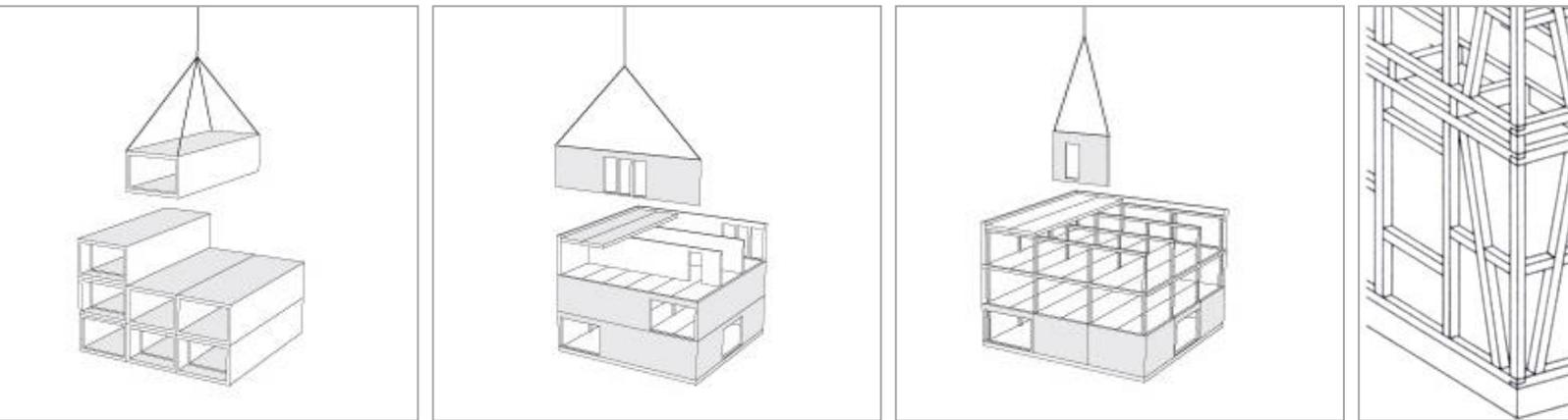


# MASTERARBEIT



## **KENNZEICHEN UND ASPEKTE DES INDUSTRIELLEN BAUENS – ANWENDBARKEIT IM HOLZBAU**

Dipl.-Ing. Katharina Hintersteiner

Vorgelegt am  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Projektentwicklung und Projektmanagement

Betreuer  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck

Mitbetreuender Assistent  
Dipl.-Ing. Jörg Koppelhuber

Graz am 16. März 2015

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

Datum

.....

(Unterschrift)

## STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, .....

date

.....

(signature)

### Anmerkung

In der vorliegenden Masterarbeit wird auf eine Aufzählung beider Geschlechter oder die Verbindung beider Geschlechter in einem Wort zugunsten einer leichteren Lesbarkeit des Textes verzichtet. Es soll an dieser Stelle jedoch ausdrücklich festgehalten werden, dass allgemeine Personenbezeichnungen für beide Geschlechter gleichermaßen zu verstehen sind.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mir durch fachliche und persönliche Unterstützung bei der Ausarbeitung dieser Arbeit zur Seite gestanden haben.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck für die finale Begutachtung meiner Masterarbeit sowie die abwechslungsreiche und interessante Gestaltung unterschiedlicher Lehrinhalte.

Großer Dank gilt meinem Betreuer Dipl.-Ing. Jörg Koppelhuber, dessen hervorragende Unterstützung und fachlichen Anregungen nicht nur ganz wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben, sondern bereits während der Studienzeit mein Interesse an der Bauwirtschaft und dem Holzbau verstärkt haben.

Meinen Dank richte ich auch an Herrn Dipl.-Ing. Manfred Augustin, der mir immer die Möglichkeit anregenden Fachgesprächen gegeben hat.

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich bei meinen Freunden, die mir nicht nur immer wieder ermutigend zur Seite gestanden, sondern mich auch durch viele Tipps und einige Stunden des Gegenlesens unterstützt haben. Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle meine liebe Schwester Veronika, Andreas, Verena, Martha und Michael, durch deren Gemeinschaft die Studienzeit zu etwas ganz Besonderem wurde.

Der größte Dank gebührt allerdings meiner Familie, meinen lieben Eltern und Geschwistern, die mir zu jeder Zeit große Unterstützung und Vertrauen entgegengebracht haben.

Auch wenn ich nun die Universität sicherlich mit einem weinenden Auge verlassen werde, so freue ich mich trotzdem auf kommende Herausforderungen.

(Ort), am (Datum)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift des Studenten)

## Kurzfassung

Das Thema der Vorfertigung einzelner Elemente oder kompletter Module innerhalb eines Bausystems reicht bis zu den Ursprüngen des Bauens zurück und ist seit jeher einem stetigen gesellschaftspolitischen und vor allem technologischen Wandel unterworfen. Insbesondere durch die Entwicklung neuer Werkstoffe und Materialkomponenten sowie bis dato unbekanntem Verarbeitungstechnologien zeichnet sich im Hinblick auf die mögliche Formgebung heute ein deutlicher Wandel ab. Während führende Architekten, wie bspw. Konrad Wachsmann oder Walter Gropius vor rund einem halben Jahrhundert die Möglichkeiten der damaligen Fertigungsmechanismen als formgebend ansahen und das Wesen der Industrialisierung in seriell erstellten Konstruktionen vermuteten, wird derzeit von einem gänzlich entgegengesetzten Paradigma ausgegangen. Anstatt eine durch geometrische und technische Einschränkungen charakterisierte Gebäude zu entwickeln, werden mittlerweile eindrucksvolle Projekte erst mithilfe computergestützter Fertigungsprozesse realisierbar. In diesem Zusammenhang konnte sich besonders der industrielle Holzbau etablieren, welcher aufgrund werkstoffspezifischer Merkmale wie zur Vorfertigung geschaffen erscheint.

Die Grundlagen des industriellen Bauens haben sich folglich vor allem in der Baubranche entscheidend verändert. Der Einfluss moderner Fertigungstechnologien beschränkt sich allerdings nicht nur auf die Abwicklung der Bauprozesse, sondern wirkt sich auch auf die Arbeitsvorbereitung aus. Mithilfe eines durchgängigen Daten- und Arbeitsflusses kann laut Ansicht von Experten in der Literatur sowie der im Zuge einer Expertenbefragung erfassten Aussagen, eine deutliche Bauzeitverkürzung und mögliche Kostensenkung erreicht werden. Dabei werden jene Bausysteme, welche eine höhere Fertigungstiefe aufweisen, als günstiger gegenüber einer vor Ort durchgeführten Bauweise angesehen.

Zudem wird sich die industrielle Bauweise aufgrund zahlreicher Vorteile, wie die hohe Produktqualität oder die verkürzte Montagedauer, vor allem bei großvolumigen Bauvorhaben aus Holz weiter durchsetzen. Dieser Trend ist aus mehreren Studien abzuleiten und geht auch aus der Expertenbefragung hervor.

Ziel der Arbeit ist es, die derzeit gültigen Kennzeichen und Aspekte des industriellen Bauens herauszuarbeiten, deren Anwendbarkeit im Holzbau zu analysieren und Möglichkeiten daraus abzuleiten. Gleichzeitig soll das Potential sowie die Trends aber auch offene Themenbereiche ermittelt werden, um im Holzbau künftig verbesserte Rahmenbedingungen und Entwicklungsmöglichkeiten zu geben und diese auszuschöpfen.

## Abstract

The prefabrication of edificial units or complete modules is as old as the construction industry itself and has been subjected to a steady socio-political and technological change. Especially due to the development of new materials, material components and processing technologies used in manufacturing processes, new possibilities in the shaping of components have been generated in the last decades. While for most leading engineers and architects of the so called Modern Movement, such as Konrad Wachsmann or Walter Gropius industrialised methods were not dominated by the design, but exclusively by the construction, today the paradigm of prefabrication has been reversed. Instead of the development of the construction of buildings, which are characterized by geometric constraints, nowadays impressive projects can be realized only by using computer-aided manufacturing processes. It is the formal concept of outstanding projects that dictates the methods of the production. In this regard especially the construction with timber as the main building material is suitable for prefabrication, caused by the material specific properties.

The basic principles of the industrial building has changed significantly. The newly developed manufacturing technologies did not solely influence the handling of varying construction methods, but affect the preparation and support processes as well. According to experts the use of a consistent data line and workflow can deliver a significant shortening construction time and, to a certain extent, a reduction in costs can be achieved. This theory is confirmed by the vast majority of surveys and direct expert consultancy done within this thesis. In general, those construction systems, which have a higher level of vertical integration and high percentage of prefabrication, are considered to be less expensive than construction methods that are carried out on-site. In addition these surveys emphasise among others so industrialised construction processes will become more common especially for large-scale construction projects. This development is due to a number of advantages, such as high product quality and short installation time.

The aim of this thesis is to identify the valid criterias and fundamentals of industrial and serial building system. Furthermore their applicability in the timber construction industry shall be analysed and future potentials as well as low developed topics of prefabrication needs to be determined by using the analysis of several studies and expert interviews is intended to be determined.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen und Kennzeichen des industriellen Bauens</b>	<b>4</b>
2.1	Begrifflichkeiten .....	5
2.1.1	Vorfertigung .....	5
2.1.2	Industrielles Bauen .....	7
2.1.3	Kundenindividuelle Massenproduktion und Modern Manufacturing .....	8
2.1.4	Lean Construction .....	10
2.1.5	Standardisierung versus Rationalisierung .....	11
2.1.6	On- und Off-Site Industrialisierung .....	12
2.1.7	Kriterien des industriellen Bauens .....	14
2.1.8	Normen und Grundlagen .....	16
2.2	Entwicklung des industriellen Bauens .....	19
2.2.1	Von den Ursprüngen bis zur industriellen Revolution .....	19
2.2.2	Modulares Bauen im Zeitalter der Industrialisierung .....	22
2.2.3	Fordismus und die Auswirkung standardisierter Massenproduktion .....	23
2.2.4	Mass Customization .....	26
2.2.5	Parallelen des industriellen Bauens zur industriellen Produktion .....	29
2.3	Aktuelle Technologien im industriellen Holzbau .....	36
2.3.1	Weiterentwicklung der Vorfertigung .....	40
2.3.2	Bauweisen, Bausysteme und Typisierungen .....	43
2.3.3	Arten und Systeme der Vorfertigung .....	44
2.3.4	Aktuelle Beispielprojekte modularer Systeme .....	58
2.3.5	Sinnhaftigkeit industrieller Vorfertigung .....	72
2.4	Daten zur industriellen Vorfertigung in Österreich .....	75
<b>3</b>	<b>Aspekte des industriellen Bauens mit bauwirtschaftlichen Auswirkungen</b>	<b>79</b>
3.1	Grundlagen und Begriffsbestimmungen .....	81
3.1.1	Informationsgesellschaft und Informationsrevolution .....	84
3.1.2	Just-in-Time Management .....	87
3.1.3	Kosteneinflüsse innerhalb einer Produktion .....	91
3.1.4	Produktionskosten .....	92
3.1.5	Transaktionskosten .....	94
3.1.6	Einzelfertigung versus Variantenfertigung .....	95
3.1.6.1	Variantenfertigung .....	96
3.1.6.2	Einzelfertigung .....	99
3.1.6.3	Gegenüberstellung: Einzelfertigung versus Variantenfertigung .....	100
3.2	Auswirkungen auf die Planung im industriellen Bauen .....	103
3.2.1	Vorleistung der Planung .....	103
3.2.2	Anforderungen an die Gebäudetechnikplanung .....	108
3.3	Computerunterstützte Systeme in der Vorfertigung .....	116
3.3.1	Auswirkung neuer Kommunikationstechnologien auf die Produktion .....	116
3.3.2	Vom Computer Aided Design zum Computer Aided Manufacturing .....	118
3.3.3	Datenerstellung und Datenpflege .....	122
3.3.4	Digitales Bauen .....	123
3.3.5	Building Information Modelling .....	124
<b>4</b>	<b>Anwendung des industriellen Bauens im Holzbau</b>	<b>131</b>
4.1	Vorfertigung im Holzbau .....	133
4.1.1	Bauphysikalische Rahmenbedingungen .....	134

4.1.2	Unterschiedliche Vorfertigungsgrade im Holzbau.....	136
4.2	Status quo im industriellen Holzbau.....	144
4.2.1	Baustellenproduktion.....	145
4.2.2	Integration von Komponenten der technischen Gebäudeausstattung im Werk.....	146
4.2.3	Aspekte der Logistik und Montage.....	148
4.3	Arbeitsvorbereitung im Holzbau.....	150
4.3.1	Fertigungsplanung.....	151
4.3.2	Unterteilung der Produktionsprozesse zur Ermittlung des bestmöglichen Vorfertigungsgrades.....	156
4.3.3	Standardisierung und Systematisierung.....	158
4.4	Experteninterviews zur Industrialisierung im Holzbau.....	160
4.4.1	Experteninterview: Gründe für industrielles Bauen.....	161
4.4.2	Experteninterviews: Entwicklung Betätigungsfeld industrielles Bauen.....	162
4.4.3	Experteninterviews: Marktentwicklung industrielles Bauen – Baustoff unabhängig.....	164
4.4.4	Experteninterviews: Marktentwicklung industrielles Bauen im Holzbau.....	165
4.4.5	Experteninterviews: Entwicklungstrend Holz-Elementebau / Holz-Modulbau.....	166
4.4.6	Experteninterviews: Potential baustoffunabhängiger Modulbauweise.....	168
4.4.7	Experteninterviews: Anforderungen und Potentiale vorgefertigter Bausysteme.....	169
4.4.8	Experteninterviews: Akzeptanz industrielles Bauen.....	170
4.5	Auswirkung zunehmender Automatisierung im Holzbau.....	171
4.5.1	Potential durch Automatisierung.....	172
4.5.2	Zeitersparnis bei durchgängiger CAD-CAM Kette.....	173
4.5.3	Qualitätssicherung im industriellen Bauen.....	175
4.6	Potentiale der Vorfertigung im Holzbau.....	177
4.6.1	Experteninterviews: Potentialverteilung industrielles Bauen – baustoffunabhängig.....	177
4.6.2	Vorteile industrieller Bauvorhaben.....	180
4.6.3	Experteninterviews: Schwierigkeiten/Risiken bei industriellen Bauvorhaben.....	182
4.6.4	Experteninterviews: Möglichkeiten zur Imageverbesserung des industriellen Bauens.....	183
4.6.5	Anforderungen an industrialisiertes Bauen.....	183
4.6.6	Experteninterviews: Kostenvergleich industrielle und traditionelle Bauweisen.....	185
4.6.7	Experteninterviews: Kostenvergleich unterschiedlicher industrieller und traditioneller Bauweisen.....	187
4.6.8	Experteninterviews: Kostenvergleich unterschiedlicher industrieller und traditioneller Bauweisen aus Planersicht.....	187
4.6.9	Experteninterviews: Kostenvergleich unterschiedlicher industrieller und traditioneller Bauweisen aus Auftraggebersicht.....	188
4.6.10	Effizienzvorteil durch Systematisierung der Arbeitszeit.....	190
4.6.11	Effizienzsteigerung der begleitenden Prozesse.....	192
4.6.12	Reduktion der Rüstkosten.....	193
4.7	Einsatz industriell gefertigter Holzelemente im Wohnbau.....	196
4.7.1	Integration der Versorgungstechnik im vorgefertigten Bauteil.....	197
4.7.2	Raummodule aus Holz im mehrgeschossigen Wohnungsbau.....	199
4.7.3	Mögliche Auswirkung des industriellen Holzbaus auf die Lebenszykluskosten.....	202
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerung und Ausblick</b>	<b>207</b>

5.1	Zusammenfassung .....	210
5.2	Erkenntnisse im industriellen Bauen .....	216
5.3	Potential des industriellen Holzbaus in Österreich.....	223
5.4	Ausblick .....	226
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>229</b>
<b>Normenverzeichnis</b>		<b>236</b>
<b>Linkverzeichnis</b>		<b>237</b>
<b>Konsultationsverzeichnis</b>		<b>239</b>
<b>Glossar</b>		<b>241</b>
<b>Anhang 1 Interviewleitfaden</b>		<b>242</b>
Anhang 1.2 Ergebnisse der gezielten Expertenbefragung nach Fachgruppen 251		

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Aufbau der Masterarbeit .....	2
Abbildung 2	Einflüsse wachsender Kundenwünsche auf die Komplexität eines Unternehmens .....	9
Abbildung 3	Erfordernis einer ÜA Kennzeichnung nach dem Vorfertigungsgrad .....	18
Abbildung 4	Das erste vorgefertigte und transportierbare Gebäude wurde etwa 1833 von John Manning konstruiert. ....	20
Abbildung 5	ursprünglicher Kristallpalast im Hyde Park 1851 .....	21
Abbildung 6	Dom-ino House von Le Corbusier 1914.....	23
Abbildung 7	Hausbaumaschine von Neufert.....	25
Abbildung 8	Umsetzungsansätze einer Mass Customization .....	27
Abbildung 9	jährliche Produktion von Häusern mit dem Fließbandverfahren in Japan.....	30
Abbildung 10	erster Fertigungsschritt: die vollautomatische Erstellung von dreidimensionalen Stahlrahmen als Tragstruktur.....	31
Abbildung 11	individueller Ausbau der im Sekisui Heim produzierten Module auf dem Fließband .....	32
Abbildung 12	Verlauf Marktanteile Ausbaustufen Fertighaus .....	38
Abbildung 13	Stückzahl produzierter großvolumiger Gebäude in Fertigteilbauweise .....	39
Abbildung 14	Stückzahl produzierter Einfamilienhäuser in Fertigteilbauweise .....	39
Abbildung 15	Umsatz der Mitglieder des ÖFV.....	40
Abbildung 16	Schmetterlingswender für typische Produktion von Holzrahmenelementen .....	41
Abbildung 17	Ablauf einer Wandfertigung .....	42
Abbildung 18	mögliche Arten von Bausystemen.....	45
Abbildung 19	Systemdarstellung Achsraster.....	47
Abbildung 20	Systemdarstellung Bandraster .....	47
Abbildung 21	Abmessung unterschiedlicher Materialien und daraus resultierendes Achsrastermaß.....	48
Abbildung 22	unterschiedliche Modulordnungen.....	49
Abbildung 23	Herstellung eines Trapezblechs im Kaltwalzprozess.....	50
Abbildung 24	Beispiel Brettsper Holzplatte.....	51
Abbildung 25	Mögliche Ausformung der Bewehrungsstäbe von Elementdecken .....	52
Abbildung 26	Kundengruppen der Fertigteilhersteller .....	53
Abbildung 27	Absatz vorgefertigter Betonfertigteile .....	53
Abbildung 28	schematischer Aufbau eines Elements in Holzrahmenbauweise.....	54
Abbildung 29	Baustellenmontage Modulbau .....	57
Abbildung 30	Systemübersicht möglicher Vorfertigungstiefen .....	57
Abbildung 31	Seniorenwohnheim in Hallein aus modularer Bauweise .....	59

Abbildung 32	Vorgefertigte Raumzellen des Kurhotel Weissenbach .....	60
Abbildung 33	Befestigungslasche .....	61
Abbildung 34	vorgefertigter Sanitärraum .....	61
Abbildung 35	Tragstruktur aus Betonfertigteilen .....	62
Abbildung 36	zentraler Erschließungskern aus Stahlbeton.....	64
Abbildung 37	Studentenwohnheim Delft .....	65
Abbildung 38	Hotel bei Reutte .....	66
Abbildung 39	Positionierung der fertigen Raummodule.....	67
Abbildung 40	thermisch saniertes Wohngebäude.....	68
Abbildung 41	Hotel Birkenfeld.....	70
Abbildung 42	Volksschule aus modularer Bauweise .....	72
Abbildung 43	Höhe der Fertigungskosten und unterschiedliche Kostenstruktur in Abhängigkeit zum Automatisierungsgrad.....	74
Abbildung 44	Stückzahl produzierter großvolumiger Gebäude in Fertigteilbauweise .....	77
Abbildung 45	Stückzahl produzierter Einfamilienhäuser in Fertigteilbauweise .....	78
Abbildung 46	Komplexitätstreiber im Schlüsselfertigbau.....	82
Abbildung 47	Das Vier-Sektoren-Modell.....	85
Abbildung 48	optimierte Fertigstellungszeit nach dem JIT Prinzip.....	88
Abbildung 49	frühest und spätest möglicher Fertigstellungszeitpunkt eines Elements j in Abhängigkeit der Zeit und einer Maximalabweichung.....	89
Abbildung 50	Die Möglichkeiten der Kostenminimierung bei Wartungsmaßnahmen.....	93
Abbildung 51	Kostensteigerung durch einzelkundenbezogene Fertigung.....	94
Abbildung 52	Ermittlung der wirtschaftlichsten Losgröße .....	102
Abbildung 53	Planungsschritte beim industriellen Bauen.....	105
Abbildung 54	Kostenbeeinflussbarkeit in Abhängigkeit des Lebens- zykluses. ....	106
Abbildung 55	Digitale Fabrik.....	107
Abbildung 56	Komponenten der Gebäudetechnik.....	109
Abbildung 57	mögliche Arten der Leitungsführung .....	110
Abbildung 58	unterschiedliche Arten der Installation innerhalb einer abgehängten Decke.....	112
Abbildung 59	komplett vorgefertigter Sanitärschacht eines dreigeschossigen Gebäudes.....	113
Abbildung 60	Faktoren der CIM .....	121
Abbildung 61	Rahmenmodell des Digitalen Bauens .....	124
Abbildung 62	Prozentuelle Verteilung des Beherrschungsgrades der BIM Technologie.....	126
Abbildung 63	prozentuelle Verteilung der durchgeführten Fortbildungsmaßnahmen .....	127

