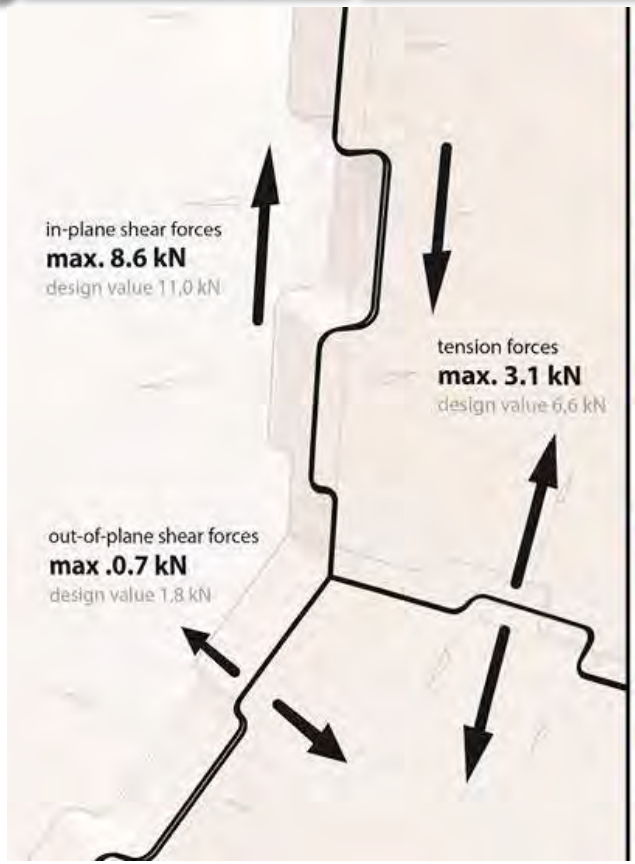
# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

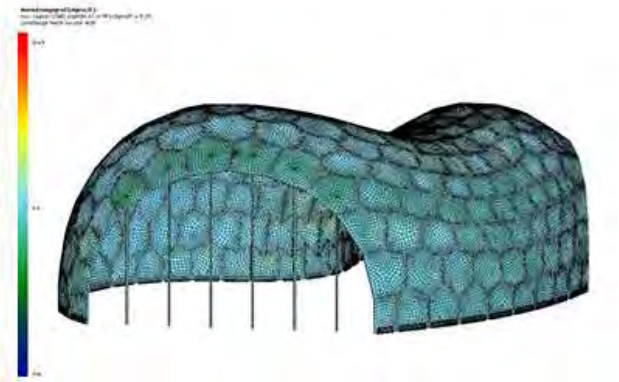
## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

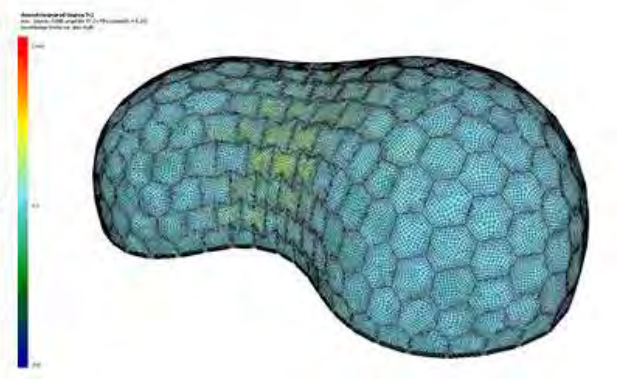
Geschlossene digitale Kette

Entwurf | **Modeling / Optimierung** | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Formfindung und Tragwerksplanung sind eng verzahnt





Bildrechte © ICD/ITKE/IIGS Universität Stuttgart

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

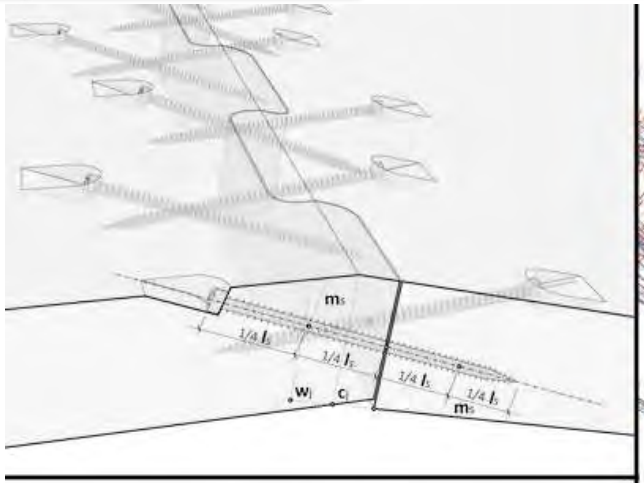
# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

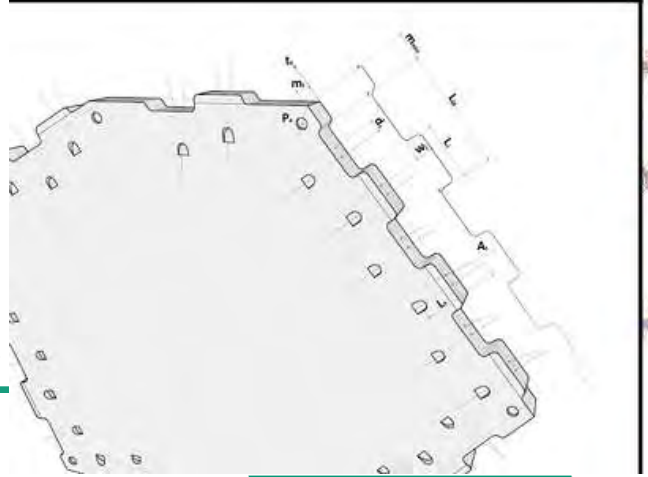
## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

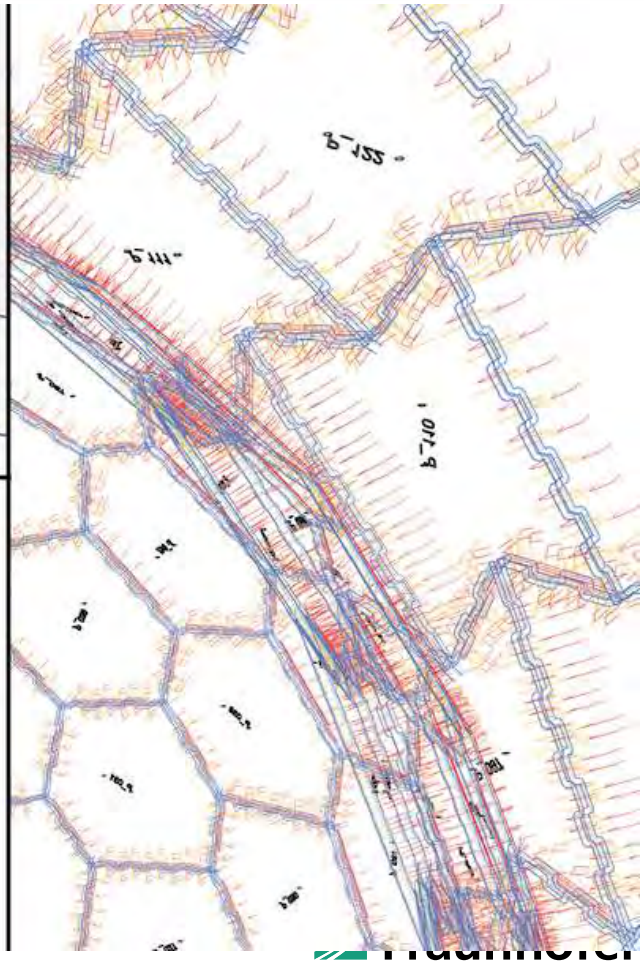
Geschlossene digitale Kette

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Plattenparameter und Werkzeugpfade







Bildrechte © ICD/ITKE/IIGS Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

Geschlossene digitale Kette

- Robotische Fertigung
  - Holzplatten
  - Verbindungen/ Zinken
  - wasserführende Schicht
  - Dämmung

- Präzise Fertigung

- Präzise und schnelle Montage

© ICD/ITKE/IIGS University of Stuttgart

© ICD/ITKE/IIGS University of Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

Geschlossene digitale Kette

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | **Fabrikation/ Fertigung** | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Robotische Fertigung
  - Holzplatten
  - Verbindungen/ Zinken
  - wasserführende Schicht
  - Dämmung

- Präzise Fertigung

- Präzise und schnelle Montage

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

Bildrechte © ICD/ITKE/IIGS Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | **Fabrikation/ Fertigung** | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Robotische Fertigung
  - Bohrlöcher

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | **Logistik/ Transport** | Einbau/ Montage

- Textinformationen können ausgelesen werden:
  Lage der Elemente und benachbarte Teile
- Positionsplan der Dämmung etc.

Bildrechte © ICD/ITKE/IIGS Universität Stuttgart



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | **Einbau/ Montage**

- Robotische Fertigung
  - Holzplatten
  - Verbindungen/ Zinken
  - wasserführende Schicht
  - Dämmung

- Präzise Fertigung

- Präzise und schnelle Montage

© ICD/ITKE/IIGS University of Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | **Einbau/ Montage**

- Präzise und schnelle Montage

© ICD/ITKE/IIGS University of Stuttgart

Bildrechte © ICD/ITKE/IIGS Universität Stuttgart


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

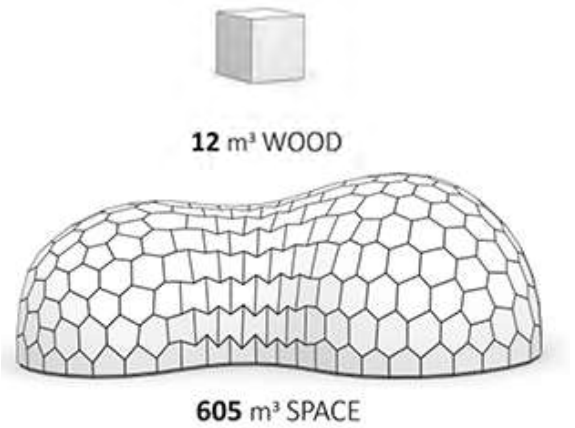
## Beispielhafte Projekte_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

### Analyse

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Holz | Freiform | | | |
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| Dämmung | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |

### Auswirkungen

- Materialeffiziente Konstruktion durch optimierten Entwurfs- und Planungsprozess
- Ressourcenschonung durch Nutzung nachwachsender Rohstoffe
- Präzise Vorfertigung, geringe Abweichung der Bauteile
- zeiteffiziente Montage




© ICD/ITKE/IIGS University of Stuttgart

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Potential_ Forstpavilion Schwäbisch Gmünd

**Potential**

- Leichtbaukonstruktion  werden mithilfe der robotischen Fertigung aus nachwachsendem Rohstoff Holz  herstellbar.
- Robotische Fertigung (7achs) ermöglicht **größere Freiheitsgrade**, wodurch auch **Hinterschnitte** (z.B. für die Umsetzung der Zinken) realisiert werden können.

  Verbindungskräfte, die an Plattenrändern auftreten, werden durch Zinkenverbindungen optimal übertragen. Dadurch wird  ein leistungsfähiges und effizientes Tragwerk möglich,  das die gleichzeitig auch Gebäudehülle darstellt.
- Neue Entwicklungen der Roboteransteuerung ermöglichen in Zukunft eine kostengünstige Nutzung von Industrierobotern.

**Transfer?**

Industrieroboter können beliebige Materialien bearbeiten (z.B. auch Kunststoffe) und mit vielfältigen Werkzeugen bestückt werden.
Anstelle der abtragenden Bearbeitung können Industrieroboter auch additiv fertigen.

Das größte Potential im Transfer liegt bei der Anforderung an Präzision und größere Freiheitsgraden bei Freiformen.


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# Bild- und Textquellen

http://icd.uni-stuttgart.de/?p=11173

http://www.itke.uni-stuttgart.de/forschung.php?id=260

http://www.schwaebische.de/cms_media/module_img/1958/979371_1_article660x420_979371_1_org_B993029198Z.1_20140211192148_000_GLI32QTNR.2_0.jpg

http://www.baunetzwissen.de/objektartikel/Geneigtes-Dach-DieterPaul-Pavillon-in-Schwaebisch-Gmuend_3981327.html?img=14&layout=galerie

http://www.cluster-forstholz-bw.de/detail/article/institut-fuer-computerbasiertes-entwerfen-robotik-im-holzbau.html

http://www.baunetzwissen.de/objektartikel/Geneigtes-Dach-DieterPaul-Pavillon-in-Schwaebisch-Gmuend_3981327.html


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Einordnung der Beispiele nach Geometrie und Materialsysteme

| | Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |
| Metall | | | | | | | | |
| Glas | | | | | | | | |
| Stahlbeton | | | | | | | | |
| Holz | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2_Prozessanalyse fokussierte Betrachtung -

## Taichung Metropolitan Opera Taiwan (Toyo Ito)

**Aufgabe**

- Komplexe Geometrie
- Stahlbeton
- Akustik

designboom.com

digitale Kette

- Frontloading: Infos aus sekundären Baukomponenten zu Erdbebenstandsicherheit etc. fließen mit ein.

Digital

| Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage | Betrieb/ Wartung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| • Formfindung über Minimalflächen programme<br>• Digitale Übersetzung analoger Skizzen<br>• Nutzung akustischer Parameter zur Geometrie-bestimmung<br>• 3D-Modellierung durch 1 Spezialisten<br>• Voronoi Rastermodell | • Tragwerk-optimierung über FEM-Simulationen<br>• Arup: Optimierungsalgorithmus der Beton und Stahlmenge der Katenoide reduziert<br>• Lokale Grundrissan-passungen lassen sich durch Aktivpunkte des digitalen Gebäudemodells steuern. Aktivpunkte sind mit der umgebenden Modellstruktur vernetzt<br>• Klimatisierungssimulation, Beleuchtungsszenarien simuliert und optimiert<br>• Akustiksimulationen identifizieren Sitzplatzbereiche mit mangelnder Tonreflexion etc.<br>• Entwickelte Tools für Planungssystematik lassen die einfache Anpassung der Struktur zu. | • SOLL-IST-Abgleich<br>• Änderungen werden stets mit Raumprogramm überlagert<br>• Übertragung in 3D-Bauteile nach Abgleich mit Raum-programm | • 1:50 + 1:10 Modell RPV aus CAD –Daten zur Akustiksimulation<br>• Stahl-Beton-Verbundkonstruktion aus spantenförmigen Trägern und aufgeschweißten Flanschen: wird mit CNC Laser aus Stahlblech geschnitten<br>• 2-achsig gekrümmte Armierung + Spritzbeton<br>• TGA wird in Katenoide (Hohlraum) integriert → Digitales 3D-Modell nötig | | • Rechnerge steuerte Fertigung des Baus<br>• 5 Jahre Bauzeit | |

http://www.designboom.com/architecture/toyo-ito-taichung-metropolitan-opera-house-taiwan-21-08-2014/

Hauschild, Karzel (2010) DETAIL Praxis – Digitale Prozesse, S. 92-103

FuCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

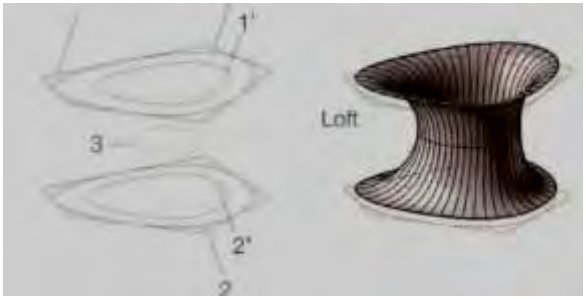
# AP 2_Prozessanalyse fokussierte Betrachtung -

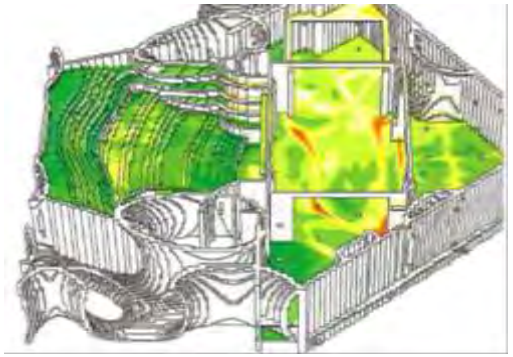
## Taichung Metropolitan Opera Taiwan (Toyo Ito)

- Frontloading: Infos aus sekundären Baukomponenten zu Erdbebenstandsicherheit etc. fließen mit ein.

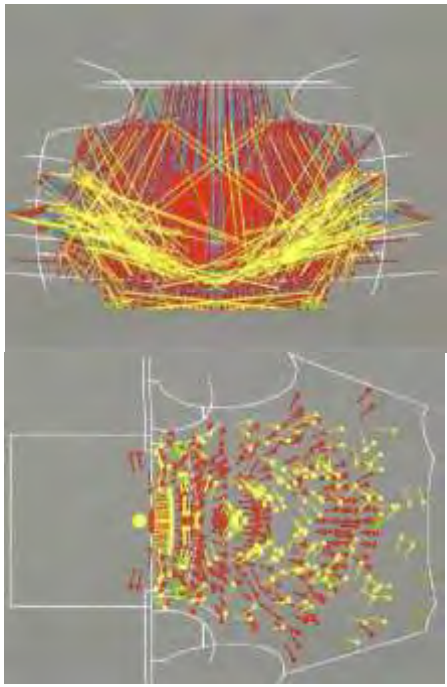
Digital | Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage | Betrieb/ Wartung

Selbsterzeugende Raster



Luftstromsimulation



Schallreflexionsanalyse

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2_Prozessanalyse fokussierte Betrachtung -

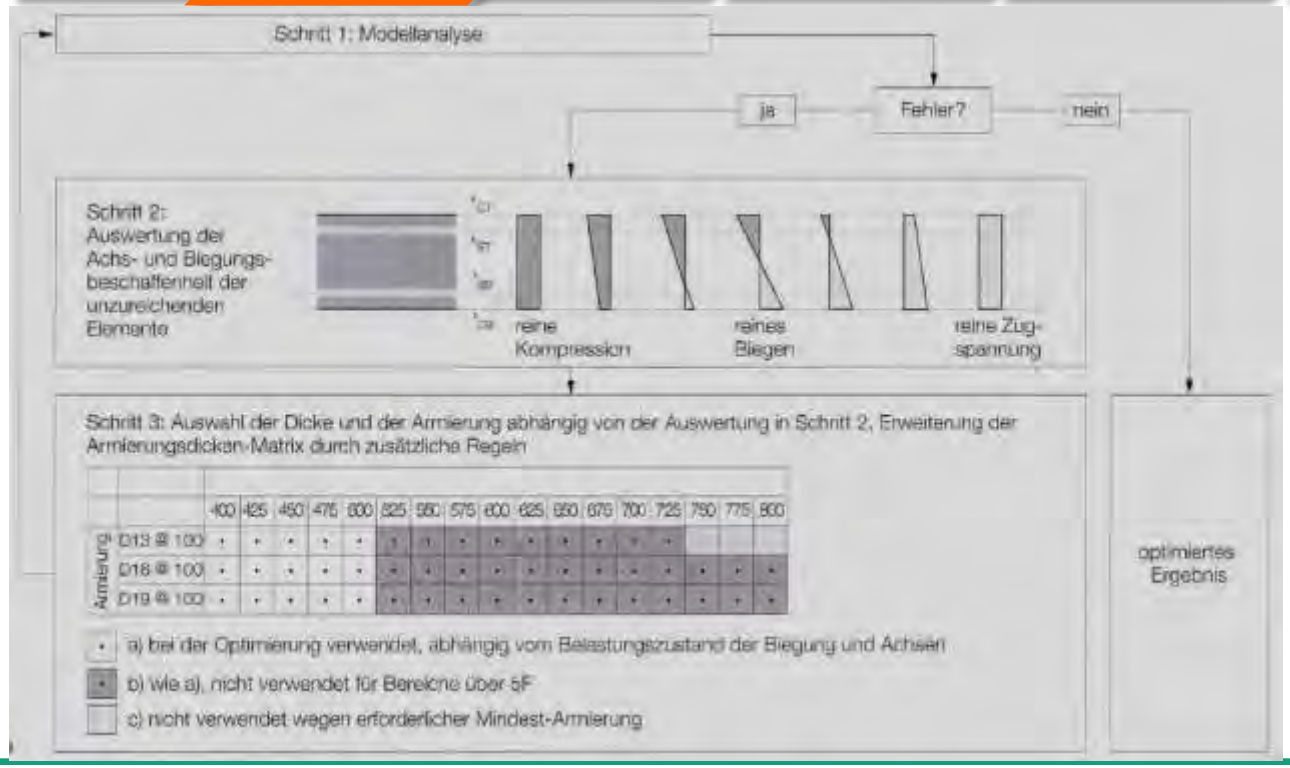
## Beispielhafte Projekte_ Taichung Metropolitan Opera Taiwan (Toyo Ito)

Quelle: Hauschild, Karzel (2010) DETAIL Praxis – Digitale Prozesse, S. 92-103

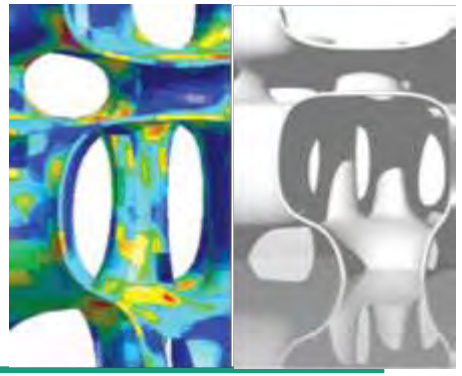
- Frontloading: Infos aus sekundären Baukomponenten zu Erdbebenstandsicherheit etc. fließen mit ein.

Digital

Entwurf | **Modeling / Optimierung** | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage | Betrieb/ Wartung




- Optimierungs-algorithmus
- FEM-Analyse



FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FuCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2_Prozessanalyse fokussierte Betrachtung -

## Referenzbeispiele_ Taichung Metropolitan Opera Taiwan (Toyo Ito)

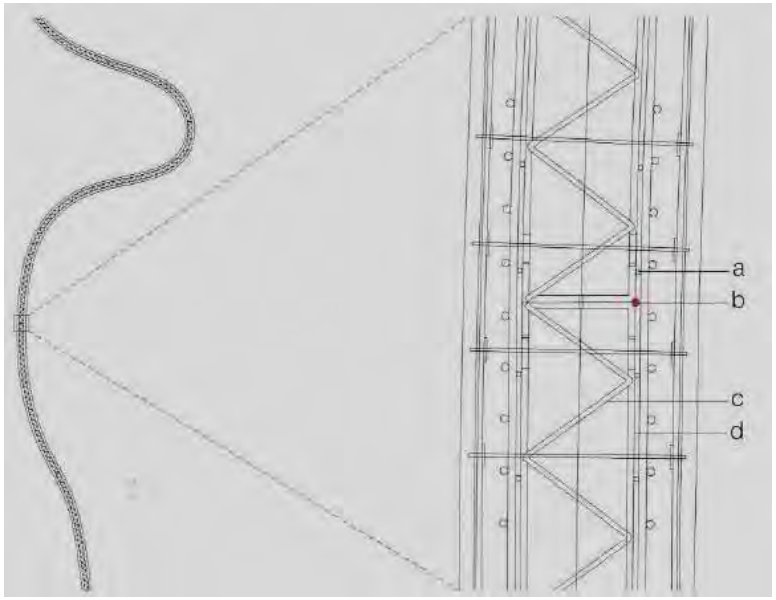
**Aufgabe**

- Komplexe Geometrie
- Akustik

- Frontloading: Infos aus sekundären Baukomponenten zu Erdbebenstandsicherheit etc. fließen mit ein.

Digital

Entwurf → Modeling / Optimierung → Fertigungs-planung → Fabrikation/ Fertigung → Logistik/ Transport → Einbau/ Montage → Betrieb/ Wartung




digitale Schalungsplanung

Vorkonfektionierte doppelt gekrümmte Armierung

Montage feinmaschige Armierungsschale aus Streckmetall

Aufbringen Spritzbeton

Quelle: Hauschild, Karzel (2010) DETAIL Praxis – Digitale Prozesse, S. 92-103

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

http://www.japantimes.co.jp/culture/2014/11/27/arts/toyo-ito-literally-connects-architecture-people/#.VOH_Ba4wc5s

http://thefoxisblack.com/blogimages//ito_taichung2.jpg


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Taichung Metropolitan Opera Taiwan

**Analyse**

| (Stahl) Beton | Freiform | |
|---|---|---|
| | 2D-Elemente | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile |
| | Gesamte Struktur / Bauteile | Gesamte Struktur / Bauteile |

- Durchgängig digitaler Entwurfs- Optimierungs- und Fertigungsprozess
  Parametrisches Gesamtmodell steuert komplexe Abhängigkeiten
- Vollständig integriertes Gebäudeinformationsmodell (BIM), länderübergreifendes Echtzeitmodell

**Auswirkungen**

- Materialeffizient durch Optimierungsalgorithmus,
- optimiert hinsichtlich Akustik, Klima, Beleuchtung, Fluchtwege

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FuCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Potential_ Taichung Metropolitan Opera Taiwan

**Potential**

- **Sind alle Stufen des Planungsprozesses digitalisiert, so lassen sich umfassende Software basierte Simulationen und Optimierungsalgorithmen durchführen.**
- Emergente, organische oder andere komplexe Geometrien lassen sich auf diese Weise effizient realisieren.
- vielfältige Anforderungen (Akustik, Fluchtwege, Klima etc.) können so unter einen Hut gebracht und schwierig erfassbare Zusammenhänge erkannt werden.
- Ein vollständig integriertes Gebäudeinformationsmodell (BIM) als länderübergreifendes Echtzeitmodell ermöglicht allen Planungsbeteiligten den Zugriff auf aktuelle Planungsdaten, wodurch Wiederholungsschleifen vermieden und Kollisionen oder nicht Realisierbares schnell identifiziert werden können.

**Transfer?**

Das Projekt lässt sich beispielhaft auf sämtliche Gebäudegeometrien und Bauarten anwenden.

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FuCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# Bild- und Textquellen


http://aasarchitecture.com/2014/08/taichung-metropolitan-opera-house-toyo-ito.html

Hauschild, Karzel (2010): DETAIL Praxis – Digitale Prozesse, S. 92-103

http://www.designboom.com/architecture/tai-chung-metropolitan-opera-house-by-toyo-ito-under-construction/

http://www.arcspace.com/features/toyo-ito--associates/taichung-metropolitan-opera-house/





© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Einordnung der Beispiele nach Geometrie und Materialsysteme

| | Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |
| Metall | | | | | | |  | |
| Glas |  |  | | | | |  | |
| Stahlbeton | | | | | | |  | |
| Holz | | | | |  | | |  |
| | | | | | | | | |



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Hotel Intercontinental Davos

**Aufgabe**

- Stahlfassade

©René Müller, Stuttgart

digitale Kette

**Frontloading** Materialeigenschaften (folglich wurde Stahl, statt Aluminium gewählt, da die Längenausdehnung geringer

### Entwurf

- Rundovale Form stand fest (Fichten-zapfen)
- Dreidimensional gekrümmte Brüstungs-elemente

### Modeling / Optimierung

- alle Vorgaben werden in ein parametrisch gesteuertes Script umgesetzt.
- Konstruktion und Detaillierung automatisiert (62.000 Einzelelemente)
- 3D-Daten konnten auch für die Detail-Statik genutzt werden

### Fertigungs-planung

- automatisiert
- Quadratisch aufgebaute Konstruktion aus lasergebrannten Primär- und Sekundärrippen.
- Stahl-Rippentragwerk: Der Trägerrost ist im Grundriss immer gleich aufgebaut. (dadurch wirtschaftliche Produktion nach Baukastensystem, obwohl jedes Brüstungselement ein Unikat ist.
- 3mm dünne ebene Stahlbleche werden auf Grundraster gespannt und elastisch verformt.