Abbildung 64	aufgeschlüsselte Bewertung des Potentials einer BIM-Technologie bei Projektänderungen je Berufsgruppe .....	128
Abbildung 65	Bewertung der Effizienzsteigerung durch die Installation eines BIM Systems durch die Minimierung von erforderlichen Mehrfacheingaben.....	129
Abbildung 66	Beispiel einer fertigen Raumzelle aus Holz.....	142
Abbildung 67	oberer Anschluss des teilvorgefertigten Gebäudeschachts.....	147
Abbildung 68	teilvorgefertigter Gebäudeschacht.....	147
Abbildung 69	Bauablauf einer klassischen Bauweise.....	151
Abbildung 70	Bauablauf eines industriellen Holzbauprojekts.....	151
Abbildung 71	systematisches Modell der Prozessgestaltung eines Unternehmens .....	154
Abbildung 72	systematischer Ablauf einer Produktion.....	155
Abbildung 73	Aufspaltung der befragten Expertengruppen.....	160
Abbildung 74	Expertenbefragung: genannte Gründe für die Abwicklung industrieller Bauvorhaben .....	161
Abbildung 75	Expertenbefragung: Entwicklung des Betätigungsfeldes im industriellen Bauen .....	162
Abbildung 76	Expertenbefragung: Tätigkeitsumfang im industriellen Bauen -befragte Architekten .....	163
Abbildung 77	Expertenbefragung: Entwicklung des Betätigungsfeldes im industriellen Bauen - Bauherren.....	163
Abbildung 78	Expertenbefragung: Marktentwicklung des industriellen Bauens - baustoffunabhängig.....	164
Abbildung 79	Expertenbefragung: Marktentwicklung des industriellen Holzbaus .....	165
Abbildung 80	Expertenbefragung: Entwicklungstrend der elementierten Holz-Bauweise .....	166
Abbildung 81	Expertenbefragung: Entwicklungstrend der modularen Holz-Bauweise.....	167
Abbildung 82	Expertenbefragung: Potential der baustoffunabhängigen Modulbauweise.....	168
Abbildung 83	Expertenbefragung: Anforderungen und Potentiale für die Ermittlung neuer vorgefertigter Bausysteme .....	169
Abbildung 84	Expertenbefragung: mögliche Ursachen der unterschiedlichen Akzeptanz von Industrieprodukten und industriell gefertigten Gebäuden .....	170
Abbildung 85	Expertenbefragung: Potentialverteilung im industriellen Bauen - baustoffunabhängig.....	178
Abbildung 86	wesentliche Vorteile industrieller Bauvorhaben.....	181
Abbildung 87	Expertenbefragung: Schwierigkeiten und Risiken in der Abwicklung industrieller Bauvorhaben.....	182
Abbildung 88	Möglichkeiten zur Imageverbesserung industrieller Bauweisen.....	183
Abbildung 89	Expertenbefragung: Kostensituation der industriellen gegenüber traditionellen Bauweise .....	186

Abbildung 90	Expertenbefragung: Kostensituation unterschiedlich vorgefertigter Bauweisen gegenüber traditioneller Bauweisen.	187
Abbildung 91	Expertenbefragung: Kostensituation unterschiedlich vorgefertigter Bauweisen gegenüber traditioneller Bauweisen - Auswertung der befragten Planer .....	188
Abbildung 92	Expertenbefragung: Kostensituation unterschiedlich vorgefertigter Bauweisen gegenüber traditioneller Bauweisen - Auswertung der befragten öffentlichen und privaten Auftraggeber .....	189
Abbildung 93	Systematisierte Arbeitszeit auf einer Baustelle .....	190
Abbildung 94	prozentuelle Verteilung der Tätigkeiten gemessen an der Gesamtarbeitszeit beim Ausbau .....	191
Abbildung 95	Modulgestaltung der Wohneinheiten .....	201
Abbildung 96	Montage der Module .....	201
Abbildung 97	Verlauf des Kundennutzens über den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie.....	203

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Gegenüberstellung der Merkmale industriellen Bauens und industrieller Produktion .....	33
Tabelle 2	Basisdaten Seniorenheim Hallein .....	59
Tabelle 3	Basisdaten Kurhotel Weissenbach.....	61
Tabelle 4	Basisdaten Sportausbildungszentrum Mülimatt .....	63
Tabelle 5	Basisdaten Studentenwohnheim Delft .....	65
Tabelle 6	Basisdaten Hotel bei Reutte .....	68
Tabelle 7	Basisdaten Thermische Fassadensanierung einer Wohnanlage in Kapfenberg .....	69
Tabelle 8	Basisdaten Gästehaus am Umweltcampus in Birkenfels .....	71
Tabelle 9	Basisdaten Wiener Schulklassen von Stugeba .....	72
Tabelle 10	unterschiedliche Vorfertigungsgrade in Abhängigkeit zur Bauweise.....	138
Tabelle 11	Basisdaten Ferienparkanlage am Bostalsee.....	202

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AG</b>	Auftraggeber
<b>BIM</b>	<b>Building Information Modelling</b>
<b>CNC</b>	<b>Computer Numerical Control</b>
<b>CIM</b>	<b>Computer Integrated Manufacturing</b>
<b>EFH</b>	<b>Einfamilienhaus</b>
<b>KIT</b>	<b>Informations- und Kommunikations- Technologien</b>
<b>JIT</b>	<b>Just-In-Time</b>
<b>LC</b>	<b>Lean Construction</b>
<b>MFH</b>	<b>Mehrfamilienhaus</b>
<b>NC</b>	<b>Numerical Control</b>

## 1 Einleitung

Die Entwicklung geplanter Vorkonfektionierung einzelner Konstruktionselemente reicht bis zu den Ursprüngen des Bauens zurück. Ein noch heute gebräuchliches Beispiel ist der Mauerwerks-Ziegel, der erstmals vor rund 10.000 Jahren zum Einsatz kam.<sup>1</sup>

Vor allem durch die neu entwickelten Technologien während der industriellen Revolution und die akute Wohnungsnot nach dem Ersten Weltkrieg erlebt die serielle Vorfertigung in der frühen Moderne<sup>2</sup> einen Aufschwung. Architekten wie Walter Gropius<sup>3</sup> und Mies van der Rohe<sup>4</sup> fassen den Begriff Wohnbau als Gegenstand des Massenbedarfs auf und fordern bereits in den frühen 1920er Jahren eine Umstrukturierung der gesamten Bauwirtschaft. Gemäß dem Leitgedanken – Schaffung eines leistbaren Wohnbaus für alle – wird die serielle Vorfertigung als Lösung der damaligen wirtschaftlichen und sozialen Probleme und als Zukunft des Bauwesens aufgefasst. Gleichzeitig wird auf Grund der Einführung und Perfektionierung der Fließbandfertigung durch Henry Ford<sup>5</sup> und Frederick Winslow Taylor<sup>6</sup> eine neue Ausgangsbasis der systematischen Fabrikation von Industriegütern geschaffen. Diese standardisierten Entwicklungsprinzipien dienen den damaligen Architekten und Ingenieuren als Vorbild, nicht nur Wand- oder Deckenbauteile, sondern komplette Raumeinheiten vorzufertigen.<sup>7,8</sup>

Obwohl diese ersten Versuche der modularen Vorfabrikation bereits in den 1920er Jahren, also vor fast einem Jahrhundert durchgeführt wurden, haben sich die automatisierten Bauprozesse in Mitteleuropa bis heute kaum durchgesetzt. Auch wenn zwischenzeitlich Roboter im Bauwesen eingesetzt werden, oder sogar gänzlich automatisierte Baustellen entwickelt, sowie computergestützte Planungs- und Fertigungsprozesse programmiert wurden, hat sich das modulare Bauen vor allem bei kleineren Bauvorhaben wenig bis gar nicht weiterentwickelt

<sup>1</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Editorial. In: Detail Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Vorfertigung, 6/2012. S. , S.586

<sup>2</sup> Die Moderne bezeichnet in der Architekturgeschichte eine Epoche, die sich etwa ab der Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelt. Durch die geänderte gesellschaftliche Situation werden neue Ansprüche an die realisierten Bauaufgaben, wie etwa die Schaffung von leistbarem Wohnraum, gestellt, zu deren Ausführung neue Techniken und Materialien zum Einsatz kamen.

<sup>3</sup> Walter Gropius (1883-1969) war deutscher Architekt und Gründer des sogenannten Bauhauses, einer Kunsthochschule die erstmals sowohl Kunst als auch Handwerk in einem Bildungszweig lehrte. Er gilt als Pionier der modernen Architektur, wobei sich seine Werke vor allem durch einen Grad an industrialisiertem und normiertem Bauen auszeichnen.

<sup>4</sup> Mies van der Rohe (1886-1969) war deutscher, später amerikanischer Architekt und gilt neben Walter Gropius und Le Corbusier zu den Pionieren der modernen Architektur. Seine Entwürfe zeichnen sich durch das Bestreben nach einem optimierten Umgang mit dem verwendeten Material bei gleichzeitig großzügiger Grundrissgestaltung aus.

<sup>5</sup> Henry Ford (1863-1947) gründete das Automobilunternehmen Ford Company in dem er später die Fließbandfertigung und industrielle Produktion verfeinerte. Seine Fertigungskonzepte basieren auf dem einer klassischen Massenproduktion und üben nicht nur auf die damalige Form der industriellen Produktion, sondern auch auf die Gesellschaft erheblichen Einfluss aus.

<sup>6</sup> Frederick Winslow Taylor (1856-1915) war US-amerikanischer Ingenieur und Begründer des sogenannten Taylorismus. Dieses Prinzip versucht unterschiedliche Arbeitsabläufe durch die Einführung einer Prozesssteuerung zu optimieren.

<sup>7</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. , S.594f

<sup>8</sup> Vgl. <http://www.tu-cottbus.de/theoriederarchitektur/Archiv/Autoren/Mies/Mies1924a.htm>. Datum des Zugriffs: 3.August.2014

und etabliert. Der Anteil menschlicher Arbeitskraft ist auf Baustellen der westlichen Industriestaaten nach wie vor sehr hoch und damit der maßgebende Kostenfaktor. Dennoch wird, obwohl das Verhältnis zwischen vorgefertigten und auf der Baustelle hergestellten Komponenten, je nach Bauwerk und zu errichtenden Konstruktionen teils stark variiert, annähernd jedes Gebäude zu einem gewissen Grad aus industriell hergestellten Komponenten errichtet.<sup>9</sup>

Historische Beispiele, wie der Kristallpalast in London oder aktuelle Bauvorhaben, wie bspw. thermische Fassadensanierungen aus gebäudehohen Elementen, veranschaulichen das große Potential und die Vielfältigkeit der Vorfabrikation im Bauwesen.

Ziel dieser Masterarbeit ist die Herausarbeitung der Grundlagen und Kennzeichen des industriellen Bauens, sowie die Erhebung des gegenwärtigen und zukünftigen Potentials durch eine gezielte Befragung von Experten, Marktanalysen und einer eingehenden Literaturrecherche. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt dabei auf der Vorfabrikation im Holzbau, der durch seine Leichtigkeit und einfache Verarbeitbarkeit wie zur Vorfertigung geschaffen erscheint.<sup>10</sup>

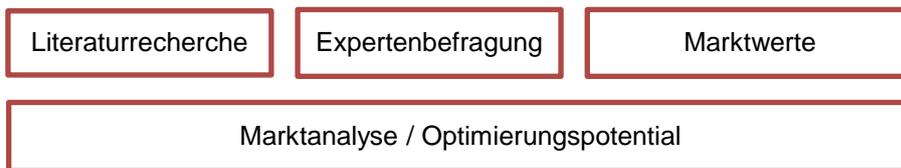


Abbildung 1 Aufbau der Masterarbeit

Der Aufbau der Arbeit strukturiert sich dabei in vier Hauptkapitel:

**Grundlagen und Kennzeichen des industriellen Bauens**

Einleitend wird ein Überblick über die Ausgangspunkte der Vorfabrikation, sowie über die vorhandenen Parallelen der Vorfertigung in der Bauwirtschaft und der stationären Industrie geschaffen. Darauf aufbauend wird ein Abriss der geschichtlichen Hintergründe und ersten Denkansätze, sowie deren zugehörigen Entwicklungen erarbeitet, und durch die aktuellen Technologien im industriellen Holzbau abgerundet.

**Bauwirtschaftliche Aspekte im industriellen Bauen**

Im zweiten Kapitel werden die bauwirtschaftlichen Kriterien der industriellen Vorfertigung behandelt, die Kostenstrukturen innerhalb einer Produktion, sowie die Auswirkungen der Vorfabrikation auf die Planung eingehend betrachtet.

<sup>9</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. , S.594f

<sup>10</sup> Vgl. LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 3.

### **Anwendungen des industriellen Bauens im Holzbau**

Im darauffolgenden Kapitel werden diese theoretischen Grundlagen dem Anwendungsbereich des industriellen Holzbaus gegenübergestellt. Zunächst wird die aktuelle Vorfertigungsmethodik im Holzbau, sowie die unterschiedlichen Vorfertigungsgrade beschrieben. Anschließend werden die Auswirkungen zunehmender Automatisierung im Holzbau, mit den darin liegenden Potentialen, analysiert.

### **Schlussfolgerungen und Ausblick**

Zum Abschluss werden die gewonnen Erkenntnisse zusammengefasst und die wesentlichen Potentiale und zukünftigen Entwicklungen des industriellen Holzbaus dargestellt.

## 2 Grundlagen und Kennzeichen des industriellen Bauens

Im Zusammenhang mit der Entstehung neuer Informationstechnologien zeichnet sich in der industriellen Vorfertigung ein deutlicher Wandel ab.<sup>11</sup> Allerdings ist diese Entwicklung alles andere als neu. Bereits Ende der 1950er Jahre betonte Konrad Wachsmann<sup>12</sup>, dass die Existenz moderner Maschinen, das Bauen seiner Zeit bestimmte. Während Wachsmann jedoch das Resultat der maschinellen Vorfertigung nicht in formalen Aspekten der Architektur, sondern in seriell erstellten Konstruktionen sah, wird heute meist von einem gänzlich entgegengesetzten Verständnis von industriellem und computer-gestützten Bauen ausgegangen.<sup>13</sup> Das Resultat der Vorfertigung hat sich demnach in den letzten 60 Jahren deutlich geändert. Statt eine, durch technische Einschränkungen gekennzeichnete Architektur zu entwickeln, werden viele, meist ausgefallene Projekte erst durch die Einführung von parametrischen Entwurfskonzepten entwickel- und ausführbar.<sup>14</sup> Welche allgemeinen Grundlagen und Kennzeichen können demnach noch für die maschinelle Vorfabrikation in der Baubranche definiert werden?

Schlagwörter wie systematisiertes oder elementiertes Bauen, denen durch die geschichtliche Entwicklung meist aufgrund negativ behafteter Gebäude, wie die aus Betonfertigteilen hergestellten Plattenbauwerke der 1960er und 70er Jahre, ein ablehnender Grundton nachhängt, werden synonym mit Begrifflichkeiten, wie industrialisiertes Bauen oder Vorfertigung verwendet.<sup>15</sup>

Die Abgrenzung dieser und weiterer Definitionen wird in den nachfolgenden Kapiteln versucht zu beschreiben. Zusätzlich werden Parallelen zwischen dem industriellen Bauen und der Vorfertigung in anderen Wirtschaftszweigen gezogen.

Obwohl eine genaue Analyse gegenwärtiger Bauprozesse verdeutlicht, dass das Ausmaß der Vorfertigung bereits teilweise weiter entwickelt ist, als es ein erster Eindruck vermuten lässt, wird stetig von manchen Kennern der Branche kritisiert, dass das industrielle Bauen bei weitem nicht so fortgeschritten ist, wie die Vorfertigung in anderen Industriezweigen.<sup>16</sup>

In wie weit dieser Vergleich zulässig ist, wird in den nachfolgenden Unterkapiteln betrachtet und erläutert.

<sup>11</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 1.

<sup>12</sup> Konrad Wachsmann (1901-1980) war deutscher, später amerikanischer Architekt und gilt als Pionier des seriellen Bauens. Die Prinzipien der Architekturmoderne bezog er in seinen Werken nicht auf die Formensprache, sondern ausschließlich auf deren Konstruktion. Diese sollte dabei stets dem technischen Stand der maschinellen Fertigung entsprechen. Die von ihm entwickelten Gebäude waren daher sehr stark von den Möglichkeiten der Fertigung bestimmt.

<sup>13</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 590.

<sup>14</sup> Ebd. S. 590.

<sup>15</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 5.

<sup>16</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 589.

## 2.1 Begrifflichkeiten

Um das komplexe Thema des industriellen Bauens beschreiben zu können, werden zu Beginn einige Begrifflichkeiten in Bezug zum Thema der Vorfertigung erläutert. Grundsätzlich sind die angeführten Definitionen sowohl in der stationären, als auch in der Bauindustrie gebräuchlich. Der Vollständigkeit halber ist an dieser Stelle angemerkt, dass selbst die beiden Begriffe Produktion und Fertigung teils unterschiedliche Bedeutung aufweisen.

Die Produktion wird als „effizientes Zusammenwirken von Gütern und Dienstleistungen in einem Prozess zur Erstellung einer bestimmten Menge von Gütern“<sup>17</sup> definiert. Das Prinzip der Produktion beruht auf einer stetigen Wiederholung von Tätigkeiten mit dem Ziel, die so produzierten Artikel zu verkaufen oder innerbetrieblich weiter zu verwenden. Obwohl sich der Gegenstand der Produktion vor allem meist auf Sachgüter bezieht, ist er untrennbar mit der Entwicklung von begleitenden Dienstleistungen verbunden. Diesem Verhältnis von industrieller Produktion und komplementären Hilfsleistungen kommt besonders durch die Entstehung neuer Kommunikationstechnologien große Bedeutung zu.<sup>18</sup>

Der Begriff der Fertigung wird in der einschlägigen Literatur zum Thema Produktion hergegen als jener Teilbereich der Gesamtproduktion angesehen, der sich ausschließlich auf die Erzeugung von Sachgütern, nicht aber auf die Erstellung von Dienstleistungen, bezieht.<sup>19</sup>

Die Bezeichnung industrielle Produktion beschreibt also in Abgrenzung zur handwerklichen Produktion einen in Industriebetrieben durchgeführten Vorgang zur Erstellung von Dienstleistungen und Sachgütern.<sup>20</sup>

### 2.1.1 Vorfertigung

Im heutigen Sprachgebrauch wird der Begriff Vorfertigung meist pauschal für das Bauen in Serie, für elementiertes oder modulares Bauen verwendet. Strenggenommen wird in Anlehnung an die Literatur unter diesem Ausdruck jedoch nur das Fertigen einzelner Elemente an einem wettergeschützten Ort verstanden. Dabei ist es vorerst irrelevant, ob die Vorfertigung maschinell oder handwerklich durchgeführt wird. Auch bis zu welchem Grad die einzelnen Elemente vorgefertigt werden, ist mit der Bezeichnung noch nicht näher definiert.<sup>21, 22</sup>

<sup>17</sup> PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 8.

<sup>18</sup> Die Auswirkung neuer Informationstechnologien auf die industrielle Vorfertigung wird in Kapitel 3.3.1 genauer behandelt.

<sup>19</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 8.

<sup>20</sup> Vgl. Ebd. S. 8.

<sup>21</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 40.

<sup>22</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Editorial. In: Detail Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Vorfertigung, 6/2012. S. 589.

Der Begriff Modularisierung bezeichnet dagegen das Bauen mit standardisierten oder individualisierbaren Komponenten, die zu einem größeren Endprodukt zusammengefügt werden. Diese Elemente sind meist austauschbar<sup>23</sup> und weisen einen erheblich höheren Grad der Vormontage auf, als dies die eigentliche Einbauleistung auf der Baustelle erlaubt. Zu den wesentlichen Eigenschaften der Modularisierung zählen die Eigenständigkeit der einzelnen Elemente, sowie deren Kompatibilität untereinander. Die einzelnen Module können sowohl innerhalb eines eigenständigen Projekts, als auch bei mehreren, unterschiedlichen Bauvorhaben zur Anwendung kommen. Durch die Kombinierbarkeit von mehreren Modulen zu einem größeren Ganzen kann bis zu einem gewissen Grad eine kundenspezifische Endleistung ausgeführt werden. Je nach Anzahl der unterschiedlichen Module, kann gleichzeitig eine erhebliche Reduktion der Kosten aufgrund der Komplexibilität<sup>24</sup> erreicht werden.<sup>25</sup>

Serielles Bauen oder Bauen im System beschreibt, anders als die allgemeine Modularisierung, die für die 1960er Jahre typische Homogenisierung der jeweiligen Grundkomponenten. Um einen wirtschaftlichen Vorteil zu erzielen, wurden die verarbeiteten Bauteile standardisiert und in hohen Stückzahlen produziert. Durch die Vereinheitlichung der einzelnen Elemente ist es allerdings so gut wie unmöglich, individuell angepasste Bauvorhaben zu verwirklichen. Durch diese Form der Vorfertigung und die daraus resultierenden baulichen Konsequenzen herrscht bis heute bei vielen Architekten und Bauherren ein enormer Vorbehalt gegenüber dem Thema des seriellen Bauens vor.<sup>26, 27</sup>

Trotz dieser Bedenken werden, unabhängig von der Art des Bauvorhabens, mittlerweile rund 50 bis 60% aller Gebäudekomponenten im Werk erstellt. Bei der Errichtung von Fertighäusern aus Massivholzplatten bspw. oder beim Bauen mit Raumzellen, werden sogar Vorfertigungsgrade von bis zu 90% erreicht.<sup>28</sup>

Den augenscheinlichen Vorteilen einer Produktion im Werk, wie bspw. die Sicherstellung einer konstanten Qualität, die Verkürzung der Bauzeit vor Ort und die Reduktion der allgemeinen Baustellengemeinkosten, stehen sowohl höhere Anforderungen an die Logistik, als auch ein erhöhter Planungsaufwand gegenüber. Besonders die zusätzlichen Kosten für den Transport bei großer Entfernung vom Fertigungsort zum endgültigen Bauplatz, für stärkere Hebezeuge aufgrund des höheren

<sup>23</sup> Vgl. MARTIN LENNARTSSON, A. B.: Step by Step Modularity - A Roadmap for Building Service Development. In: Development Lean Construction Journal, 2010. S. 21.

<sup>24</sup> Die Begrifflichkeit der Komplexitätskosten wird in Kapitel 3.1.3 genauer beschrieben.

<sup>25</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 197.

<sup>26</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 5, S. 42.

<sup>27</sup> Vgl. HERMANN KAUFMANN, W. N.: Bauen mit Holz, Wege in die Zukunft. S. 57.

<sup>28</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 40.

Gewichts der angefertigten Bauteile, für Zwischenlagerungen großer Elemente und für mögliche Beschädigungen müssen in der Kalkulation gesondert berücksichtigt werden.<sup>29</sup>

Um die meist hohen Transportkosten zu reduzieren, kommen inzwischen bei einigen Großprojekten mobile Produktionsstätten zum Einsatz, die als temporäre Werkshallen in unmittelbarer Baustellennähe errichtet werden.<sup>30</sup> Eine weitere Möglichkeit zur Senkung der Kosten für den Transport ist durch die Wahl des Vorfertigungssystems möglich. Ein Beispiel der Optimierung sind verschiedene Hohlwände, die nicht aus massiven Stahlbetonelementen, sondern aus hohlen mehrteiligen untereinander ausschließlich durch die Bewehrung verbundenen Wandelemente bestehen. Dadurch gelingt es, das Transportgewicht, und somit auch die Transportkosten, um ein Vielfaches zu senken.<sup>31</sup>

### 2.1.2 Industrielles Bauen

Mit dem Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert ändern sich auch die Produktionsmöglichkeiten der stationären Industrie und somit der Bauindustrie erheblich. Durch die damals neuen technischen Möglichkeiten wurden vor allem serielle Bausysteme weiterentwickelt. Der Begriff industrielles Bauen, oder industrielle Vorfertigung, bezeichnet dabei die Produktion von Bauteilen mit industriellen Methoden.<sup>32</sup> Daneben steht besonders die Rationalisierung von Arbeitsprozessen, mit dem Ziel eine höhere Kosteneffizienz und Qualität zu erreichen, im Mittelpunkt. So sollten beispielsweise manuelle Arbeiten und immer wiederkehrende Abläufe durch automatisierte Prozesse ersetzt werden.<sup>33</sup>

Obwohl sich die Möglichkeiten der Vorfertigung in den letzten Jahren stark erweitert haben, sind die Voraussetzungen zur Industrialisierung gleich geblieben. Generell kann eine industrielle Produktion durch prozessorientierte Arbeitsvorbereitung und/oder Automatisierung der Geräte erreicht werden. Die Merkmale des industriellen Bauens reichen von Standardisierung und Rationalisierung, bis zur Flexibilisierung der Ergebnisse. Zur Umsetzung dieser Leitgedanken ist allerdings eine starke, interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Planern und Ausführenden notwendig. Zudem müssen die Prozesse der Arbeitsvorbereitung standardisiert, sowie die Prozesse auf der Baustelle stark rationalisiert werden.<sup>34</sup> Dies wird entweder durch das Bauen mit Fertigteilen, oder durch die Automatisierung von Baustellenproduktionen

<sup>29</sup> Vgl. WOLFGANG WINTER, H. S.: Holzbauweisen im verdichteten Wohnungsbau. S. 21.

<sup>30</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 41.

<sup>31</sup> Vgl. WOLFGANG WINTER, J. D.: Holzbauweisen für den verdichteten Wohnbau. S. 21.

<sup>32</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 40.

<sup>33</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 31.

<sup>34</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529ff.

erreicht. Ein Beispiel dafür sind die in Japan verbreiteten Fertigungsanlagen, mit denen Hochhäuser mit vollautomatischen Montagesystemen errichtet werden können. Diese Systeme bestehen aus hydraulisch verschiebbaren Arbeitsplattformen, auf denen computergesteuerte Kräne und Bauroboter installiert sind. Diese versetzen und montieren die vorgefertigten Bauelemente, wodurch ein sehr schneller Bauablauf ermöglicht wird. Die Herausforderungen bei dieser Art der Baustellenproduktion liegen besonders in der Logistik und Koordination der anzuliefernden Bauteile, sowie in der Ausbildung und bauphysikalischen Abdichtung der Fugen zwischen den einzelnen Modulen.<sup>35</sup>

### 2.1.3 Kundenindividuelle Massenproduktion und Modern Manufacturing

Die Integration neuer Informations- und Kommunikationstechnologien (kurz: KIT) in die Betriebsstrukturen von industriellen Produktionsstätten ermöglicht die Verbindung bislang entgegengesetzter Prinzipien der Massenproduktion und kundenindividueller Fertigung. Die Begriffe kundenindividuelle Massenproduktion und Modern Manufacturing bezeichnen dabei die weiterentwickelten Fertigungsmethoden, durch die eine Massenproduktion von individuell gestalteten Gütern in einem ähnlichen Kostenniveau wie jene der Fließbandfertigung, ermöglicht werden soll.<sup>36</sup>

In der betriebswirtschaftlichen Literatur werden diese beiden Bezeichnungen meist als neue Evolutionsstufe der Fabrikation angesehen. Nach der handwerklichen Produktion und der seriellen Fertigung im industriellen Zeitalter lässt eine flexible Herstellung heutzutage somit eine rasche Reaktion auf Kundenwünsche nach einer Individualisierung zu. Dadurch kann erstmals auch auf die immer komplexer werdenden Nachfragen und neuen Wettbewerbsbedingungen näher eingegangen werden.<sup>37</sup>

Durch die Weiterentwicklung der Informationstechnologie steigert sich allerdings auch die Komplexität und Dynamik der Unternehmensumwelt. Eine größere Anzahl an Mitbewerbern und die große Innovationsdynamik an sich vergrößern auch den Druck durch den Wettbewerb am Markt. Dieser kann durch eine verbesserte Informationsbeschaffung und -verteilung gesenkt werden.<sup>38</sup> Die Risiken und Potentiale neuer KIT werden im Kapitel 3.3.1 genauer beschrieben.

<sup>35</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 41.

<sup>36</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 4.

<sup>37</sup> Vgl. Ebd. S.4. Und S.152ff.

<sup>38</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 53ff.

Die nachstehende Grafik zeigt den Zusammenhang zwischen dem zunehmenden Preisdruck, den wachsenden Kundenwünschen und der steigenden Komplexität der Produktion innerhalb eines Unternehmens.

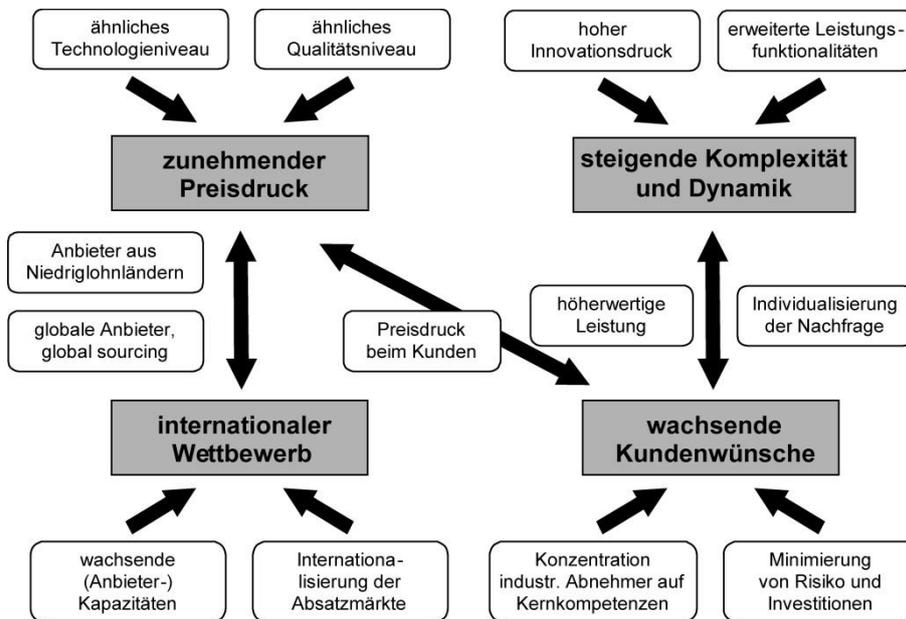


Abbildung 2 Einflüsse wachsender Kundenwünsche auf die Komplexität eines Unternehmens<sup>39</sup>

Mit der Entwicklung des Paradigmas Lean Production<sup>40</sup> ändert sich zudem die Sichtweise auf die Produktionsstrukturen der Industriebetriebe.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde das Modell der funktionalen Arbeitsteilung und Systematisierung der Ablauforganisation verfolgt. Durch eine strenge Trennung der ausführenden und organisierenden Arbeitsschritte gelang es, die Produktion durch formalisierte Kommunikation zu steuern. Das Ziel dieser Systematisierung der Arbeitsabläufe war dabei die Standardisierung der Produktionsgüter. Dieser Entwicklungsschritt musste allerdings unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Verhältnisse der damaligen Zeit gesehen werden. Eine ungesättigte Nachfrage, stabile Absatzmärkte und eine begrenzte Zahl an meist bekannten Mitbewerbern bildeten die optimalen Voraussetzungen für die Massenproduktion von Gütern und Bauteilen. Erst in den späten 1980er Jahren setzte sich nach und nach ein geändertes ökonomisches Denken durch, bei dem nicht mehr rein automatisierte Fertigungssysteme, sondern verstärkt auch flexible

<sup>39</sup> PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 54.

<sup>40</sup> Die Lean Production ist ein ökonomischer Denkansatz, der durch eine Optimierung der Arbeitsabläufe zu einer Vermeidung von unnötigem Mehraufwand und Verschwendung führen soll. Dieser Leitgedanke ist im nachfolgenden Kapitel 2.1.4 genauer beschrieben.

Fertigungsmethoden nach den sog. Lean Prinzipien in den Vordergrund gerückt wurden.<sup>41</sup> Diese Prinzipien werden im folgenden Kapitel zusammengefasst.

#### 2.1.4 Lean Construction

Die Thematik Lean Production ist so umfangreich, dass es an dieser Stelle nur in seinen Grundzügen erklärt wird. Die Bezeichnungen Lean Thinking, Lean Production oder Lean Management beschreiben dabei den Denkansatz mit Hilfe von effizienten Arbeitsabläufen, Produktionsgüter ohne Verschwendung zu erzeugen. Nach der Entwicklung der Massenproduktion fand nach dem Zweiten Weltkrieg, ausgehend von der japanischen Wirtschaft, ein Wandel vom Anbieter- zum Käufermarkt statt. Der Wunsch nach einer erheblich größeren Auswahl an Produktvarianten in Verbindung mit der damaligen Ressourcenknappheit nach dem Krieg führten zu neuen Management- und Produktionsphilosophien.<sup>42, 43</sup> Bei der Einführung von Lean Construction (kurz: LC) ist vor allem die Bestimmung des Wertes eines Produktionsgutes für den Kunden wichtig. Darauf aufbauend müssen Arbeitsabläufe so geplant werden, dass sämtliche Prozesse, die einer Wertsteigerung entgegenstehen, vermieden werden. In einem andauernden Prozess werden somit die nichtwertschöpfenden Prozesse von den wertschöpfenden Prozessen getrennt und so der Produktions- oder Bauprozess optimiert.<sup>44</sup>

Aktuelle Studien über LC unterstreichen, dass in einigen Fällen bis zu 50% der Tätigkeiten innerhalb einer Baustelle nicht wertschöpfend sind. Darunter fallen beispielsweise Nacharbeiten oder Logistikprozesse.<sup>45</sup> Dieser Umstand soll durch die Optimierung der Material- und Informationsflüsse auf der Baustelle verbessert werden. Dies gelingt unter anderem durch die individuelle Planung der Produktionsprozesse, wobei besonderes Augenmerk auf die Vermeidung von überflüssigen Zwischenlagerungen gelegt wird. Gleichzeitig muss eine kontinuierliche Organisation der Herstellung des eigentlichen Produkts oder Objekts sichergestellt werden. Weitere wesentliche Punkte von LC sind das Bestreben nach Perfektionierung der Informationsflüsse durch den Zusammenschluss von Planung und Ausführung, durch konstante Leistungskontrollen, sowie durch den Versuch der Maximierung des Nutzens für den Bauherrn oder Kunden.<sup>46, 47</sup>

<sup>41</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 97ff.

<sup>42</sup> Vgl. SCHUH, G.: Lean Innovation. S. 1f.

<sup>43</sup> Vgl. LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 29.

<sup>44</sup> Vgl. SCHUH, G.: Lean Innovation. S. 2ff.

<sup>45</sup> Vgl. FOCKENBERG, K.: Lean Construction auf der Baustelle. In: Connect It, 10/2013. S. 11.

<sup>46</sup> Vgl. GEHBAUER, F.: Was bedeutet Lean Construction?. [http://www.lean-management-institut.de/fileadmin/downloads/Lean\\_Construction/Was\\_bedeutet\\_Lean\\_Construction\\_Gehbauer.pdf](http://www.lean-management-institut.de/fileadmin/downloads/Lean_Construction/Was_bedeutet_Lean_Construction_Gehbauer.pdf). Datum des Zugriffs: 10.August.2014

Während sich das Thema Lean Production in der stationären Industrie bereits Anfang der 1950er Jahre etablierte, wurde erst Mitte der 1990er Jahre begonnen, diese Prinzipien auf die Bauindustrie umzulegen. Dabei wird versucht, statt einer reinen Verbesserung der Maschinenteknik, auch die Automation und Vorfertigung, vor allem aber die Produktionsprozesse an sich auf der Baustelle zu optimieren.<sup>48</sup>

Die Abgrenzung zwischen LC und der zuvor beschriebenen kundenindividuellen Massenproduktion liegt in der unterschiedlichen Prioritätensetzung der beiden Managementdisziplinen. Während LC vor allem nach der höchsten Effizienz von Produktionsprozessen strebt, ist die kundenindividuelle Massenproduktion besonders darum bemüht, eine möglichst schnelle Reaktion auf geänderte Kundenwünsche zu ermöglichen. Die Kundenorientierung ist also in beiden Ansätzen stark verankert. Der wesentliche Unterschied liegt somit innerhalb der angesprochenen Zielgruppen. Das Modern Manufacturing<sup>49</sup> reagiert damit auf die Wünsche jedes individuellen Kunden, während LC die Interessen homogener Kundengruppen verfolgt.<sup>50</sup>

### 2.1.5 Standardisierung versus Rationalisierung

Mit der Einführung von Lean Production haben sich in der Industrie und im Baugewerbe die Sichtweisen über die bis dahin vorherrschenden Produktionsstrukturen teilweise geändert. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde hauptsächlich nach einer optimierten Leistungserstellung und Rationalisierung Güterproduktion gestrebt. Neben der normalerweise um ein Vielfaches teureren individuellen Werkstattfertigung kommt meist die Fließbandproduktion zum Einsatz. Diese erlaubt zwar eine äußerst produktive Fertigung, ist in ihrem Arbeitsablauf jedoch kaum flexibel. Eine Erhöhung der Produktvariation ist daher immer mit enorm hohen Rüstkosten<sup>51</sup> in den Fertigungsanlagen verbunden. Erst die Einführung neuer Kommunikations- und Informationstechnologien erlaubt es diesen Widerspruch zwischen Flexibilität und Produktivität aufzuheben und die immer wichtiger werdenden Kundenwünsche in den Produktionsabläufen zu berücksichtigen.<sup>52</sup>

Gleichzeitig wird, anders als bei der klassischen Variation der Produktion, nicht nur nach einer Effizienzsteigerung durch

<sup>47</sup> Vgl. SEYFFERT, S.: Optimierungspotentiale im Lebenszyklus eines Gebäudes. S. 23.

<sup>48</sup> Vgl. Ebd. S. 23.

<sup>49</sup> Modern Manufacturing bezeichnet eine Produktionsstrategie, bei der durch den Einsatz modernster Produktions- und Informationsverarbeitungssysteme eine weitest gehende Individualisierung der Endprodukte ermöglicht wird. Gleichzeitig soll dabei das Kostenniveau einer klassischen Massenproduktion gehalten werden. Dieser Begriff wird im Kapitel 2.2.4 Mass Customization genauer beschrieben.

<sup>50</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 178f.

<sup>51</sup> Die Rüstkosten sind jene Kosten, die beim Bereitstellen oder Umrüsten der Produktionsmaschinen anfallen. Darunter fallen laut dem Wirtschaftslexikon Gabler sowohl die Personalkosten als auch die Kosten für die Reinigung der Maschine und dem rüstbedingten Verschleiß.

<sup>52</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 97ff.

Rationalisierung der Arbeitsabläufe, sondern auch nach einer Reduktion der sog. Transaktionskosten gesucht.<sup>53</sup> Um einerseits Kostenvorteile durch die Standardisierung von Bauteilen oder Produktvarianten und andererseits einen möglichst hohen Flexibilitätsgrad sicherzustellen, muss der Leistungserstellungsprozess in zwei verschiedene Tätigkeitsfelder gegliedert werden. Das sind zum einen jene Faktoren, in denen der Kunde die für ihn wichtige Individualisierung wahrnimmt, zum anderen jene Leistungsbereiche, in denen eine Standardisierung zur Erreichung einer Kostensenkung noch zweckmäßig ist.<sup>54</sup>

Diese Einteilung in die unterschiedlichen Leistungsbereiche zur Bestimmung des bestmöglichen Vorfertigungsgrades wird in Kapitel 4.3.2 genauer analysiert.