### Fabrikation/ Fertigung

- 3D-Modell der Fassaden-Geometrie wurde vom Fassadenbauer übernommen und in z.T. eigens entwickelten Programmen für die Erstellung der Werk-stattzeichnungen und Laserbrenn-daten
- Automatisierte Fertigung 791 Brüstungs-elementen (62.000 Einzelteile)

### Logistik/ Transport

- computerbasierte Montagesimulation sicherte optimale Abläufe auf der Baustelle
- Die einzelnen Elemente in den Hauptgrößen von rund 1,6 m x 4,5 m und in Sondergrößen bis zu 14,6 m Länge, erhielten je ein individuell gefertigtes Transportgestell, mit dem sie per Lkw vom Produktionsstandort nach Davos gelangten

### Einbau/ Montage

- Die vorgefertigten Teile wurden wie bei einem Stecksystem vor Ort zusammengefügt
- Jedes Brüstungselement ist ein Unikat, das aber durch die immer gleiche, quadratisch aufgebaute Stahl-rippenkonstruktion trotzdem sehr wirtschaftlich in einem Baukastensystem hergestellt wurde
- Digitale Details steuern die Montage
- Montagezeit 6 Monate


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Hotel Intercontinental Davos

**Aufgabe**

- Stahlfassade

©René Müller, Stuttgart

digitale Kette

**Frontloading**

Materialeigenschaften (folglich wurde Stahl, statt Aluminium gewählt, da die Längenausdehnung geringer

| Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage |
|---|---|---|---|---|---|
| • Planer Oikos → | • Designtoproduction (DTP) : alle Vorgaben werden in parametrisch gesteuertes Script umgesetzt. → | • Fassadenbauer (Seele) übernimmt 3D-Modell für Werkstattzeichnungen und Laserbrenndaten | | • x | • c |
| | • Statiker (Wilhelm + Partner) verwenden gleiches 3D-Model | | | | |



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Hotel Intercontinental Davos

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | **Einbau/ Montage**

- Bauphase

© René Müller/ Seele


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Hotel Intercontinental Davos

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Die vorgefertigten Teile wurden wie bei einem Stecksystem vor Ort zusammengefügt

© René Müller/ Seele

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Hotel Intercontinental Davos

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | **Einbau/ Montage**

- Die vorgefertigten Teile wurden wie bei einem Stecksystem vor Ort zusammengefügt

© René Müller/ Seele

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Hotel Intercontinental Davos

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | **Einbau/ Montage**

- Brüstung

© René Müller/ Seele

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Hotel Intercontinental Davos

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

- Brüstung
- 791 Brüstungselemente (62.000 Einzelteile)

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Hotel Intercontinental Davos

Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage

©René Müller, Stuttgart

http://f.blick.ch/img/incoming/origs2492041/3482536924-w1280-h960/Hotel-Intercontinental.jpg



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Auswirkungen_ Hotel Intercontinental Davos

Analyse

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Metall | Freiform | | | |
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |

Auswirkungen

- frühzeitige, intensive Zusammenarbeit der beteiligten Spezialisten machte eine Realisierung der dreidimensional gekrümmten Gebäudehülle erst möglich.
- **Termintreue, zeiteffiziente Realisierung,** Ausführungsplanung vom Fassaden-Mock-Up, bis zur Abnahme der Fassade dauerte 2 Jahre (davon Montagezeit 6 Monate). (Fassadenelemente waren bereits fertiggestellt, während sich der konventionell geplante und gefertigte Rohbau noch im Bau befand)

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Potential_ Hotel Intercontinental Davos

**Potential**

- Digitale Details steuern die Montage

- Beim parametrischen Entwurfsansatz wird die Form mit ihren Details regelbasiert generiert.
  Nachdem ein Knoten- , Trägerdetail etc. durchdacht/ konstruiert wurde, lässt sich dieses automatisch an x unterschiedliche Situationen im 3D-Modell anpassen.

- Dadurch werden Probleme (Konstruktive Details) und Kollisionen vorab erkannt und gelöst.
- Immense Zeitersparnis bei komplexen Geometrien, Termintreue
- Übliche Änderungen, Fehler und Fehlertoleranzen können so vermieden oder frühzeitig korrigiert werden
- Simulationen des Montageablaufs spielen die Montagesituation durch, wobei Probleme erkannt und vorab korrigiert werden können.

**Transfer?**

Digitale Details ermöglichen nach präziser Vorfertigung eine schnelle Montage, die sich durch eine bereits definierte Einbauposition auszeichnet.

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# Bild- und Textquellen

http://www.detail.de/architektur/produkte/fassade-in-stahlbauweise-schuetzt-den-ort-der-stille-im-schweizerischen-davos-023103.html

http://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Hotel_in_Davos_mit_parametrischer_Fassade_3503281.html

www.proesler.com/wp-content/uploads/2013/07/2014_03_seele-Pressetext_IntercontinentalDavos.pdf

http://www.dbz.de/artikel/dbz_Der_Knoten_im_Kopf_das_Ei_in_der_Hand_Intercontinental_Davos_CH_2222171.html


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Einordnung der Beispiele nach Geometrie und Materialsysteme

| | Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |
| Metall |  |  | | | |  |  | |
| Glas | | | | | | |  | |
| Stahlbeton | | | | | | |  | |
| Holz | | | | |  | | | |
| | | | | | | | | |


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

**Aufgabe**

Große Freiformfläche aus Holz

- 2500m²große Holzkonstruktion auf 25 baumartigen Stützen,
- Träger durchdringen sich gegenseitig
- 467 unterschiedliche Geometrien

© Blumer-Lehmann AG

© Blumer-Lehmann AG

digitale Kette

**Frontloading**

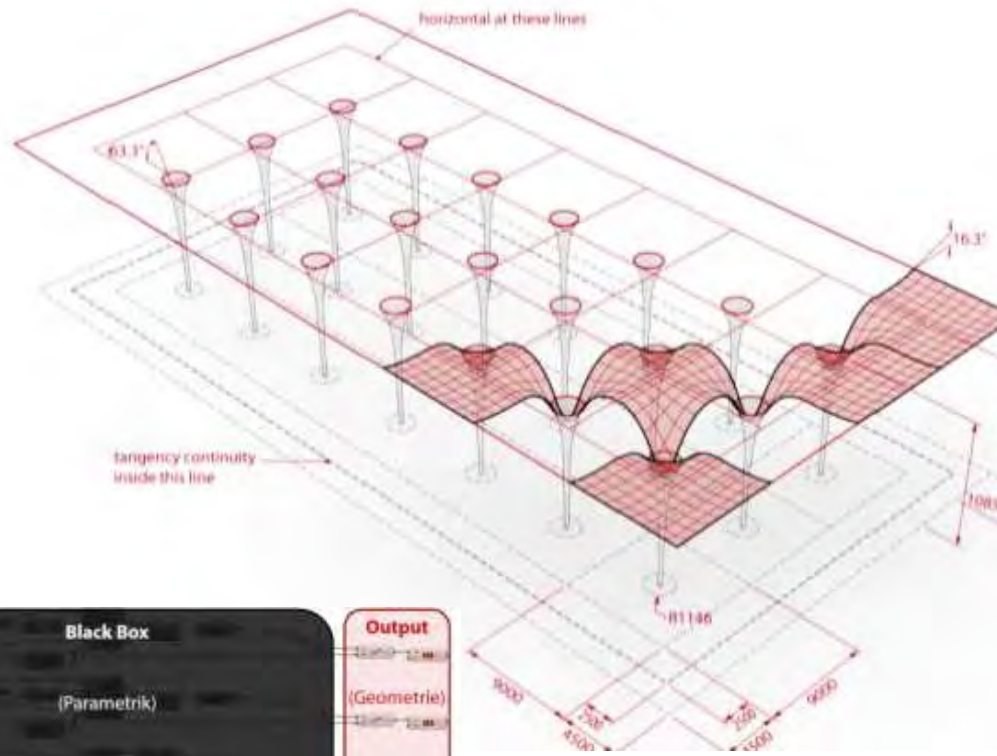
| Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage |
|---|---|---|---|---|---|
| • Regelbasierte Geometrie<br>• Randbedinungen definieren Form (Position Dachrand, Stützen-anschlüsse, etc.) . Daraus wurde Referenzfläche abgeleitet.<br>• 3D-Modell (NURBS) in Rhino | • Für statische Analyse: Aus dem parametrischen Modell wurde für jedes Träger-segment Punkt-koordinaten und Winkel erzeugt und mit einem Plug-in in die Software der Statiker eingelesen.<br>• Aus den Referenzflächen werden die Details abgeleitet. Dies erfolgt auf der Grundlage von Konstruktions-regeln und Parametern | • Jeder Träger besteht aus 2 parallelen Lagen. An jedem Kreuzungspunkt sind daher 2 Blattverbindungen nötig.<br>• Holz ist anisotrop: Faserwinkel sind daher relevant. Dxf als Austauschformat ist daher nicht geeignet (geometrieinformation)<br>• Aus Geometriemodell wurden Winkel- und Koordinatenlisten erstellt.<br>• Es gab keine Branchenlösung zur Datenübertragung von 15.000 tordierten Kreuzblattverbindungen<br>• Die gekrümmten Bauteile mussten im CAM-System programmiert werden. . Detaillierte 3D- odelle dienen dabei als Grundlage | • Schnitte bzw. Fräsarbeiten müssen in Faserrichtung des Holzes erfolgen. Hierfür wurde ein Programm entwickelt.<br>• 5-Achs-Abbundmaschine<br>• Spanende Bearbeitung<br>• Für die Montage der Kronenelemente musste man gleichzeitig in 24 Schlitzbleche einfahren | • Informationen über Einbaupositio n und Nachbareleme nte können ausgelesen werden.<br>• Markierung der Werkstücke | • Durch digitale Details und Vorfertigung ergibt sich die jeweilige eindeutige Einbauposition |

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette

- Mathematische Regeln beschreiben die Form
- Wenige Eingangsparameter (Input),
- Algorithmus generiert die Form (später auch die Details)
- Das Ergebnis (Output) bleibt hinsichtlich der Geometrie variabel. So können Änderungen, bis zum Schluss unproblematisch berücksichtigt und präzise Details abgeleitet werden.



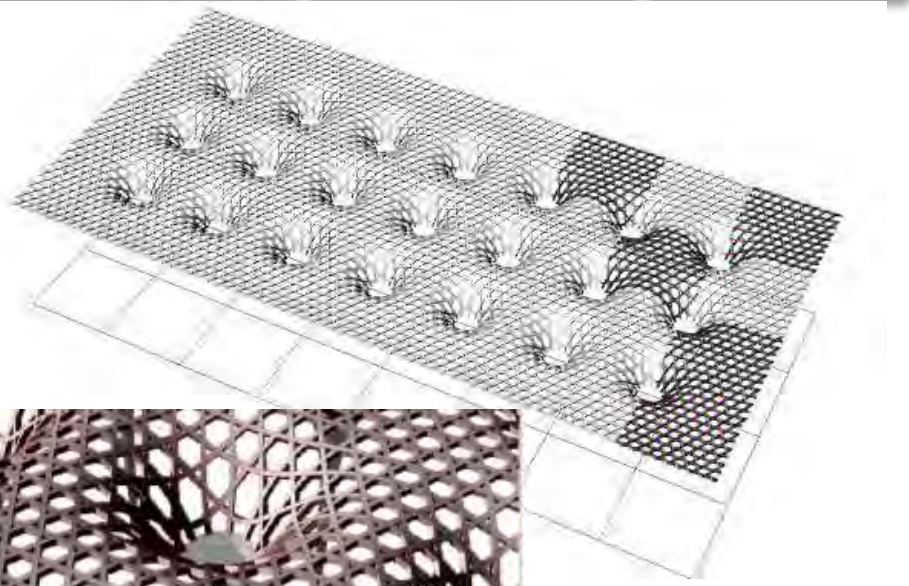
© Fabian Scheurer/ DTP

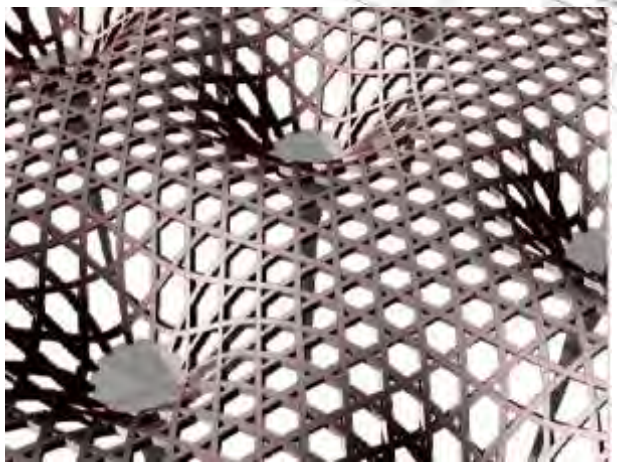
# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette

- Geflochtenes Dach aus 32 Elementen (5 Typen)
- 500 unterschiedliche Knoten können nicht einzeln geplant werden → parametrische Knoten passen sich an die jeweilige Geometrie an.
- Für die Blattverbindungen musste daher zunächst eine allgemeingültige Beschreibung gefunden werden, die an allen Kreuzungspunkten funktionieren muss. Die Träger treffen immer in unterschiedlichen Winkeln aufeinander. Aus dieser Beschreibung muss ein Algorithmus abgeleitet und ein Programm geschrieben werden , der die Blattverbindungen im 3D- Modell automatisch konstruiert.





www.designtoproduction.com/projects?haesley_nine_bridges

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FuCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

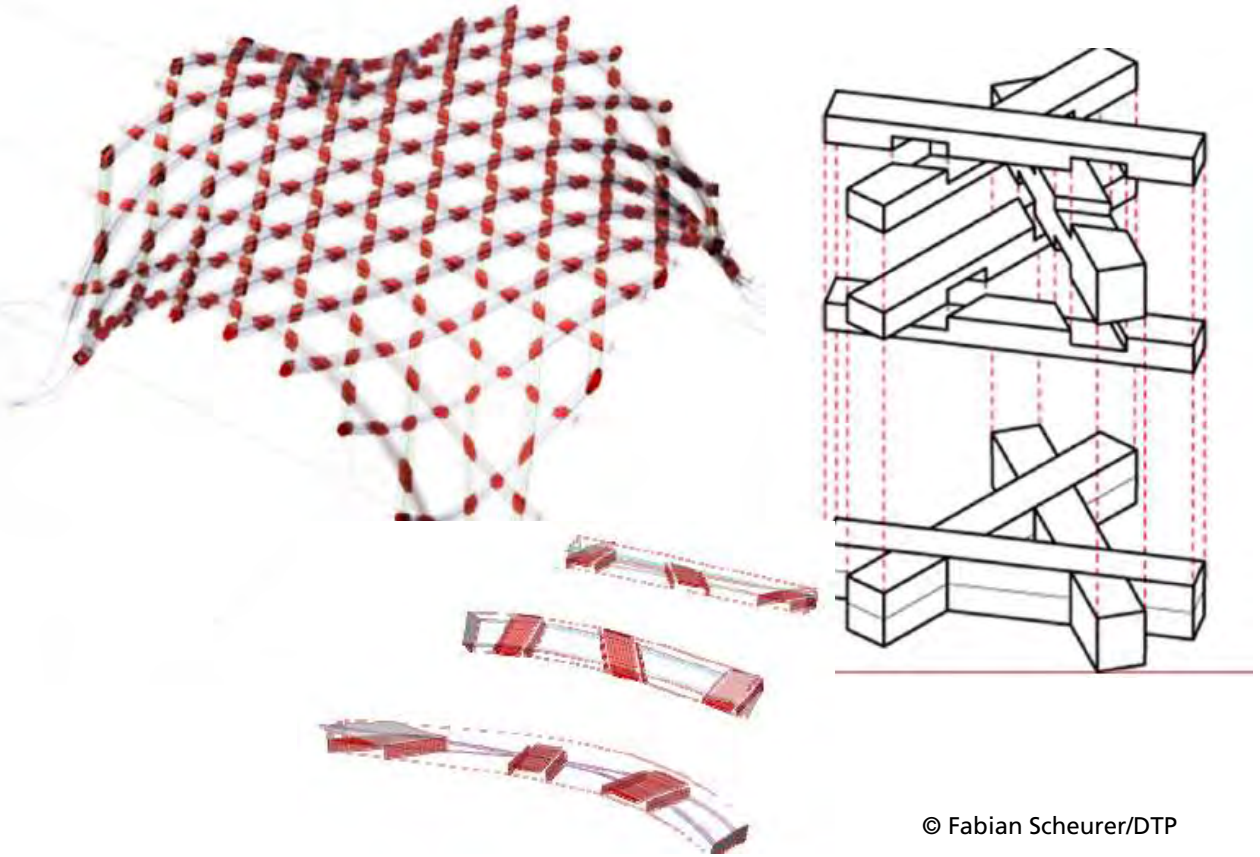
## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette

- 500 unterschiedliche Knoten können nicht einzeln geplant werden → parametrische Knoten passen sich an die jeweilige Geometrie an.
- Für die Blattverbindungen musste daher zunächst eine allgemeingültige Beschreibung gefunden werden, die an allen Kreuzungspunkten funktionieren muss. Die Träger treffen immer in unterschiedlichen Winkeln aufeinander. Aus dieser Beschreibung muss ein Algorithmus abgeleitet und ein Programm geschrieben werden , der die Blattverbindungen im 3D- Modell automatisch konstruiert.

- Alle Details folgen den selben geometrischen Regeln und ermöglichen dadurch eine systematische Planung auf Knopfdruck.

- Alle Schritte bis zu den Knoten-Details, sind so definiert, dass sie automatisch ausgeführt werden können →3D- Modell mit allen Details
- Auf Basis des 3D- Modells werden mit einem CAM –System die Daten für die CNC-Fertigung erstellt .



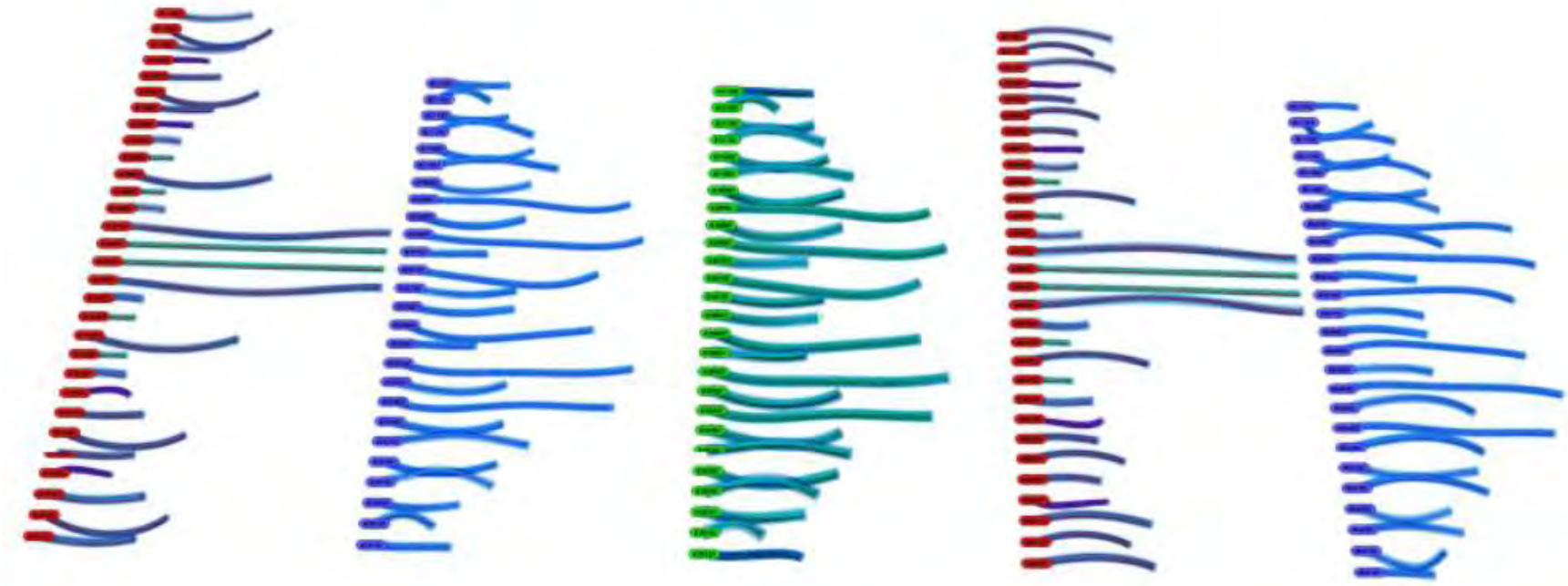
© Fabian Scheurer/DTP

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette

- Fünf unterschiedliche Typen der Kronenelemente



© DesigntoProduction

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette

- Es gibt keine Standardlösung für das Übertragen der 3-Daten in das Programm der Fertigungsmaschinen → Projektspezifische Speziallösung an der CAD-CAM-Schnittstelle ist nötig.
- Vorfertigung der Elemente (Stützen und Dach)

Bildquelle: Blumer-Lehmann AG

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette

Bildquelle: Blumer-Lehmann AG

- Computergesteuerten Maschinen können bereits ab Losgröße1 kosteneffizient produzieren (1000 gleiche oder 1000 unterschiedliche Teile)
- Dies ermöglicht die kosteneffiziente Realisierung komplexer Geometrien


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette

- Jeder Träger besteht aus 2 parallelen Lagen. An jedem Kreuzungspunkt sind daher 2 Blattverbindungen nötig.

Bildquelle: Blumer-Lehmann AG

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette

- Vorfertigung und Vormontage im Werk
- Aufgrund digitaler Details ergibt sich nur eine Einbaurichtung

Bildquelle: Blumer-Lehmann AG

© Blumer Lehmann


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette

Bildquelle: Blumer-Lehmann AG

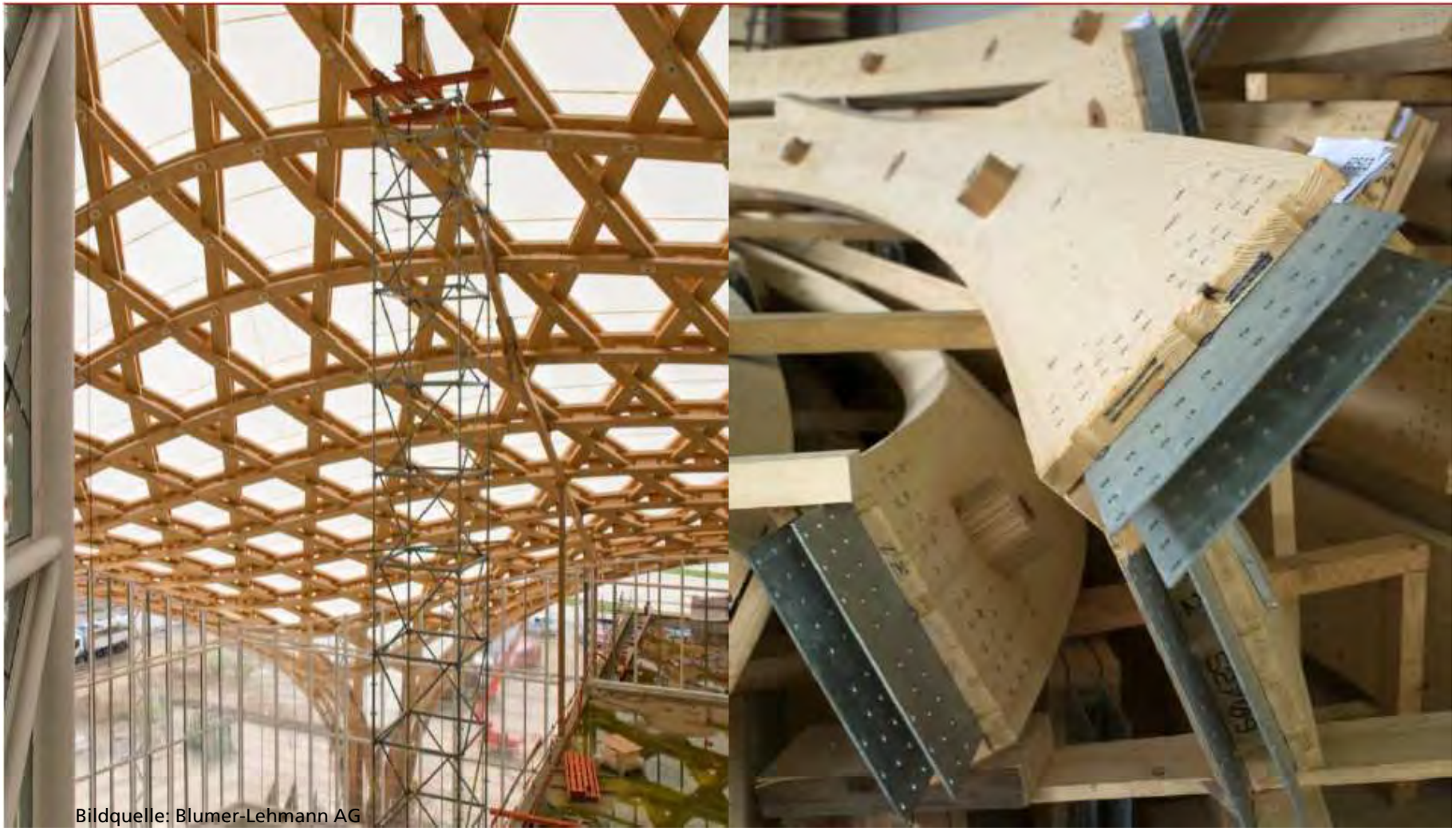
© Blumer/ Lehmann



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea



Bildquelle: Blumer-Lehmann AG



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette

- Montage vorgefertiger Dachelemente

Bildquelle: Blumer-Lehmann AG

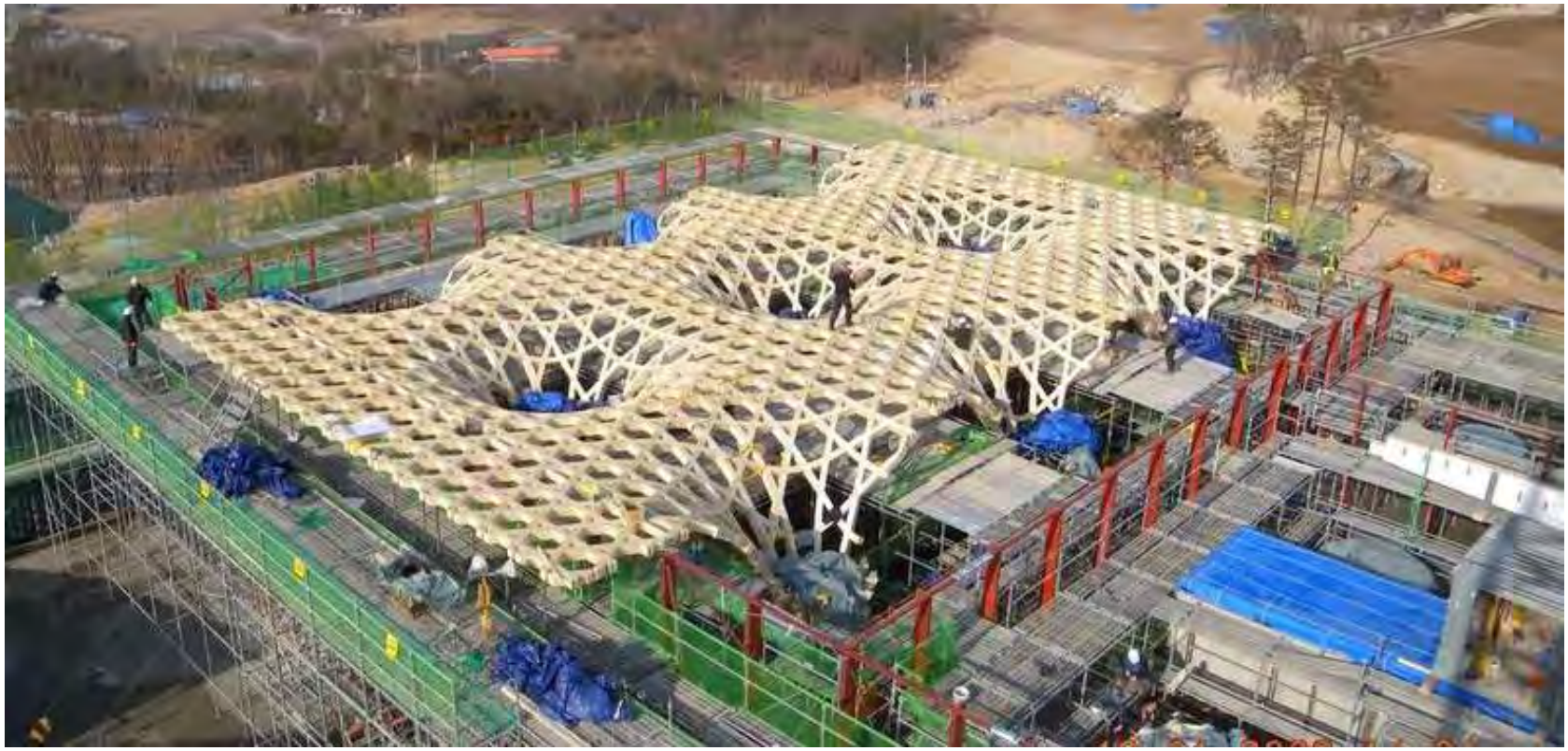
http://www.bauenmitholz.de/sonderbau-freiheit-und-perfektion-im-holzbau/150/5251/


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette



Bildquelle: Blumer-Lehmann AG

© http://www.bauenmitholz.de/sonderbau-freiheit-und-perfektion-im-holzbau/150/5251/


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

digitale Kette

© Blumer/ Lehmann

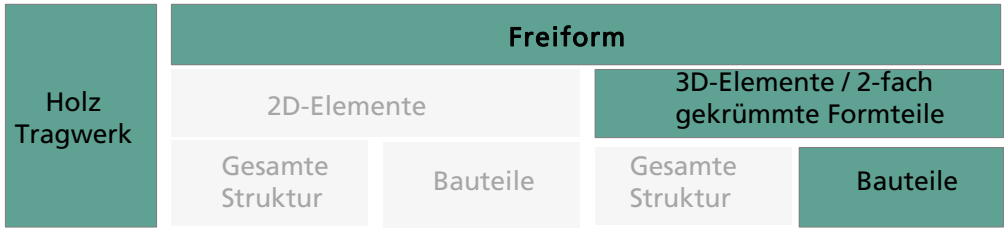
© JongOh Kim


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Auswirkungen_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

**Analyse**




**Auswirkungen**

- Kurze Planungs- und Montagezeit
- 3D- Modell (Rhino) dient als Grundlage für weitere Bearbeitung in Cadwork oder AlphaCAM
- Die Referenzflächen mussten aufbereitet werden, da die NURBS- Oberflächen nicht krümmungsstetig waren.
- Rhino verfügt über Programmierschnittstellen, wodurch sich die Funktion des Programms durch weitere Werkzeuge erweitern lässt.