Durch die Industrialisierung des Bauwesens wird demnach die serielle Herstellung von Bauteilen teils stark und branchenabhängig forciert. Die Standardisierung einzelner Module ermöglicht eine effiziente Produktion, sowie Automation von immer gleichen Arbeitsabläufen. Die Vorfertigung im Werk bietet zudem die Möglichkeit, unter gleichbleibenden Bedingungen, Bauteile mit hoher Qualität herzustellen. Da die Wirtschaftlichkeit einer Vorfertigung mit der Größe und Zunahme der Serie steigt, ist für die erfolgreiche Umsetzung des Einsatzes von Halbfertig- oder Fertigteilen eine enge Kooperation zwischen dem produzierenden, ausführenden und planenden Unternehmen bereits in der Vorentwurfsphase wesentlich. Um ein optimales Verhältnis zwischen einer Standardisierung und der Rationalisierung zu erreichen, müssen zunächst jene Prozesse und Bauteile definiert werden, in welchen eine Standardisierung überhaupt sinnvoll erscheint. Durch den Einsatz von leistungsstarken Informationssystemen ist es darüber hinaus möglich, die zugehörigen Support-Prozesse in der Produktion, wie bspw. die Kommunikation und Datenverarbeitung, ebenso zu rationalisieren. Eine lückenlose Datenstruktur ermöglicht somit eine Vermeidung von Verlusten von Dokumenten aus früheren Projektphasen oder zeitaufwändige Mehrfachnutzungen von Datenmodellen.<sup>55</sup>

### 2.1.6 On- und Off-Site Industrialisierung

Die Vorfertigung von Bauteilen kann im Baugewerbe sowohl innerhalb einer Werkstatt, als auch auf der Baustelle selbst durchgeführt werden. Diese unterschiedlichen Ansätze des industriellen Bauens werden oftmals in der Literatur als On- oder Off-Site Industrialisierung bezeichnet.<sup>56</sup>

<sup>53</sup> Vgl. Ebd. S.100.

<sup>54</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 196.

<sup>55</sup> Vgl. Ebd. S. 533ff.

<sup>56</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 6.

Als Off-Site Industrialisierung wird dabei im Allgemeinen die Vorfertigung innerhalb einer externen Produktionsstätte verstanden. Diese bietet zwar den Vorteil einer wettergeschützten Produktion, bringt jedoch zusätzliche Anforderungen an die Logistik mit sich. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, werden bei größeren Bauvorhaben mobile Produktionsstätten errichtet, die den meist weiten Transportweg vom Werk zur Baustelle überflüssig machen.<sup>57</sup>

In Abhängigkeit des verwendeten Baustoffs kommen unterschiedliche Produktionsverfahren zur Anwendung. Je nach dem gewählten Verfahren müssen unterschiedliche Komponenten in der Werkshalle Berücksichtigung finden. Für die Herstellung von Fertigteilen aus Stahlbeton werden neben einer Fertigungshalle für das Flechten von Bewehrungskörben, ein Turm- oder Portalkran zum Versetzen der fertigen Elemente, sowie eine Mischanlage zur eigentlichen Betonherstellung und Lagerplätze für das Schalungsmaterial benötigt.<sup>58</sup>

Durch die Automatisierung der Arbeitsabläufe innerhalb der Werkstattproduktion können laut Angabe einschlägiger Literatur bis zu 16% der Lohn- und Materialkosten gegenüber einer reinen Baustellenproduktion eingespart werden. Dies gelingt unter anderem durch den wirtschaftlicheren und optimierten ressourcen-effizienteren Umgang mit Materialien im Werk, sowie durch eine erhebliche Verkürzung der Montagezeiten auf der Baustelle. Dank der effizienteren Verarbeitungsmethoden und der Möglichkeit eines ressourcensparenden Umgangs mit den Baustoffen können die einzelnen Bauteile laut Literaturangabe mit bis zu 26% weniger Materialverbrauch erstellt werden.<sup>59</sup> Gleichzeitig kann der Anteil an Verschnitt auf 1,8% gesenkt werden.<sup>60</sup>

Durch die Eigenschaften eines stationären Gebäudes ist eine vollständige Vorfertigung innerhalb eines Werkes jedoch in den meisten Fällen nicht möglich. Zumindest die Gründungs- und Montagearbeiten müssen vor Ort durchgeführt werden.

Allerdings, und trotz dieser Erkenntnisse der Einsparung, wird bis dato immer noch eine Vielzahl von sehr arbeits- und zeitaufwändigen Tätigkeiten auf der Baustelle durchgeführt. Diese bieten aufgrund ihrer meist gleichbleibenden Abläufe gute Voraussetzungen zur Automatisierung. Der Einsatz von hochentwickelten Robotern ist jedoch auf der Baustelle durch die örtlichen Gegebenheiten, wie Schmutz und Wetterbedingungen und den mitunter sehr schädlichen Einflüssen der

<sup>57</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 41.

<sup>58</sup> Die unterschiedlichen Produktionsverfahren werden an dieser Stelle nicht genauer beschrieben, für weiterführende Information sei auf die einschlägige Literatur verwiesen.

<sup>59</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 37.

<sup>60</sup> Vgl. Ebd. S.337.

Umwelt, sehr wenig verbreitet. Zusätzlich wird eine genaue Arbeitsvorbereitung und Ablaufplanung erforderlich.<sup>61</sup>

Diese Art der Baustellenproduktion, bei welcher die einzelnen Bauteile vor Ort hergestellt werden, wird als On-Site Fertigung bezeichnet. Unter diesem Begriff fällt sowohl die traditionelle, handwerkliche Baustellenproduktion, als auch die vollautomatisierte Fertigung von Gebäuden mittels Baurobotern. Der Grad der Automatisierung von Tätigkeiten kann dabei so unterschiedlich ausfallen, wie der Grad der werkseitigen Vorfertigung. Sie reicht vom Einsatz von Versetzgeräten, bei denen großformatige Mauerwerkstafeln montiert werden, bis hin zu computergesteuerten Montageplattformen, die vollautomatisiert gesamte Gebäude errichten können.<sup>62</sup> Vor allem in Japan ist die Verwendung von computergesteuerten Maschinen im Hoch- und vor allem Ausbau seit den 1980er Jahren weit verbreitet. Einige Beispiele dafür sind rechnergesteuerte Betonverteiler, sowie selbständige Materialtransporter oder vollautomatisierte Roboter für die Aufbringung des Außenputzes.<sup>63</sup> Durch den Einsatz der computergestützten Baustellenroboter wird zwar eine Effizienzsteigerung der Baustellenproduktion erreicht, gleichzeitig wird eine wesentlich umfangreichere Arbeitsvorbereitung notwendig. Beispielsweise muss, um eine reibungslose Navigation von Bauteilen mittels Robotern innerhalb der Baustelle sicherzustellen, genügend Platz für die Lagerung und den Bewegungsraum der Maschinen frei gehalten werden.<sup>64</sup>

### 2.1.7 Kriterien des industriellen Bauens

Das industrielle Bauen bezeichnet im Allgemeinen die Übertragung industrieller Arbeitsweisen aus der stationären auf die dezentrale Bauproduktion. Eines der wesentlichsten Merkmale ist dabei die Rationalisierung der Arbeitsabläufe zur Effizienzsteigerung und Kostenreduktion. Gleichzeitig sollen eine höhere Produktivität und eine gleichbleibend hohe Qualität gesichert werden.<sup>65</sup>

Die Umsetzung der Industrialisierung erfolgt in der Bauwirtschaft entweder durch eine prozessorientierte Arbeitsvorbereitung, oder durch eine Automatisierung der Maschinen zur Vorfertigung von Bauelementen. Nur der Wechsel von manueller zu maschineller Arbeit alleine bedeutet jedoch noch keine erfolgreiche Industrialisierung im Bauwesen. Erst durch eine kontinuierliche Überarbeitung aller Arbeitsprozesse lassen sich die unterschiedlichen Leitgedanken der Vorfertigung und Industrialisierung innerhalb eines Unternehmens

<sup>61</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 531ff.

<sup>62</sup> Vgl. Ebd. S. 537f.

<sup>63</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 117ff.

<sup>64</sup> Vgl. Ebd. 119.

<sup>65</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529.

umsetzen. Zu diesen Kriterien zählen unter anderem die Standardisierung von Arbeitsschritten und Produkten, die Systematisierung der Ablaufplanung, sowie die Ermöglichung einer gewissen Flexibilität und Produktvielfalt.<sup>66</sup>

Ein weiteres Kriterium des industriellen Bauens ist die Spezialisierung auf bestimmte Marktnischen, sowie die enge Kooperation von Technikern und Ausführenden. Innerhalb der Erstellung und dem Vertrieb von modularen Elementen sollte laut Ansicht von Experten in der Literatur zusätzlich ein Marketingunternehmen zur Unterstützung des Vertriebs engagiert werden.<sup>67</sup>

Unabhängig von der Art der angebotenen Leistung zielen die Managementansätze der industriellen Vorfertigung meist auf eine Kostenführerschaft oder Nischenstrategie am Markt ab. Die Kostenführerschaft ist nach dem Gabler Wirtschaftslexikon<sup>68</sup> dabei als eine Wettbewerbsstrategie zu verstehen, welche die Ermöglichung der billigsten Kostenstruktur einer Branche verfolgt. Die Nischenstrategie konzentriert sich hiergegen auf die Produktion von eingegrenzten Marktsegmenten, bei denen kaum mit Konkurrenz zu rechnen ist.<sup>69</sup>

Um diese Strategien zu verwirklichen, werden unterschiedliche Denkansätze verfolgt.

- In Anlehnung an Lean Construction werden durch bestimmte Kontrollinstrumente nichtwertschöpfende Tätigkeiten innerhalb des Produktionsprozesse reduziert. Die größten Potentiale dieses Ansatzes liegen in der Optimierung des Produktionsflusses und der Logistik.
- Ein weiterer Ansatz zur Steigerung der Kosteneffizienz ist die enge Zusammenarbeit zwischen dem Planer und dem eigentlichen Produktionsunternehmen. Werden die standardisierten Elemente und Detailanschlüsse bereits in der Planung berücksichtigt, können die Entwurfspläne direkt auf die Fertigungsanlage übertragen werden.<sup>70</sup>
- Die detaillierte Strukturierung der Arbeitsabläufe, sowohl in der On-Site, als auch in der Off-Site-Produktion, erleichtern den Einsatz von vollautomatischen Fertigungsanlagen. Dadurch können lohnintensive Tätigkeiten auf der Baustelle um ein Vielfaches reduziert werden.<sup>71</sup>

<sup>66</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529.

<sup>67</sup> Vgl. Ebd. S. 530.

<sup>68</sup> Vgl. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/>. Datum des Zugriffs: 31.Jänner.2015.

<sup>69</sup> Vgl. Ebd.

<sup>70</sup> Die möglichen Potentiale einer durchgängigen Entwurfs- und Fertigungskette werden in Kapitel 4.5.2 genauer behandelt.

<sup>71</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 530.

### 2.1.8 Normen und Grundlagen

Die normativen Grundlagen zur Vorfertigung von Bauteilen sind in unterschiedlichen Regelwerken verankert.

In diesem Zusammenhang ist etwa die ÖNORM B 2310<sup>72</sup> zu nennen, die den Mindestleistungsumfang und die generellen Begriffsbestimmungen von Fertighäusern definiert. Diese Norm bezieht sich gleichermaßen auf Schulgebäude, Merzweckhallen sowie Wohn- und Bürobauten und ist baustoffneutral verfasst.

Daneben existiert eine Vielzahl an Normen, die sich speziell auf die Anforderungen von Betonfertigteilen bezieht. Darunter fällt unter anderem die ÖNORM EN 13369<sup>73</sup>, welche die grundlegenden Regeln und Eigenschaften von werkseitig erstellten Betonfertigteilen näher definiert, sind.

Die ÖNORM B 3328<sup>74</sup> gibt die Begrifflichkeiten und Anforderungen an werksinternen Produktionskontrollen von Fertigteilen aus Beton, Stahl-, Spann- und Leichtbeton vor.

Weitere Normen, die unterschiedliche Grundlagen zu Beton- und Holzfertigteilen definieren sind

- die ÖNORM EN 14992<sup>75</sup>, welche die funktionalen Anforderungen an vorgefertigte Wandelemente aus Beton regelt.
- Die ÖNORM EN 14843<sup>76</sup> spezifiziert die Herstellung und Anforderungen an massiven Fertigteiltreppen aus Beton.
- Die ÖNORM EN 14991<sup>77</sup> gibt Auskunft über die erforderlichen Leistungskriterien von Fundament-Fertigteilen aus Stahlbeton.
- Die ÖNORM B 3260<sup>78</sup> und EN 13978-1<sup>79</sup> beziehen sich auf die Anforderungen an Betonfertiggaragen aus raumhohen Fertigteilen.
- Die Errichtung von Gebäuden aus vorgefertigten Holzelementen ist in der ÖNORM B 3804<sup>80</sup> geregelt.

<sup>72</sup> ÖNORM B 2310, 2009-05-01: Fertighäuser – Benennungen und Definition sowie Mindestleistungsumfang. S.1ff.

<sup>73</sup> ÖNORM EN 13369, 2013-06-01: Allgemeine Regeln für Betonfertigteile. S.1ff.

<sup>74</sup> ÖNORM B 3328, 2012-04-01: Vorgefertigte Betonerzeugnisse – Anforderungen, Prüfungen und Verfahren für den Nachweis der Normkonformität von Fertigteilen aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. S.1ff.

<sup>75</sup> ÖNORM EN 14992, 2012-09-01: Betonfertigteile - Wandelemente. S.1ff.

<sup>76</sup> ÖNORM EN 14843, 2007-08-01: Betonfertigteile - Treppen. S.1ff.

<sup>77</sup> ÖNORM EN 14991, 2007-08-01: Betonfertigteile - Gründungselemente. S.1ff.

<sup>78</sup> ÖNORM B 3260, 2009-09-01: Betonfertigteile – Betonfertiggaragen – Anforderungen an monolithische oder aus raumgroßen Einzelteilen bestehende Stahlbetongaragen. S.1ff.

<sup>79</sup> ÖNORM EN 13978-1, 2005-08-01: Betonfertigteile – Betonfertiggaragen –Teil 1: Anforderungen an monolithische oder aus raumgroßen Einzelteilen bestehende Stahlbetongaragen. S.1ff.

<sup>80</sup> ÖNORM B 3804, 2003-03-01: Holzschutz im Hochbau – Gebäude errichtet aus vorgefertigten Holzbauteilen – Voraussetzung für die Reduktion von chemischen Holzschutzmaßnahmen. S.1ff.

Die oben angeführten Normen stellen einen Auszug sehr umfangreicher Regelungen dar. Daneben existieren weitere Normen, die sich ebenso auf die Vorfertigung unterschiedlicher Elemente beziehen.

In diesem Zusammenhang ist auch der österreichweit gültige Übereinstimmungsnachweis, die sog. Übereinstimmung Austria (kurz: ÜA-Zeichen), und die CE Kennzeichnung zu nennen.

Die 1985 von der EU eingeführten CE-Kennzeichnungen stellen einen Übereinstimmungsnachweis von unterschiedlichen Produkten mit den grundlegenden Anforderungen mehrerer EU-Richtlinien dar. Diese Kennzeichnung signalisiert die Konformität der entwickelten Bauteile mit sämtlichen relevanten EU-Richtlinien. Das CE-Zeichen ist allerdings kein Qualitäts- oder Normenmerkmal, sondern ist als Marktzulassungszeichen anzusehen, das seit 2011 für alle, für den europäischen Markt bestimmten Produkte, zwingend erforderlich ist.<sup>81, 82</sup>

Für alle Baustoffe, die nicht der CE-Regelung unterliegen<sup>83</sup>, sind in der österreichischen Baustoffliste ÖA die Anforderungen für den nationalen Gebrauchsnachweis festgelegt. Jene Baustoffe, welche diesen Anforderungen nachkommen, werden mit dem sog. ÜA-Zeichen gekennzeichnet.<sup>84</sup>

Gemäß der Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik (kurz: OIB) mit der Ausgabe OIB-095.3-004/08<sup>85</sup> werden von dieser Kennzeichnung nur jene vorgefertigten Produkte erfasst, welche mindestens beidseitig geschlossen, also entweder mit Plattenwerkstoffen beplankt oder anderwärtig verkleidet sind. Darunter fallen etwa beidseitig beplankte Elemente der Holzrahmenbauweise, Deckenelemente mit eingebauter Wärmedämmung und sog. Sparschalung, sowie Bauteile aus verleimtem Massivholz mit zusätzlichen Schichten.

All jene Produkte, deren zweite Seite der Beplankung erst auf der Baustelle aufgebracht wird oder deren Vorfertigungsgrad noch geringer ausfällt, also beispielsweise Halbfertigteile, sind von der ÜA-Kennzeichnung ausgenommen.<sup>86</sup>

Die Nachweise für die Eignung einer ÜA-Kennzeichnung werden durch spezielle Prüfungen, standardisierte Berechnungen und gutachterliche Beurteilungen erbracht. Dazu zählt auch der bauphysikalische Nachweis einzelner entwickelter Aufbauten. Zur Orientierung wurde ein bereits

<sup>81</sup> Vgl. LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Oberösterreich. S. 13.

<sup>82</sup> Vgl. [http://wko.at/unternehmensservice/ce\\_kennzeichnung/grundlagen.asp](http://wko.at/unternehmensservice/ce_kennzeichnung/grundlagen.asp). Datum des Zugriffs: 07. Oktober. 2014

<sup>83</sup> Beispiele dafür sind laut der gültigen Fassung der Liste der Bauprodukte vom 13. Mai 2008 unter anderem asbestfreie Faserzementplatten mit leichten mineralischen Zuschlagsstoffen, oder nichttragende Wandelemente aus Porenbeton, sowie unterschiedliche Bitumenemulsionen.

<sup>84</sup> Vgl. LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Oberösterreich. S. 13.

<sup>85</sup> Vgl. BAUTECHNIK, Ö. I.: Checkliste, vorgefertigte Wand- und Deckenbauteile mit hölzerner Tragkonstruktion. Checkliste. S. 1ff.

<sup>86</sup> Vgl. Ebd. S. 3.

geprüfter Bauteilkatalog unter [www.dataholz.com](http://www.dataholz.com) angelegt, der laufend erweitert wird.<sup>87</sup>

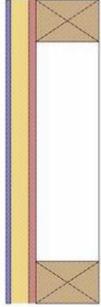
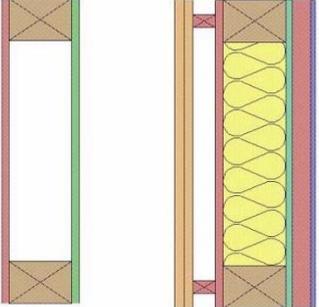
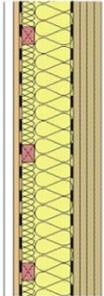
Kein ÜA-Zeichen erforderlich	ÜA-Zeichen erforderlich
<p data-bbox="252 488 582 517">Einseitig beplanktes Element</p> 	<p data-bbox="762 488 1029 517">Vorgefertigtes Element</p> 
<p data-bbox="284 1014 443 1043">Brettsperrholz</p> 	<p data-bbox="738 1014 997 1043">Vorgefertigtes Element</p> 

Abbildung 3 Erfordernis einer ÜA Kennzeichnung nach dem Vorfertigungsgrad.<sup>88</sup>

Durch die stetige Weiterentwicklung der technischen und informationstechnologischen Möglichkeiten hat sich das Bild der industriellen Vorfertigung in den letzten Jahren deutlich geändert. Anders, als noch vor einem halben Jahrhundert, gilt die maschinelle Vorfertigung nicht länger als entwurfsbestimmend.

Die Vorfertigung im Werk und die Automatisierung der Baustelle durch computergesteuerte Bauroboter ermöglichen nicht nur einen ressourcensparenden Einsatz von Baumaterialien, sondern auch eine Optimierung des Bauablaufs. Um einen reibungslosen Ablauf der Bautätigkeiten sicherzustellen, muss hierfür allerdings eine exakte Arbeitsvorbereitung durchgeführt werden.

<sup>87</sup> Vgl. BAUTECHNIK, Ö. I.: Checkliste, vorgefertigte Wand- und Deckenbauteile mit hölzerner Tragkonstruktion. Checkliste. S. 7.

<sup>88</sup> Vgl. Ebd. S. 4.

## 2.2 Entwicklung des industriellen Bauens

Wie eingangs erwähnt, reichen die Anfänge der industriellen Vorfertigung bis zu den Ursprüngen des Bauens zurück. Bereits vor mehreren Jahrtausenden wurden vorkonfektionierte Stäbe zur Errichtung demontierbarer Unterkünfte verwendet.<sup>89</sup> Auch die monolithischen Steinsäulen der antiken römischen und griechischen Tempel wurden aus Blöcken, die mehrere 1.000 Kilometer vom eigentlichen Einbauort entfernt verarbeitet, also vorgefertigt wurden, errichtet.<sup>90</sup>

Mit der Entwicklung neuer technischer Voraussetzungen im Laufe der Jahrhunderte änderte sich nicht nur die Produktionsmöglichkeit in der Bauindustrie, sondern auch die Sprache der Baukunst. Bedingt durch die damals vorherrschenden wirtschaftlichen Verhältnisse und den neuen industriellen Möglichkeiten entstand laut Ansicht zahlreicher Architekturkritiker eine massenhafte, meist eher eintönige Architektur. Erst mit der Integration neuer Informationstechnologien änderten sich die Möglichkeiten der industriellen Vorfertigung. Ein berühmtes Beispiel dafür ist das 2004 entworfene PalaisQuartier in Frankfurt, dessen zweifach gekrümmte Geometrie der Dach- und Fassadenflächen mit Hilfe von frühen 3D-Programmen in für die Ausführung durchführbare und optimierte Grundmodule zerlegt wurde.<sup>91</sup> Die geschichtliche Entwicklung der industriellen Vorfertigung wird in den nächsten Kapiteln näher beschrieben.

### 2.2.1 Von den Ursprüngen bis zur industriellen Revolution

Als eines der frühesten Beispiele vorgefertigter Bauteile gelten die vorkonfektionierten und demontierbaren hölzernen Stabkonstruktionen der Nomadenvölker, die bereits vor 400.000 Jahren in Nordeuropa, Asien und dem nördlichen Afrika hergestellt wurden.

Einige Jahrtausende später entstanden mit der Entwicklung des Ziegels erstmals ein in Massen produzierbarer, künstlicher Bauteil, mit dem komplette Städte industriell realisiert werden konnten. Die Form und Abmessung der Ziegel richtete sich dabei nach den Möglichkeiten der Produktion und späteren Montage bzw. Einbau vor Ort. Das so entwickelte, kleinteilige Element aus Ton lässt eine flexible Gestaltung der daraus entstehenden Bauwerke zu und ist auch aus der heutigen Bauwirtschaft nicht mehr wegzudenken.<sup>92</sup>

Neben den künstlich produzierten Mauersteinen wurden vor allem im antiken Griechenland zusätzlich Natursteine verarbeitet. Die meist großformatigen Steinblöcke wurden weit von der eigentlichen Baustelle

<sup>89</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 14.

<sup>90</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Editorial. In: Detail Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Vorfertigung, 6/2012. S. 586.

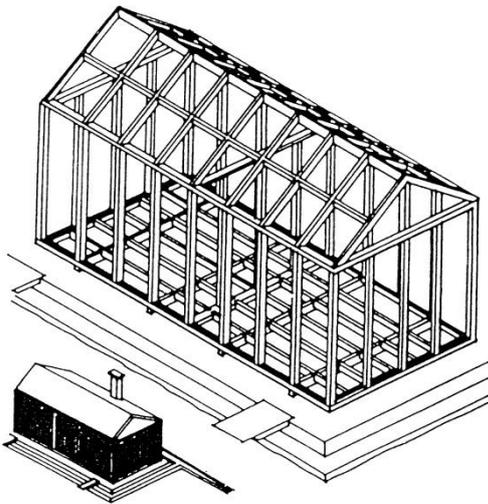
<sup>91</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 211ff.

<sup>92</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 14f.

entfernt vorbearbeitet und am Bauplatz mit Metalldübeln untereinander zu tragfähigen Konstruktionen verbunden.<sup>93</sup>

Dieses Prinzip der Off-site Vorfertigung wurde auch im Mittelalter verfolgt. Die Holzkonstruktionen der damals errichteten Fachwerkhäuser wurden aus Platzgründen nicht vor Ort zusammengesetzt, sondern auf speziell, dafür freigehaltenen Konstruktionsplätzen, außerhalb der Stadt vorgefertigt.<sup>94</sup>

Rund 300 Jahre später erlangte die Vorfertigung durch die britische Kolonialisierung und die Besiedlung der nordamerikanischen Prärie neue Bedeutung und enormen Aufschwung. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach leichten und transportierbaren Gebäuden wurden im 18. Jahrhundert vor allem in England Wohngebäude in einer mit der Holz-Skelettbauweise vergleichbaren Bauweise seriell vorgefertigt. Ein bekanntes Beispiel dafür ist das als Manning-Cottage berühmte, wiederholt demontier- und transportierbare Wohnhaus, das als Prototyp des vorgefertigten Hauses gilt. Für den Vertrieb und Transport dieses Bau-Systems wurden die damals neuentwickelten Transportmittel der Eisenbahn verwendet.<sup>95</sup>



**Abbildung 4** Das erste vorgefertigte und transportierbare Gebäude wurde etwa 1833 von John Manning konstruiert.<sup>96</sup>

Der Export und die Verbreitung der Gebäude ging sogar so weit, dass Ende des 19. Jahrhunderts ganze Städte, vor allem in den britischen Koloniestaat, aus dieser Art von Bauwerken bestanden.<sup>97</sup>

Mit der in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts beginnenden industriellen Revolution gewinnt schließlich der Baustoff Eisen und dem

<sup>93</sup> Vgl. Ebd. S. 14.

<sup>94</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Editorial. In: Detail Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Vorfertigung, 6/2012. S. , S.586

<sup>95</sup> Vgl. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 29.

<sup>96</sup> HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 29.

<sup>97</sup> Vgl. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 30.

daraus entwickelten Baustoff Stahl durch die verbesserten Bearbeitungsmöglichkeiten eine besondere Bedeutung am Bauparkt. Besonders bei der Errichtung weitgespannter oder auch temporärer Tragwerke wurde dabei erstmalig auf ein System mit vorgefertigten Elementen zurückgegriffen.<sup>98</sup> Ein Beispiel dafür ist der 1851 anlässlich der Weltausstellung in London von Joseph Paxton errichtete Kristallpalast<sup>99</sup>. Dieser wird in der Literatur häufig als erstes, vollständig industriell hergestelltes Gebäude bezeichnet. Trotz der Fertigung der jeweiligen Elemente im Werk bleibt deren Standardisierung allerdings auf das konkrete Projekt bezogen. Die Kompatibilität der vorgefertigten Elemente mit anderen Bauvorhaben war dabei meist nicht gegeben. Dennoch stellt der Kristallpalast ein eindrucksvolles Beispiel der technischen Möglichkeiten dieser Zeit dar.<sup>100</sup>



Abbildung 5 ursprünglicher Kristallpalast im Hyde Park 1851<sup>101</sup>

Abschließend sei noch angemerkt, dass auch die Standardisierung von einzelnen Bauteilen keine Erfindung der klassischen Moderne, somit des 19. Jahrhunderts, war. Die Normierung einzelner Elemente geht auf die chinesische Klassik ab dem 5. Jahrhundert v. Chr. und römische Antike zurück. Bereits Vitruvius<sup>102</sup> beschreibt in seinem Buch Zehn Bücher über Architektur<sup>103</sup> die Grundlagen der Standardisierung.<sup>104</sup>

<sup>98</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 18f.

<sup>99</sup> Der Kristallpalast wurde 1850 vom britischen Architekten Joseph Paxton im Zuge der Weltausstellung in London entworfen und 1851 vom englischen Bauingenieur Charles Fox im Hyde Park errichtet. Nach dem Ende der Weltausstellung wurde das Gebäude versetzt und in etwas größerer Form im Stadtteil Lewisham wiederaufgebaut. Die Konstruktion des Palastes bestand dabei fast ausschließlich aus seriell im Werk angefertigten Stahlelementen.

<sup>100</sup> Vgl. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 32f.

<sup>101</sup> <http://www.detail.de/architektur/themen/kristallpalast-revived-architektenwettbewerb-in-london-022792.html>. Datum des Zugriffs: 1. Februar. 2015.

<sup>102</sup> Markus Vitruvius (wahrscheinlich 80-15 v. Chr.) war römischer Ingenieur und Architekt. Zu seinen besten theoretischen Werken zählen die Zehn Bücher über Architektur in denen er den damaligen Wissenstand des Architektur- und Bauingenieurwesens abbildete.

<sup>103</sup> Vgl. VITRUVIUS, M.: De architectura libri decem. S. 1ff.

<sup>104</sup> Vgl. KALTENBACH, F.: Von der Tradition zur Touristenattraktion – Vorfertigung im Holzbau der Dong. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Baudetail, 6/2012. S. 594f.

## 2.2.2 Modulares Bauen im Zeitalter der Industrialisierung

Die Euphorie, die sich durch die Industrialisierung der stationären Massenproduktion von der US-amerikanischen Automobilbranche zu Beginn des 20. Jahrhunderts nach Europa ausbreitete, übte auch auf die Baubranche starken Einfluss aus. Durch die Vorfertigung im Werk, wurden neue Maßstäbe in Bezug auf Qualität, Herstellung und Form erreicht. Die schlichten Konstruktionen der Industrieprodukte, sowie die neuen Möglichkeiten der Fertigung, beeinflussten zudem den architektonischen Stil des industriellen Zeitalters teils sehr stark. Nicht nur Walter Gropius<sup>105</sup>, Mies van der Rohe<sup>106</sup> oder Le Corbusier<sup>107</sup>, sondern die Mehrzahl der führenden Architekten der 1920er Jahre forderten eine grundlegende Erneuerung der Architektur unter stärkerer Einbeziehung der damals neuen technischen Möglichkeiten und Entwicklungen. Durch eine Standardisierung der Gebäude sollte eine serielle Vorfertigung in der Fabrik, und somit eine möglichst rasche Produktion von Gebäuden, zugelassen werden. Damit wurde versucht, auf die zur Zeit der Weltwirtschaftskrise seit Ende des 1. Weltkrieges vorherrschende und immer größer werdende Wohnungsnot zu reagieren.<sup>108</sup>

Allerdings sollten nach Ansicht vieler Fachleute nicht nur für den Massenwohnbau, sondern auch für den Einfamilienhausbau standardisierte Module entwickelt und vorgefertigt werden. Auch in diesem Marktsegment drängte die grassierende Wohnungsnot auf neue Bautechnologien zur Reduktion der Errichtungskosten. In Nordamerika und England übernahm die zu diesem Zeitpunkt<sup>109</sup> ungenutzte Rüstungsindustrie die Aufgabe der Industrialisierung des Bauwesens. Bis in die frühen 1930er Jahre wurden danach in den USA und Großbritannien eine Vielzahl an vorgefertigten Einfamilienhäusern aus Stahl und Holz gefertigt. Im Gegensatz dazu wurden in Mitteleuropa, bedingt durch den Mangel an Stahlbeton, Ziegel und Stahl, vor allem Gebäude aus Holz produziert.<sup>110</sup> Unabhängig von der Wahl des Baustoffs galt dabei die Standardisierung und serielle Produktion von immer gleichen Mustern folgenden und allgemeingültigen Gebäuden als zentrales Thema der Fertigung. Um, trotz Massenproduktion von Bauelementen, ein gewisses Maß an individueller Nutzung zuzulassen, wurde besonderes Augenmerk auf die Wahl des Bausystems gelegt. Lange Zeit galt die Skelettbauweise als optimales System für den

<sup>105</sup> Walter Gropius (1883-1969)

<sup>106</sup> Mies van der Rohe (1886-1969)

<sup>107</sup> Le Corbusier, eigentlich Charles-Édouard Jeanneret-Gris (1887-1965) war schweizerisch - französischer Architekt und Stadtplaner. Er zählt zu den bedeutendsten Planer des 20. Jahrhunderts und trat für eine radikale Änderung der architektonischen Formensprache unter Berücksichtigung der neuen technischen Möglichkeiten ein. 1914 entwickelte er schließlich zusammen mit dem Ingenieur Max du Bois einen patentierten Prototypen zur industriellen Serienfertigung von Gebäuden in einer Skelettbauweise aus Stahlbauten.

<sup>108</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 24.

<sup>109</sup> Gemeint ist die Zwischenkriegszeit in den 1920er und 1930er Jahre.

<sup>110</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 25f.

Einsatz industrieller Vorfertigung. Ein Beispiel für diese theoretischen Überlegungen ist das Domino House von Le Corbusier, das aus einem vorgefertigten und standardisierten Stahlbetonskelett bestand. Dieses Skelett konnte, je nach Nutzungsanforderungen, erweitert werden und bot dem Kunden zudem den Vorteil einer äußerst flexiblen Grundrissgestaltung.<sup>111</sup>

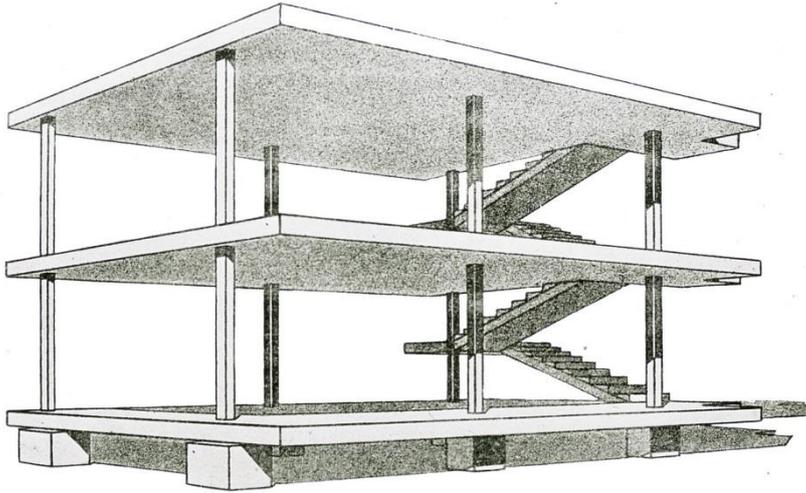


Abbildung 6 Dom-ino House von Le Corbusier 1914<sup>112</sup>

Ab der Mitte der 1920er Jahre verringerte sich die Nachfrage nach industriell erstellten Gebäuden erheblich. Dies war vor allem auf den erhöhten Wohlstand und die damit verbundene stärkere Nachfrage nach individuell angepassten Eigenheimen zurückzuführen. Erst durch die Wirtschaftskrise im Jahr 1929 erlangte die industrielle Vorfertigung wieder mehr an Bedeutung. Der Aufschwung des industriellen Bauens betraf sowohl den Sektor der ersten Fertigteilhäuser, als auch die Vorfabrikation von einzelnen Tragwerkselementen. Ab dem letzten Viertel des 19. Jahrhunderts wurden beispielsweise die Stahlskelett-Tragwerke kompletter Hochhäuser aus vorgefertigten Elementen zusammengesetzt.<sup>113</sup>

### 2.2.3 Fordismus und die Auswirkung standardisierter Massenproduktion

Die Frage, warum sich im industriell vorgefertigten Wohnbau vor allem der massive aus Stahlbeton hergestellte Plattenbau durchsetzen konnte, wurde und wird bis heute in der einschlägigen Literatur nicht eindeutig

<sup>111</sup> Vgl. CARSTEN ROTH, C. R.: fertighauscity5+, Typologische und technische Untersuchung zu mehrgeschssigen Holzbauweisen. Forschungsbericht. S. 106f.

<sup>112</sup> <http://jeanneret.blogspot.co.at/2013/09/open-floor-plan-system-domino-frame.html>. Datum des Zugriffs: 1.Februar.2015.

<sup>113</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 26.

beantwortet. Eine augenscheinliche Erklärung liefert der durch den Krieg erhöhte Eisen- bzw. Stahlbedarf in der Rüstungsindustrie. Um den Stahlverbrauch im Baugewerbe zu reduzieren, wurde besonders der Betonbau bei der Errichtung von Sozialwohnungen forciert. Diese Tendenz zu vorgefertigten Stahlbetonelementen wurde auch nach dem zweiten Weltkrieg beibehalten.<sup>114</sup>

Im Gegensatz dazu entwickelte sich in derselben Zeit in den USA der Stahlbau zur führenden Bauweise in der industriellen Vorfertigung, vor allem im Hochhausbau.<sup>115</sup>

Ein weiterer Ansatz, warum sich in Mitteleuropa besonders der industrielle Bau mit massiven Betonfertigteilen durchsetzen konnte, liegt in der Euphorie der Planer, Bauherren und Unternehmer für den relativ jungen Baustoff Stahlbeton selbst. Durch das Bestreben, die Konstruktionskosten mit Hilfe von modernen Fertigungstechnologien zu senken, wurde sowohl in Mitteleuropa, als auch in England und den USA intensiv an Produktionsverfahren im Skelett- und Großtafelbau aus Stahlbeton geforscht. Das erste System der geschosshohen Stahlbetonplatte als Grundmodul für das Tragwerk von Bauwerken wurde erstmals 1908 vom New Yorker Ingenieur Grosvenor Atterbury<sup>116</sup> entwickelt und realisiert. Diese Bauweise aus vorgefertigten Beton-Großtafeln wurde nach dem Zweiten Weltkrieg in Europa weiterentwickelt.<sup>117</sup>

Bedingt durch die Euphorie für das damalige Wirtschaftswunder in den USA und deren Automobilindustrie, entwickelten sich die von Frederick Winslow Taylor erschaffenen Produktionsmethoden auch zum Leitgedanken der Architektur in Europa. Die Unterordnung der menschlichen Arbeitskraft unter die maschinelle Produktion zur Steigerung der Effizienz war in den 1920er Jahren eines der wesentlichsten Merkmale der Industrialisierung. Diese Produktionsmethode entsprach dem von Henry Ford um 1913 entwickelten System der Massenproduktion der Automobilindustrie. Neben der Anpassung des Menschen an die Fließbandproduktion, entwickelte sich vor allem der Druck zur Effizienzsteigerung und der Zwang zur Serie als die zentralen Kennzeichen einer industriellen Produktion.<sup>118</sup>

Diese Prinzipien der Industrialisierung wurden während des Zweiten Weltkriegs von Ernst Neufert<sup>119</sup> aufgenommen und weiterverfolgt. Die

<sup>114</sup> Vgl. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 35.

<sup>115</sup> Vgl. Ebd. S. 35.

<sup>116</sup> Grosvenor Atterbury (1869 – 1956)

<sup>117</sup> Vgl. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 34ff.

<sup>118</sup> Vgl. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 38f.

<sup>119</sup> Ernst Neufert (1900-1986) war deutscher Architekt und Mitglied in unterschiedlichen Normungsausschüssen. Die von ihm entwickelte Bauentwurfslehre gilt auch heute noch bei vielen Architekten als Grundlage für die Ergometrie der Entwürfe.

von ihm entwickelte, sog. Bauentwurfslehre<sup>120</sup>, welche die Normierung und Standardisierung des Bauens behandelt, gilt für viele Architekten, Fachplaner und Ingenieure nach dem Krieg als Basis für ihre konstruktiven Arbeiten. Dabei wurden von Neufert nicht nur die Normung einzelner Bauteile vorgegeben, sondern bereits systematisierte Typengrundrisse für unterschiedliche Nutzungsanforderungen entwickelt. Diese theoretischen Überlegungen führten schließlich zur Konzipierung einer sog. Hausbaumaschine, die Häuser wie am Fließband On-site produzieren und so den Bauablauf rationalisieren sollte. Obwohl zahlreiche Versuche bis 1945 gestartet wurden, konnte die Idee der Hausbaumaschine bis heute nicht verwirklicht werden.<sup>121</sup>

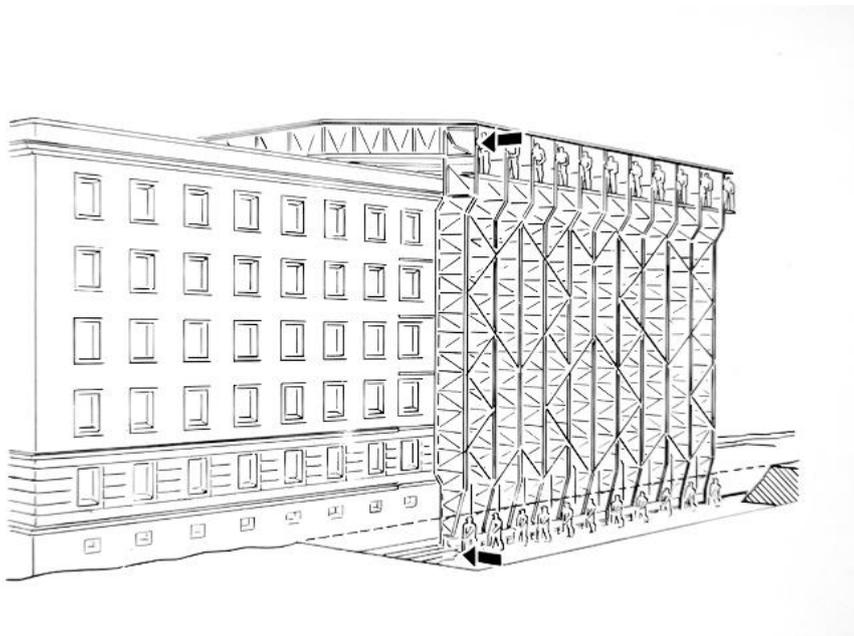


Abbildung 7 Hausbaumaschine von Neufert<sup>122</sup>

Dennoch spielten die theoretischen Überlegungen Neuferts bei der Standardisierung und fabrikseitigen Produktion von Wohngebäuden eine sehr bedeutende Rolle. Die Bemühung, durch genormte Grundrisse eine Baustellenproduktion wie am Fließband zu ermöglichen, wird in der Architekturtheorie auch als Fordismus bezeichnet.<sup>123</sup>

Nach dem geschichtlichen Abriss über die Entwicklung der industriellen Vorfertigung werden in den nachfolgenden Kapiteln die theoretischen Grundlagen dieses Themas näher beschrieben.