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Potential_ Haesley Nine Bridges Golf Resort/ Südkorea

**Potential**

- Sobald aufgrund komplexer Geometrien, unterschiedliche Bauteile geplant und gefertigt werden müssen, ist die parametrische Planung (regelhafte Beschreibung der Geometrie sinnvoll. Die einzelnen Konstruktionsschritte werden so Bestandteil des Geometriemodells. Unter Berücksichtigung/ Änderung der Inputparameter kann das 3D-Modell jederzeit neu aufgebaut werden. Alle Detailgeometrien werden dabei automatisch neu generiert.

- Verbindungsdetails können bei der Verwendung von Holz im selben Werkstück integriert werden (spanende Verfahren).

- Das in diesem Projekt entwickelte Fertigungsscript für CNC-Abbundmaschinen berücksichtigt beim Schnitt die Faserrichtung.
  Aufgrund der Anisotropie muss der Schnitt immer mit der Faserrichtung erfolgen, da sonst die Tragfähigkeit beeinträchtigt wird. Dadurch wird es möglich materialeffizient komplexe Tragwerke aus Holz digital zu fertigen.

**Transfer?**

Das Projekt ist insbesondere für Holzkonstruktionen relevant.
Rhino verfügt über Programmierschnittstellen, wodurch sich die Funktion des Programms durch weitere Werkzeuge erweitern lässt.

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# Bild- und Textquellen


http://www.designtoproduction.com/projects?haesley_nine_bridges

http://www.bauenmitholz.de/mit-digitaler-hilfe/150/5261/

http://www.forum-holzbau.ch/pdf/ihf08_forum_scheurer_f.pdf

http://designalmic.com/haesley-nine-bridges-golf-club-house-shigeru-ban-architects-kaci-international/

http://architektur.mapolismagazin.com/content/der-computer-machts-moeglich

http://www.bauenmitholz.de/sonderbau-freiheit-und-perfektion-im-holzbau/150/5251/





© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Einordnung der Beispiele nach Geometrie und Materialsysteme

| | Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |
| Metall | | | | | | | | |
| Glas | | | | | | | | |
| Stahlbeton | | | | | | | | |
| Holz | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte _Fondation Jérôme Seydoux-Pathé

**Aufgabe**

- Perforierte Aluminiumbleche (Fassade)
- Holzbogenkonstruktion doppelt gekrümmt
- Doppelt gekrümmte Glaselemente (Warmbiegen)

©Rubner Holzbau

©Rubner Holzbau

digitale Kette

**Frontloading** Kein Frontloading

| Entwurf | Modeling / Optimierung | Fertigungs-planung | Fabrikation/ Fertigung | Logistik/ Transport | Einbau/ Montage |
|---|---|---|---|---|---|
| • Form wurde von Architekten vorgegeben (Rhino-Datei ohne Design History) | • Modellierung mit CATIA (DTP): Parametrisches 3D-Modell mit editierbarer Design –History (logischen Verknüpfungen der geometrischen Elemente bleiben über den Generierungsprozess hinaus, bestehen.)<br>• Assoziatives Modell: Geometr. Elemente innerhalb des Modells beziehen sich aufeinander.<br>• Einmal Konstruiertes kann so mittels der Powercopy-Funktion auf verschiedenes Einbausituationen automatisch angepasst werden (z.B. bei 32 unterschiedlichen Holzbögen)<br>• Weniger Öffnungen gen Süden Parameter Sonnenstand | • Für die Planung der Fassade mit 174 unterschiedliche doppelt gekrümmten Isoliergläsern und 7600 Aluminiumlamellen wurden die Rahmenbedingungen aus einem Dateninfomodell ausgelesen und in einem weiteren Script parametrisch detailliert. Daraus wurden die nötigen Fertigungsdaten abgeleitet.<br>• Fertigung der Alulamellen wurde in Rhino geplant (Export der Achsen aus Catia), da Catia hierfür zu komplex ist. | • Händisches Bohren der Alubleche (Ausführende Firma hätte ein Script mit Informationen wie Richtung, Achse Durchmesser, Tiefe der Bohrung schreiben müssen, bzw. wollte keinen Datenaustausch<br>• Produktionsschablonen konnten aus 3D-Modell abgeleitet werden. | • Lieferung Just-in-time bei beengter Baustellen-situation | • Hoher Vorfertigungsgrad<br>• Montageschablonen<br>• Parametrische Gesamtlösung – alle Bauteile sind passgenau aufeinander abgestimmt |

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FuCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse fokussierte Betrachtung -

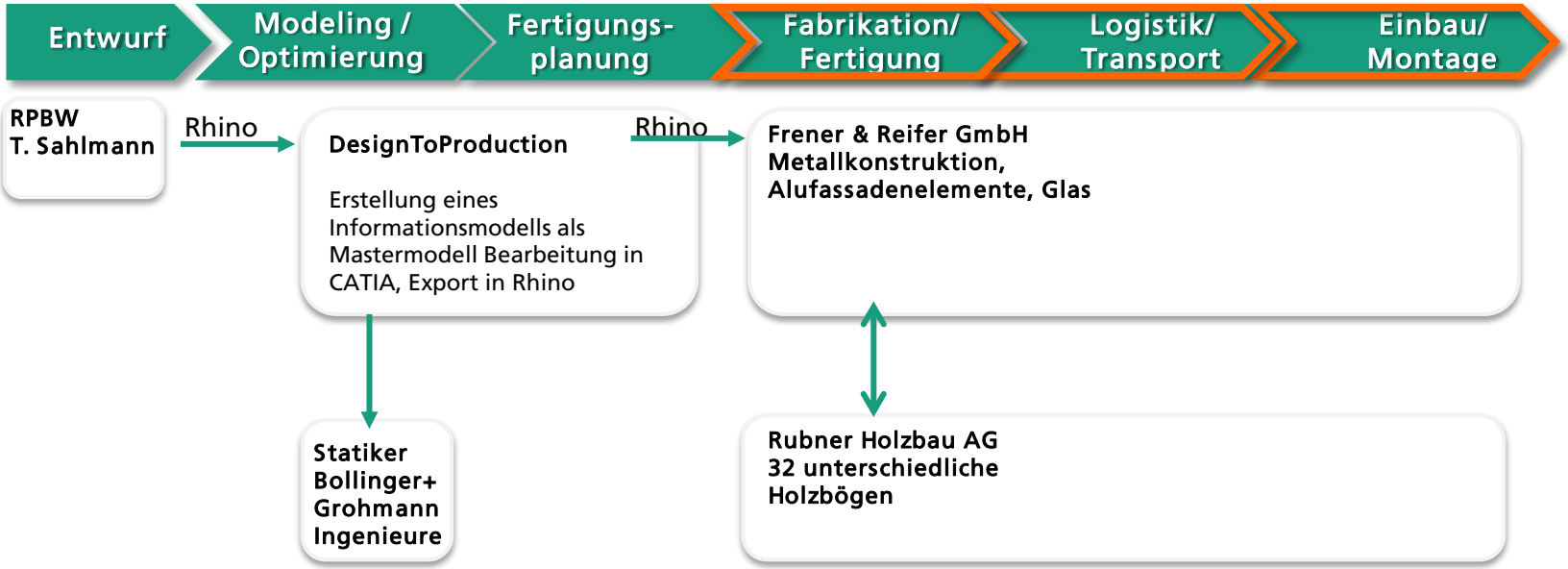
## Beispielhafte Projekte _Fondation Jérôme Seydoux-Pathé

©Rubner Holzbau

**Konstruktion**

| | |
|---|---|
| primärer Tragkonstruktion: | Brettschichtholzbögen |
| sekundäre TK: | Stahl-Aluminiumkonstruktion |
| Hülle: | zweifach gekrümmten Isolierglaseinheiten<br>Aluminiumbleche |

**Geschlossene digitale Kette**





© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte _Fondation Jérôme Seydoux-Pathé

digitale Kette

- 32 unterschiedliche Brettschichtholzträger als Primärkonstruktion. Alle Bögen sind am Auflager 17 cm hoch, zum First hin steigt die Höhe auf bis zu 27cm.
- Stahl-Aluminium-Konstruktion aufgesetzte Haut (Sekundärkonstruktion) + Doppelt gekrümmte Isolierglaseinhgeiten

©Rubner Holzbau

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte _Fondation Jérôme Seydoux-Pathé

digitale Kette

- Lieferung Just-in-Time

- Beengte Baustellensituation

© Frener+ Reifer


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte _Fondation Jérôme Seydoux-Pathé

digitale Kette

- Lieferung Just-in-Time

- Beengte Baustellensituation

© Frener+ Reifer


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

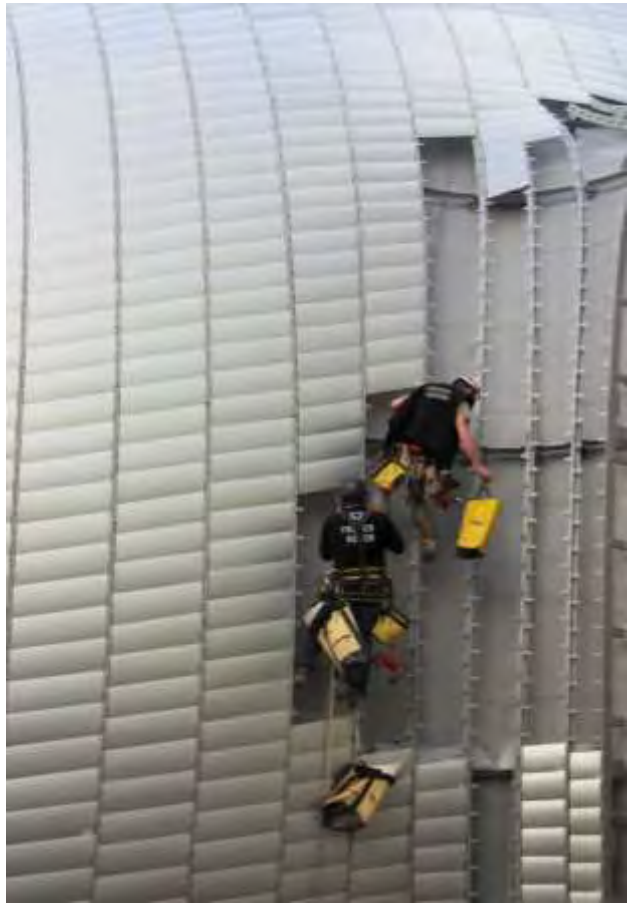
# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Beispielhafte Projekte _Fondation Jérôme Seydoux-Pathé

digitale Kette

Entwurf → Modeling / Optimierung → Fertigungs-planung → Fabrikation/ Fertigung → Logistik/ Transport → Einbau/ Montage

- Montage der perforierten Aluminiumlamellen



© Frener+ Reifer

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Auswirkungen _Fondation Jérôme Seydoux-Pathé

### Analyse

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Metall | **Freiform** | | | |
| Holz | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| Glas | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |

### Auswirkungen

- Präzise, kosteneffiziente Fertigung und Montage komplexer Geometrien , trotz schwer zugänglicher Baustellensituation.

- Digitale Kette bricht beim Bohren der (auch Zuschnitt?) der Bleche ab: Händisches Bohren der Alubleche mit Schablonen
  → Script mit Maschinenspezifischen Informationen wäre notwendig gewesen (Arbeitsaufwand ca. 30 Min)
  →Offenheit, Vertrauen zwischen den Projektbeteiligten wäre zeit- und kosteneffizienter

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Potential _Fondation Jérôme Seydoux-Pathé

### Potential

- Eine parametrische Gesamtlösung bietet den Vorteil, dass alle Bauteile eines Gebäudes passgenau aufeinander abgestimmt sind. Wie hier in diesem Fall, die
  - 32 unterschiedliche Holzbögen
  - Unterkonstruktion für die Fassadenbekleidung aus perforierten Alublechen (7600 Stück)
  - doppeltgekrümmte Glasscheiben (174 unterschiedliche)
  - Stahlrundrohre für die Sekundärkonstruktion (Fassade)

- Aus einem Dateninformationsmodell können die für die Partner relevanten Informationen jeweils ausgelesen werden.
  Das Zurückgreifen auf ein Modell hat den Vorteil, dass alle Beteiligten mit den gleichen Daten arbeiten (in der Praxis bauen die Beteiligten meist ihr eigenes Modell) und somit Kollisionen, Wiederholungsschleifen, Unklarheiten etc. vermieden werden → Zeit- und kosteneffizient.

- Ein parametrisch generiertes Dateninformationsmodell kann im Laufe des Planungsprozesses unproblematisch näher spezifiziert und detailliert werden.

- Aus einem parametrisch generierten Dateninformationsmodell können die Fertigungsdaten direkt abgeleitet werden.

### Transfer?

Das Projekt lässt sich beispielhaft auf sämtliche Gebäudegeometrien und Bauarten anpassen.

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse fokussierte Betrachtung -

## Komplexe Geometrien passgenau fertigen

*"PARAMETRIK IST DIE FINGERFERTIGKEIT DES 21. JAHRHUNDERTS."*

(Bernhard Reifer/ Fassaden FRENER & REIFER GmbH | Srl )
Realisierung Fassade

Frener & Reifer Fassaden


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# Bild- und Textquellen

http://www.justinteriorideas.com/tag/issue

http://www.frener-reifer.com/projekte/fondation-jerome-seydouxpathe/

http://www.rpbw.com/project/81/pathe-foundation/

http://www.domusweb.it/en/architecture/2014/07/21/rpbw_fondation_patha.html

www.holzbau.rubner.com/de/referenzen/fondation-j%C3%A9r%C3%B4me-seydoux-path%C3%A9-paris-f/29-10596.html


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1_Prozessanalyse Performance von Prozessen

## Frontloading

**Potential**

Das Beispiel zeigt, dass durch Vorverlagerung von Experteninformationen (Frontloading) und frühzeitige Zusammenarbeit aller am Bauprozess Beteiligten Folgendes erreicht werden kann:

- Die finanzielle und technische Machbarkeit kann bereits in der Planungsphase überprüft werden.
- Kollisionen und Wiederholungsschleifen können vermieden werden (Planungseffizienz).
- In einer integrierten Planung können notwendige Technik, Brandschutzregularien, Fertigungsspezifikationen etc. frühzeitig berücksichtigt und aufeinander abgestimmt werden.
- Optimierte Multifunktionsbauteile mit aufeinander abgestimmten Komponenten.
- Die Fertigung und der Montageablauf kann frühzeitig durchdacht und ggfls. korrigiert/ optimiert werden.
- Entscheidungen werden transparent und für alle Beteiligten nachvollziehbar.

**Transfer?**

Das Frontloading ist unabhängig von der Gebäudegeometrie und Bauart für alle Bauprojekte sinnvoll.

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Zusammenfassung _ Ableitung Potentiale

Potential

Metall

Glas

Stahlbeton

Holz

Andere Baustoffe

- Gebäudeinformationsmodelle können auch für die Steuerung, Wartung, dem Monitoring, sowie zum Rückbau oder zur Sanierung des Gebäudes genutzt werden.
- Werden Fachplaner frühzeitig involviert, so kann die Anpassung der spezifischen Maschinensoftware für die digitale Datenübergabe erfolgen **→Zeitersparnis**
- Ein parametrisiertes Gebäudemodell ist insbesondere dann sinnvoll, wenn große Bautoleranzen (oftmals bei Bauprojekten außerhalb Europas) vorliegen.
  Die passgenaue Fertigung von Gebäudeteilen nach dem Soll-IST-Abgleich des Rohbaus (Automatisierte Anpassung) → **Präzision, Termintreue trotz Toleranzen**
- Das Vorliegen eines parametrisierten digitalen Gebäudemodells ermöglicht das Durchlaufen mehrerer Optimierungsschleifen (z.B. minimaler Materialverbrauch, Minimierung der Varianz an Durchdringungen, etc.) wodurch Bauprojekte insgesamt an Qualität und Effizienz gewinnen.
- Mit parametrisierten Gebäudemodellen lassen sich vielfältige Anforderungen, vielschichtige Zusammenhänge, komplexe Geometrien und Großprojekte effizient realisieren.

Gilt für:

| Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Zusammenfassung _ Ableitung Potentiale

| | | Potential |
|---|---|---|
| Metall | ▪ An einem parametrischen Gebäudedatenmodell lassen sich Probleme (z.B. bei konstruktiven Details), Kollisionen, Logistik- oder Montageabläufe vorab simulieren, erkennen und lösen. Übliche Änderungen, Fehler und Fehlertoleranzen können so vermieden oder frühzeitig korrigiert werden. Dadurch wird Termintreue auch bei großen/ komplexen Projekten möglich. | |
| Glas | ▪ Sobald aufgrund komplexer Geometrien, unterschiedliche Bauteile geplant und gefertigt werden müssen, ist die regelhafte Beschreibung der Geometrie sinnvoll. Die einzelnen Konstruktionsschritte werden so Bestandteil des Geometriemodells. Unter Berücksichtigung/ Änderung der Inputparameter kann das 3D-Modell jederzeit neu aufgebaut werden. Alle Detailgeometrien werden dabei automatisch neu generiert. | |
| Stahlbeton | | |
| Holz | ▪ Müssen größere Freiheitsgrade realisiert werden (z.B. Hinterschnitte zur Realisierung von integrierten Lastabtragenden Verbindungen, so sind Industrieroboter hilfreich. Sie können beliebige Materialien bearbeiten und mit vielfältigen Werkzeugen zur subtraktiven oder additiven Formgebung bestückt werden. Mit Hilfe dieses Verfahrens lassen sich beispielsweiseleichte Flächentragwerke aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz überhaupt erst herstellen. | |
| Andere Baustoffe | | |

Gilt für:

| Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Zusammenfassung _ Ableitung Potentiale

Potential

| | |
|---|---|
| Metall | ▪ Freigeformte Metallfassaden oder Metallflächentragwerke können von Werften/ Werftzulieferern kostengünstiger produziert werden, da die Simulations- und Berechnungstools im Schiffsbau für verformte Stahlblechen ausgelegt sind. Beispielsweise können so Eigenspannungen verformter Stahlteile zuverlässiger berechnet werden, wodurch geringere Sicherheitsmargen notwendig sind und Material und somit auch Kosten gespart werden können. Baustatikprogramme versagen aufgrund der Komplexität bzw. gehen von zu hohen Sicherheitswerten aus, da Bauingenieure mit spannungsfreie Bauteile benötigen. Da für die Umformung keine teuren Formwerkzeuge (Negativwerkzeuge) benötigt werden, ist die Realisierung mannigfach unterschiedliche Bauteilen, wie sie bei der Umsetzung von Freiformflächen anfallen, kein Problem. |
| Glas | |
| Stahlbeton | |
| Holz | ▪ Mit Hilfe von CAM (Computer aided Manufacturing) lassen sich Verbindungselemente direkt ins Bauteil integrieren. Dies ist ressourceneffizient und ermöglicht die Realisierung komplexer Konstruktionen aus dem nachwachsenden Rohstoff.<br>▪ Aufgrund der Anisotropie muss der Zuschnitt immer mit der Faserrichtung erfolgen, da sonst die Tragfähigkeit beeinträchtigt wird. Ein Fertigungsscript für CNC-Abbund-maschinen berücksichtigt beim Schnitt die Faserrichtung. Dadurch wird es möglich materialeffizient komplexe Tragwerke aus Holz digital zu fertigen. |
| Andere Baustoffe | |

Gilt für:

| Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FuCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse Kategorisierung Fallstudie

## Zusammenfassung _ Ableitung Potentiale Frontloading

Metall

Glas

Stahlbeton

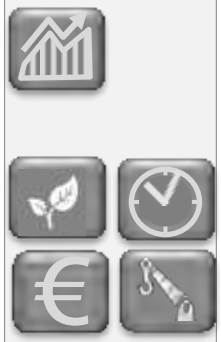
Holz

Andere Baustoffe

Das Beispiel zeigt, dass durch Vorverlagerung von Experteninformationen (Frontloading) und frühzeitige Zusammenarbeit aller am Bauprozess Beteiligten folgendes erreicht werden kann.
Die frühzeitige Zusammenarbeit mit Handwerkern und anderen Gewerken ist durch die Ausschreibungspflicht bei öffentlichen Auftraggebern meist erschwert.
Durch Partnering-Modelle ist dies jedoch möglich:

- Die finanzielle und technische Machbarkeit kann bereits in der Planungsphase überprüft werden.
- Kollisionen und Wiederholungsschleifen können vermieden werden (Planungseffizienz).
- In einer integrierten Planung können notwendige Technik, Brandschutzregularien, Fertigungsspezifikationen etc. frühzeitig berücksichtigt und aufeinander abgestimmt werden.
- Optimierte Multifunktionsbauteile mit aufeinander abgestimmten Komponenten.
- Die Fertigung und der Montageablauf kann frühzeitig durchdacht und ggfls. korrigiert/ optimiert werden.
- Entscheidungen werden transparent und für alle Beteiligten nachvollziehbar.
- Der reine Preis-Wettbewerb bei der Ausschreibung entwickelt sich dann zum Kompetenz-Wettbewerb

Potential



Gilt für:

| Standard-Geometrie | | | | Freiform | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | | 2D-Elemente | | 3D-Elemente / 2-fach gekrümmte Formteile | |
| Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile | Gesamte Struktur | Bauteile |

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FuCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse - Transfer

## Übertragung der analysierten Potentiale auf Projekte aller Bauarten

- **Parametrik:**
  die regelhafte Beschreibung der Geometrie ermöglicht, dass das 3D-Modell und alle Detailgeometrien unter Berücksichtigung oder Änderung der Inputparameter jederzeit neu aufgebaut werden kann. Alle Detailgeometrien werden dabei automatisch neu generiert. Optimierungsprozesse, die Berücksichtigung von Bautoleranzen oder Änderungen der Bauherrenwünsche können so ohne Zeitverlust berücksichtigt werden.

- **Optimierung durch Simulationen:**
  Mit Hilfe des regelbasierten Entwurfsansatzes lassen sich in einem iterativen Prozess unzählige Varianten simulieren, wobei mittels genetischer Algorithmen die optimalste Lösung in Bezug auf die definierten Parameter (z. B. Materialeffizienz) generiert werden kann. Simulationen dienen zudem der Vermeidung von Kollisionen und dem frühzeitigen Erkennen von Problemen, wodurch kostenintensive Problemlösungen auf de Baustelle vermieden werden und eine Realisierung im Zeitplan möglich wird.

- **Frontloading:**
  Durch die frühzeitige Integration von Fachinformationen kann die technische und finanzielle Machbarkeit bereits in der Planungsphase überprüft und Bauteile unter Berücksichtigung von Normen, Fertigungsspezifikationen, Verfügbarkeiten etc. aufeinander abgestimmt geplant werden.

- **Digitale Details**:
  Das Vorliegen eines parametrischen Mastermodells ermöglicht das Ableiten von Fertigungsdateien. Digitale Details vereinfachen die Montage durch eine eindeutige Einbaurichtung und vermeiden die händische und kostenintensive Anpassung vor Ort.


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.1 Prozessanalyse

## Auswirkungen der analysierten Potentiale auf die Indikatoren

- Parametrik BIM
- Digitale Fertigung
- Simulation
- Frontloading

→ Möglichkeit Freiform

- Parametrik BIM
- Digitale Fertigung
- Simulation
- Frontloading

→ Präzision

- Parametrik BIM
- Digitale Fertigung
- Simulation
- Frontloading

→ Zeiteffizienz

- Parametrik BIM
- Digitale Fertigung
- Simulation

→ Montage-freundlichkeit

- Parametrik BIM
- Digitale Fertigung
- Simulation
- Frontloading

→ Ressourcen-effizienz

- Parametrik BIM
- Digitale Fertigung
- Simulation
- Frontloading

→ Projektqualität/ Optimierungs-möglichkeit

- Parametrik BIM
- Digitale Fertigung
- Simulation
- Frontloading

→ Kosten-effizienz

- Parametrik BIM
- Frontloading

→ Wartungs-freundlich


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# AP 2.2
# Entwicklung und Konzeption eines ganzheitlichen Soll-Prozesses

# 2.2 Ganzheitlicher SOLL-Prozess

## Ziele des Arbeitspaketes

- Darstellung der Vorteile parametrischer Planung und digitaler Fertigung
- Auswirkungen parametrischer Planung und digitaler Fertigung auf die Baukosten und den Bauprozess im Allgemeinen
- Ein Maßnahmenplan beschreibt notwendige Handlungsbedarfe  für die Transformation zu einer Bauindustrie 4.0.


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Ganzheitlicher SOLL-Prozess

## Vorgehen und Methode

- Gegenüberstellung und Vergleich von Planungsmethoden und Bauprozessen:

  1.) Gegenwärtiges Planen und Bauen

  2.) der Bauprozess nach der Planungsmethode BIM

  3.) parametisches Planen und digitale Fertigung, (FUCON 4.0/ Industrie 4.0- Themen)

- Drei Szenarien denken jeweilige Auswirkungen und Entwicklungen weiter. In einem Fazit werden die möglichen Effekte (z.B. hinsichtlich Baukosten) dargestellt

  1.) Gegenwärtiges Planen und Bauen:
  Szenario 1 „Alles bleibt wie es ist“

  2.) der Bauprozess nach der Planungsmethode BIM
  Szenario 2 Planen und Bauen mit BIM (Big Open BIM)

  3.) parametisches Planenund digitale Fertigung, (FUCON 4.0/ Industrie 4.0- Themen)
  Szenario 3 Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0

- Darlegung aus Punkt 2 resultierender Handlungsbedarfe


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Ganzheitlicher SOLL-Prozess

## Gegenüberstellung und Vergleich von Planungsmethoden

- Gegenüberstellung und Vergleich von Planungsmethoden und Bauprozessen:

  1.) Gegenwärtiges Planen und Bauen

  2.) der Bauprozess nach der Planungsmethode BIM

  3.) parametisches Planen und digitale Fertigung, (FUCON 4.0/ Industrie 4.0- Themen)

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# IST-Bauprozess

## Linearer Prozess

- Entwurf
- Ausführungsplanung
- Fertigung
- Logistik
- Bauausführung

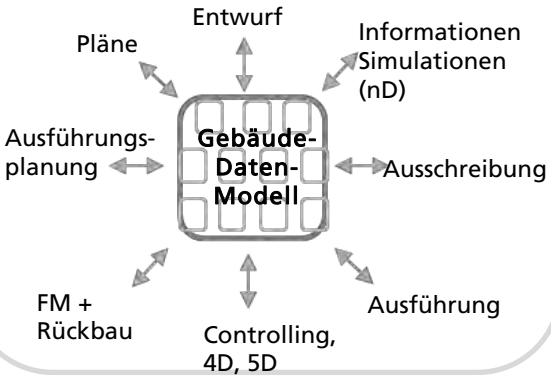
- Geometriedaten und Planungsinformationen/ Berechnungen werden getrennt gehalten
- paralleles Vorgehen der Gewerke, Planungsfehler erscheinen erst beim Zusammenführen der Gewerke.