<sup>120</sup> Vgl. NEUFERT, E.: Bauentwurfslehre. S. 1ff.

<sup>121</sup> Vgl. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 45.

<sup>122</sup> <http://www.amiryatziv.com/hausbaumaschine.html>. Datum des Zugriffs: 6. Oktober. 2014

<sup>123</sup> Vgl. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 45.

## 2.2.4 Mass Customization

Die Bezeichnung Mass Customization setzt sich aus den beiden sehr gegensätzlichen Begriffen Mass Production, also Massenfertigung und Customization, kundenbezogene Anfertigung oder Auftragsfertigung zusammen. Dieses Grundprinzip der individualisierten Massenerstellung wird durch eine computergestützte Vorfertigung ermöglicht und bildet in der stationären Industrie von heute eine wesentliche Wettbewerbsstrategie der Unternehmer.<sup>124</sup>

Aufbauend auf der Überlegung, dass aufgrund der ansteigenden Individualisierung der Gesellschaft nach und nach eine Abkehr von Massenmärkten eintreten wird, konnte Ende des 20. Jahrhunderts eine Strategie entwickelt werden, welche die Vorteile der Massenproduktion mit jenen einer Einzelanfertigung kombinierte.<sup>125</sup>

Das Konzept der sog. kundenindividuellen Massenproduktion sieht dabei die Fertigung von individualisierten Waren oder Dienstleistungen für einen möglichst großen Absatzmarkt vor. Die spezifizierte Anpassung und Flexibilisierung der Produkte soll mithilfe einer Variation einzelner weniger Merkmale sichergestellt werden. Anders als bei der Einzelfertigung, welche im Kapitel 3.1.6 genauer beschrieben wird, sieht das Konzept der Mass Customization jedoch keine auftragsbezogene Erstellung von Elementen oder Modulen vor. Vielmehr soll die Produktspezifizierung durch die Auswahlmöglichkeiten zwischen einzelnen wenigen Produktkomponenten sichergestellt werden.<sup>126</sup>

Da sich auch der Preis für die nach diesem Konzept produzierten Elemente auf Basis eines vorab definierten Preisbaukastens bestimmen lässt, wird in diesem Zusammenhang in der Fachliteratur meist auch von einer Standardisierung der Individualisierung gesprochen.<sup>127</sup>

Für die Realisierung einer Mass Customization haben sich in der Praxis unterschiedliche Ansätze entwickelt, die sich vor allem durch das Verhältnis zwischen Individualisierung und Standardisierung unterscheiden. Grundsätzlich kann das Prinzip der Mass Customization, je nach dem Zeitpunkt der Individualisierung, in eine Soft Customization und eine Hard Customization unterteilt werden.

Im Falle der Soft Customization wird die Individualisierung dabei nicht im Zuge der Fertigung, sondern erst außerhalb der Produktion erreicht.

Die Hard Customization sieht hiergegen eine Individualisierung der Produkte bereits während der Fertigung vor.<sup>128</sup>

<sup>124</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 117f.

<sup>125</sup> Vgl. THOMAS; PETER: Mass Customization als Wettbewerbsstrategie in der Finanzdienstleistungsbranche. S. 67.

<sup>126</sup> Vgl. Ebd. S. 70.

<sup>127</sup> Vgl. Ebd. S. 70.

<sup>128</sup> Vgl. THOMAS; PETER: Mass Customization als Wettbewerbsstrategie in der Finanzdienstleistungsbranche. S. 75.

Unter Berücksichtigung dieser beiden Individualisierungsansätze können schließlich sechs unterschiedliche Umsetzungsstrategien einer Mass Customization abgeleitet werden. Diese Ansätze schließen sich allerdings nicht gegenseitig aus, sondern können auch miteinander kombiniert werden.<sup>129</sup>



Abbildung 8 Umsetzungsansätze einer Mass Customization<sup>130</sup>

Im Falle der Methode einer Selbstindividualisierung wird ein massenhaft hergestelltes Produkt durch den Endkunden selbst spezifiziert und an seine eigenen Bedürfnisse angepasst. Dieser Ansatz stellt hohe Anforderungen an die Produktflexibilität und wird so zu höheren Entwicklungskosten führen. Vorteile ergeben sich hiergegen durch die Möglichkeit der Konfiguration während der gesamten Nutzungsdauer.<sup>131</sup>

Die individuelle Endfertigung entspricht größtenteils der Selbstindividualisierung durch den Kunden. Allerdings wird bei dieser Methode die Individualisierung nicht durch den Kunden, sondern durch den Vertrieb realisiert. Dies setzt jedoch voraus, dass die Wertschöpfungskette in eine standardisierte Massenfertigung und eine individuelle Endfertigung unterteilt werden kann.<sup>132</sup>

Die bislang am weitesten verbreitete Methode stellt die Modularisierung nach dem Baukasten-Prinzip dar. Dieses Konzept basiert auf der Produktion standardisierter Komponenten, die über definierte Schnittstellen untereinander verbunden werden können.<sup>133</sup>

Im Falle der Strategie einer individuellen Endfertigung im Handel werden standardisierte Ausgangsprodukte erst im Handel selbst den eigentlichen Kundenwünschen angepasst. Ähnliches gilt für die Methode der

<sup>129</sup> Vgl. Ebd. S. 74.

<sup>130</sup> THOMAS; PETER: Mass Customization als Wettbewerbsstrategie in der Finanzdienstleistungsbranche. S. 74.

<sup>131</sup> Vgl. THOMAS; PETER: Mass Customization als Wettbewerbsstrategie in der Finanzdienstleistungsbranche. S. 74.

<sup>132</sup> Vgl. THOMAS; PETER: Mass Customization als Wettbewerbsstrategie in der Finanzdienstleistungsbranche. S. 76.

<sup>133</sup> Vgl. Ebd. S. 79ff.

Serviceindividualisierung. Hierbei werden standardisierte Produkte durch individuelle Zusatzleistungen ergänzt und so den spezifischen Wünschen angepasst.

Die massenhafte Fertigung von Unikaten bildet letztendlich die fortschrittlichste Methode einer Mass Customization. Dabei werden alle Komponenten eines Produkts individuell angefertigt und für jeden Kundenauftrag neu konstruiert. Um die Fertigung dieser Unikate möglichst effizient zu gestalten, werden flexible Produktionssysteme eingesetzt, die auf Basis standardisierter Prozesse den eigentlichen Fertigungsablauf optimieren.<sup>134</sup>

Alle sechs genannten Umsetzungsstrategien streben nach der Steigerung einer subjektiv wahrgenommenen Individualisierung der Endprodukte. Um diese zu erreichen, müssen jene Prozesse ermittelt werden, in denen eine Individualisierung vom Kunden wahrgenommen wird. Neben dem Design der Produkte sind das hauptsächlich Zusatzleistungen, wie ein individualisiertes Marketing oder ein wiederholtes Feedback, was zu einer Steigerung der Kundenzufriedenheit beiträgt.<sup>135</sup>

Die Mass Customization darf dabei allerdings nicht mit einer Variantenfertigung<sup>136</sup> verwechselt werden. Im Gegensatz zu einer kundenindividuellen Produktion wird im Falle einer Variantenfertigung, aufbauend auf Bedarfserhebungen und Marktprognosen, ein Mix aus unterschiedlichen Varianten in hohen Stückzahlen gefertigt. Der wesentliche Nachteil einer Variantenfertigung gegenüber der Mass Customization liegt in der größeren Lagerhaltung und den damit verbundenen Kosten der fertigen Produkte oder Bauteile. Diese Lagerkosten können bei der Einzelfertigung auf die Kosten für die Aufbewahrung von Rohmaterialien beschränkt werden.<sup>137</sup>

Die Vor- und Nachteile der beiden Produktionsarten werden in Kapitel 3.1.6 genauer analysiert.

Einer empirischen Studie<sup>138</sup> aus dem Jahr 1999 zufolge, ist das Bestreben, die Konzepte der Mass Customization in den Unternehmen umzusetzen, sehr groß. Die theoretischen Ansätze dazu scheitern allerdings meist in der Ausführung.<sup>139</sup> Die Studie ergab, dass sich zwar rund 45% der deutschen Unternehmer als Mass Customizer verstehen, diese den Begriff allerdings nur als eine moderne Bezeichnung für die traditionelle Einzelfertigung auffassen. Die Verbindung zwischen

<sup>134</sup> Vgl. THOMAS; PETER: Mass Customization als Wettbewerbsstrategie in der Finanzdienstleistungsbranche. S. 83f.

<sup>135</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 117ff.

<sup>136</sup> Die Prinzipien der Variantenfertigung werden in Kapitel 3.1.6 genauer beschrieben.

<sup>137</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 125f.

<sup>138</sup> Vgl. PILLER, F. T.; SCHODER, D.: Mass Customization und Electronic Commerce. Studie. S. 1ff.

<sup>139</sup> Vgl. Ebd. S. 2.

Kostenführerschaft und Differenzierungsstrategie wird von den meisten Unternehmen bis dato noch nicht durchgeführt.<sup>140</sup>

### 2.2.5 Parallelen des industriellen Bauens zur industriellen Produktion

Die in den einführenden Kapiteln beschriebenen Arten und Ansätze der industriellen Produktion stellen einen Auszug zum umfangreichen Thema der Vorfertigung dar. Der Überblick zeigt allerdings, wie weitläufig und komplex die einzelnen Methoden der Vorfertigung in den unterschiedlichen Branchen ausgeprägt sind. Obwohl auch der Vorfertigungsgrad in der Baubranche bereits zum Teil sehr hoch ist, scheint dieser im Vergleich zur stationären Industrie, und hier vor allem zur Automobilindustrie, noch rudimentär zu sein.

Die Gründe für die unterschiedlich schnelle Entwicklung der industriellen Produktion von Konsumgütern und Bauwerken sind sehr vielfältig. Einerseits sind die möglichen Konstruktionsarten, mit denen Gebäude errichtet werden können, weitaus komplexer, als jene der meisten industriell gefertigten Produkte. Andererseits müssen durch die Ortsgebundenheit der Bauwerke zahlreiche Randbedingungen und einige Besonderheiten während der Produktion beachtet werden.<sup>141</sup>

Aufgrund der Größe der Gebäude werden diese meist nicht als Ganzes vorgefertigt, sondern müssen in transportablen Einheiten, oft im Falle von Modulen produziert werden, welche erst auf der Baustelle zusammengesetzt werden können. Die maximalen Abmessungen, welche die einzelnen Module annehmen können, werden dabei hauptsächlich von den Transportmöglichkeiten vorgegeben.

Zudem ist auch die Möglichkeit der Vorfertigung der einzelnen Erd- und Fundierungsarbeiten der Projekte gering bis teilweise technisch überhaupt nicht möglich.<sup>142</sup>

Trotz des stetigen wirtschaftlichen Zuwachses von Fertigteilhäusern in Europa und den USA, bleibt der Anteil an industrieller Vorfertigung in der Baubranche im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen stark zurück. In Japan hingegen ist das Konzept von vollständig vorgefertigten Häusern in sog. Häuserfabriken bereits längst verwirklicht worden. Beispiele dafür sind die vom Marktführer Sekisui House<sup>143</sup> von Toyota Home angefertigten Gebäude, die auf den ersten Blick und auch bei

<sup>140</sup> Vgl. Ebd. S. 15.

<sup>141</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 590.

<sup>142</sup> Vgl. PROCHINER, F.: Zukunftsorientierte Fertigungs- und Montagekonzepte im industriellen Wohnungsbau. S. 143.

<sup>143</sup> Das Sekisui House ist eines der größten Japanischen Bauunternehmen. Es wurde 1960 gegründet und entwickelte in den 1970er Jahren zusammen mit dem Architekten Katsuhiko Ohno den Prototypen eines komplett industriell vorgefertigten Wohnhauses. Im darauffolgenden Jahr wurden bereits 260 dieser Gebäude produziert.

näherer Betrachtung kaum von traditionell errichteten Bauvorhaben zu unterscheiden sind.<sup>144</sup>

Seit den 1960er Jahren werden von japanischen Herstellern komplexe Raumzellen, unter Verwendung ähnlicher Fertigungsmethoden wie in der Automobilindustrie, produziert. Dabei wird von den Unternehmen ein Baukasten angeboten, aus welchem sich interessierte Bauherren individuell gestaltete Ein- oder Mehrparteienhäuser zusammenstellen und anfertigen lassen können. Die dafür benötigten Module werden auf einem Fließband mithilfe hoch automatisierter Fertigungsprozesse hergestellt.<sup>145</sup>

Die industriellen Produktionsverfahren der großen japanischen Vorfertigungsunternehmen ähneln jenen der Automobilindustrie. Trotz der bereits sehr hohen Elementevielfalt werden immer neue Gestaltungsoptionen angeboten und so die mögliche Grundrissvielfalt und Planungsvarianten erweitert. Diese Entwicklung kann unter anderem auf den weit verbreiteten Einsatz von modernen Entwicklungs- und Produktionsmethoden aus dem Bereich der Mass Customization zurückgeführt werden.

Die große Gestaltungsfreiheit der auf diese Weise industriell angefertigten Wohngebäude wirkt sich auch auf die Nachfrage aus. 2009 wurden von den fünf größten japanischen Unternehmern mehr als 100.000 Wohneinheiten produziert.<sup>146</sup>

Die genauen Daten dazu sind in der nachfolgenden Grafik zusammengefasst.

	Sekisui House	Daiwa House	Sekisui Heim	Toyota Home
Erzielter Höchstoutput	78.275 (1994)	44.500 (2007)	34.560 (1997)	5.024 (2006)
2009	55.088	42.847	14.550	4.302

**Abbildung 9** jährliche Produktion von Häusern mit dem Fließbandverfahren in Japan<sup>147</sup>

Das Sekisui House ist mit einem Produktionsvolumen von jährlich rund 55.000 Wohneinheiten der größte Hersteller. Für die Fertigung der Module wird in diesem Unternehmen zuerst ein Stahlrahmen aus standardisierten Profilen zusammengesetzt. Dabei verläuft sowohl die vorangegangene Logistik, wie beispielsweise die Materialzufuhr, als auch die darauffolgenden Arbeitsschritte, wie etwa die Schweißarbeiten der Module, nach einem vollautomatischen System.

<sup>144</sup> Vgl. BERGDOLL, B.: Home Delivery, Entwicklungsstadien eines Modernen Traums: von der Taylorisierten Serienproduktion zur Digitalen Mass Customization. In: Arch+, Mai/2010. S. 26.

<sup>145</sup> Vgl. LINNER, T.: Mass Customization im Bauwesen. In: ibr, September/2011. S. 14.

<sup>146</sup> Vgl. Ebd. S. 14.

<sup>147</sup> LINNER, T.: Mass Customization im Bauwesen. In: ibr, September/2011. S. 14.



Abbildung 10 erster Fertigungsschritt: die vollautomatische Erstellung von dreidimensionalen Stahlrahmen als Tragstruktur<sup>148</sup>

Die so produzierten Stahlrahmen werden anschließend mit unterschiedlichen Ausbauelementen, wie Fenstern und Türen, von verschiedenen Herstellern versehen. Dabei wird der dreidimensionale Stahlrahmen als Tragstruktur über ein Fließband gezogen und in 45 Einzelstationen bearbeitet und komplettiert. Der Materialbedarf der einzelnen Stationen zur Realisierung der Detailaufgaben wird nach dem Just-in-Time-Prinzip angeliefert. Auf diese Weise konnten in den 1970er Jahren über 3.000 Wohneinheiten pro Jahr produziert werden. Die hohe Nachfrage erlaubte schließlich eine stetige Weiterentwicklung dieser Produktionsmethodik. Während zu Beginn der Fließbandfertigung eine hohe Anzahl standardisierter Gebäude gefertigt wurde, konnten mit der steigenden Nachfrage auch die Automatisierungsprozesse verbessert werden. Mittlerweile werden jährlich rund 10.000 Wohneinheiten angefertigt, wobei die Kunden ihr Gebäude aus in Summe 300.000 einzelnen Komponenten digital über eine Art Konfigurator zusammenstellen können. Ein einzelnes Gebäude wird dann aus den dafür erforderlichen rund 30.000 Elementen an einem 400m langen Fließband komplett produziert.<sup>149</sup>

Dies schließt auch die Integration von vorgefertigten Subsystemen, wie etwa Bad- oder Küchenraumzellen ein. Diese Systeme werden von externen Zulieferern ins Werk gebracht und dort in das produzierte Wohngebäude eingebunden.<sup>150</sup>

Die industrielle Fertigung von dreidimensionalen Subsystemen, wie beispielsweise jene der Badraumzellen, begann bereits in den 1920er

<sup>148</sup> LINNER, T.: Mass Customization im Bauwesen. In: ibr, September/2011. S. 14.

<sup>149</sup> Vgl. BOCK, T.; LAUER, W. V.; LINNER, T.: Automatisierung und Robotik im Bauen. In: Arch+, Mai/2010. S. 36.

<sup>150</sup> Vgl. LINNER, T.: Mass Customization im Bauwesen. In: ibr, September/2011. S. 15.

Jahren in Skandinavien. Um die sehr kurzen Sommerphasen, in denen die Gebäude realisiert werden können, optimal auszunutzen, wurde in diesen Ländern bereits früh versucht, einige Gebäudeteile in wettergeschützten Werkshallen vorzubereiten.

In Mitteleuropa wird die industrielle Vorfertigung von diesen dreidimensionalen Subsystemen erst seit dem Beginn der 1960er Jahren umgesetzt. Dabei kamen die Nassraumzellen, vor allem im Falle der Errichtung von Hotels oder Pflegeheimen zum Einsatz.<sup>151</sup>

Einen Schritt weiter als die Produktion von einzelnen, fertigen Subsystemen geht das Herstellungsprinzip der japanischen Unternehmen Sekisui Heim und Toyota Home. Seit fast einem halben Jahrhundert wird hier eine Fließbandfertigung umgesetzt, die sämtliche Erstellungsprozesse in eine stationäre Produktion verlegen. Dazu zählt auch die werkseitige Integration von bereits fertigen dreidimensionalen Subsystemen. Dadurch gelingt es, die so produzierten Wohngebäude bereits soweit vorzufertigen, dass die abschließende Montagearbeit vor Ort nur mehr einen Arbeitstag in Anspruch nimmt.<sup>152</sup>



Abbildung 11 individueller Ausbau der im Sekisui Heim produzierten Module auf dem Fließband<sup>153</sup>

Ein wichtiger Faktor bei der Umsetzung der vorgefertigten Gebäude spielt dabei das positive Image der Technologie in der Kultur Japans.

Zudem können die gefertigten Raumzellen von zahlreichen, über ganz Japan verteilten Unternehmenssitze geliefert werden. Das reduziert die Transportlänge und –kosten um ein Vielfaches.<sup>154</sup>

<sup>151</sup> Vgl. LINNERT, T.: Mass Customization im Bauwesen. In: ibr, September/2011. S. 15.

<sup>152</sup> Vgl. Ebd. S. 15.

<sup>153</sup> [www.rkw-kompetenzzentrum.de/.../IBR\\_2011-4.pdf](http://www.rkw-kompetenzzentrum.de/.../IBR_2011-4.pdf). Datum des Zugriffs: 1.Februar.2015

<sup>154</sup> Vgl. LINNERT, T.: Mass Customization im Bauwesen. In: ibr, September/2011. S. 16.

Ein weiterer Vorteil der vollautomatischen Produktionsweise ist die vor einigen Jahren entwickelte sog. Zero-Waste Strategie der Unternehmen also eine Müll-vermeidende Produktion der Beteiligten. Durch die Fertigung im Fabrikumfeld kann die Kontrolle der Ressourcenströme effizient betrieben werden. Zudem kann der Rückbau und das Recycling der Module mithilfe einer Umkehrung der Herstellprozesse direkt im Werk durchgeführt werden. Das dadurch wiedergewonnene Material wird aufbereitet und erneut in die Herstellung von weiteren Modulen eingebunden.<sup>155</sup>

Die angeführten Beispiele zeigen, dass die häufig vertretene Meinung, Prozesse der Automobilbranche können nicht in die Baubranche integriert werden, nicht gänzlich richtig ist. Die grundsätzlichen Parallelen zwischen der Bauproduktion und der industriellen Produktion wurden im Buch Strategisches Bauunternehmensmanagement<sup>156</sup> wie folgt zusammengestellt:

<b>Merkmale industrieller Produktion</b>	<b>Anforderungen an industrielles Bauen</b>
Zentralisierte Produktion	Vorfertigung von Bauteilen im Werk
Massenfertigung / zunehmend variable Fertigung	Entwicklung von variablen Grundtypen
Fertigung auf Basis standardisierter Lösungen und Produktion von Varianten	Standardisierung von Bauteilen bei Flexibilität in der Gestaltung
Spezialisierung	Konzentration auf bestimmte Marktsegmente
Integration von Planung, Produktion und Marketing	Interaktion von Planung, Konstruktion, Produktionsplanung und Produktion sowie Marketing unter Einbezug des Unternehmers
Optimierte Prozesse und Organisation	Optimierung der Planungs- und Produktionsprozesse in Bezug auf Automatisierung und Mechanisierung

**Tabelle 1** Gegenüberstellung der Merkmale industriellen Bauens und industrieller Produktion<sup>157</sup>

Aus den charakteristischen Kennzeichen der industriellen Vorproduktion, wie beispielsweise die Organisation in einer zentralisierten Produktion und Spezialisierung einzelner Produktionsabläufe, lassen sich demzufolge Anforderungen an das industrielle Bauen ableiten.

Unter Berücksichtigung einiger spezieller Rahmenbedingungen der Baubranche, wie etwa die Ortsgebundenheit der Gebäude, oder die komplexe Gestaltung einiger Konstruktionsdetails, können laut Ansicht

<sup>155</sup> Vgl. LINNER, T.: Mass Customization im Bauwesen. In: ibr, September/2011. S. 18.

<sup>156</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529.

<sup>157</sup> GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529.

einiger Experten, die bereits über mehrere Jahre verfeinerten Merkmale der industriellen Produktion auf ein industrielles Bausystem umgelegt werden.<sup>158</sup>

Wie in der vorher abgebildeten Tabelle zusammengefasst, können dabei sechs grundsätzliche Merkmale einer industriellen Produktion definiert werden. Diese betreffen vor allem die Art der Fertigungs- und Planungsabläufe.

Eines der wesentlichsten Merkmale einer industriellen Produktion hierbei ist die zentralisierte Fertigung der Konsumgüter innerhalb einer Produktionsstätte. Dieses Prinzip bietet sowohl durch die wettergeschützten Bedingungen in der Werkshalle, als auch durch die konzentrierte Produktion an einem Ort, einige Möglichkeiten zur Optimierung und Effizienzsteigerung des Fertigungsablaufs.

Diese Eigenschaft der Industrieproduktion kann auch auf die industrielle Bauproduktion bezogen werden. Die Vorfertigung einzelner Bauelemente, oder –module im Werk greift dabei die Vorteile einer zentralisierten Produktion auf. Die Vorfertigung der Bauteile erlaubt beispielsweise eine erhebliche Steigerung der Produktionseffizienz und Optimierung der einzelnen Arbeitsabläufe. Aufgrund der Zentralisierung der Produktion und der klaren Strukturierung der Workflow-Prozesse kann, etwa durch die Eliminierung der Zeit für die Suche von Material, oder die Umschichtung eine erhebliche Zeit- und Kostenersparnis gegenüber einer traditionellen Bauweise erreicht werden.<sup>159</sup>

Ein weiteres Merkmal der Industrieproduktion, das auch im industriellen Bauen Anwendung findet, ist die zunehmende Flexibilisierung der Fertigungssysteme. Während bis vor einigen Jahrzehnten eine industrielle Produktion mit einer klassischen Massenfertigung gleich gesetzt wurde, wird derzeit durch eine zunehmend variable Fertigung eine immer umfangreichere Produktpalette angeboten.

Ähnliches gilt für die Methoden des industriellen Bauens. Durch die Entwicklung neuer Produktionstechnologien wird eine Flexibilisierung der produzierten Elemente und Module ermöglicht. Je nach zugrunde liegender Fertigungsstrategie, also Einzelfertigung, Variantenfertigung oder Massenfertigung, ändern sich sowohl die Anforderungen an die Logistik der Materialbeschaffung, sowie der Kalkulationsaufwand dahinter.<sup>160</sup>

Um trotz einer hohen Individualisierung der produzierten Bauelemente einen Kostenvorteil durch eine serielle Standardisierung zu erreichen, wird sowohl bei der Industrieproduktion, als auch bei der industriellen Bauproduktion eine Standardisierung von einzelnen Bauteilen entwickelt.

<sup>158</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529.

<sup>159</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 525ff.

<sup>160</sup> Vgl. Ebd. S. 525ff.

Auf Basis genormter Elemente oder Module soll nach dem Baukastenprinzip eine möglichst flexible Entwurfsgestaltung sichergestellt werden. Dabei muss in der Entwicklung der einzelnen Elemente besonders auf die mögliche Ausführung der zugehörigen Schnittstellen geachtet werden. Je komplexer die einzelnen Grundmodule gestaltet werden, desto höher wird der Planungs- und Detailierungsaufwand des Bausystems.<sup>161</sup>

Generell erfordert die Industrialisierung, unabhängig ob in einer Produktfertigung oder in der Baubranche, eine interdisziplinäre Planung, sowie eine enge Kooperation zwischen allen beteiligten Planern, Zulieferern und ausführenden Unternehmen. Dies stellt wiederum erhöhte Ansprüche an die Leistungsfähigkeit der verwendeten Kommunikationswerkzeuge.<sup>162</sup> Dabei ist vor allem ein durchgängiger Datenfluss wesentlich, bei dem weder Daten verloren gehen, noch eine aufwendige Mehrfacheingabe von Daten erforderlich ist.

Ein weiteres Merkmal der industriellen Produktion ist das Streben nach einer Optimierung der eigentlichen Produktionsprozesse und der Organisation.

Dieses Merkmal entspricht auch einem der wesentlichsten Eigenschaften einer industriellen Bauproduktion. Denn das industrielle Bauen wird meist mit einer Rationalisierung sämtlicher Arbeitsprozesse verbunden. Diese soll durch die prozessorientierte Ausführung der Arbeitsvorbereitung und Mechanisierung der Produktionsabläufe erreicht werden.<sup>163</sup>

Der letzte in der vorigen Tabelle angeführte Punkt betrifft die Spezialisierung der Produktion auf bestimmte Marktsegmente oder Marktnischen. Der zunehmende Wettbewerbsdruck erfordert bei beiden Industriezweigen eine weitgehende Spezialisierung auf ein Fachgebiet. Dafür muss allerdings zuvor, im Zuge einer Konzentrationsstrategie, überlegt werden, auf welche Zielmärkte sich das Unternehmen konzentrieren wird.<sup>164</sup>

Die zusammenfassende Betrachtung der Entwicklung des industriellen Bauens und der Gegenüberstellung mit der industriellen Produktfertigung zeigt das bereits sehr weit entwickelte Potential der Vorfertigung. Die volle Leistungsfähigkeit bei dieser Art der Bauproduktion wird bis dato jedoch kaum ausgeschöpft. Ein Beispiel für das bereits gegebene Potential der Vorfertigung im Bauwesen wäre das beschriebene Produktionssystem des Sekisui Heims, bei dem sämtliche Bauabläufe automatisiert durchgeführt werden.

<sup>161</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529.

<sup>162</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.3.3.

<sup>163</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529.

<sup>164</sup> Vgl. Ebd. S. 97.

### 2.3 Aktuelle Technologien im industriellen Holzbau

Das Konzept einer industriellen Vorfertigung ist nicht neu und bereits in der Vergangenheit mehrfach erprobt und umgesetzt worden. Nicht nur in der stationären Industrie, sondern auch in der Baubranche, haben sich die Vorteile der Vorfabrikation bereits teilweise durchgesetzt.<sup>165</sup>

Allerdings sind die Methoden und technologischen Möglichkeiten im industriellen Bauen bei weitem nicht ausgeschöpft, wie beispielsweise jene in der Automobilindustrie oder vergleichbaren maschinellen Produktionen. Obwohl die Technik der Vorfertigung immer wieder überarbeitet und weiterentwickelt wurde, bleibt nach wie vor speziell im Bauwesen Raum für weitere Entwicklungen.<sup>166</sup>

Der grundlegende Gedanke, der in der einschlägigen Literatur immer wieder aufgegriffen wird, ist jener, dass das Gebäude als Produkt zu verstehen ist, welches in externen dezentralen Produktionswerkstätten unter Anwendung der Prinzipien von Lean Construction hergestellt wird. Gelingt die Integration der Ansätze von Lean Production, können wesentliche Punkte und Merkmale, wie Just-in-Time-Management, Reduktion der Durchlaufzeiten, Erleichterungen in der Wartung und Qualitätsüberprüfungen rasch durchgesetzt werden.<sup>167</sup>

Die Technologien, die zur Realisierung dieser Punkte notwendig sind, werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer erklärt. Da der überwiegende Anteil vorgefertigter Bauwerke oftmals auch aus Holz errichtet wird<sup>168</sup>, werden im Zuge dieser Arbeit vor allem die Technologien des industriellen Holzbaus näher vorgestellt.

Die Nachfrage nach vorgefertigten Gebäuden ist in Österreich in den letzten Jahren merklich angestiegen. Mittlerweile wird knapp ein Drittel der Ein- und Zweifamilienhäuser als sog. Fertigteilhaus ausgeführt. Der überwiegende Anteil, also 80%, aller Fertighäuser, die in Österreich verwirklicht werden, sind Holzhäuser.<sup>169</sup>

Einer Studie des österreichischen Fertighausverbands<sup>170</sup> zufolge konnte der Fertigbau, vor allem bei großvolumigen Gebäuden in den vergangenen Jahren an Marktwert gewinnen. Hiergegen ging der Gesamtumsatz der Fertigteilbranche bei Einfamilienhäusern in Fertigbauweise um rund 3% zurück. Zurückzuführen sei diese Entwicklung laut ÖFV<sup>171</sup> einerseits auf den späten Start der Bausaison

<sup>165</sup> Vgl. MARTIN LENNARTSSON, A. B.: Step by Step Modularity - A Roadmap for Building Service Development. In: Development Lean Construction Journal, 2010. S. 1ff.

<sup>166</sup> Vgl. Ebd. S.1ff.

<sup>167</sup> Vgl. MARTIN LENNARTSSON, A. B.: Step by Step Modularity - A Roadmap for Building Service Development. In: Development Lean Construction Journal, 2010. S. 3.

<sup>168</sup> Anmerkung: Vergleiche dazu Kapitel 2.4.

<sup>169</sup> Vgl. GRUBER, M.; BRUCKNER, E.: Fertighaus und RechtS. 10f.

<sup>170</sup> Der österreichische Fertighausverband (kurz: ÖFV) ist eine Interessensgesellschaft der Fertighaushersteller. Der Verband wurde 1979 gegründet und besteht aus rund 20 Fertighausunternehmen.

<sup>171</sup> Roland Sutner ist seit 2012 Vorstand des ÖFV und geschäftsführender Gesellschafter der Hartl Haus Holzindustrie.

2013, andererseits auch auf die allgemein schlechte wirtschaftliche Situation zurückzuführen.<sup>172</sup>

Insgesamt wurden 2013 rund 4.100 Einfamilienhäuser und etwa 80 großvolumige Gebäude, wie beispielsweise mehrgeschossige Wohnanlagen und Hotels, in einer Fertigteilbauweise gemäß ÖNORM B2310<sup>173</sup> also mit Fertigteilen, errichtet. Diese Norm definiert das Fertighaus als ein Bauwerk, welches auf einem bereits vorbereiteten Untergrund aus vorgefertigten, raumhohen Wandelementen, vorgefertigten Dach- und Deckenelementen oder komplett fertigen Raumzellen errichtet wird. Die Elemente werden dabei witterungsunabhängig in einem Werk produziert, zur Baustelle transportiert und dort schließlich montiert. Ein Blockhaus, oder ein Gebäude, das nach einem Baukastenprinzip angefertigt wird, fällt nach dieser Definition jedoch nicht in die Kategorie eines Fertighauses.

Ersteres ist aus der Definition ausgenommen, da die vorgefertigten Holzbohlen nicht als geschoßhohe Wandelemente zur Baustelle geliefert werden. Das Baukastenprinzip wird hiergegen zwar aus vorgefertigten, meist geschoßhohen Elementen zusammengesetzt, diese werden jedoch nicht mehr unter der Verantwortung des Herstellunternehmens montiert.<sup>174</sup>

Weiters legt die besagte ÖNORM drei verschiedene Mindestleistungsstandards in Bezug auf ein Fertighaus fest. Diese definieren sich wie folgt:

Das schlüsselfertige Fertighaus besitzt dabei die höchste Ausbaustufe, die in der Norm definiert wird. Die Leistungen, welche dafür erbracht werden müssen, sind neben einer fertigen Fußbodenunterkonstruktion mit Wärmedämmung und Bodenbelag auch die Realisierung einer Feuchteabdichtung in Nassräumen, ein kompletter Dachbodenausbau, je nach Bestimmung der gültigen Landesgesetze, und die Verlegung aller Sanitärleitungen ab der Fundamentoberkante. Daneben müssen auch die komplette Montage der Heizungsanlage, sowie die Verlegung der Leerverrohrung für die Telefon- und Medienanschlüsse, bereitgestellt werden. Auch die dafür notwendigen Wohnungsverteilerschränke und sämtliche Stiegenläufe, Geländer und Balkone, sowie die Verspachtelung der Fugen und Plattenstöße, müssen beim Leistungsstandard eines schlüsselfertigen Gebäudes bereits im Werk hergestellt werden.<sup>175</sup>

Das Belagsfertige Haus hingegen ist die Vorstufe des schlüsselfertigen Hauses. Auch bei dieser Leistungsstufe werden wesentlichen Bauarbeiten bereits im Werk komplettiert. Eine Ausnahme davon bilden

<sup>172</sup> Vgl. MURHAMMER, C.: Pressegespräch des Österreichischen Fertighausverbandes. Pressemitteilung. S. 3.

<sup>173</sup> ÖNORM B 2310, 2009-05-01: Fertighäuser – Benennungen und Definition sowie Mindestleistungsumfang. S.1ff.

<sup>174</sup> Vgl. GRUBER, M.; BRUCKNER, E.: Fertighaus und RechtS. 11.

<sup>175</sup> Vgl. ÖNORM B 2310, 2009-05-01: Fertighäuser – Benennungen und Definition sowie Mindestleistungsumfang. S.9.

die Wand-, Decken- und Bodenbelege, die erst von den Bauherren selbst aufgebracht werden.<sup>176</sup>

Im Falle des sog. Ausbauhauses wird der niedrigste Leistungsumfang seitens der Unternehmer angeboten. Hierbei werden lediglich sämtliche Unterlagen für die Einreichung erstellt und alle Arbeiten für die Komplettierung des äußeren Erscheinungsbildes des Gebäudes durchgeführt. Aus konstruktiver Sicht müssen zumindest jene Maßnahmen, welche den Wärme-, Schall- und Brandschutz betreffen, realisiert werden. Zudem muss, wenn erforderlich, eine zumindest provisorische Treppe ins Obergeschoß hergestellt werden.<sup>177</sup>

Laut einer 2013 durchgeführten Erhebung des ÖFV<sup>178</sup> verschob sich die Nachfrage nach Fertigteilhäusern in den letzten Jahren deutlich zugunsten der schlüsselfertigen Gebäude. Hier konnte ein Zuwachs von rund 4% gegenüber dem Vorjahr festgestellt werden.

Dennoch bleibt die Ausbaustufe der belagsfertigen Häuser bis dato der am häufigsten verkaufte Leistungsstandard. Das Verhältnis zwischen den Marktanteilen der einzelnen Ausbaustufen ist in der nachfolgenden Grafik dargestellt.

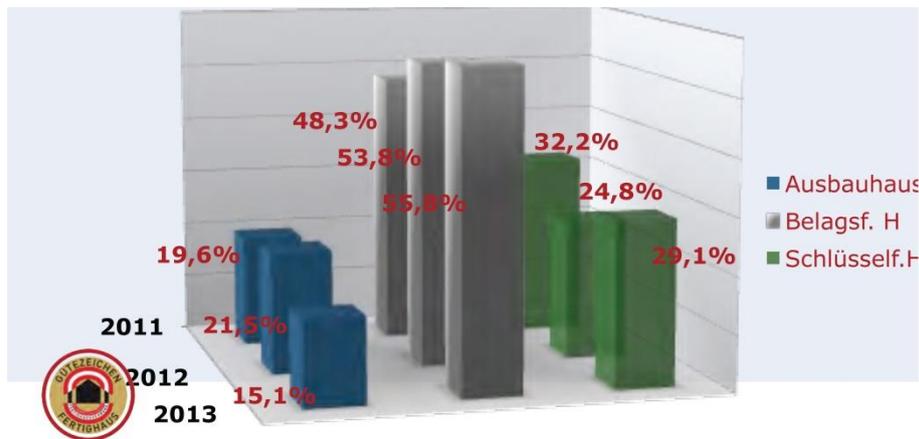


Abbildung 12 Verlauf Marktanteile Ausbaustufen Fertighaus<sup>179</sup>

Der Zuwachs der Marktanteile beim Schlüsselfertigen und Belagsfertigen Haus ist vor allem auf die gesteigerte Nachfrage bei großvolumigen Bauten zurückzuführen. Hier hat sich der Anteil über die letzten Jahre konstant erweitert.

<sup>176</sup> Vgl. ÖNORM B 2310, 2009-05-01: Fertighäuser – Benennungen und Definition sowie Mindestleistungsumfang. S. 8.

<sup>177</sup> Vgl. Ebd. S. 5ff.

<sup>178</sup> Vgl. MURHAMMER, C.: Pressegespräch des Österreichischen Fertighausverbandes. Pressemitteilung. S. 1ff.

<sup>179</sup> MURHAMMER, C.: Pressegespräch des Österreichischen Fertighausverbandes. Pressemitteilung. S. 8.

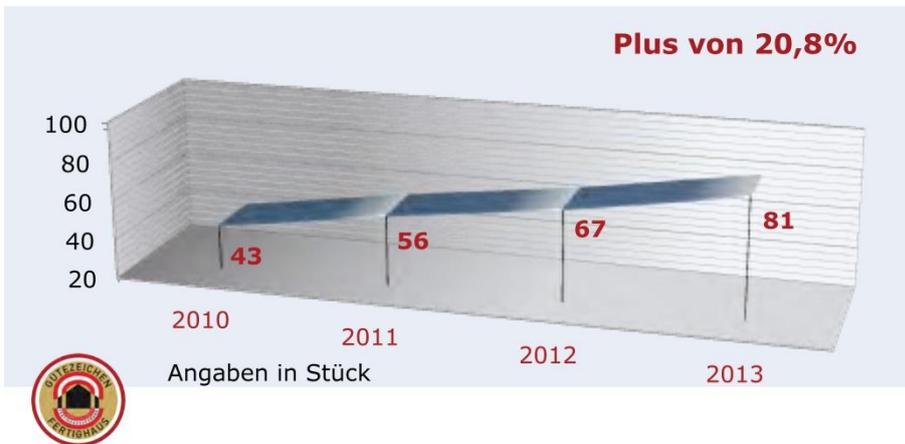


Abbildung 13 Stückzahl produzierter großvolumiger Gebäude in Fertigteilbauweise<sup>180</sup>

Die oben abgebildete Grafik zeigt den Verlauf realisierter, großvolumiger Gebäude, welche in einer Fertigteilbauweise errichtet wurden. Von 2010 bis 2013 hat sich die Anzahl der jährlich produzierten mehrgeschossigen Gebäude fast verdoppelt.<sup>181</sup>

Ein anderer Verlauf zeigt sich bei der Betrachtung der jährlich realisierten Einfamilienhäuser in vorgefertigter Bauweise durch Mitglieder des ÖFV. Hier ist gegenüber den Jahren 2010 und 2011 ein konstanter Rückgang zu verzeichnen.



Abbildung 14 Stückzahl produzierter Einfamilienhäuser in Fertigteilbauweise<sup>182</sup>

Trotz des Rückgangs in diesem Marktsegment konnte der von den Mitgliedern des ÖFV erwirtschaftete Umsatz konstant gesteigert werden.

<sup>180</sup> MURHAMMER, C.: Pressegespräch des Österreichischen Fertighausverbandes. Pressemitteilung. S. 7.

<sup>181</sup> Vgl. Ebd. S.7.

<sup>182</sup> MURHAMMER, C.: Pressegespräch des Österreichischen Fertighausverbandes. Pressemitteilung. S. 6.