- Teilweise Einsatz von BIM-Software, als Little BIM – d.h. die Planungsmethode wird nur meist nur innerhalb des Unternehmens angewendet, ohne 4D, 5D

- Ausgabe als 2D-Daten/ Digitales 2D-Zeichenbrett

# Planungsmethode BIM

## Integrale Planung - Big (Open) BIM




- Gewerkeübergreifende Kommunikation und Zugriff auf das Gebäudeinfomodell (funktioniert teilweise schon zwischen Planer und Tragwerksplaner und / oder TGA)
- Wie beim Product Lifecycle Management (PLM) sollen alle für die den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes relevanten Infos bereits in der Planung berücksichtigt werden

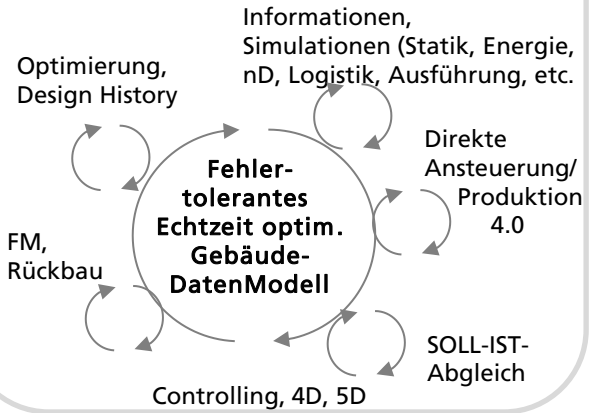
- Bauteilorientierter Ansatz Parametrisch verknüpfte 3D-Objekte /Bauteile mit assoziierten alphanumerischen Objektinformationen

# FUCON 4.0

Parametrische Planung

Digitale Produktion (Industrie 4.0)

## Integrale regelbasierte Planung




- Gewerkeübergreifende Kommunikation und Zugriff auf das Gebäudeinfomodell

- Frontloading

- Simulationen , Vartiantenbildung und Optimierung durch Algorithmen

- Parametrisch / regelbasiert assoziatives Planen mit Design History

- Der regelbasierte Ansatz erlaubt die Planung des Gebäudes als Gesamtentwurf und einen zunehmenden Detaillierungsgrad im Planungsprozess

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

FUCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

* www.muenchen.ihk.de/de/WirUeberUns/Publikationen/Magazin-Wirtschaft-digitale-Ausgabe-und-Archiv2/magazin-2-2015/Spezial/industrie-4.0-produktion-intelligent-vernetzt

## IST-Bauprozess

### Linearer Prozess

- Änderungen sind nicht immer in allen Plänen und Gewerken synchron
- Änderungen sind zeitaufwendig

- Geometrische Konsistenz ist bei der 2D Planung schwieriger zu realisieren

- Komplexe Zusammenhänge und deren Wirkungen lassen sich schwer durchschauen und absehen

- In der 2D-Planung ist in Grundrissen, Längs- und Querschnitten längst nicht alles durchdacht → Interpretationsspielräume

- Entscheidungsprozesse werden nicht abgebildet

- Variantenbildung und Optimierung sind nur mit erheblichem Mehraufwand möglich

## Planungsmethode BIM

### Integrale Planung - Big (Open) BIM

- Änderungen im Gebäudedatenmodell sind für alle Planungspartner sichtbar und synchron. Sie können automatisiert und daher zeiteffizient erfolgen

- Überprüfung geometrischer Kollisionen
- Vermeidung von Planungsfehlern
- Keine Interpretationsspielräume

- Integriertes Kosten- und Zeitplanungsmanagement, Logistik- und Montageabläufe
- Bessere Unterstützung für Ausschreibungsphase (Mengenermittlung, etc.

- Entscheidungsprozesse werden nicht abgebildet
- Alternativen können schneller analysiert und bewertet werden

## FUCON 4.0

Parametrische Planung

Digitale Produktion (Industrie 4.0)

### Integrale regelbasierte Planung

- Änderungen im Gebäudedatenmodell sind für alle Planungspartner sichtbar und synchron. Sie können automatisiert und daher zeiteffizient erfolgen

- Überprüfung geometrischer Kollisionen
- Vermeidung von Planungsfehlern
- Keine Interpretationsspielräume

- Integriertes Kosten- und Zeitplanungsmanagement, Logistik- und Montageabläufe
- Bessere Unterstützung für Ausschreibungsphase (Mengenermittlung etc.

- Design History
- Unterschiedliche Varianten können erzeugt und mithilfe von Algorithmen optimiert werden. Entscheidungsprozesse werden sichtbar.



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

## IST-Bauprozess

### Linearer Prozess

- Produktion und Bauausführung erfolgen auf der Basis von 2D-Plänen.
- Händische Anpassung

- Details werden oft erst auf der Baustelle erkannt und dort gelöst
- Mehrfacheingaben

- Mehrkosten durch Nachträge

- Verzögerungen bei der Realisierung

## Planungsmethode BIM

### Integrale Planung - Big (Open) BIM

- nD-Simulationen: Zeit, Mengen, Baukostensimulation, Baustoffe, Lebenszyklusinfos, Infos zur Bewirtschaftung und Wartung etc.
- Technische Schnittstellen zu Simulations/-software in BIM sind in der Praxis meist fehlerhaft/ unzureichend (von BOTH, KOCH, KINDSVATER; 2013; S. 109)

- Automatisierte Plandarstellung etc.
- Automatisierte Anpassung an unterschiedliche Geometrien oder bei Änderungen nur im Rahmen des Funktionsumfangs bestehender Bauteilbibliotheken

- Produktion und Bauausführung erfolgen auf der Basis von 2D-Plänen.

- BIM-fähige Software arbeitet meist mesh-basiert. Daten eigen sich meist nicht für die Ansteuerung von digitalen Produktionsmaschinen, die nurbs-basierte Daten benötigen
- Händische Anpassung
- Bis in die Details durchkonstruiert. Probleme der Ausführung werden bereits in der Planung erkannt
- Weniger Nachträge durch frühzeitige Fehleridentifiation

## FUCON 4.0

Parametrische Planung

Digitale Produktion (Industrie 4.0)

### Integrale regelbasierte Planung

- Umfangreiche Simulationen und iterativer Entwurfsprozess möglich (Statik, Energie, etc.)

- Automatisierte Plandarstellung etc.
- Automatisierte Anpassung an unterschiedliche Geometrien oder bei Änderungen (bei BIM nicht )

- NURBS –basiert

- Anbindung an Digitale Fertigung

- Scripting zur Automatisierung von Arbeitsabläufen und Tätigkeiten

- Digitale Details, eindeutige Montagerichtung, Vorfertigung

- Weniger Nachträge durch frühzeitige Fehleridentifiation
- Minimierung der Komplexitätskosten und Risikozuschläge möglich


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

## IST-Bauprozess

### Linearer Prozess

- Austaúsch 2D-Daten/ Papierpläne
- Änderungen im späten Planungsverlauf führen meist zu Verzögerungen und Verteuerungen

## Planungsmethode BIM

### Integrale Planung - Big (Open) BIM

- Mangelnde Interoperabilität, da unterschiedliche Standards und Schwerpunkte der Software-Pakete
- Austauschformat (IFC) , BIM Collaboration Format (BCF Datenübernahme mit dem IFC Austauschformat ist nicht verlustfrei möglich.

- Gegenwärtig funktioniert BIM nur innerhalb eines Software-Pakets problemos.
- auch ständige Änderungen können nicht reibungslos gewerkeübergreifend berücksichtigt werden
- Übergabe der Daten zu den ausführenden Gewerken scheitert meistens noch in der Praxis

- Bauherren sind meist nicht für die Übergabe von 3D Modellen ausgerüstet: Hier erfolgt dann oft eine Transformation in 2D, oftmals in technisch überholte Layerlayouts

- Informationsmenge der Gebäudeinformationsmodelle wird meist nicht ausgeschöpft

## FUCON 4.0

Parametrische Planung

Digitale Produktion (Industrie 4.0)

### Integrale regelbasierte Planung

- Virtuelle Baubesprechungen

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Ganzheitlicher SOLL-Prozess

## Szenarien

1.) Gegenwärtiges Planen und Bauen:

2.) der Bauprozess nach der Planungsmethode BIM

3.) parametisches Planen und digitale Fertigung, (FUCON 4.0/ Industrie 4.0- Themen)

**Szenario 1:**
„Alles bleibt wie es ist“

**Szenario 2:**
Planen und Bauen mit BIM (Big Open BIM)

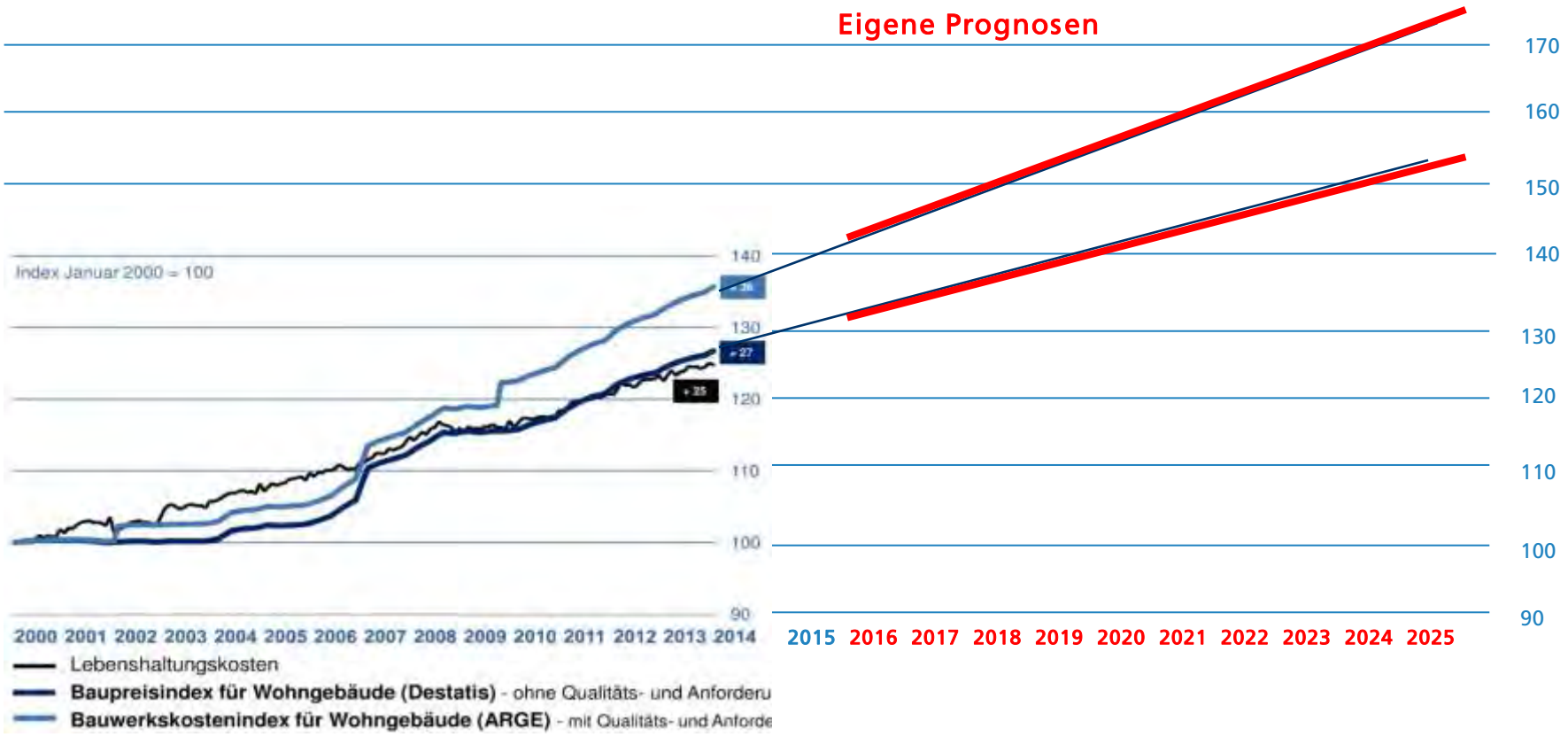
**Szenario 3:**
Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 1

## Die Baukosten werden weiter steigen…

**Szenario 1:**
**Alles bleibt wie es ist…**




Kostentreiber für den Wohnungsbau Diagramm 2, S. 63
http://www.impulse-fuer-den-wohnungsbau.de/w/files/meldungen/kostentreiber-fuer-den-wohnungsbau_studie.pdf

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FuCON ZUKUNFT BAU

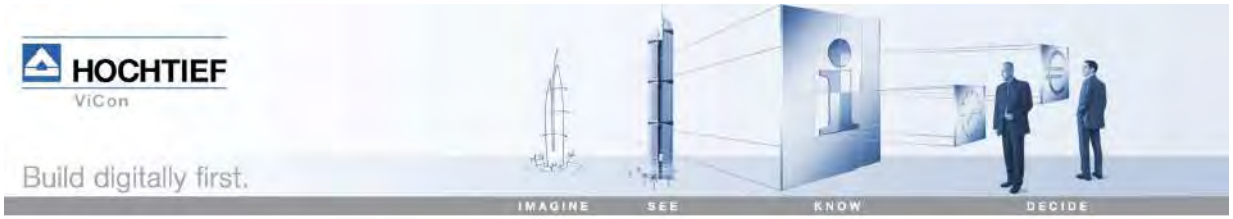
Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 2

## Erfahrungswerte zu BIM bei HOCHTIEF

**Szenario 2: Planungsmethode BIM (Big open BIM)**

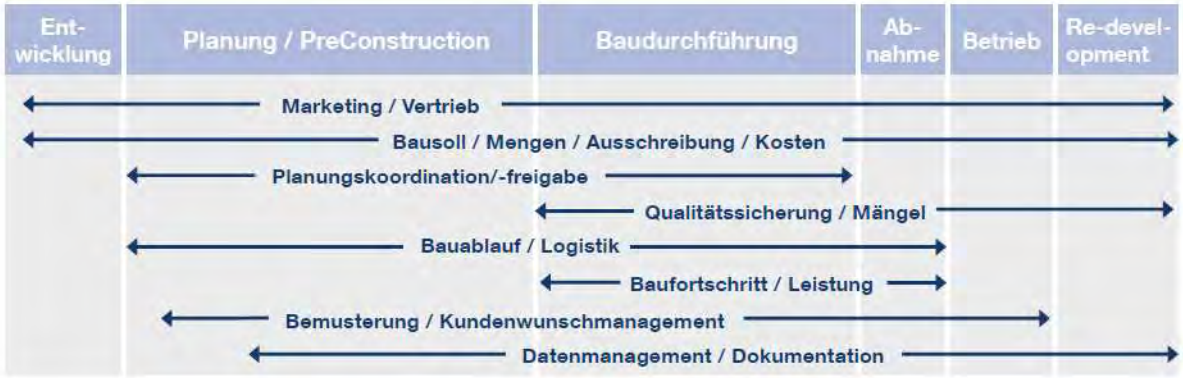



2. BIM im Projektmanagement

Anwendungsfelder

**Welche Themen unterstützt BIM beim Projektmanagement von Bauprojekten?**

Projektdefinition > Projektplanung > Projektsteuerung/-kontrolle > Projektabschluss




One roof – all solutions. 7

Quelle: Kai Brandt, Hochtief ViCon Präsentation 10.Anwendertag buildingSMART 2013

Einsparungen der Gesamtkosten von ca. 2-4% durch BIM-Nutzung

(Dr. Jan Thulke, Hochtief ViCon, 2015)


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 2

## Erfahrungswerte zu BIM

**Szenario 2: Planungsmethode BIM (Big open BIM)**

**Der Einfluss von BIM und Prozessen auf die Projektergebnisse**

**Ergebnisse:**

60% Reduktion Planungszeit

67% Reduktion der Bauzeit

50% Reduktion von Informationsanfragen (RFI)

51% Reduktion der E-Mails

62% Reduktion der Änderungsanträge

- Nachträge werden um 40%
- 10% Einsparung der Gesam

http://www.building.govt.nz/UserFiles/File/Publicat

CIFE Fallstudie Serra Architects, Portland Oregon 2012

http://www.brz.eu/fileadmin/editors/files/de/d_docs/event/forum_2014/praesentationen/10_BIM_als_Managementansatz_in_bauausfuehrenden_Unternehmen.pdf



© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 2

## Erfahrungswerte zu BIM

Szenario 2:
Planungsmethode
BIM (Big open BIM)

- Nachträge werden um 40% reduziert

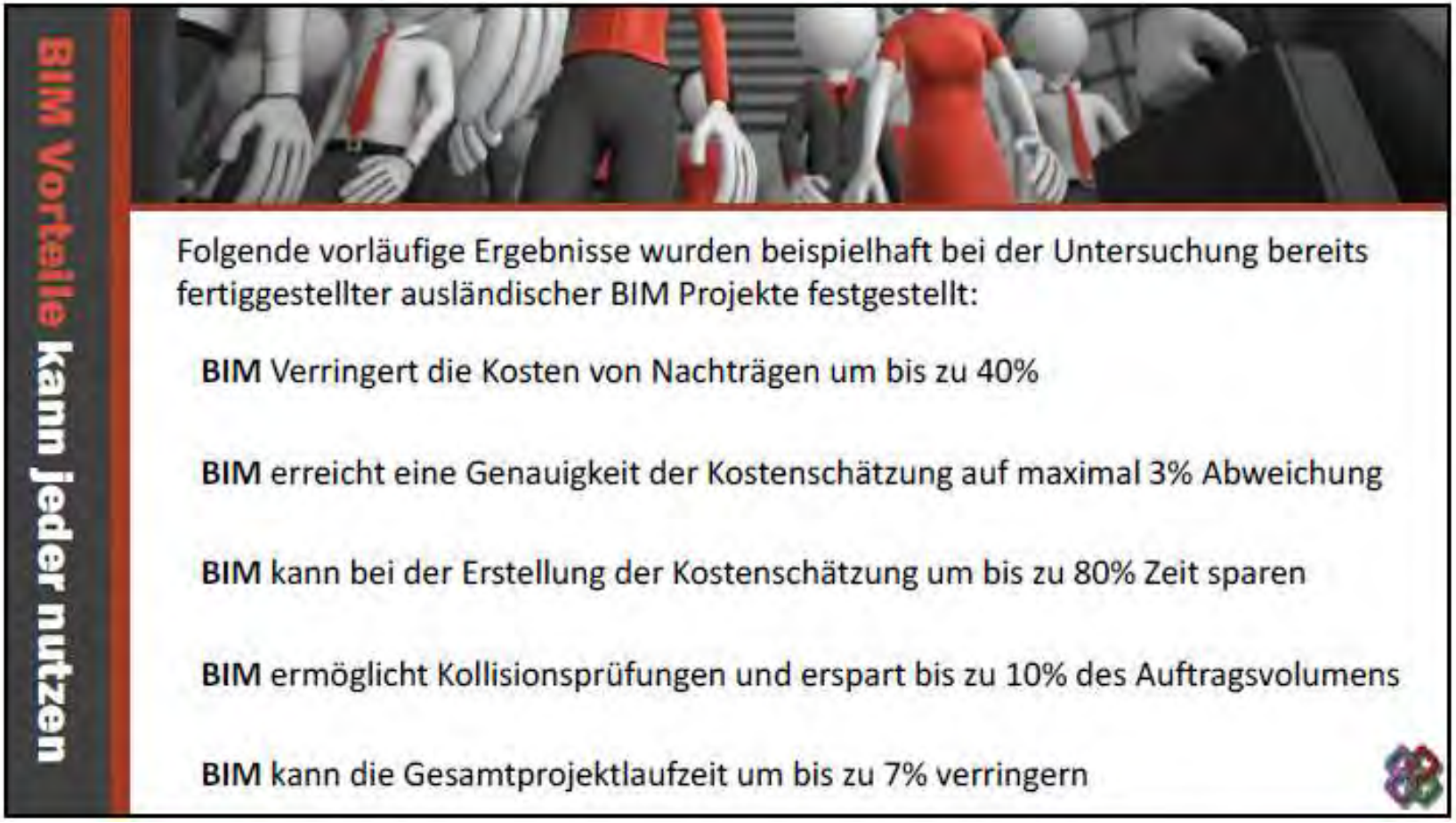
- 10% Einsparung der Gesamtkosten einsparung
  http://www.building.govt.nz/UserFiles/File/Publications/Building/Technical-reports/nz-bim-productivity-benefits.pdf


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 2

## Erfahrungswerte zu BIM

**Szenario 2: Planungsmethode BIM (Big open BIM)**




Quelle: Prof. Hans-Georg Oltmanns, Präsentation 10.Anwendertag buildingSMART 2013


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 2

## Erfahrungswerte zu BIM

Szenario 2:
Planungsmethode
BIM (Big open BIM)

## Kosten-Vorteile durch BIM

### Ergebnisse einer Studie der Hongkong University (The University of Hong Kong)

Vergleich von Planung und Realisierung zweier ähnlicher Wohngebäude (public rental housing) in der hongkonger Wohnbaugesellschaft (Hong Kong Housing Authority (HKHA)

Ergebnis:

- Steigerung des erforderlichen Inputs im Planungsprozess um 45% (100,9 HKD/m², ca. **11,6 €/m²**) GFA (gross floor area) / BGF (Bruttogeschossfläche)
- Reduktion der Kosten pro Quadratmeter BGF im Baubetrieb um 8,61% (591,76 HKD/m², ca. **68,25 €/m²**)
- Gesamtreduktion der Kosten von 6,92% pro Quadratmeter BGF (490,86 HKD/m², ca. **56,62€/m²**)

Bei den Planungskosten sind Schulungen und Weiterbildung für BIM beinhaltet diese werden nach einer Einarbeitungsphase nicht mehr für jedes Projekt benötigt!


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 3

## Erfahrungswerte zu digitaler Fertigung



*„Bis zu 60% der Kosten lassen sich sparen, wenn man Häuser so baut, wie Fahrzeuge gebaut werden. Ganz abgesehen davon, dass sich die Bauzeiten extrem verkürzen lassen.“*

Dieses Statement stammt aus dem Vortrag von Prof. Horst Wildemann („Modularisierung im Hausbau – Konzept und Wirtschaftlichkeit“, München 2015

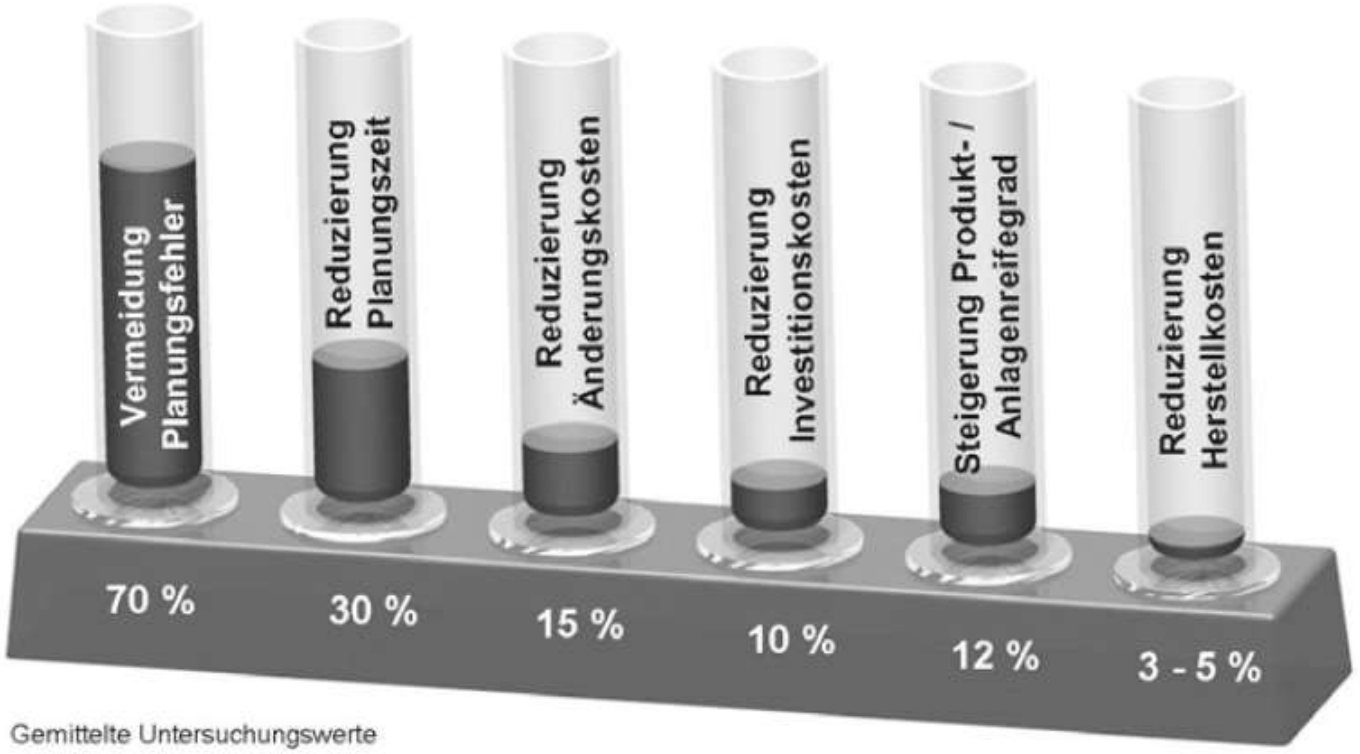

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 3

## Erfahrungswerte zu digitaler Fertigung

**Szenario 3:**
Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0

Quantitative Angaben zur Wirtschaftlichkeit der Digitalen Fabrik:




(BRACHT & SPILLNER, 2011)

Bracht, Uwe; Geckler, Dieter; Wenzel, Siegfried (2009): Digitale Fabrik – Methoden und Praxisbeispiele; Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2011.


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 3

## Erfahrungswerte zu digitaler Fertigung



Rainer E. Schmückle, Produktionsvorstand bei Mercedes Benz Cars, 2010:

*„Die Baukosten für Kecskemét liegen rund 25 bis 30 Prozent unter denen vergleichbarer Planungsprojekte – den Zeitfaktor eingerechnet.*
*Für das ungarische Werk kalkulieren wir eine Bauzeit von zwei Jahren, das sind ein bis eineinhalb Jahre weniger als wir seinerzeit noch für den Bau des Werkes Rastatt benötigten“.*
(Schmückle 2010).

Aus (BRACHT & SPILLNER, 2011)
Bracht, Uwe; Geckler, Dieter; Wenzel, Siegfried (2009): Digitale Fabrik – Methoden und Praxisbeispiele; Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2011; S. 77


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

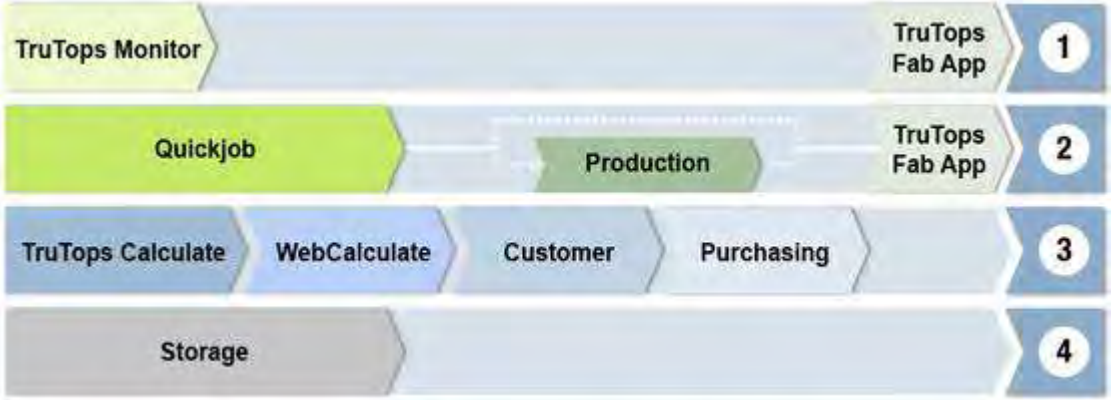
# 2.2 Fazit Szenario 3

## Erfahrungswerte zu Industrie 4.0



### Erhöhung der Produktivität bei Trumpf

Beispiel:
Mit Hilfe der Tru Tops Fab App ist es jetzt schon möglich, die Fertigung per Tablet zu steuern. Die Produktionsübersicht informiert in Echtzeit über die Produktionsaufträge, inklusive relevanter Detailinformationen und dem jeweiligen aktuellen Status. Kundenanfragen können so schnell und kompetent beantwortet werden




http://www.de.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/services/software/trutops-fab.html
http://www.blechnet.com/themen/stanzen/articles/487196/


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 3

## Erfahrungswerte zu Industrie 4.0 – Erhöhung der Produktivität um 20-30%

**Szenario 3:**
Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0

- Ergebnis bei Flottweg: Die Produktivität erhöht sich in den Fertigungsprozessen dank MR-CM um 20 bis 25 Prozent. Bei MR-CM sind Maschinen, Werkzeuge, Logistik, Lager, Controlling etc. über eine Datendrehscheibe miteinander vernetzt und kommunizieren miteinander

- Vergleichbare Resultate ergeben sich bei der Stangl & Co. Präzisionstechnik GmbH, die Produktivitätssteigerungen von circa 30 Prozent erzielen können. Dieser Effekt resultiert aus den Kostensenkungen infolge eines reduzierten Werkzeugaufwands sowie aus der höheren Maschinenauslastung.

http://www.it-production.com/index.php?seite=pis&artikelid=2681

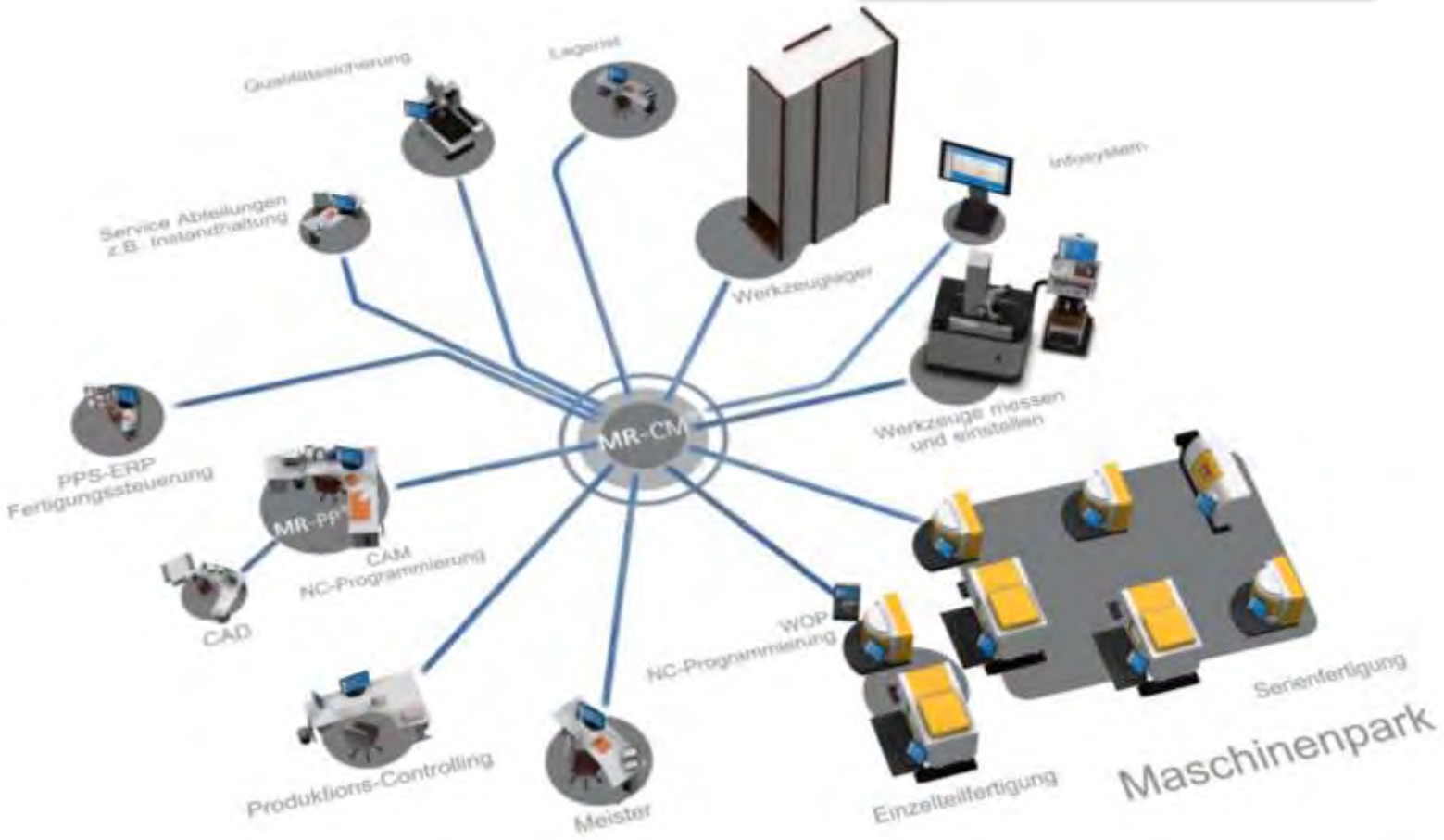
https://www.muenchen.ihk.de/de/WirUeberUns/Publikationen/Magazin-wirtschaft-/Aktuelle-Ausgabe-und-Archiv2/magazin-2-2015/Spezial/industrie-4.0-produktion-intelligent-vernetzt


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 3

## Erfahrungswerte zu Industrie 4.0

**Szenario 3:**
Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0




Reinhausen CAM Landschaft (MR-CM)
Maschinen, Werkzeuge, Logistik, Lager, Controlling usw. miteinander über eine Datendrehscheibe vernetzt sind und kommunizieren können

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 3

## Umfrage zu Industrie 4.0

**Szenario 3:**
Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0

**Umfrage von PricewaterhouseCoopers (PWC) und Strategy& (Oktober 2014):**
**Industrie 4.0 - Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution**

- Im Jahr 2020 werden über 80 Prozent der Industrieunternehmen ihre Wertschöpfungskette digitalisiert haben
- Digitale Lösungen versprechen Effizienzsteigerungen von knapp 20 Prozent bis 2020:

  Die befragten Unternehmen gehen davon aus, dass sie ihre Effizienz durch die Digitalisierung ihrer Wertschöpfungskette um durchschnittlich 3,3 Prozent pro Jahr steigern können. Das entspricht 18 Prozent mit Blick auf die kommenden fünf Jahre.

  Gleichzeitig versprechen sich die Unternehmen Kosteneinsparungen in Höhe von 2,6 Prozent pro Jahr.
- Neben dem messbaren quantitativen Nutzen erwartet die Industrie auch qualitative Vorteile durch die Digitalisierung der Prozesse. Die Produktion soll sich so besser planen und steuern lassen. Gleichzeitig steigen Flexibilität und Kundenzufriedenheit. Außerdem werden Ressourcen effizienter und umweltschonender eingesetzt.
- Deutsche Unternehmen erwarten über 30 Milliarden zusätzlichen Umsatz pro Jahr durch Industrie 4.0. Durch eine stärkere Digitalisierung und Vernetzung ihres Produkt- und Serviceportfolios werden Unternehmen ihre Umsätze im Schnitt um 2,5 Prozent pro Jahr steigern können

http://www.pwc.de/de/digitale-transformation/pwc-studie-industrie-4-0-steht-vor-dem-durchbruch.html

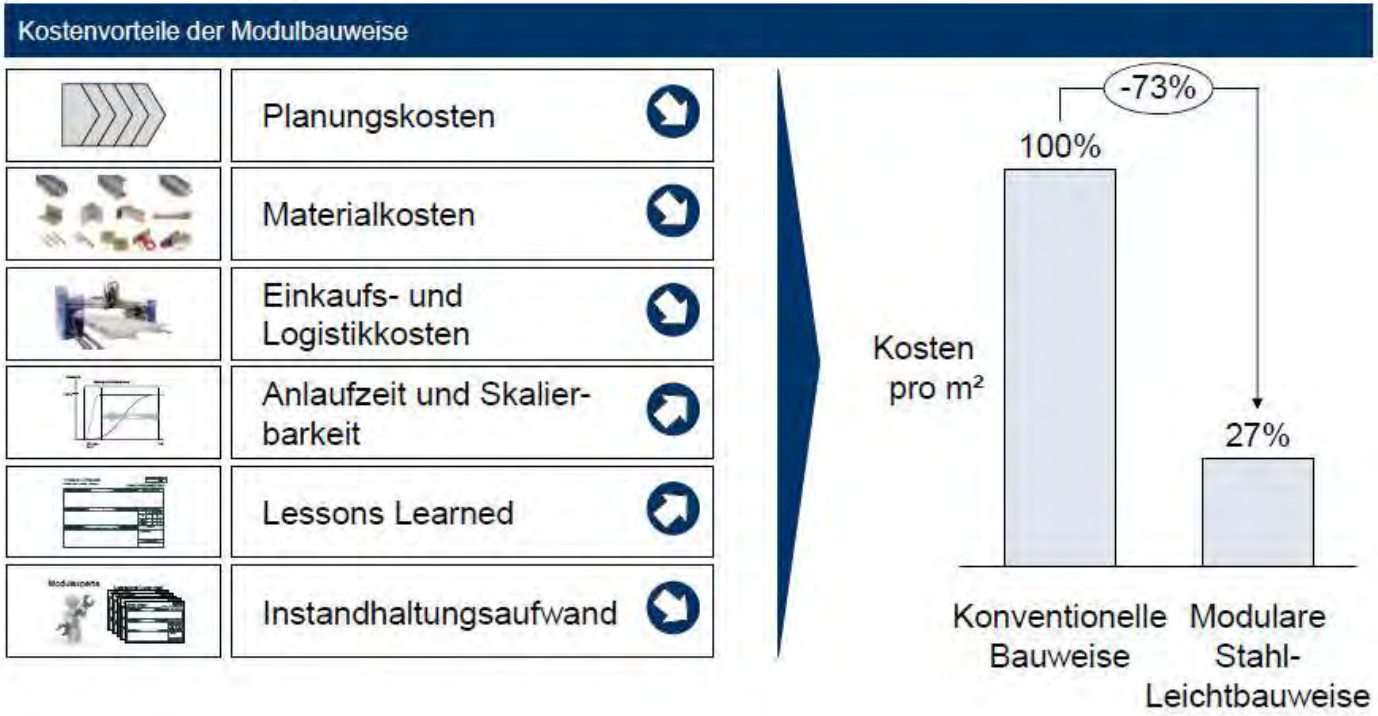

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 3

## Erfahrungswerte zu digitaler Fertigung und Modulbauweise

**Szenario 3:**
Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0

Individuelle Häuser industriell produzieren:
Manfred Grundke (Geschäftsführer KNAUF); Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Horst Wildemann TCW GmbH & Co. KG




https://www.tcw.de/uploads/publication/overview/384.pdf


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 3

## Nutzenpotentiale zu Industrie 4.0

**Szenario 3:**
Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0

### Abschätzung der Nutzenpotenziale durch Industrie 4.0

| Kosten | Effekte | Potenziale |
|---|---|---|
| Bestandskosten | • Reduzierung Sicherheitsbestände<br>• Vermeidung Bullwhip- und Burbidge-Effekt | -30 % bis -40 % |
| Fertigungskosten | • Verbesserung OEE<br>• Prozessregelkreise<br>• Verbesserung vertikaler und horizontaler Personalflexibilität | -10 % bis -20 % |
| Logistikkosten | • Erhöhung Automatisierungsgrad (milk run, picking, …) | -10 % bis -20 % |
| Komplexitätskosten | • Erweiterung Leitungsspannen<br>• Reduktion Trouble Shooting | -60 % bis -70 % |
| Qualitätskosten | • Echtzeitnahe Qualitätsregelkreise | -10 % bis -20 % |
| Instandhaltungskosten | • Optimierung Lagerbestände Ersatzteile<br>• Zustandsorientierte Wartung (Prozessdaten, Messdaten)<br>• Dynamische Priorisierung | -10 % bis -20 % |

*Quelle: Fraunhofer IPA, 2014*


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Fazit Szenario 3

## Nutzenpotentiale zu Industrie 4.0

**Szenario 3:**
Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0

- **Bestandskosten** können um 30 bis 40 Prozent gesenkt werden, weil man auf Basis von Echtzeitinformationen in der Lage ist, Sicherheitsbestände zu minimieren.
- **Fertigungskosten** optimieren sich aufgrund der Prozessregelkreise auf Basis von Echtzeitinformation. Die Gesamtanlageneffektivität von Maschinen verbessert sich.
- **Personal** optimal flexibel einzusetzen heißt 10 bis 20 Prozent an Kosten einzusparen.
- **Logistikkosten** können durch höhere Automatisierungsgrade gesenkt werden.
- **Qualitätskosten** werden reduziert, da in Echtzeit auf Qualitätsdaten zugegriffen werden kann und echtzeitnahe Regelkreise aufgebaut werden können.

http://www.ipa.fraunhofer.de/industrie4-0_potenziale.html


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

## Szenario 1:
„Alles bleibt wie es ist“

- BIM / CAD werden lediglich als digitales Zeichenbrett genutzt
- der (gesamte) Prozess bleibt unverändert

## Szenario 2:
Planen und Bauen mit BIM
(Big Open BIM)

- BIM-Software setzt sich durch
- ansonsten keine große Veränderung im Prozess
- BIM wird für Simulierung und Optimierung eingesetzt (4D/5D/nD)

## Szenario 3:
Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0

- Planung anhand fehlertoleranter Echt-zeitoptimierter Gebäudeinformations-modelle
- Schnittstellen zwischen Planung und Fertigung sind geschlossen

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FUCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# 2.2 Ganzheitlicher SOLL-Prozess _ Fazit Szenarien

## Auswirkungen der Planungs-/Fertigungsmethoden auf den Bauprozess

Darstellung möglicher Auswirkungen auf die Baukosten und den Bauprozess bei

1.) ausbleibenden Veränderungen – Der Bauprozess bleibt wie er ist

2.) der Bauprozess nach der Planungsmethode BIM

3.) parametisches Planen und digitale Fertigung, (FUCON 4.0/ Industrie 4.0- Themen)

| IST-Bauprozess | Planungsmethode BIM | FUCON 4.0 |
|---|---|---|
| | | Parametrische Planung / Digitale Produktion (Industrie 4.0) |
| **Szenario 1:** „Alles bleibt wie es ist“ | **Szenario 2:** Planen und Bauen mit BIM (Big Open BIM) | **Szenario 3:** Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0 |

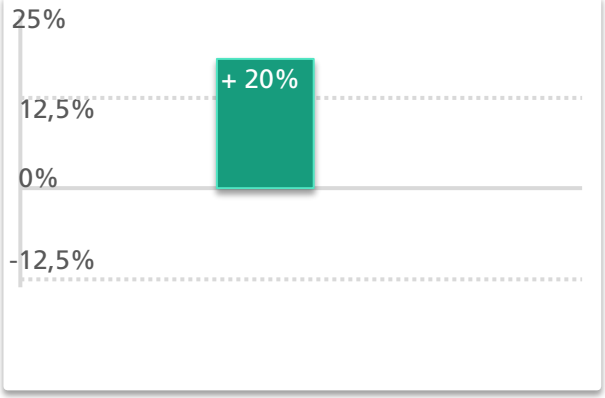

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

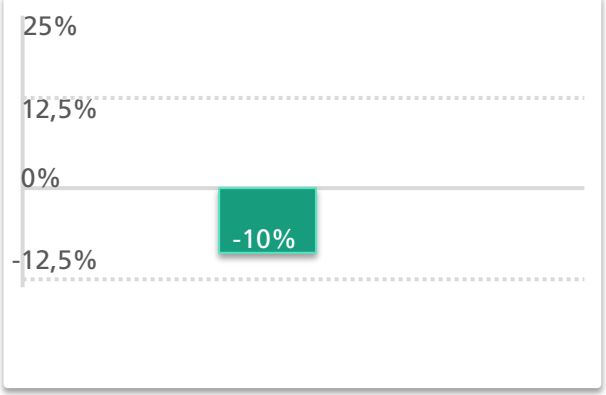
**Szenario 1:**
„Alles bleibt wie es ist“

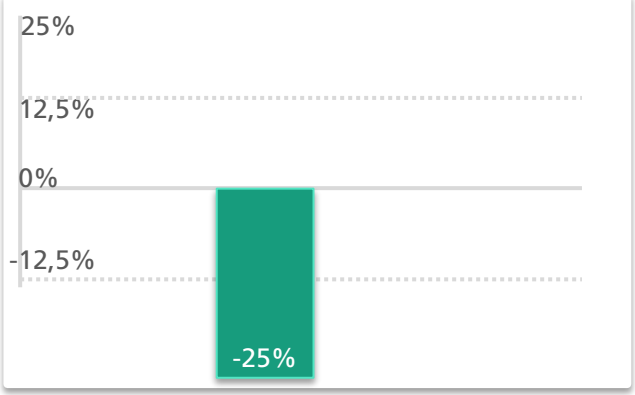
**Szenario 2:**
Planen und Bauen mit BIM
(Big Open BIM)

**Szenario 3:**
Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0

## Prognosen: Entwicklung der Baukosten




### Baukosten-Steigerung bis zu 20% möglich

- Geht man davon aus , dass die Kosten in den nächsten Jahren weiterhin steigen , so werden die Baukosten bis 2025 um weitere 20% ansteigen im Vergleich zum Jahr 2015.

**Grundlage der Prognose:**
Kostentreiber für den Wohnungsbau
Diagramm 2, S. 63
http://www.impulse-fuer-den-wohnungsbau.de/w/files/meldungen/kostentreiber-fuer-den-wohnungsbau_studie.pdf

### Baukosten-Einsparungen von 8-10% möglich

- Mit BIM realisierte Bauprojekte konnten bisher folgende Einsparungen erzielen:

- BuildungSmart/ UK
  Saving 8-10% overall construction cost

www.buildingsmart.org.uk/investing-in-bim-confidence , Seite 8

### Baukosten-Einsparungen von etwa 25% möglich

- Mit Hilfe digitaler, Fabriken und durchgehend digitaler Prozessketten konnten bisher folgende Einsparungen erzielt werden:

- Baukosten für Autowerk konnte um 25-30% gesenkt werden .
  (Angabe für Autokerk Kecskemét, Rainer E. Schmückle, Produktionsvorstand bei Mercedes Benz , 2010 aus BRACHT & SPILLNER; 2011; S. 77)

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

FUCON ZUKUNFT BAU

Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

## Szenario 1:
„Alles bleibt wie es ist“

## Szenario 2:
Planen und Bauen mit BIM
(Big Open BIM)

- Reduktion der Kosten pro m² BGF im Baubetrieb **um 8,61%**
  Studie in Honkong
(LU, FUNG & PENG et. Al; 2014)

- Einsparungen **10%** der Gesamtkosten
- Nachträge werden **um 40%** reduziert
www.building.govt.nz/UserFiles/File/Publications/Building/Technical-reports/nz-bim-productivity-benefits.pdf

- Derzeitige Einsparungen der Gesamtkosten durch BIM-Nutzung : **2-4%**
Dr. Jan Thulke, Hochtief ViCon, 2015

- Kosten Nachträge: Reduzierung um **40%**
Prof. Hans-Georg Oltmanns, Präsentation 10. Anwendertag buildingSMART 2013

## Szenario 3:
Parametrisches Planen und digitale Fertigung – FUCON 4.0 / Bauen 4.0

- Reduzierung Herstellungs-kosten um ca **.10-20%**
(Fraunhofer IPA 2014)

- Einsparungen durch Vorfertigung und integrierte Planung (Integration der TGA in Fertigwände und Schnellverbinder):
- **15-20% Baukosten-Einsparung, 50% Zeitersparnis**
(PROCHINER,; 2013)

- Produktivitätssteigerungen von **25-30%** durch MR-CM (= Maschinen, Werkzeuge, Logistik, Lager, Controlling etc. sind miteinander vernetzt.
www.muenchen.ihk.de/de/WirUeberUns/Publikationen/Magazin-wirtschaft-/Aktuelle-Ausgabe-und-Archiv2/magazin-2-2015/Spezial/industrie-4.0-produktion-intelligent-vernetzt

(LU, FUNG & PENG et. Al; 2014)
Weisheng Lu, Ada Fung, Yi Peng, Cong Liang, Steve Rowlinson (2014): Cost-benefit analysis of Building Information Modeling implementation in building projects through demystification of time-effort distribution curves; Building and Environment; Elsevier; 2014.


© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

# Konzeption und Entwicklung prototypischer Bauentstehungsprozesse auf Basis parametrischer Planungs- und digitaler Fertigungsmethoden und Demonstration der Umsetzbarkeit anhand ausgewählter Katalysatorprojekte

DESIGN TO PRODUCTION

**Inhalt:**
Vision zur Konzeption und Entwicklung neuer Bauprozesse auf Basis neuer Planungsstrategien und digitaler Fertigungsmethoden.

**Auftraggeber:**
Fraunhofer-Institut IAO
Nobelstr. 12
D-170569 Stuttgart

**Bearbeitet von:**
Arnold Walz
**designtoproduction**
Augustenstr. 49A
D-70178 Stuttgart
T +49 711 610749

# Inhalt


1. Einleitung 4
2. Planung 6
3. Produktivität 8
   - 3.1. Kaufhaus Peek & Kloppenburg, Köln, 1999 8
   - 3.2. BMW-Pavillon, 2001 10
   - 3.3. Lufthansa Hauptverwaltung Frankfurt/Main, 2001 11
     - 3.3.1. Generierung der 3D-Geometrie für Beton- und Gitterschalen 11
   - 3.4. Neues Mercedes-Benz Museum, Stuttgart, 2003 12
     - 3.4.1. Entwickeln von Tools für die Optimierung der Baugeometrie. 12
     - 3.4.2. Generieren der Produktionsdaten für die Betonschalung 14
   - 3.5. Landmarke Angerpark, Duisburg 2011 15
   - 3.6. Fassade Hotel IC Davos, 2013 16
   - 3.7. Stiftungsgebäude Pathé, Paris, 2014 18
   - 3.8. Solarladestation Point.One, BMW-Welt, München 20
   - 3.9. Zusammenfassung Produktivität 22
4. Digitale Produktion 23
   - 4.1. Digitale Details 23
   - 4.2. Individuelles BIM 23
5. Wie geht es weiter? 24
6. Digitale Produktion in der Architektur 26
   - 6.1. Gramazio Kohler an der ETH, Zürich 26
7. BIM Building Information Modelling 28
   - 7.1. Digitale Entwurfswerkzeuge 29
     - **7.1.1. Geometriekern** 29
     - 7.1.2. Digitales Gebäudemodell 29
     - 7.1.3. Relationale Datenbank 29
   - 7.2. Hersteller Plugins 30
   - 7.3. Tätigkeitsfelder für Architekten 31
     - 7.3.1. Entwickeln von Tools in Zusammenarbeit mit dem Hersteller. 31
     - 7.3.2. Zusammenstellen von Gebäudestilen 31
     - 7.3.3. Objektplanung 31
8. Digitale Bauprozesse 32
   - 8.1. Optionen für die Entwicklung neuer Bauprozesse 33

# 1. Einleitung

arbeitsproduktivität in deutschland
je geleistete arbeitsstunde

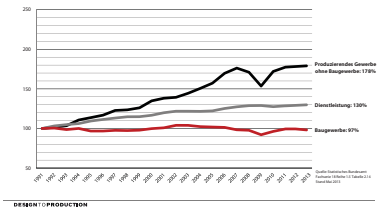



**Abb.: 01**
Arbeitsproduktivität im Bauwesen

Die Arbeitsproduktivität im Bauwesen hat sich in den letzten Jahrzehnten nach Zahlen des Statistischen Bundesamts nur wenig verändert und ist sogar leicht gesunken. Daran hat offensichtlich auch die Einführung von EDV und CAD nichts geändert. Was also läuft falsch im Baugeschehen?
Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 18 Reihe 1.5 Tabelle 2.14 Stand Mai 2013

designtoproduction (dtp) bearbeitet seit 25 Jahren anspruchsvolle Architekturprojekte mit neuen Planungsmethoden und generiert mehr und mehr auch Datensätze für die digitale Fertigung. Diese Erfahrung würde unser Büro gerne auch auf eher konventionelle Bauaufgaben übertragen. Aus unserer Sicht sollten wir aber nicht nur die Produktivität im Bauwesen erhöhen, sondern auch den Gestaltungsspielraum der Architekten erweitern. Viele der bisherigen Rationalisierungsbemühungen der Bauindustrie waren gleichzeitig mit einer Einschränkung an Gestaltungsmöglichkeiten verbunden (Einschränkungen bei z.B. Fertigteilen), ohne aber letztendlich die Gesamtproduktivität zu erhöhen. Um die Ergebnisse solcher Bemühungen bewerten zu können, sind zunächst jedoch architektonische Ziele erforderlich: Was soll morgen anders sein als heute? Wie soll unsere gebaute Umwelt in Zukunft aussehen und wie wollen wir in der Zukunft wohnen und arbeiten?

Folgt man Kritiken und Berichten in den Feuilletons namhafter Zeitschriften, so scheint es, dass nicht nur »wie« wir heute bauen, sondern auch »was« wir heute bauen, nicht mehr zeitgemäß ist. Dies trifft sowohl für das Innere eines Gebäudes zu wie auch für seine Außenwirkung, den Stadtraum, den Stadtteil oder das Quartier.

Auszüge aus Zeitungsartikeln:

**Für immer Nachkriegszeit Wir brauchen einen neuen öffentlichen Wohnungsbau**
Süddeutsche Zeitung, 20.02.2014, Ausgabe Deutschland, S. 11 / Ressort: Feuilleton
„Die öffentliche Hand baut so viel,schnell und billig wie möglich. Experimente sind nicht erwünscht.„
„Alten-WGs, Neo-Kommunen, Patchworkfamilien: Wie lange will man sie noch ignorieren?"

Nur 41% der Bundesbürger wohnen im selbst genutzen Wohneigentum (spddeutsche Zeitung, Wirtschaft)
Immobilien in Deutschland: Ein Volk von Mietern (SPIEGEL ONLINE 2009)

**Der Geruch absterbender Demokratie** Süddeutsche Zeitung, 07.04.2014, Ausgabe Deutschland, S. 9 / Ressort: Feuilleton. Berliner Tagung über die Stadt im Zeitalter des ungebremsten Kapitalismus (Richard Sennet, Saskia Sassen und Alexander Kluge.
„und obwohl sich diese Architektur streng rational, unideologisch und zweckorientiert gibt, hat sie eben doch sehr viel mit der Frage zu tun, in was für einer Gesellschaft wir eigentlich leben wollen.

Dämmungsdämmerung, Dem „atmenden Haus" gehört die Zukunft. Die Architektur steht vor einem Paradigmenwechsel, die Politik muss umsteuern (DIE WELT, 06.12.14, Seite 28, Feuilleton) „Die bundespolitischen energetischen Nachrüstprogramme haben ihre Glaubwürdigkeit verloren, weil sie mit falschen Versprechungen propagiert worden sind. Falsch ist nicht die Nachrüstung, aber deren Technologie, die in der unterschiedslosen Behandlung des Baubestandes den Gipfel der Verantwortungslosigkeit erreicht.
„Beton plus Dämmung", ein anachronistischer Nonsens.

„Denn sie berührt und doch Warum die Architektur endlich auf Gefühle bauen muss - eine Ausstellung in London" (DIE ZEIT 06.02.14, Seite 53, Feuilleton) „Wie kommt es, dass selbst neue Bauten oft aussehen wie der Frankfurter Uniturm, nur dass die wenigsten davon weggesprengt werden?"

Schön teuer Bauen ist in den vergangenen Jahren immer komplizierter und teurer geworden. Auch sozial

orientierte Unternehmen fällt es daher schwerer, günstige Mietwohnungen zu bauen. (Süddeutsche Zeitung, 24.04.2015, S. 23 / Ressort: Immobilien)

SPIEGEL-Gespräch (Nr. 11, 7.3.15) mit dem deutschen Architekten Ole Scheeren: „Mich interessiert die Frage nach der gesellschaftlichen Relevanz von Architektur: Wie lässt sich das Zusammenleben der Menschen gestalten? Die Gesellschaft hat sich verändert, die Architektur ist aber auf erschreckende Weise stehen geblieben. Ein reisengroßes Problem der Architektur besteht darin, dass sie zum Spekulationsobjekt wurde. Wohnungen werden nicht mehr gebaut, damit Menschen darin wohnen, sondern weil Leute ihr Geld anlegen wollen. Es spielt dann aber keine Rolle mehr, ob Architektur gut oder schlecht ist, ob Wohnungsgrundrisse fürchterlich sind."

Während unser aller individueller Egoismus gut ausgeprägt ist, vernachlässigen wir eine Art »kollektiven« Egoismus, das heißt, die Frage, was wir als Gruppe oder Gesellschaft in Zukunft erreichen wollen. Eine Gesellschaft, die keine gemeinsamen Ziele mehr formulieren kann, hat vermutlich auch keine Zukunft.

Sowohl die Planungs- wie auch die Fertigungsinfrastruktur im Bauwesen sind gewissermaßen »atomisiert« – oft sind viele kleine Büros und Firmen mit durchschnittlich wenigen Mitarbeitern beteiligt. Ich glaube nicht, dass man diese etablierte Bauinfrastruktur in absehbarer Zeit ändern kann und schlage deshalb vor, einen komplett neuen Bauentstehungsprozess zu schaffen, der mit dem vorhandenen in konstruktiver Konkurrenz stehen soll.

Bauwirtschaft im Zahlenbild, Ausgabe 2013 (Die deutsche Bauindustrie)
Im Juni 2013 gab es im deutschen Bauhauptgewerbe etwa 75.300 Betriebe mit 769.000 Beschäftigten.

Statistisches Bundesamt, „Strukturerhebung im Dienstleistungsbereich Architektur- und Ingenieurbüros":
34000 Architekturbüros mit durchschnittlich 3 Mitarbeitern/innen

Es ist das Ziel dieser Arbeit, aus einer kritischen Bestandsaufnahme der Planungs- und Produktionsrealität im Bauwesen, Visionen und Konzepte für die Zukunft abzuleiten. Es ist schon jetzt ersichtlich, dass es nicht genügt, sich auf Einzelaspekte zu konzentrieren, sondern dass ein souveräner Überblick erforderlich ist, um konkrete Schritte in Richtung einer neuen Planungs- und Baukultur zu entwickeln.

Es geht um Architektur. Es gibt einen Zusammenhang zwischen Design, Material, Konstruktion, Fertigung und Montage, der in der Baugeschichte oft vernachlässigt wird. Rainer Graefe hat in seinem Buch („Zur Geschichte des Konstruierens" herausgegeben von Rainer Graefe, DVA 1989, Stuttgart, ISBN 3-421-02958-X) eine andere Perspektive aufgetan, die in unserem Zusammenhang interessant ist.

„Bewundernd steht der Bertachter heute vor den großen Baudenkmälern der Vergangenheit und fragt sich, was die Erbauer gewußt haben, um diese technischen Leistungen vollbringen zu können. In der Baugeschichte stellen uns die Prozesse, in denen Konstruktionen und Bauweisen erdacht und entwickelt wurden, noch immer vor Rätsel. Die Vorstellungen, aus denen sie hervorgingen, und die Kenntnisse, die sie ermöglichten, sind in weiten Bereichen unbekannt geblieben". (Rainer Graefe)

## 2. Planung

Es ist davon auszugehen, dass sich die wesentliche Aufgabe des Architekten, der Entwurfsprozess, am schwierigsten automatisieren lassen wird, da beim Architekten alle, zum Teil auch widersprüchliche Anforderungen zusammenkommen und er daraus ein sinnvolles Ganzen formen muss. Auch lange Zeit nach der Einführung von CAD und zehn Jahre nach der Vorstellung von BIM-Programmen gelingt es nur wenigen Architekten, am Ende eines Planungsabschnittes, konsistente, standardisierte Datensätze als Ausgangspunkt für die weitere Bearbeitung zur Verfügung zu stellen. Solange ich standardisierte CAD-Befehle für, z.B. das Zeichnen einer Wand benutze, kann man davon ausgehen, dass damit erzeugte Zeichnungselemente richtig strukturiert sind, und bei einer Auswertung entsprechend interpretiert werden. Sobald ein/e Architekt/in die gewünschte Architekturgeometrie mit vorgegebenen Befehlsmakros nicht darstellen kann, muss er/sie sich mit einfacheren Zeichnungselementen (Linien, Flächen,Volumenkörper...) behelfen. Werden diese Elemente nicht richtig codiert, werden sie mit Sicherheit bei einer automatischen Auswertung falsch, oder gar nicht interpretiert. Der richtige Weg wäre, eigene Zeichnungsobjekte zu schaffen, die den Anforderungen der Software entsprechen. Dazu benötigt man eine entsprechende Dokumentation des Softwareherstellers und evtl. Script- oder Programmierkentnisse. Die Möglichkeit, durch Scripten den Befehlsumfang der Standardsoftware zu erweitern, und dadurch keinen Einschränkungen in der Gestaltung zu unterliegen, war in CAD-Programmen von Anfang an vorgesehen und sollte bei branchen spezifischen Programmen, die spezielle Befehle für z.B. Wände oder Türen beinhalten, ebenfalls möglich sein. Darüberhinaus wären Tools zur Kontrolle der Konsistenz im Sinne der Auswertungsmöglichkeiten bzw. der Möglichkeit, automatisierte Prozesse anzuwenden, sinnvoll.

Es ist verständlich, dass sich Nachunternehmer (Fachingenieure, Investoren, Bauunternehmer...) als Ergebnis architektonischer Planung diese konsistente Datensätze wünschen, auf denen sie dann automatisierte Prozesse aufsetzen können. Der neue Anlauf in diese Richtung heißt Building Information Modeling (BIM). Dieser stellt sich bisher jedoch wenig transparent dar und wirft viele Fragen auf.

Wer möchte diesen Datensatz zu welchen Zwecken nutzen und welche Anforderungen kommen in der Zukunft noch hinzu? Wie sind die Verantwortlichkeiten, die Honorare, das Urheberrecht geregelt? Sind die Programme so strukturiert, dass Fehler, die zu falschen Auswertungsergebnissen führen, vermieden werden? Oder gibt es Werkzeuge, mit denen man Fehler erkennen und korrigieren kann? Die Interessenlage scheint klar, aber warum beteiligen sich so wenige Architekten an der Entwick-

lung dieser Produkte? Sie laufen dadurch Gefahr, letztendlich mit Werkzeugen arbeiten zu müssen, die ihren Anforderungen nicht entsprechen. Britische BIM-Anforderungen gehen von einer Detailtiefe von 1:50 aus (also davon, was früher in einem 1:50-Plan mit Tusche noch darstellbar war) und sehen keinerlei Schnittstelle zur Produktion vor. Das mag aus angelsächsischer Sicht hinreichend sein, da man dort weit mehr auf standardisierte Details zurückgreifen kann. Ob man damit jedoch den deutschen Planungsstil hinreichend abbilden kann, bleibt fraglich, und man muss sich die Frage stellen, ob solch ein Tool nicht eine Planungs- und Produktionsweise stabilisiert, die wir eigentlich überwinden sollten. Schließlich kann ein Planungswerkzeug, das keine funktionierende Anbindung an die Produktion vorsieht, aus heutiger Sicht kaum sinnvoll sein.

Die Veröffentlichungen von BuildingSMART (Common BIM Requirements) dokumentieren aus unserer Sicht ein Planungsverständnis aus dem letzten Jahrhundert: Man zeichnet Wände , anstatt Gebäude auf der Basis von Raumprogrammen und individuellen Regeln zu generieren und dann durch editieren weiterzuentwickeln.

# 3. Produktivität

Vor mehr als zehn Jahren haben wir als Architekten (dtp) bereits automatisiert Datensätze erzeugt, mit denen man die Produktion bestimmter Bauteile steuern konnte. Im Folgenden möchten wir an Hand einiger Projekte zeigen, wie man auf der Grundlage von gescripteten Architekturmodellen die Produktivität in Bezug auf die Erstellung von Planungsleistungen erheblich steigern kann. Alle Daten, sowohl die 2d-Plandarstellungen, wie auch Daten für die Produktion wurden automatisch erstellt und bei Änderungen entsprechend nachgeführt.

**Abb.: 02**
Kaufhaus Peek & Cloppenburg

## 3.1. Kaufhaus Peek & Kloppenburg, Köln, 1999

Architekt: Renzo Piano Building Worshop, Paris

In zwei bis drei Wochen kann eine Variante der Fassade für das Peek & Cloppenburg Gebäude in Köln per Computer von Hand (mit der Maus) gezeichnet werden. In der gleichen Zeit lässt sich ein Programm schreiben, das dies in zehn Minuten erledigt. Konventionell müsste man für weitere Varianten nahezu die gleiche Zeit noch einmal aufwenden. Mit dem genannten Tool wären es für jede weitere Variante nur rund 30 Minuten (Abb. 2).

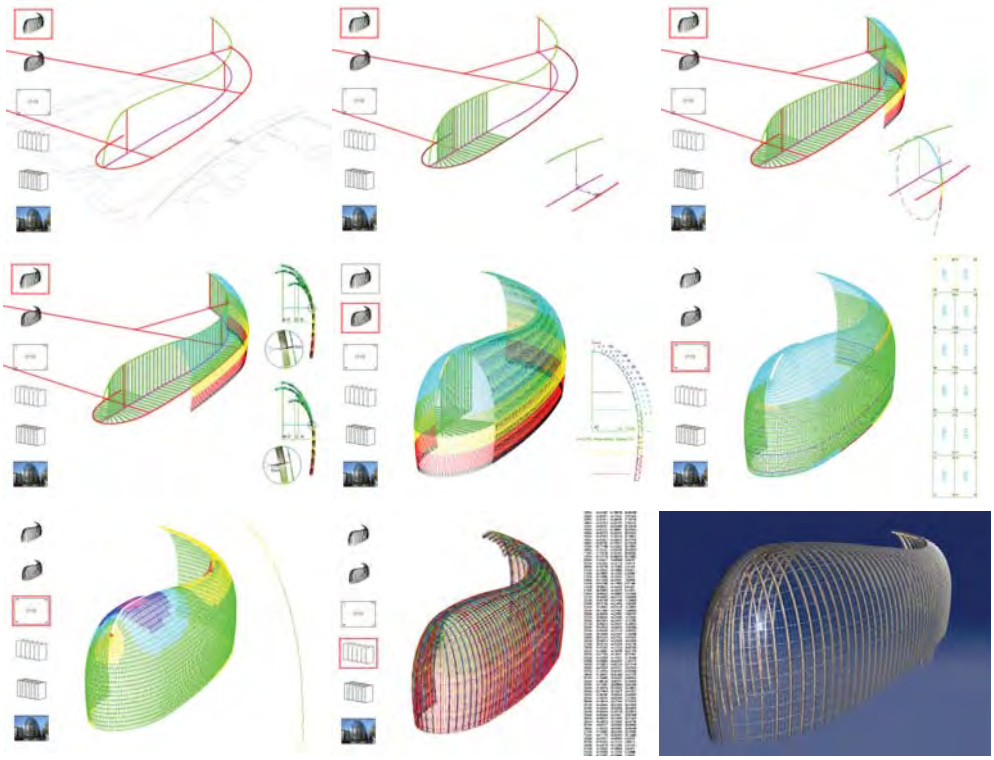


**Abb.: 03**
Screenshots des Skripts: 1. Designkurven 2. Generierung der vertikalen Ebenen, 3. Vertikale Fassadenschnitte 4. Detail Anbindung an Stockwerksplatten 5. vertikale Fassadenteilung 6. horizontale Fassadenteilung/ verwundene Glasflächen 7. Übersicht Fassadenteilung, ebene Glasflächen 8. Daten für die statische Berechnung, 9. Rendering des detailierten Modells

Ausgangspunkt für die Erstellung des digitalen Modells sind 2 Designkurfen: Die Firstlinie und die Grundrisprojektion der Fassade. Die Fassadenlinie wird so geteilet, dass der Abstand zwischen 2 Punkten der Breite der Fassadenelemente entspricht. Dabei muss man die Symmetrie der Fassade in Kuppelbereich beachten.
In dem man vom Teilungspunkt aus normal in Bezug auf die Fassadenlinie in Richtung der ebenfalls projizierten Firstline geht und am Schnittpunkt senkrecht nach oben zur 3D-Firstline, erhält man durch 3 Punkte die Ebene der vertikalen Fassadenteilung. In dieser Ebene wird im oberen Teil, zwischen Firstpunkt und der oberen Stockwerksebene, eine Ellipse generiert, die nach unten mit einem Kreisbogen mit Radius 70m erweitert wird. Im Bereich dieses Kreisbogens wird die Fassade pro Stockwerk gleichmäßig geteilt. Die Ellipse ist, bedingt durch die Gebäudeform an jeder Stelle unterschiedlich lang. Von Seiten der Architekten gibt es eine Regel, die besagt, das es keine abrupten Änderungen der Scheibengrößen geben soll. Gleichzeitig soll die Anzahl der Scheiben in diesem Bereich konstant sein (z.B. 12 Stück). Ausgehend von den Regelscheiben in den unteren Stockwerken, sollen die Scheiben im oberen Bereich schrittweise größer oder kleiner werden, je nach dem, wie lang der Ellipsenabschnitt ist. Auf diese Weise wird die horizontale Fassadenteilung generiert. Als Ergebnis erhalten wir, je nach Teilungsparameter, jeweils 4 Punkte in der Fassadenfläche, die ein Fassadenelement definieren, aber nicht auf einer Ebene liegen. Dies wird dokumentiert, in dem man in jede Ecke das Abstansmaß schreibt, das dieser Punkt hat, wenn die 3 anderen Punkte in einer Ebene liegen. Es zeigt sich, dass die Krümmung der Gläser die Bedingungen für eine Sonnenschutzbeschichtung übersteigen. Deshalb entschieden sich die Architekten für ebene Elemente, die sich horizontal überlappen sollten und in den Vertikalfugen trocken gedichtet werden sollten. Bei der Festlegung der Glasebenen war zu beachten, dass der Abstand zwischen den Ecken von 4 Scheiben an einem Kreuzungspunkt minimiert werden sollten, um die Dichtungs detaillierung und die konstruktiven Details nicht unnötig zu erschweren. Durch die automatische Generierung der Fassadengeometrie kann man zu einem sehr frühen Zeitpunkt neben einem präzisen Achs-, Flächen- und Volumenmodell auch alle geometrischen Grenzwerte für die Entwicklung der konstruktiven Details zur Verfügung stellen. Die Detailtiefe dieses Models kann nun Schritt für Schritt, je nach Anforderungen, vertieft werden. In Absprache mit den Ingenieuren können aus diesem Modell Datensätze generiert werden, die als Ausgangspunkt für eine statische Berechnung dienen können. Je nach Detailtiefe, können auch Datensätze zur Visionalisierung des Gebäudes abgeleitet werden. Ist die Detaillierung abgeschlossen, können, in Absprache mit ausführenden Firmen, Daten für die Produktion erstellt werden. Kontrolliert man ein bis zwei Fassadenelemente und stellt keine Fehler fest, gilt dies auch für den Rest der 6.500 Fassadenelemente.

## 3.2. BMW-Pavillon, 2001

Architekt: Bernhard Franken, Frankfurt/M

**Abb.: 04**
BMW-Pavillon IAA Frankfurt/M

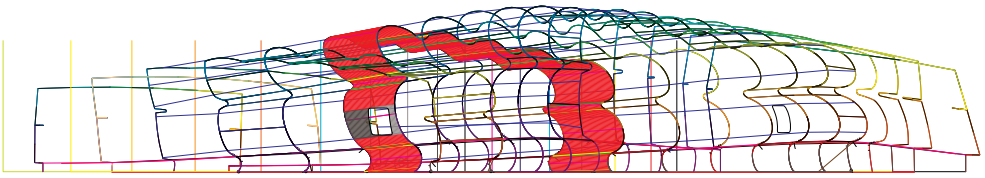


**Abb.: 05**
Modell der Membranfassade mit Fadenachsen

**Abb.: 06**
Ansicht Stahlkonstruktion

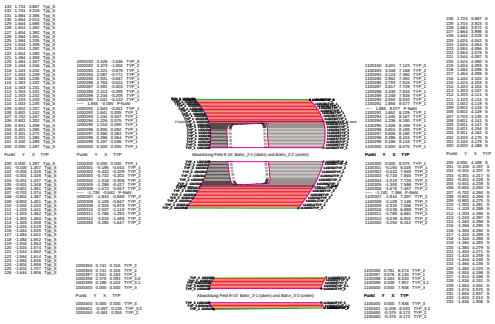


**Abb.: 07**
Zuschnittsdaten

Für den BMW-Pavillon auf der IAA 2001 in Frankfurt entwickelte designtoproduction in Zusammenarbeit mit dem Ingenieur Victor Wilhelm eine Aussenhaut, die gegenüber der bislang geplanten Variante um ca. 1 Million DM billiger war. Im Gegensatz zu den Dogmas führender Leichtbauspezialisten „Membranen müssen biaxial, d.h. in 2 Richtungen vorgespannt werden", entwickelten wir ein Membranendach, dass nur in eine Richtung vorgespannt war, und den Abstand von ca. 8m zwischen 2 Stahlrahmen mühelos, und ohne der Gefahr von „Wassersäcken" überspannen konnte. Da diese Konstruktion unüblich war, gab es auch keine Tools zur Generierung der Zuschnittsgeometrie. Schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt mussten wir aber genau diese Daten für einen Mockup zur Verfügung stellen, damit die Bedenken des Bauherren und anderer Zweifler ausgeräumt werden konnten. Es gelang, das entsprechende Werkzeug zu entwickeln, sodass wir die Zuschnittsdaten für den Mockup liefern konnten.

Ausgangspunkt war die Entwurfsgeometrie des Architekten Bernhard Franken. Mit nur geringfügigen Änderungen konnte die Aussenform des Pavillons so optimiert werden, dass die geplante Membrankonstruktion möglich wurde. Mit Hilfe dieser neuen Rahmenachsen wurde die Membrangeometrie „Fadentreu" generiert, d.h. die Fadenrichtung in den einzelnen Membranabschnitten musste exakt der Vorspannrichtung entsprechen. Aus diesem Membranmodell konnten dann, vollständig automatisiert, die beschrifteten und vermaßten Pläne für die Membranzuschnitte generiert werden, inklusive der materialabhängigen Kompensationswerte. Die Details der Membranhersteller waren eher konservativ, und die Firma war nicht bereit, über neue Details, die unserer Ansicht nach dieser neuen Konstruktion angemessener schienen, zu diskutieren.

## 3.3. Lufthansa Hauptverwaltung Frankfurt/Main, 2001

Architekt: Ingenhofen Overdiek Partner, Düsseldorf

### 3.3.1. Generierung der 3D-Geometrie für Beton- und Gitterschalen

Der erste Teil der Aufgabe bestand darin, die Geometrie der 10 unterschiedlichen Beton- und Glas-Stahl-Gitter-Schalen, entwurfsbegleitend, als parametrisches Volumenmodell zu generieren. Diese Daten sollten dann als Grundlage für die Schal- und Bewehrungsplanung dienen. So konnten Änderungen des Entwurfes kurzfristig nachgeführt werden, und den anderen Planungsbeteiligten zur Verfügung gestellt werden.

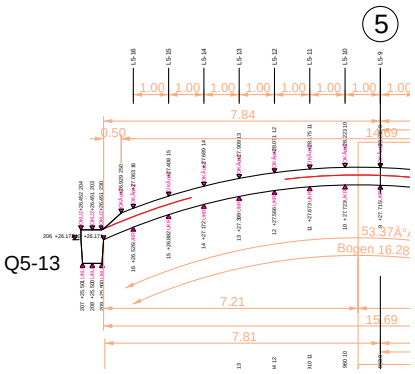



**Abb.: 08**
Werkplanung Dachschalen

Auf der Basis des parametrischen 3D-Modells der Dachschalen, konnten dann mit einem weiteren Skript innerhalb von 2 Wochen ca. 100 A0-Werkpläne mit mehr als 600 individuellen Schnitten und Ansichten inklusive Beschriftung und Vermassung generiert werden (Abb. 11).

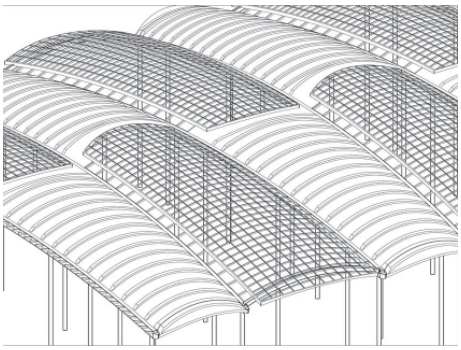


**Abb.: 09**
generiertes 3D-Modell Dachschalen

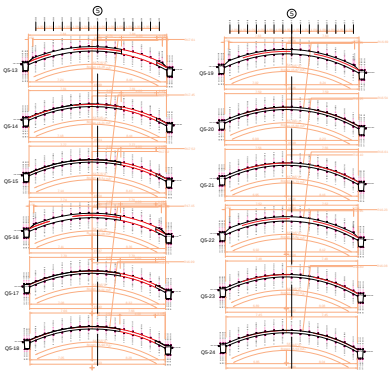


**Abb.: 10**
Ansicht Eingangshalle LH-Hauptverwaltung

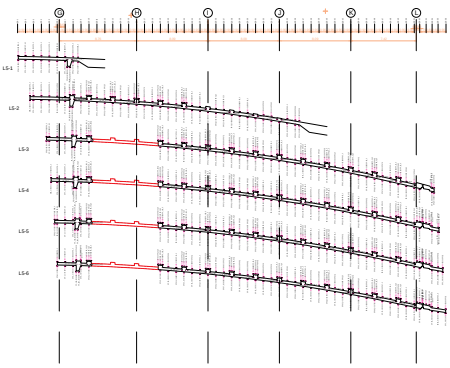


**Abb.: 11**
Werkplanung aus dem 3D-Modell abgeleitet

**Abb.: 12**
Fassade Mercedes Benz Museum

## 3.4. Neues Mercedes-Benz Museum, Stuttgart, 2003

Architekten: UNStudio, Amsterdam, Ben van Berkel, Tobias Wallisser

### 3.4.1. Entwickeln von Tools für die Optimierung der Baugeometrie.

Die gesamte Baugeometrie und die nötigen Datensätze für die Ausführung der Betonkonstruktion und der Fassade konnte von einer Person, in Zusammenarbeit mit den Architekten, generiert und nachgeführt werden. Alle Baubeteiligten bekamen die Pläne und Daten, die sie zur Umsetzung ihres Gewerkes benötigten (Abb. 13).

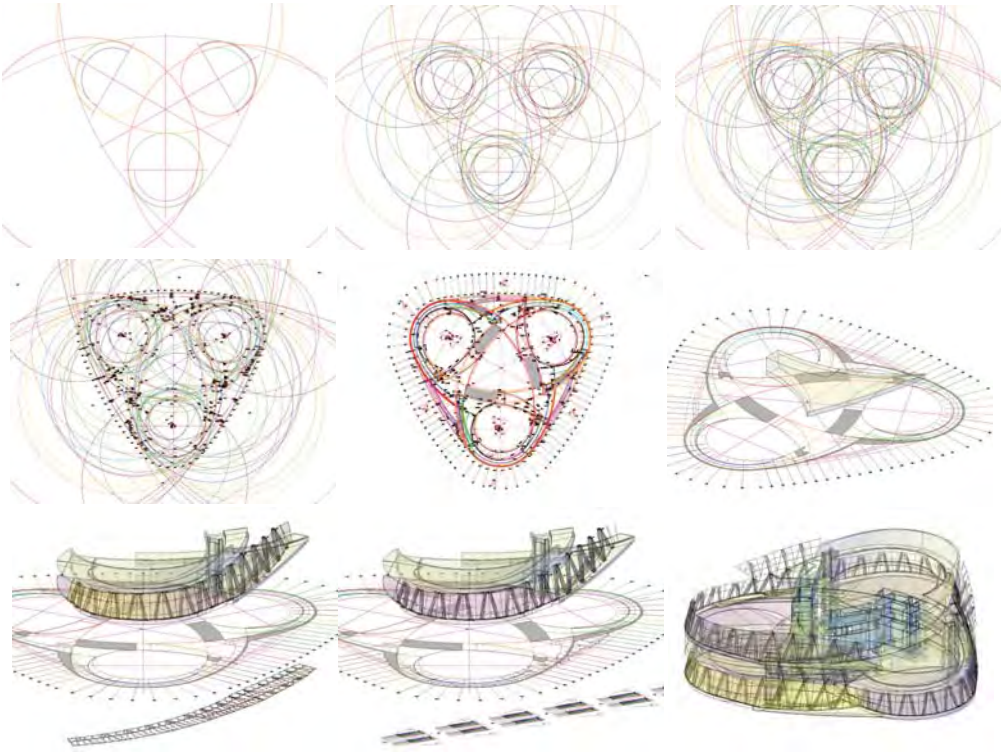


**Abb.: 13**
Screenshots Skript: 1. - 4. Generierung der 2D-Geometriedatenbank 5. Geometrieplan 6. Generierung des Bauteils „Twist" aus den 2D-Geometrievorgaben und 3D-Informationen 7. Generierung der 3D-Fassadengeometrie mit 2D-Abwicklung, Vermassung und Beschriftung 8. Generierung der Stützen und der 2D-Werkplanrohlinge 9. Ausschnitt aus dem Gesamtmodell

Der Entwurf für des neue Mercedes-Benz-Museum in Stuttgart war in Bezug auf die Erstellung eines digitalen, parametrischen Gebäudemodells eine große Herausforderung, da es sich um eine komplexe Bauwerksgeometrie handelt, und zwar nicht nur in Bezug auf die Fassade, sondern auch sondern auch in Bezug auf die gesamte Beton-Tragwerksstruktur. Ausgangspunkt war die Entwurfsgeometrie der Architekten. Dort waren zwar alle Bauteile modelliert, aber noch ohne parametrisch assoziative Verknüpfungen. Im Falle einer Änderung musste das Bauteil komplett neu konstruiert werden. Ziel war, ein Modell zu programmieren, das im Falle einer Änderung kurzfristig aktualisiert werden konnte und aus dem dann auch aktualisierte Ableitungen (Werkplanrohlinge, Koordinatenlisten, Schnitte usw.) erzeugt werden konnten. Der ersten Teil des parametri-

schen Skrips generiert alle Kurven, Linien, Schittpunkte, Fassadenpunkte, Achsen usw. die irgendwo im Bauwerk in Bezug auf wesentliche Bauteile vorkommen. Das Ergebnis ist eine 2D-Datenbank der Bauwerksgeometrie die als Basis für die Generierung der 3dimensionalen Bauteile dient. Wir nannten es Geometrieplan (Abb. 13 Mitte). Diese Datenbank dient dann als Grundlage für die Generierung von Stützen, geraden und gekrümmten Wänden, Rampen, Böschungen oder verwundene Flächen und so letztlich zum Erzeugen von 3D-Volumenkörpern.  Die 3D Informationen konnten auf der Basis von Stockwerkshöhen, Rampensteigung und Materialstärken ermittelt werden.
Die so generierten 3D-Daten waren wiederum Ausgangspunkt zur Generierung der Fassade inklusive der Glasteilung und der entsprechenden Stützen. Bei beiden Elementen, Fassade und Stützen,  wurde parallel zur den 3D-Elementen auch eine 2-dimensionale Abwicklung inklusive Beschriftung und Vermassung aus Grundlage für die Werkpläne erzeugt und bei Änderungen entsprechend nachgeführt.
Bei solchen Bauwerksgeometrien, können kleine Änderungen, wie z.B. die Verbreiterung der Kerne, oder das Ändern des Fassadenoffsets Auswirkungen auf die gesamte Gebäudegeometrie haben. Mit konventionellen Planungsmethoden könnte dies zu extremen Verzögerungen führen. Mit einem parametrisch assoziativen Planungsmodell ist es eine Sache von 1 bis 2 Tagen um alle Daten zu aktualisieren.

In der Regel wissen wir als planende Architekten lange nicht, wie die ausführenden Firmen die Bauteile produzieren werden und deshalb auch nicht, was für Daten sie dazu benötigen. Das während der Entwurfsphase aufgesetzte Modell muss so strukturiert sein, das man zu einem späteren Zeitpunkt, mit entsprechenden Tools, all die benötigten Daten ableiten kann, die benötigt werden. Standardableitungen wie Werkplanrohlinge und Schnitte werden einmal angelegt und werden bei Änderungen automatisch aktualisiert. (Abb.: 14)

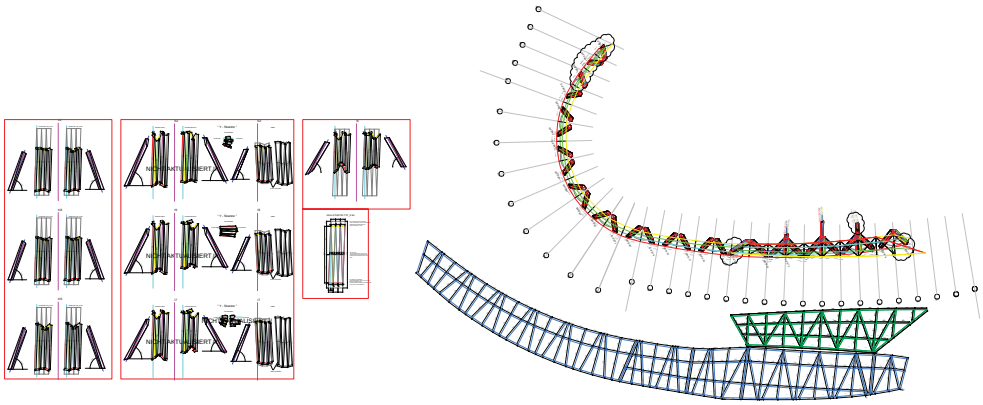


**Abb.: 14**
Werkplanrohlinge: Abwicklung Stützengeometrie, Grundris und Horizontalschnitte Fassade, Fassadenabwicklung

Mit dieser Planungsstrategie konnte das Mercedes-Museum in nur 3 Jahren (Planung und Ausführung) pünktlich fertiggestellt werden. Die Baukosten wurden nur geringfügig überschritten.

### 3.4.2. Generieren der Produktionsdaten für die Betonschalung

**Abb.: 15**
MB Museum, Schalung für doppelt gekrümmte Sichtbetonflächen

Für den Betonbauer (Züblin) konnten aus dem Modell mehr als 40.000 Schaltafelzuschnitte (Abb. 16 und 18) für die doppelt gekrümmten Sichtbetonflächen generiert werden und als Fräsdaten an den Hersteller weitergeleitet werden.

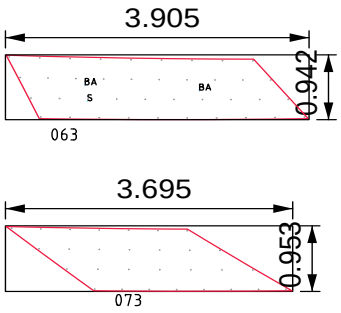



**Abb.: 16**
Schaltafeln

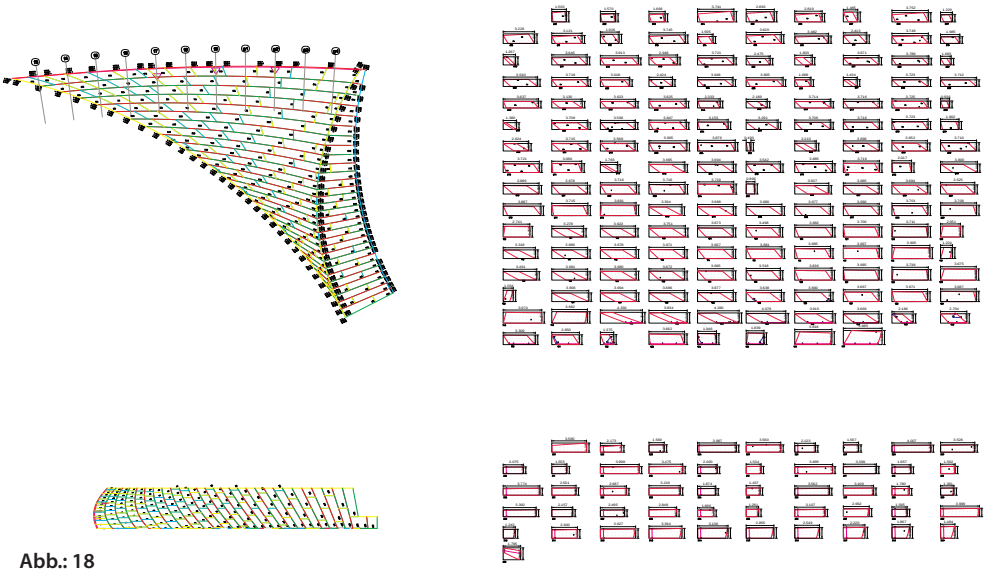


**Abb.: 18**
3D-Schalbild und 2D-Schaltafelzuschnitte mit Markierung für Einbauteile

**Abb.: 17**
MB Museum, Atrium, Untersicht „Twist“

Es gehört zur Philosophie unseres Büros, dass wir uns schon während der Planung detaillierte Gedanken zu Fertigungsprozessen machen. Da beim Mercedes Museum ebene Flächen in gekrümmte Flächen nahtlos übergehen und wir an diesen Stellen keinen Textursprung in den Oberflächen wollten, war klar, dass wir zum Schalen der doppelt gekrümmten Sichtbetonflächen das gleiche Schalungsmaterial verwenden müssen, wie bei den ebenen oder einfach gekrümmten Flächen. Deshalb haben wir schon währen der Planungszeit Versuche zum 2 achsigen Krümmungsverhalten der Schalungsplatten gemacht. Gleichzeitig haben wir die elastische Verformung der Tafeln rechnerisch untersucht um festzustellen, welche maximalen Krümmungen, in Abhängigkeit von Materialstärke und Plattengröße möglich ist. Diese Erkenntnisse wurden beim Design der Bauteile berücksichtigt. Auch die Abwicklung von „nichtabwickelbaren doppelt gekrümmten Flächen“ haben wir untersucht und einen Algorithmus entwickelt, der diese gekrümmten Flächen unter Berücksichtigung der elastischen Verformung in ebene Fräszuschnitte konvertierte. Diese Fräszuschnitte beinhalteten auch die Löcher für das Verschrauben mit der Schalunterkonstruktion sowie Markierungen für Schalanker, Sprinklerpositionen, Elektroanschlüsse usw. Auf diese Weise erübrigte sich eine spätere, aufwendige Einmessung dieser Punkte auf der Baustelle. So wurden die Zuschnitte und Einzelpläne von über 40.000 Schaltafeln auf der Basis der 3D Flächen und eines vorgegebenen Schalbildes automatisch generiert und an die Fertigung weitergegeben. Die Fugentoleranz in der 3D-Schalfläche war kleiner 0,5mm.

## 3.5. Landmarke Angerpark, Duisburg 2011

**Abb.: 19**
begehbare Großplasik, Duisburg

Heike Mutter und Ulrich Genth entwarfen ein Kunstwerk als Landmarke im Rahmen der europäischen Kulturhauptstadt 2010, im Ruhgebiet. Es handelt sich dabei um eine begehbare Großskulptur auf einer renaturierten Schlackenhalde in Duisburg (Angerpark).

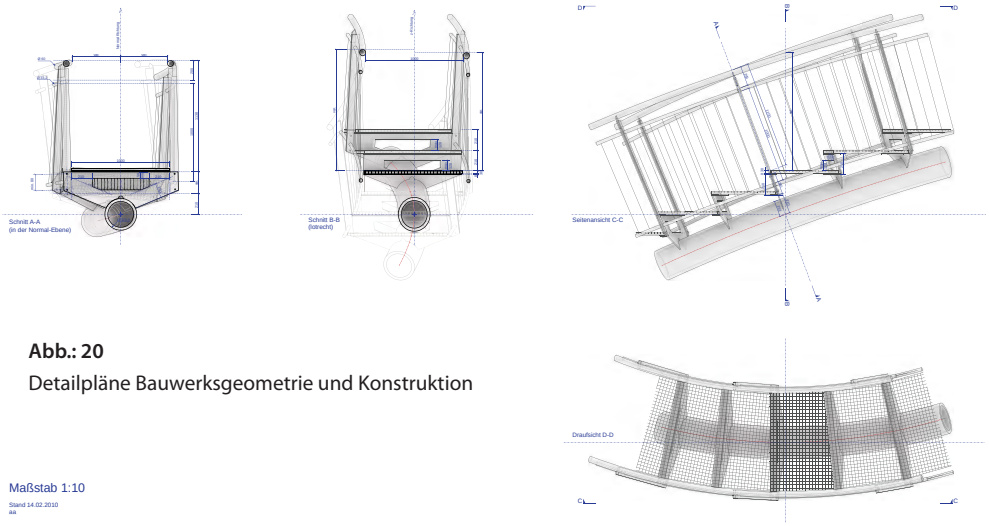



**Abb.: 20**
Detailpläne Bauwerksgeometrie und Konstruktion

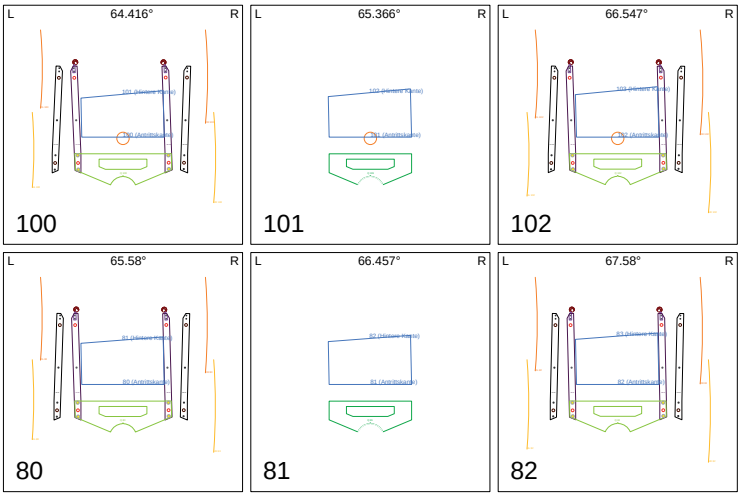



**Abb.: 21**
Daten für die Produktion

Bei der Konstruktion für die Landmarke Angerpark (Tiger & Turtle) konnten wir zum ersten Mal konsequent die Idee des digitalen Details anwenden. Die ursprünglich vorgesehene konstruktive Detaillierung sah gebogene und verwundene Stahlbänder vor, für die es kein wirtschaftliches Produktionsverfahren gibt. Durch den erzwungenen gleichmäßigen Abstand der Geländerpfosten und die durch die ständig wechselnde Treppensteigung variierenden Längen der Auftritte konnte kein standardisiertes Anschlussdetail verwendet werden. In unserem Vorschlag gibt es nur gebogene Rohre (Tragrohr und Handlauf) und Stahlteile, die aus ebenen Blechplatten ausgeschnitten und markiert werden können. Für das Biegen und Markieren der Rohre gibt es zuverlässigen digital gesteuerte Werkzeuge. Das Ergebnis waren ca. 360 „Briefmarken“ (Abb 21), die alle Informationen für eine Stufe beinhalten: Trittstufe (Gitterrost) Stellstufe (Querträger), Geländerpfosten, Handläufe inklusive aller Bohrungen, Markierungen und Einbauhinweise.

## 3.6. Fassade Hotel IC Davos, 2013

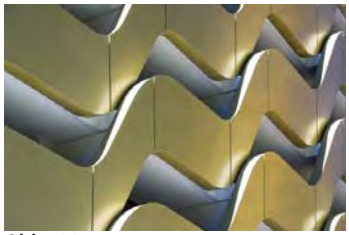


**Abb.: 22**
Fassadenauschnitt IC Davos

Architekt: OIKIOS, Oliver Hofmeister, München

Für das geplante Hotel in Davos gab es zwar einen Gebäudeentwurf, aber keine Fassade. Der Münchner Architekt Oliver Hofmeister hatte eine Idee, die es als Ausschnittsmodell in Ton modellierte. Auf der Basis der Bauwerksgeometrie, die im Laufe des Projektes mehrmals geändert wurde, und den Angaben des Architekten, konnte die Fassadengeometrie, parametrisch gesteuert, vollständig generiert und Zug um Zug optimiert werden. Änderungen an der Fassadenhüllfläche, den Stockwerkshöhen und er Fassadengeometrie konnten kurzfristig nachgeführt werden.

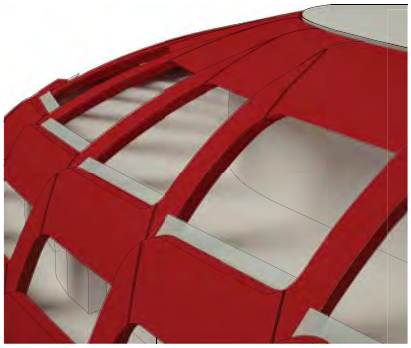


**Abb.: 23**
Fassadenauschnitt Ebene 10 mit Glasbrüstung

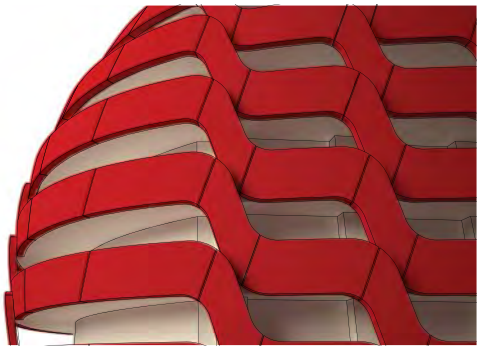


**Abb.: 24**
Fassadenauschnitt 3D-Modell

Die Ergebnisse der ersten Ausschreibung waren katastrophal. Der Preis viel zu hoch und die von den Firmen vorgeschlagenen Konzepte zur Produktion der Elemente schlicht unakzeptabel. Es war ersichtlich, dass keiner die Geometrie wirklich verstanden hatte. Gemeinsam mit dem Architekten untersuchten wir verschiedenen Möglichkeiten der Produktion, wobei wir großen Wert auf eine möglichst digitale Fertigung legten. Es wurden Mockups in faserverstärktem Spezialbeton angefertigt, die aber nicht zu Ende entwickelt werden konnten, da der Bauherr nicht bereit war, Ingenieurleistungen zur Entwicklung der konstruktiven Details zu bezahlen. Da auch die Mockups in Aluminium und Stahl verschiedener Hersteller nicht akzeptabel waren, mussten wir den Produktionsprozess selbst entwickeln. Die Augsburger (Gersthofen) Fassadenfirma Seele war die einzige, die bereit war, mit uns über dieses Konzept zu diskutieren. Wir konnten die Firma überzeugen und so wurde unsere Idee von digitalen Details und Produktion aufgenommen und professionell durch seele weiterentwickelt. seele konnte so gegenüber dem Bauherren das überzeugendste Angebot machen, bekam den Auftrag, von uns die Daten und konnte so die von den Schweizer Kollegen als „unbaubare Fassade“ bezeichnete Konstruktion fertigen, pünktlich montieren und das Projekt mit Gewinn abgeschließen. Die Qualität der Fassade ist hervorragend, die maximalen Abweichungen gegenüber der geplanten Geometrie liegen bei 3mm. Der Preis hat sich gegenüber den ersten Angeboten halbiert.

**Abb.: 25**
Bilder aus der Produktion (oben), der Montage und der fertigen Fassade (unten)

## 3.7. Stiftungsgebäude Pathé, Paris, 2014

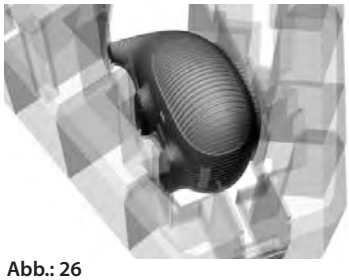


**Abb.: 26**
Stiftungsgebäude Path'e, Paris

Architekt: Renzo Piano Building Workshop, Paris

Der Entwurf von Renzo Piano für das neue Stiftungsgebäude der Firma Pathe in Paris war auch für uns eine neue Herausforderung. Während wir alle bisherigen Projekte von Grund auf skripten konnten, mussten wir uns bei diesem Projekt eine neue Strategie ausdenken. Es gehört zu unseren

**Abb.: 27**
Eingangsbereich und Feuerwehrzugänge

**Abb.: 28**
Stiftungsbüro unter der Glaskuppel

Prinzipien, dass wir am Beginn eines neuen Projektes genau überlegen, mit welchen Werkzeugen wir das Projekt bis in die Ausführung hinein beherrschen können. Die bisherige Strategie schied aus, da die extremen „surface modelling"-Anforderungen mit unseren bisherigen Werkzeugen nicht gewährleistet werden konnten. Nachdem wir eine geeignete Alternative entwickelt hatten, entschieden wir uns für das Programm „Digital Projekt", einer Architekturapplikation auf der Basis von Catia (Dassault Systems), die von Gehry Technologies entwickelt worden war. Gehry Technology France, war so freundlich, uns für diese Projekt die erforderlichen Lizenzen zur Verfügung zu stellen. Die für uns wesentlichen Module innerhalb dieses Programmpaketes dokumentieren den Konstuktionsprozess in einer sogenannten „Design Historie", sodass man zu jedem Zeitpunkt frühere Eingaben korrigieren oder erweitern kann, und alle darauf basierende Elemente automatisch nachgeführt werden. Bestimmte Entwurfsstile von Architekten lassen sich nur auf diese Weise bearbeiten und optimieren. Das Modell umfasste die Betonschale, den gesamten Fassadenaufbau, außer den Lammelen, sowie die gesamte Kuppelkonstruktion in einer ausführungsreifen Detailtiefe. Nachdem das vorherigen Gebäude auf dem Grundstück abgerissen war, stellt sich heraus, dass das zur Verfügung stehende Grundstück kleiner war, als ursprünglich angenommen. Die Anpassung des Baukörpers an die neuen Randbedingungen konnte in nur wenigen Tag vorgenommen werden.

Die Aussenhaut, mit Ihren vielen individuellen Lamellen (ca. 9000 Stück) , die wiederum je nach Himmelsrichtung unterschiedlich perforiert waren, wurde in Rhino geskripted.
Während der Planungszeit waren wir Teil des Designteams im Büro von Renzo Piano Building Workshop in Paris. Man traf sich alle paar Wochen und arbeitete gemeinsam an dem Projekt. In dieser Zeit konnten alle notwendigen Abstimmungen erfolgen, sodass jeder individuell weiterarbeiten konnte.
Indem wir schon in der Entwurfsphase Kontakt mit möglichen ausführenden Firmen gesucht hatten, konnten wir sowohl Gestaltungsaspekte wie auch die konstruktiven Details im Hinblick auf eine wirtschaftliche Umsetzung abstimmen. Das Gebäude wurde Anfang 2014 eröffnet.

**Abb.: 29**

Gebäudestruktur:
1. Stockwerksplatten
2. Stahlschablonen für die Spritzbetonschale
3.Spritzbeton Aussenwand
4. Fassadenabstanshalter im Bereich der Wärmedämmung
5. Kuppelkonstruktion
6. Fassadenunterkonstruktion
7. Verkleidung mit perforierten Lamellen

## 3.8. Solarladestation Point.One, BMW-Welt, München

**Abb.: 30**
Solarladestation, BMW, München

Arcitekten: LAVA Stuttgart

Ausgangspunkt ist ein Design von L.A.V.A. Architekten (Stuttgart) für eine Solarladestation im Auftrag der Firma EIGHT GmbH & Co KG. Es handelt sich um eine doppelt gekrümmte, verwundene Form, die in eine Gitterstruktur aus 2-lagigen Trägern in U- und V-Richtung aufgelöst ist.

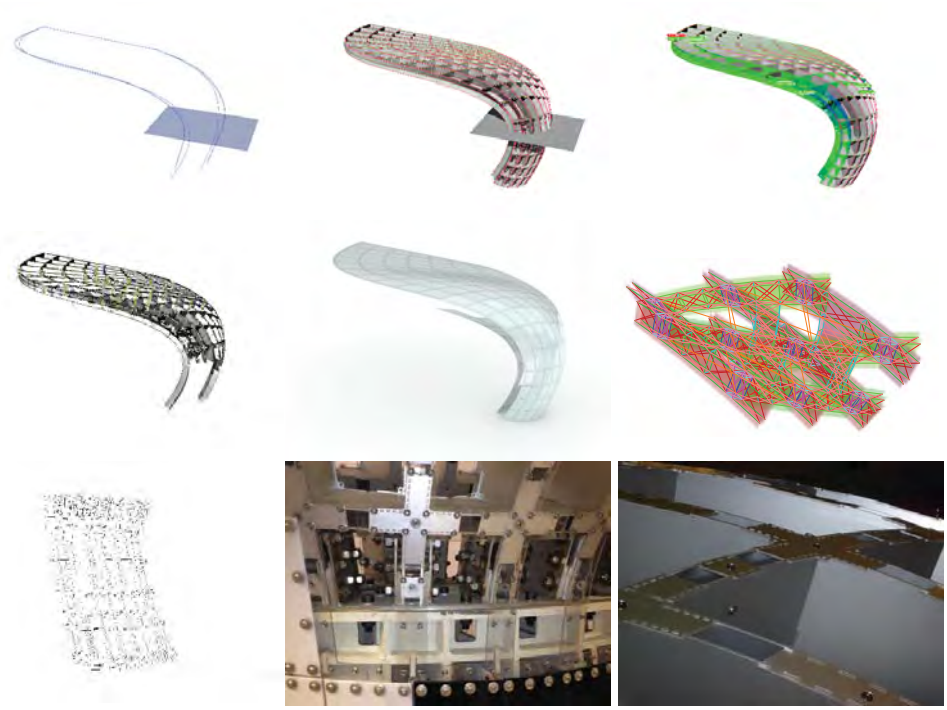


**Abb.: 31**
Designkurven der Architekten, Generierung der Materialebenen, Überprüfung der Krümmungen und der Verwindung (bei Überschreitung der Grenzwerte muß die Entwurfsgeometrie angepasst werden), Generierung der detaillierten Materialmittelflächen und der Knoten, Generierung der Verkleidungsplatten, Generierung des Datenmodells zur statischen Berechnung, Generierung der Fußkonstruktion, Detail Übergang Fuß (Stahl) zu Aluminium, Detail Aluminiumkonstruktion.

Bei der Entwicklung der (digitalen) Konstruktionsdetails mussten eine Vielzahl von Anforderungen berücksichtigt werden: Geometrische Abhängigkeiten, Materialeigenschaften (Verwindung, Biegung), Montierbarkeit (Stecksystem), Tragwerksplanung (Verbindungsdetails), Fertigungstoleranzen und Ästhetik.
All dies führte zu einer integrierten Struktur, die aus mehreren Baugruppen besteht: dem Stahlfuß, der Aluminumstruktur, der Verkleidung, der Solarebene etc.. Die Abhängigkeiten zwischen den Baugruppen werden durch ein parametrisches Skript verwaltet. Über 2000 Einzelteile wurden im 3D-Modell digital generiert. Daraus wurden die Daten für die Produktion automatisiert abgeleitet und anschließend die Einzelteile digital gefertigt (Laserschneiden, Fräsen). Für diesen Prozess waren keinerlei konventionellen Planunterlagen nötig. Die Montage konnte anhand der individuellen Codierung der Einzelteile sowie unterstützender 3D-PDF-Dateien problemlos ausgeführt werden.

Die ausschließlich eben ausgelaserte Teile (Aluminium, Edelstahl, Makrolon) werden bei der Montage zum Teil elastisch verformt, zusammengefügt und durch individuelle Knoten fixiert. Alle Teile sind dabei geometrisch (Form) und graphisch (Beschriftung) so codiert, dass sie nur in einer, und zwar der richtigen Art und Weise zusammengefügt werden können. Die Anschlusspunkte für die Dachhaut und die Solarmodule sind in der Primärstruktur integriert. Um im Bereich des Fußes genug Raum für Monitor, Solarsteuerung und Ladetechnik zu schaffen wurde die Aluminiumstruktur in diesem Bereich durch eine Stahlstruktur mit Anprallschutz ersetzt.

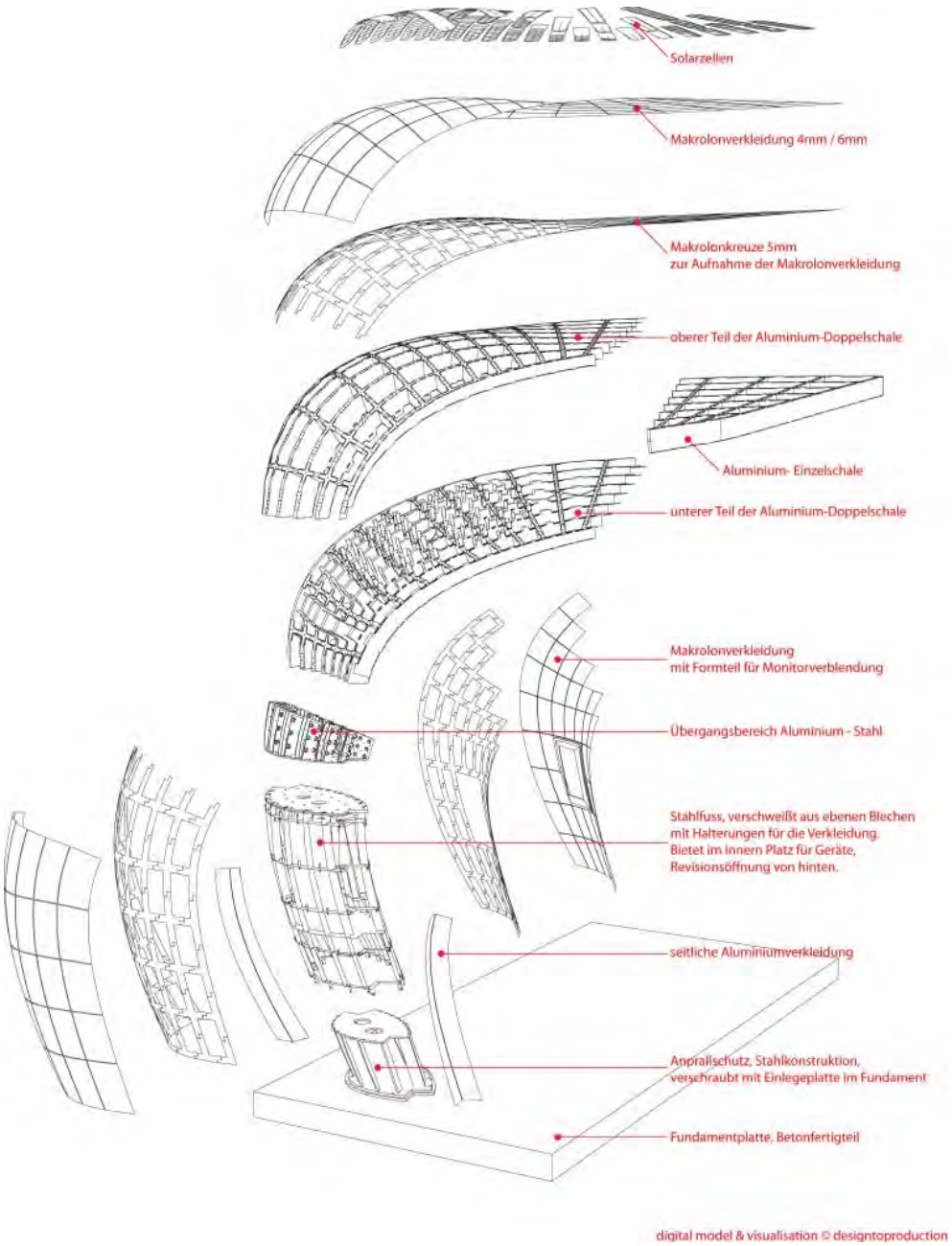



**Abb.: 32**
Explosionszeichnung der Solarladestation

## 3.9. Zusammenfassung Produktivität

Die Beispiele sollen zeigen, dass man mit Hilfe individueller Tools auf der Basis eines geeigneten 3D-Kerns (Rhino, MDT, Catia) und einer geeigneten Skriptsprache (früher: Lisp, Visual Basic, heute Phyton) komplexe Projekte sowohl in Bezug auf den Entwurf, wie auch im Hinblick auf die Produktion zuverlässig innerhalb eines normalen Planungszeitraumes bearbeiten kann. Dabei müssen alle Aspekte, die im Hinblick auf die Planung und Fertigung wichtig sind, berücksichtigt und verwaltet werden. Bei der Wahl der zu Grunde liegenden Software müssen sowohl Aspekte der Modellierung, der Detaillierung, wie auch der Ableitung von Produktionsdaten berücksichtigt werden. Hierfür eignen sich vor allem Produkte mit einem Nurbs-basierenden 3D-Kern. Architektursoftware, die auf einem Mesh-basierenden 3D-Kern aufbaut, kann dies bei gekrümmten Bauteilen nur unzureichend. Architekturprogramme liefern in der Regel ein 3D-Modell zur Visualisierung und 2D-Pläne für den Bauherrn, die Fachplaner und die ausführenden Firmen. Darauf kann man keine automatisierten Prozesse aufsetzen.

# 4. Digitale Produktion

Digital gesteuerte Produktion hat sich im Bauwesen bisher noch nicht richtig durchgesetzt. Selbst der Blick in ein modernes Fertighauswerk erinnert eher an Henry Fords Bemühungen vor hundert Jahren als an die heutigen Prozessketten im Automobilbau. Es werden zwar archaische Prozesse durch digitale Hilfsmittel unterstützt und in Einzelgewerken, die der mechanischen Industrie verwandt sind (Fassadenbau, Haustechnik...), Teilprozesse digital gesteuert, aber bisher noch selten durch die vom Architekten zur Verfügung gestellten Datensätze. In der Regel werden branchenspezifische Programme händisch mit Informationen aus 2D-Plänen gefüttert, um dann bestimmte Produktionsschritte digital zu steuern. Viele Bauprozesse, insbesondere der Rohbau in seiner jetzigen Form, lassen sich nur schwer digitalisieren und manche Gewerke können nicht parallel produziert werden, da wegen der großen Fertigungstoleranzen zunächst Zwischenaufmaße genommen weden müssen.

## 4.1. Digitale Details

Inzwischen gehen wir noch einen Schritt weiter. Sicherlich kann man konventionelle Details teilweise digital produzieren. Das ist aber nur ein halber Schritt. Digitale Details passen sich an unterschiedliche Randbedingungen an, können ihren Zusammenbau selbst organisieren und den Aufwand an Hilfskonstruktionen oder Schablonen bei der Produktion und während der Montage deutlich reduzieren. Dieses Prinzip haben wir vor allem beim Projekt Landmarke Angerpark in Duisburg (Abb. 19) und beim IC Hotel Davos (doppelt gekrümmte Stahlfassade; Abb. 22) umgesetzt, sowie bei dem Gebäude der Fondation Pathé in Paris (mit Renzo Piano Building Workshop, (Abb. 26) und auch bei »Point.One« (Abb. 30). Am Beispiel dieser Solartankstelle lässt sich sehr gut zeigen, welche Möglichkeiten digitale Planung in Verbindung mit digitaler Fertigung bietet.

## 4.2. Individuelles BIM

Das in den genannten Beispielen dargestellte Vorgehen kann als individuelles BIM bezeichnet werden, da wir in der Planungsphase strukturierte, konsistente Datensätze erzeugen, aus denen man später, wenn konkrete Anforderungen von Planungs- oder Produktionsseite vorliegen, die dann benötigten Daten ableiten kann. Dieses Vorgehen setzt eine andere Art des Denkens voraus, ein Denken in Hierarchien, Abhängigkeiten und Regeln, ein Denken in Prozessen. Erfolgreiche Planung beruht vor allem darauf, dass keine für die Erfüllung eines Planungsauftrags wesentlichen Aspekte vergessen werden. Das wiederum ist eine Frage der Ausbildung, der Erfahrung, der Vorstellungskraft, also der Professionalität. Dabei werden auch moderne Planungstools nur eingeschränkt helfen können. Es ist auch nicht sinnvoll, solche Tools mit einem überholten, konventionellen planungstheoretischen Ansatz zu kombinieren.

## 5. Wie geht es weiter?

Aus den Erfahrungen mit den genannten Projekten kann man folgende Schlüsse ziehen: Das zur Verfügung stellen von Produktionsdaten gehört nicht zum normalen Leistungsbild eines Architekten, und das sollte auch in Zukunft so bleiben. Wir müssen aber eine Verbindung herstellen, zwischen der Entwurfsarbeit des Architekten, dem Einfluss der beratenden Ingenieure und anderer Fachplaner, sowie der Schnittstelle zur Produktion. Der Architekt braucht zunächst ein Planungsinstrument, das ihm zum einen maximale Gestaltungsfreiheit im Entwurf gibt und gleichzeitig sicherstellt, dass in jeder Planungsphase ein konsistenter Datensatz als Ausgangspunkt für die Zusammenarbeit mit den Planungspartnern zur Verfügung steht. Der Einfluss der Planungspartner auf den Entwurf muss transparent und nachvollziehbar sein. Die Entscheidungen des Architekten ebenfalls. All dies lässt sich nur auf der Basis eines leistungsfähigen Gebäudemodells und einer entsprechende Datenbankstruktur aufsetzen. Dort sind die Beziehungen der Bauteile untereinander, ihre Lage im Gebäude, ihre Zugehörigkeit zu Stockwerken oder Raumgruppen sowie ihre Modifikationen, Materialeigenschaften, Oberflächenqualitäten usw. organisiert. Die Automatisierung von Planungsleistungen sind ohne ein leistungsfähiges Gebäudemodell plus Datenbank undenkbar.

Die detaillierten Bauteile eines solchen Gebäudemodells sollten in Zusammenarbeit mit den Herstellern entwickelt werden. Niemand weiß besser, was produziert werden kann, wieviel es kostet und welche Daten für die digitale (Übergangsweise auch analoge) Produktion benötigt werden, als der Hersteller selbst. Wenn also der Hersteller Plug-ins zur Verfügung stellt, mit denen der Architekt das jeweilige Bauteil individuell (im Rahmen der jeweilig technischen Möglichkeiten) gestaltet, kann der Hersteller auf Grund des von ihm gesteuerten Datenflusses zu jedem Zeitpunkt Preis und Lieferdatum nennen und er kann sich darauf verlassen, dass ihm im Falle der Auftragserteilung alle nötigen Daten zur Verfügung stehen. Der Hersteller kann das Plugin durch konstruktive oder gestalterische Innovationen oder auf Grund neuer Möglichkeiten in der Produktion ständig weiterentwickeln und damit den Gestaltungsspielraum des Architekten erweitern.

In Zusammenarbeit mit den Fachplanern können Schnittstellen zwischen einzelnen Bauteilen definiert werden, um z.B. im Falle einer statischen Berechnung alle Einflußgrößen automatisch berücksichtigen zu können. Der Architekt wiederum kann zwischen den Bauteilplugins verschiedenen Herstellern wählen oder diese gegebenenfalls gemeinsam weiterentwickeln.

Aus  einem solchen Planungsinstrument, bestehend aus geometrischem Kern, Gebäudemodell, Datenbank und den Bauteilplugins kann man auch Bauwerksstile entwickeln, z.B. für mehrgeschossigen Wohnungsbau, für die Planung von Kindertagesstätten, Krankenhäusern oder Flughäfen. In diesem Falle wären die Bauteile, die Materialeigenschaften, die Systeme für den technischen Ausbau, wie auch die Regeldetails in der Datenbank so auf einander abgestimmt, dass der planende Architekt sich vorwiegend auf den eigentlichen Entwurf, das Raumprogramm, die Gestaltung des Gebäudes konzentrieren könnte.

Technische Vorschriften und Normen, baurechtliche Aspekte und vieles mehr wären in der Datenbank abgelegt oder im Gebäudemodell verankert. Dadurch könnten nicht nur technische Details, die durch Normen und Vorschriften eindeutig definiert sind automatisch eingefügt und angepasst werden sondern auch  Raumbücher, Massenermittlung und andere Leistungen automatisch generiert und bei Bedarf aktualisiert werden.
Auf diese Weise müsste der Architekt das Rad nicht jedes mal neu erfinden. Die Stile könnten sich mit jedem Projekt weiterentwickeln und so von Projekt zu Projekt mehr gestalterische und konstruktive Möglichkeiten zur Verfügung stellen.

Architekten könnten sich an verschiedenen Ebenen des Planungsprozesses engagieren, in der Entwicklung von Bauteilapps, im Zusammenstellen von Gebäudestilen oder in der eigentlichen Objektplanung.

# 6. Digitale Produktion in der Architektur

Auch in anderen Branchen hat es sich gezeigt, dass klassische Details nicht immer ideal sind für eine digitale Fertigung. Das klassische Detail zum Einbau einer Windschutzscheibe in ein Fahrzeug, mittels Gummidichtung und verchromter Abdeckleiste hat sich in der digitalen Fertigung nicht bewährt. Der Prozess des Einklebens lässt sich offensichtlich besser automatisieren: Oberfläche vorbereiten, Aufbringen von Klebstoff und das Positionieren der Scheibe lässt sich präzise digital steuern.
Auch im Bauwesen werden wir die klassischen Prozesse hinterfragen und gleichzeitig neue technische Möglichkeiten auf ihre Verwendung im Zusammenhang mit digitaler Fertigung in der Architektur überprüfen müssen. Letzendlich müssen wir alle konstruktive und fertigungstechnische Details überprüfen und gegebenenfalls in die digitale Welt übersetzen.

## 6.1. Gramazio Kohler an der ETH, Zürich

Digitale Fabrikation in der Architektur an der ETH Zürich, Auszug aus der Webseite:
„Der neu aufzubauende Nationale Forschungsschwerpunkt (NFS) «Digitale Fabrikation» untersucht innovative Planungs- und Bauprozesse in der Architektur. Das Interesse gilt der Erforschung digitaler Entwurfs- und Herstellungsverfahren und deren Synthese in neuartigen Technologien. Mit besonderer Gewichtung multidisziplinärer Ansätze werden unterschiedliche Bereiche wie Architektur, Tragwerksentwurf, Elektrotechnik, Maschinenbau, Robotik, Material- und Computerwissenschaften in einer ambitionierten Partnerschaft zusammengeführt, um somit digitale Technologien als wesentlichen Teil der zukünftigen Baukultur zu etablieren."

Gramazio & Kohler haben im Jahr 2005 das erste Roboter Labor für die Erforschung von architektonischen Design- und Fabrikationsprozessen an der ETH Zürich gegründet. Dieses Institut ist jetzt auch Bestandteil des oben genannten neuen Forschungsschwerpunktes.
Wenn man das Buch von Gramazio & Kohler „The Robotic Touch" zu Grunde legt, betreibt dieses Institut die Forschung an digitalen Werkzeugen am konsequentesten. Um daraus letztendlich Architektur zu machen sollte man die Perspektive allerdings noch erweitern. Wir brauchen Visionen in Bezug auf Anforderungen und Wünsche in Bezug auf die Architektur der Zukunft: Wie können wir den Gestaltungsspielraum für Architekten durch digitales Entwerfen und Produzieren erweitern? Wie können wir immer neue Anforderungen an Gebäude sinnvoll integrieren?
und wir brauchen Visionen in Bezug auf die Prozesse, mit denen wir zukünftig Häuser bauen wollen. Diese Visionen können uns helfen, das zu beurteilen, was wir im Moment tun.

Es geht dabei nicht darum, den existierenden Bauprozess zu automatisieren oder zu rationalisieren (siehe „The Robotic Touch“ ), das haben andere in den letzten 25 Jahren schon ohne großen Erfolg versucht,  aber auch nicht darum, konventionelle Architektur digital zu produzieren. Ich gehe sogar noch einen Schritt weiter: es macht auch keinen Sinn, die existierende Bauinfrastruktur zu verändern, man kann manches weiterentwickeln, aber Vieles muss durch etwas komplett Neues ersetzt werden.

## 7. BIM Building Information Modelling

Im Moment stehen uns für die Planung in der Architektur CAD-Programme zur Verfügung, die auch BIM-Anforderungen erfüllen können. Da der BIM-Standard im angelsächsischen Raum entwickelt worden, und zwar schon Ende des letzten Jahrhunderts ist eine Anbindung an die Produktion noch nicht vorgesehen. Auch das Planungsverständnis ist noch stark an der analogen Arbeitsweise orientiert.

Wer braucht BIM? Im Moment sieht es so aus, dass vor allem die Fachingenieure, die ausführenden Firmen, die Bauherren und die Verwalter großes Interesse an BIM-kompatiblen Datensätzen haben. Das ist verständlich, da sich deren Aufgabenbereiche bereits jetzt weitgehend automatisieren lassen. Was fehlt, sind konsistente Gebäude-Datenmodelle, auf die sich diese Automatismen aufsetzen lassen. Die wiederum soll der Architekt liefern. Aus unserer Sicht sind die Tools, die dem Architekten zum jetzigen Zeitpunkt zur Verfügung stehen, weitestgehend ungeeignet und in Ihrer Konzeption im letzten Jahrhundert stehen geblieben. Wenn wir (dtp) heute gezwungen wären, für die Planung unserer Projekte solche Planungswerkzeuge zu verwenden, würden wir einen hohen Prozentsatz unserer Produktivität einbüßen und wir wären nicht mehr in der Lage, neue Bauprozesse zu organisieren oder Produktionsdaten zur Verfügung zu stellen.

Vor einigen Jahren gab es in unserem Büro ein Treffen mit der Entwicklungsabteilung von Revit aus den USA. Nach dem wir unsere Art der Planung präsentiert hatten, war völlig klar, das dieses Programm für unsere Arbeit nicht geeignet ist. Aus vielen Gesprächen mit Softwarehändlern und Anwendern komme ich, aus unserer Sicht der Dinge, zu dem Schluss, das ein Softwarepaket wie Revit, zum Erreichen der benannten Ziele ungeeignet ist.  Ich halte das zu Grunde liegende Gebäudebeschreibungsmodell für unzureichend. Viele Funktionen (z.B. Kollissionsprüfung, Datenbankabfragen) können nur mit Zusatzsoftwarepaketen ausgeführt werden. Das Programm ist nicht in der Lage, selbständig ein Raumbuch zu generieren und dieses assoziativ zu verwalten. Die Softwarehändler empfehlen, mehrschalige Wände getrennt zu modellieren, wodurch beim Einsetzen eines Fensters dies für jede Schicht getrennt vorgenommen werden muss. Es ist mir völlig unverständlich, dass beim Modellieren eines Lüftungskanals, der durch eine Wand geht, nicht automatisch eine entsprechend Aussparung generiert wird, notfalls auch mit Brandschutzklappe. Mit anderen Softwarepaketen mit BIM-Funktionalität habe ich keine Erfahrung.

Da der Ansatz, Geometrie mit Datenbanken zu verknüpfen um so Planungsleistungen weitgehend zu automatisieren grundsätzlich richtig ist, sollten die Architekten ihren Beitrag dazu leisten, die entsprechenden Programme nach Ihren Vorstellungen zu gestalten.

Ohne Planungswerkzeuge, die den Anforderungen der vielen, an der Planung und Ausführung beteiligten Architekten, Ingenieure und ausführenden Firmen entsprechen, wird es keine sinnvollen Datensätze geben, mit denen, letztendlich, auch eine digitalisierte Fertigung in der Architektur gesteuert werden könnte.

## 7.1. Digitale Entwurfswerkzeuge

Am Anfang der digitale Kette, im Bezug auf die Planung und Erstellung eines Gebäudes, steht das Entwurfswerkzeug: Es besteht im Kern aus 3 Komponenten:

### 7.1.1. Geometriekern

Nurbs basierend, mit Designhistorie. Der Geometriekern ist ein wesentlicher Bestandteil eines jeden CAD-Programmes oder eines Geometrie-Editors. Er liefert die Funktionen zum Erzeugen von beliebigen geometrischen Elementen, stellt Möglichkeiten zu deren Modifikation zur Verfügung, erlaubt einen Datensatz zu strukturieren und ermöglicht die Darstellung auf einem Bildschirm.

### 7.1.2. Digitales Gebäudemodell

(Modell zur digitalen Beschreibung von Gebäuden) Dieses Modell beschreibt die Beziehungen und Abhängigkeiten der einzelnen Bauteile und Öffnungen zueinander, sowie die Beziehung von Bauteilen zu Räumen, Lufträumen, Erschließungsräumen, Nutzungen, Nutzungsgruppen usw., sowie deren Definition. Es geht im Grunde darum, eine Gebäude so zu beschreiben, dass alle notwendigen Elemente wiederum so definiert sind, dass am Ende eine automatische Auswertung möglich wird. Es ist erstaunlich, dass es so gut wie keine Diskussionen über solche Modelle gibt.

### 7.1.3. Relationale Datenbank

Um auch nichtgeometrische Daten oder zusätzliche Informationen generell oder in Relation zu Bauteilen beschreiben zu können, braucht man eine geeignete Datenbankstruktur.

Dieses Basis-Architekturtool beinhaltet Funktionen zur Darstellung der Entwurfsgeometrie, beschränkt sich auf eine einfache Dastellung der Bauteile (Geschossdecken, Wände, Öffnungen, Räume, Treppen usw.) ohne große Detailtiefe, aber mit Funktionen zur Analyse eines Entwurfes in Hinblick auf das Raumprogramm, Massen, Kostenschätzung, sowie eine Datenbank in Bezug auf Bauvorschriften und Normen die bei der Planung eines Gebäudes berücksichtigt werden sollten. Der Datensatz sollte kompakt und schnell sein.

## 7.2. Hersteller Plugins

Die detaillierte Ausarbeitung erfolgt mit Plugin's der jeweiligen Hersteller. Diese Plugin's lassen jeweils nur solche Lösungen zu, die der Hersteller produzieren und liefern kann und ev. auch nur solche, die mit den üblichen Normen sowie weiteren Regeln der Baukunst übereinstimmen. Abweichungen können zugelassen werde, allerdings muss dann der Entwerfer dafür die entsprechende Verantwortung übernehmen. Gleichzeitig kann der Hersteller sicherstellen, dass das Plugin ihm all die Daten generiert und übermittelt, die der zur Kalkulation, zur eventuellen automatisierten statischen oder sonstigen Berechnungen und für die analoge, wie auch digitale Produktion benötigt. So kann er dem entwerfenden Architekten kurzfristig den Preis und das frühest mögliche Lieferdatum mitteilen. Kann der Architekt mit dem Plugin eines Herstellers das gewünschte Bauteil nicht so modellieren wie er es wünscht, kann er das Plugin eines anderen Herstellers wählen oder er kann die Erweiterung des Plug-ins anregen. Darüberhinaus gibt es immer die Möglichkeit, das Bauteil mit eigenen Scripts zu generieren. Dann aber muss der Architekt die Verantwortung für die jeweiligen Daten übernehmen. Im besten Fall würde auf diese Weise ein neues Plugin entstehen, dass dann andere weiterverwenden könnten oder das ein Hersteller in sein Lieferprogramm aufnimmt. Jedes dieser Tools sollte auch all die Daten liefern und die nötigen Verknüpfungen in Bezug auf das Gebäudemodell vornehmen, die für das geometrische, wie auch konstruktive Zusammenspiel mit anderen Bauteile notwendig sind, im Falle der Treppe z.B. die Auflagerkräfte an den Kontaktstellen zu den umliegenden Bauteilen sowie die nötigen Toleranzen für Fertigung und Montage. In Bezug auf die Berechnung von Fluchtwegen sollte das Treppenobjekt Teil des Erschließungsraumes sein, sodass z.B. eine automatische Fluchtwegberechnung ermöglicht wird (Gebäudemodell).

Solche Tools können ständig weiterentwickelt werden um eventuelle Einschränkungen zu überwinden, wenn die nötigen Voraussetzungen in der Produktion geschaffen sind oder wenn Architekten die gestalterischen Möglichkeiten des Systems weiter entwickeln. Es wäre auch möglich, eine automatische tragwerksplanerische Bearbeitung zu integrieren, um Materialdimensionen, Anschlussdetails und Schnittkräfte zu festzulegen. Oberflächendekor oder Farben könnten auch nach der Bestellung bis unmittelbar vor der Produktion angepasst werden.

## 7.3. Tätigkeitsfelder für Architekten

### 7.3.1. Entwickeln von Tools in Zusammenarbeit mit dem Hersteller.

Architekten, die sich schon heute mit er Entwicklung von digitalen Tools beschäftigen, könnten die in Zusammenarbeit mit Herstellern intensivieren.

### 7.3.2. Zusammenstellen von Gebäudestilen

Zusammenstellen von Toolgruppen in Form von „Gebäudestilen", d.h. eine Sammlung von Tools die in Bezug auf bestimmet Gebäudetypen mit definiertem Tragwerk, Wandtypen, Dachformen, Fenster- und Türelementen, Treppen, Haustechnik, Ausstattungsmekmalen, Fassadentypen usw.
In einem Stil wären all diese Bauteile auf einander abgestimmt und alle entsprechenden Details wären in der Datenbank abgelegt.
Da es sich hier um eine „geschützte" Entwurfsumgebung handelt, die nur das zulässt, was die entsprechenden Firmen liefern können wäre eine automatische Bearbeitung im Hinblick auf Tragwerksplanung, Bauphysik, technischer Ausbau usw. möglich.

### 7.3.3. Objektplanung

Die meisten Architekten hätten die Möglichkeit, ihre Entwurfsarbeit auf der Basis von vorbereiteten Gebäudestilen aufzusetzen und müssten sich in diesem Fall nur um die eigentliche Entwurfsarbeit kümmern, d.h. an einem definierten Ort, für einen bestimmten Nutzer ein funktionierendes Gebäude zu entwerfen.  Solche Stile könnte es für alle Standard-Entwurfsaufgaben wie z.B. Wohn- oder Geschäftsgebäude, Flughäfen, Krankenhäuser oder Museen geben.

Ein solches System kann jederzeit begonnen werden, da es nicht den Anspruch hat, etwas bestehendes abzulösen, sondern es zu erweitern. Man sollte aber berücksichtigen, dass eine digitale Produktion sowie die Automatisierung bestimmter Planungsprozesse ohne eine solche „geschützte" Umgebung nur schwer möglich ist. Auch kann man die notwendige Konsistenz der Datensätze nur in einer solchen Umgebung wirklich garantieren.

## 8. Digitale Bauprozesse

Es gibt 2 prinzipielle Möglichkeiten: Wir können den Entwurf in Bauteile auflösen, diese herstellen und am Bauplatz zusammenfügen oder wir können mit eine entsprechenden Vorrichtung direkt am Bauplatz ein Haus generieren, wobei auch in diesem Fall bestimmte Bauteile (z.B. Fenster) vorfabriziert, angeliefert und durch den Bauroboter platziert und eingebaut werden.

Der Unterschied dieser beiden Möglichkeiten liegt lediglich in der Größe. Im ersten Fall ist die Größe eines Bauteils durch Transportmöglichkeiten beschränkt, während das Gebäude beliebig groß werden kann. Im zweiten Fall ist die Größe des Gebäudes durch die Größe der Vorrichtung beschränkt.

Es wäre auch denkbar, die erste Möglichkeit in Verbindung mit mobilen Fertigungsrobotern zu sehen.

Die Herstellung dieser Bauteile unter Berücksichtigung aller bekannter und evtl. zukünftiger Anforderungen ist die entscheidende Herausforderung. Wir müssen Werkzeuge und Verfahren entwickeln die es erlauben, diese Bauteile, die unter Umständen einer ganzen Reihe von Anforderungen gerecht werden müssen, zu produzieren.

Dabei gibt es wiederum 2 prinzipielle Vorgehensweisen:

Aus meiner Sicht versucht Gramatio & Kohler durch das Erforschen und Bereitstellen von digitalen Steuerungs- und Fertigungstechniken eine Basis zu Schaffen, auf der sich eine digitale Produktion von Gebäuden entwickeln kann.

Ich versuche durch die Konzeption von digitalen Gebäudekonzepten und den dazu nötigen Gesamtprozessen herauszufinden, welche digitalen Fertigungstechniken ich zur Realisierung brauche.

Nun geht es sicherlich nicht um das entweder/oder, sondern darum, dass wir beide Ansätze brauchen, um voranzukommen.

Aus unserer Sicht ist die Vorausetzung für eine digitale Fertigung in der Architektur ein geeignetes digitales Modell eines Gebäudes. Dabei geht es nicht nur um die einzelnen Bauteile wie Tragwerk, Hülle, raumbildende Scheiben, Öffnungen, Treppen oder Aufzüge, Anordnung und Verknüpfung von technischen Anlagen... sondern vor allem um deren digital gesteuerter Fertigung und Fügung. Konventionelle Bauteile müssen im Hinblick auf ihr digitales Potential in Frage gestellt werden und gegebenenfalls weiterentwickelt oder ersetzt werden. Gleichzeitig muss die dafür notwendige Produktionsinfrastruktur geschaffen werden. Auch alle

Planungswerkzeuge müssen dieser Entwicklung angepasst werden. Dies ist eine große Herausforderung. Wenn wir nicht anfangen, solche Modelle zu entwickeln und zu diskutieren, wird es schwierig, dafür Investoren zu finden.

## 8.1. Optionen für die Entwicklung neuer Bauprozesse

Wir dürfen nicht zulassen, dass die Nutzung von digitalen Werkzeugen in der Architektur lediglich die Festschreibung alter Gewohnheiten mit neuen Mitteln wird. Wir haben die Chance zu einer Erweiterung des Gestaltungsspielraumes durch neue Planungs- und Produktionsprozesse und die Architekten sollten diese Chance ergreifen.

Er wird in den seltensten Fällen gelingen, ein architektonisches Bauteil aus einem homogenen Material nur durch formgebende Bearbeitung (Schneiden, Fräsen...) herzustellen (Wand aus gesägten Steinen, Wand aus massiven Holzplatten...). Meist sind die Anforderungen an ein Bauteil vielfältig und es muß aus unterschiedlichen Materialien zusammengefügt werden. Deshalb reichen allein die digitalen Stadardbearbeitungsverfahren, die wir vor Allem aus dem Metallbau kennen nicht aus. Um den unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden müssen wir gleichzeitig digitale Hauskonzepte (Gestaltung, Tragwerk, Bauphysik, Haustechnik...) sowie deren digitale Fertigungsumgebungen entwickeln.

**DESIGN**TO**PRODUCTION**

Arnold Walz | Augustenstr. 49A | D-70178 Stuttgart
T +49 711 610749 | M +49 151 12400336
walz@designtoproduction.com | www.designtoproduction.com

**Kontaktadresse**
Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de

Copyright Fraunhofer IAO, 2015

**Alle Rechte vorbehalten**
Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen
des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Institutes unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in dieser Ausgabe berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN; VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, können die Autoren und Förderer der Studie keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

**Haftungsausschluss**
Die Autoren und Förderer übernehmen keinerlei Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der bereitgestellten Informationen. Haftungsansprüche gegen die Autoren und Förderer, welche sich auf Schäden materieller oder ideeller Art beziehen, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen bzw. durch die Nutzung fehlerhafter und unvollständiger Informationen verursacht wurden, sind grundsätzlich ausgeschlossen, sofern seitens der Autoren und Förderer kein nachweislich vorsätzliches Verschulden vorliegt. Alle Informationen sind freibleibend und unverbindlich. Die Autoren und Förderer behalten es sich ausdrücklich vor, Teile der Seiten oder das gesamte Angebot ohne gesonderte Ankündigung zu verändern,
zu ergänzen.