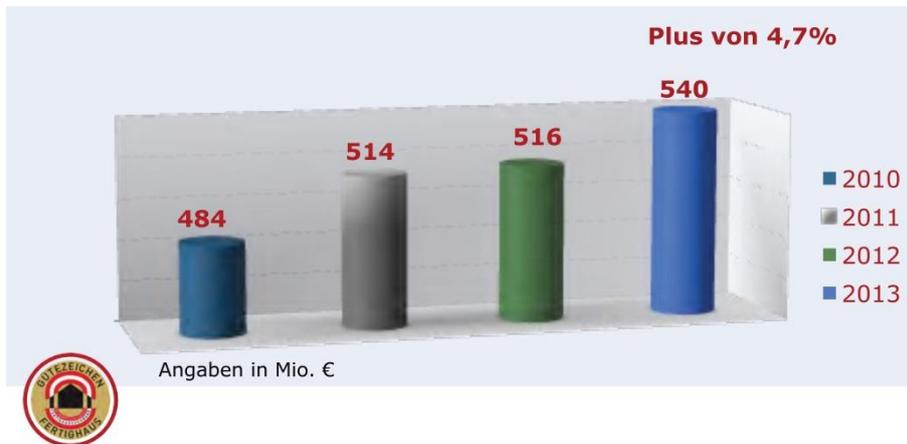


Abbildung 15 Umsatz der Mitglieder des ÖFV<sup>183</sup>

Insgesamt belief sich der von den Mitgliedern des ÖFV 2013 erwirtschaftete Umsatz auf rund 540 Millionen Euro.<sup>184</sup>

### 2.3.1 Weiterentwicklung der Vorfertigung

Obwohl das Thema des industriellen Bauens eine sehr lange Tradition hat, ist die komplette Vorfabrikation im Werk erst seit wenigen Jahren auch tatsächlich möglich. Die Basis einer Vorfertigung im Hochbau wurde bereits in den frühen 1920er Jahren gelegt. Aufbauend auf die Erkenntnisse der industriellen Methoden, die bei großen infrastrukturellen Bauvorhaben, wie Bahnhöfen, Fabrikhallen oder Brücken gewonnen wurden, entwickelten sich daraus normierte Standardisierungssysteme, die nach wie vor als Basis für unterschiedliche Planungsaufgaben herangezogen werden.<sup>185</sup>

Die Methoden des industriellen Holzbaus haben sich in den letzten Jahren rasch und stetig weiterentwickelt. Durch die Entwicklung neuer Holzprodukte, wie dem flächenförmigen Werkstoff Brettsperrholz, mit dessen leichter Bearbeitbarkeit und der hohen Tragfähigkeit einzelner Holzelemente, konnten neue Möglichkeiten der Vorfertigung entwickelt werden.<sup>186</sup>

Als Basis für die Werksfertigung gilt dabei neben einer anpassungsfähigen Produktionstechnik eine frühzeitige und exakte Produktions- und Arbeitsvorbereitung. Im Zentrum der Fertigungsplanung steht in den meisten Fällen ein virtuell modelliertes, dreidimensionales Gebäudemodell, das mit einem CAD-CAM-Programm erstellt wird. Aus den so generierten Planungsdaten können sämtliche, für die Produktion

<sup>183</sup> Ebd. S. 7.

<sup>184</sup> Vgl. Ebd. S. 7f.

<sup>185</sup> Vgl. ROESLER, S.: Wegweisendes Forschungsprojekt, industrielles Bauen kann für KMU eine echte Innovationschance sein. In: Haus Tech, 16/2003. S. 31.

<sup>186</sup> Vgl. LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 3ff.

erforderlichen Informationen gewonnen werden und in zweidimensionale Planunterlagen und Einzelteilzeichnungen umgewandelt werden. Darunter fällt auch eine automatische Erstellung von sog. Stücklisten einzelner Bauteile und Verbindungsmittel, Materialbedarf, sowie die Vorbereitung und Programmierung von Numerical Control-Programmen (kurz: NC)<sup>187</sup>

Der Produktionsprozess einer Werksfertigung verläuft, je nach gewählten Bausystem, in unterschiedlichen Abschnitten ab. Im Holzrahmenbau werden zunächst alle erforderlichen Einzelelemente, wie tragende horizontale Rippen und Streben sowie Rahmen und Platten, entweder händisch oder mit computergesteuerten CNC-Maschinen zugeschnitten. Anschließend werden die einzelnen Elemente zusammengesetzt und miteinander meist durch stiftförmige Verbindungsmittel verbunden. Im selben Bearbeitungsschritt können, je nach Bedarf, weitere Einbauteile, wie Komponenten der Heizung, Klima-, Lüftungs- oder Sanitärtechnik (kurz: HKLS), sowie Leerverrohrungen für Elektroleitungen oder Dämmmaterialien installiert bzw. eingebaut werden. Für die Zusammenfügung aller Elemente zu einem flächenförmigen Einzelelemente sind unterschiedliche Produktionsschritte und Maschinen nötig. Da die Rahmen meist von beiden Seiten bearbeitet werden müssen, können die Arbeitsplattformen vertikal gestellt werden. Darüber hinaus kann bei Bedarf ein weiterer Fertigungstisch so platziert werden, dass eine Übergabe des Werkstücks zwischen den beiden Arbeitsplattformen ermöglicht wird. Diese Art der Zimmereibearbeitungstische wird auch als sog. Schmetterlingswender bezeichnet.<sup>188</sup>



Abbildung 16 Schmetterlingswender für typische Produktion von Holzrahmenelementen<sup>189</sup>

Die Schmetterlingswender werden beispielsweise in der Produktion von gesamten Wandelementen im Rahmenbau verwendet. Dabei wird auf dem ersten Tisch die Rippenkonstruktion, auch als Riegelwerk bezeichnet, als tragender Teil angefertigt und miteinander verbunden. Nach der Anbringung der Gurtschlaufen werden die Dampfbremsen und Plattenwerkstoffe, wie beispielsweise Gipsfaserplatten oder OSB-Platten

<sup>187</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 20.

<sup>188</sup> Vgl. Ebd. S. 20ff.

<sup>189</sup> <http://www.weinmann-partner.com/de-de/products/productdatabase/weinmann/Seiten/Schmetterlingswender.aspx>. Datum des Zugriffs: 3.Februar.2015

aufgelegt und meist manuell mit stiftförmigen Verbindungsmitteln fixiert. Anschließend werden allfällige Aussparungen ausgeschnitten und die Plattenüberstände entfernt. Nach dem Wenden der Platte werden schließlich die HKLS-Komponenten, sowie die Leerverrohrungen für die Elektroinstallationen, eingelegt und die Dämmung eingebracht.<sup>190</sup> Schließlich wird auch die zweite Seite mit einem Plattenwerkstoff geschlossen.

Der Fertigungsablauf der Wandelemente ist in nachstehender Grafik im Überblick dargestellt.

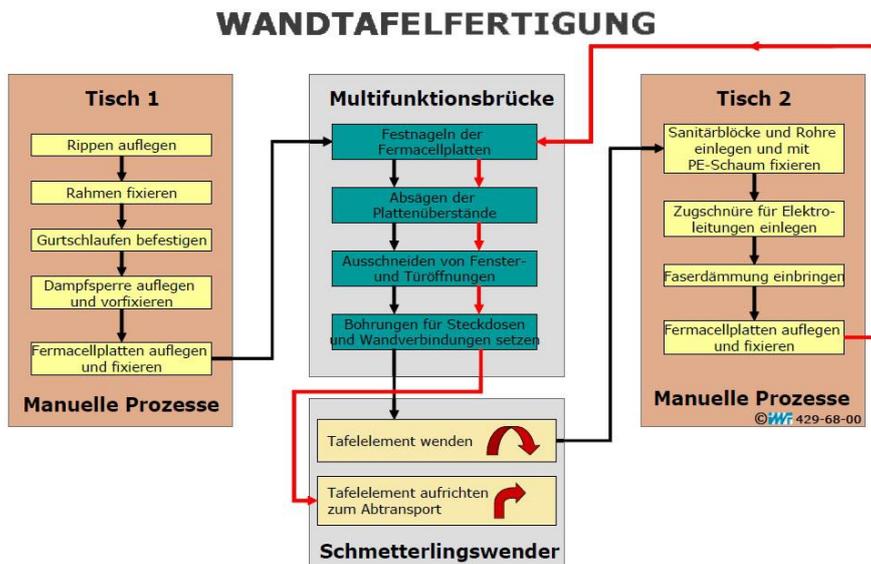


Abbildung 17 Ablauf einer Wandfertigung<sup>191</sup>

Für die Bestimmung eines optimalen Fertigungsablaufs werden in den Produktionen mithilfe spezieller Softwaretools Simulationen des Materialflusses und Fertigungsflusses generiert. Diese veranschaulichen die erforderlichen Bearbeitungszeiten und die beidseitige Abhängigkeit der einzelnen Arbeitsschritte von der jeweiligen Vorgängeraktivität. Die Vorteile dieser Simulationen liegen in der raschen Reaktionsmöglichkeit des Produktionsleiters auf geänderte Fertigungskonzepte und der Transparenz der ermittelten Herstellungsprozesse. Durch die oft dreidimensionale Visualisierung der Fertigungsabläufe können unterschiedliche Machbarkeitsstudien virtuell durchgeführt und die Auswirkung einzelner Maßnahmen augenscheinlich dargestellt werden.<sup>192</sup>

Zusätzlich ermöglicht eine dreidimensionale Generierung aller Bauteile die Entwicklung einer dem jeweiligen Werkstück angepassten

<sup>190</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 27f.

<sup>191</sup> Vgl. Ebd. S. 28.

<sup>192</sup> Vgl. Ebd. S. 39ff.

Beschichtungs- und Hebetechnik. In Abhängigkeit der Größe der einzelnen Einheiten kommen justierbare und äußerst flexible Maschinen zum Einsatz.<sup>193</sup>

### 2.3.2 Bauweisen, Bausysteme und Typisierungen

Die im vorherigen Kapitel beschriebene Weiterentwicklung der Vorfertigung wurde anhand der Produktion von Bauteilen in der Holzrahmenbauweise beschrieben. Die Fertigung von Elementen anderer Bausysteme bzw. Baustoffe verläuft in ähnlichem Stil. Prinzipiell wird dabei zwischen den massiven und den leichten, stabförmigen Bauweisen unterschieden. Um den wirtschaftlichen Ansprüchen nachzukommen, ist es sinnvoll und zielführend eine große Anzahl gleicher Bauteile anzufertigen. Der daraus resultierende Zwang zur Regelmäßigkeit stellt damit hohe Anforderungen an den Entwurf und die Fertigungsplanung.<sup>194</sup>

Je nach entwickeltem System können die projektierten Bauwerke aus linienförmigen, flächigen oder auch dreidimensionalen Komponenten zusammengesetzt werden. Diese Konstruktionsweisen, des sog. Skelettbau, Paneelbau oder des Raumzellenbaus stellen die charakteristischen Prinzipien der Vorfertigung dar. Sie kommen in der Praxis jedoch meist nicht in Reinform, sondern oft als Kombination unterschiedlicher Bauweisen vor.<sup>195</sup>

Die entwickelten Systeme, aus denen die geplanten Bauwerke errichtet werden, stellen die Summe aller dafür notwendigen Elemente dar. In den Bausystemen werden jedoch nicht nur die einzelnen Komponenten der zu errichtenden Gebäude, sondern auch deren Kombination im Vorhinein bestimmt. Dafür muss vorab festgelegt werden, ob sich das System auf das gesamte Objekt bezieht, oder nur auf einen Teilbereich, etwa das Tragwerk, aus dem die Methode entwickelt werden soll. Zudem muss eindeutig definiert werden, ob die gewählte Bauweise als geschlossenes, also nur für das spezielle Bauvorhaben anwendbare, oder offenes System, funktionieren muss. Obwohl die meisten industriell gefertigten Produkte, wie etwa auch das Auto, nach dem Prinzip eines geschlossenen Systems funktionieren, können durch diese Methode in der Entwicklung von Bauwerken im Hinblick auf die Reaktion individueller Kundenwünsche ebenso erhebliche Nachteile entstehen.<sup>196</sup>

Im Gegensatz zu den geschlossenen Systemen, können die Elemente offener Bausysteme oft sehr einfach mit Komponenten anderer Hersteller und Methoden verbunden werden. Dadurch wird es möglich,

<sup>193</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 44f.

<sup>194</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 41f.

<sup>195</sup> Vgl. Ebd. S. 42.

<sup>196</sup> Vgl. Ebd. S. 42.

unterschiedliche Bauvorhaben mit denselben Elementen zu realisieren.<sup>197</sup>

Die Kombination mehrerer Arten von Bausystemen untereinander stellt allerdings höhere Anforderungen an die Maßgenauigkeit der einzelnen Elemente. Die Module werden in der Planungsphase typisiert, also in ihrer Form und Verwendungszweck festgelegt und gleichzeitig standardisiert und damit normiert. Dadurch erst können mehrere Elemente von unterschiedlichen Herstellern in einem Bauvorhaben zu einem Ganzen kombiniert werden.<sup>198</sup>

### 2.3.3 Arten und Systeme der Vorfertigung

Die Arten und Elemente der Vorfertigung reichen von sog. Halbzeugen bzw. Halbfertigteilen bis hin zu schlüsselfertigen Modulen. Durch das gewählte Bausystem werden dabei eine Reihe von Zusammenhängen zwischen den einzelnen Elementen, sowie deren geometrisches Ordnungsprinzip, bestimmt. Bei der Entwicklung eines zugrunde liegenden Bausystems muss primär die Summe aller Elemente und deren Kombinierbarkeit untereinander festgelegt werden. Dies erfordert vor allem während der Planungsphase eine systematische Abstimmung der Module untereinander und die Entwicklung einer klaren Füge-technik.<sup>199</sup>

Während der Konzipierung des Bausystems muss dabei berücksichtigt werden, ob es sich um ein separates Teilsystem für den Rohbau oder Ausbau handelt, oder ob darin sämtliche Subsysteme bereits zusammengefasst werden sollen. Prinzipiell wird hierbei zwischen sog. offenen und geschlossenen Systemen unterschieden. Diese Einteilung der Bauweisen in geschlossene und offene Systeme ist in der nachfolgenden Grafik veranschaulicht.

<sup>197</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 42.

<sup>198</sup> Vgl. Ebd. S. 42.

<sup>199</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 42.

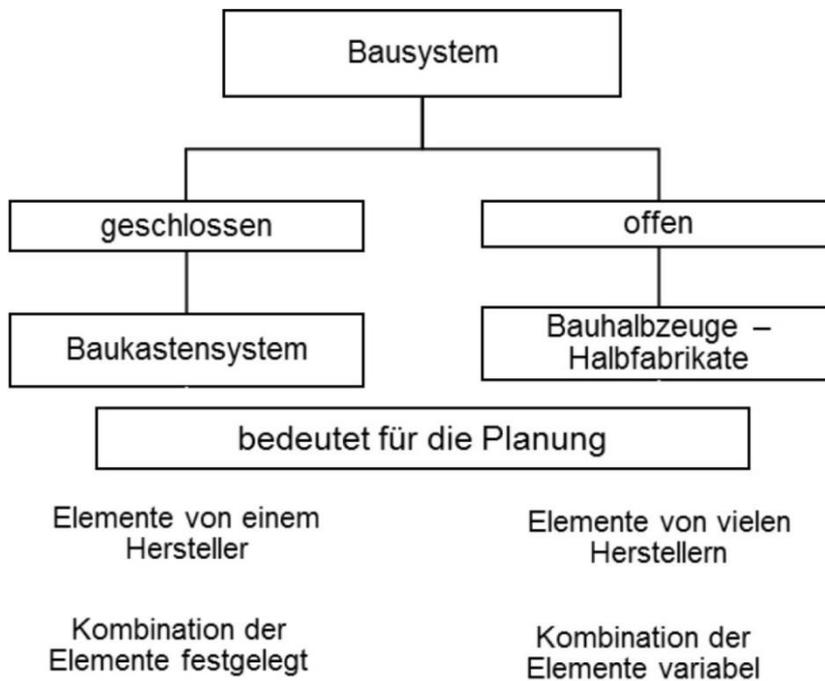


Abbildung 18 mögliche Arten von Bausystemen<sup>200</sup>

Im Falle der geschlossenen Systemen werden sämtliche Elemente des Systems von nur einem einzigen Hersteller produziert. Dabei ist es irrelevant, ob das Prinzip für die Tragstruktur, die Fassade oder den Ausbau Verwendung findet. Alle Elemente sind genau aufeinander abgestimmt und können nur innerhalb dieses Systems verwendet werden. Zudem sind sie präzise aufeinander abgestimmt und können nicht ausgewechselt werden. Durch diese, meist sehr strenge Festlegung der Bauelemente bleibt die Gestaltungsvielfalt bei geschlossenen Systemen allerdings eher gering.<sup>201</sup>

Im Gegensatz dazu bietet das Bauen in offenen Systemen die Möglichkeit, mehrere Produkte verschiedener Hersteller untereinander zu verbinden. Diese Systeme sind nicht einem einzigen Gebäude zuordenbar, sondern können beliebig kombiniert und mehrfach eingesetzt werden. Die wesentliche Herausforderung liegt dabei in der Gestaltung einer klaren Maßkoordination und Zuordenbarkeit der Module zueinander.<sup>202</sup>

Die Lage der jeweiligen Module wird dabei durch einen im Vorhinein bestimmten Raster definiert. Dieses System wird aus sog. Maßlinien gebildet und stellt ein oftmals dreidimensionales Netz aus rechteckigen oder quadratischen Grundformen dar. Der so gebildete Raster wird teilweise auch als Grundlage für die Entwicklung eines modulierten Entwurfs herangezogen. Die Größe und Abstände der einzelnen

<sup>200</sup> STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 43.

<sup>201</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 44.

<sup>202</sup> Vgl. Ebd. S.43.

Elemente innerhalb dieses Systems werden mit einem vorab bestimmten Grundmodul M oder einem Vielfachen davon angenommen. Die auf diese Weise entwickelte Rasterung bildet dabei nicht nur die Grundlage des Entwurfs, sondern auch die Basis für die spätere Herstellung und Montage der Bauteile.<sup>203</sup>

Unabhängig davon, ob eine Modul- oder Elementbauweise umgesetzt werden soll, können verschiedene Arten der Rasterung untereinander kombiniert werden. Dabei darf jedoch das zugrundeliegende geometrische Grundprinzip der Maßlinien nicht gestört werden. Die Grundordnung, welche durch die Führung der Maßlinien vorgegeben ist, bildet einen wesentlichen Bezugspunkt, sowie schließlich die Gesamtkoordination der Gestaltung.<sup>204</sup>

Die Maßlinien bilden in Form von unterschiedlichen Rasterarten auch die geometrische Grundlage für die Ausbildung der Tragkonstruktion und des Innenausbaus. Dabei kann der Raster grundsätzlich als sog. Achsraster oder Bandraster ausgebildet werden.

Beim Prinzip des Achsrasters wird die mittig angeordnete Achse des Bauteils oder Moduls von einer definierten Bezugslinie des Rastersystems gebildet.

Diese Art der Rasterung birgt allerdings vor allem in der Darstellung von Schnitt- und Berührungspunkten einige Schwierigkeiten. Durch die bei diesem Prinzip fehlende Darstellung der Bauteilstärke, kommt es bei der Darstellung von Überschneidungspunkten meist zu fehlerhaften Darstellungen. Um dies zu verhindern, müssen bei den Verbindungspunkten einzelne Sonderelemente konstruiert werden, welche lediglich die halbe Länge bzw. Stärke der gesamten Bauteilstärke aufweisen.<sup>205</sup>

<sup>203</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 43.

<sup>204</sup> Vgl. Ebd. S. 44.

<sup>205</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 44f.

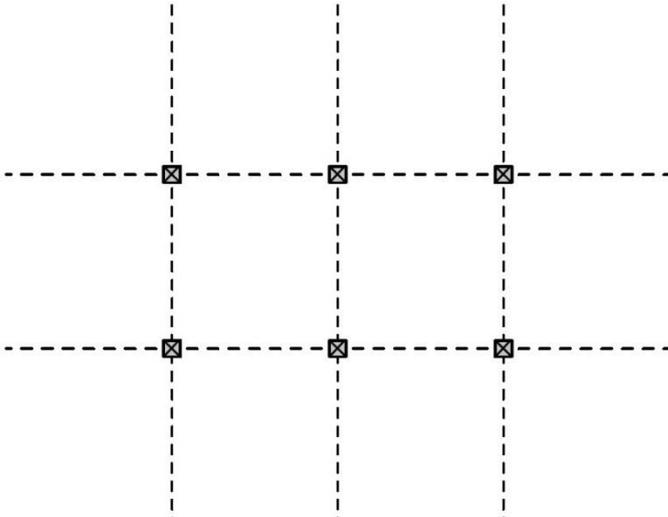


Abbildung 19 Systemdarstellung Achsraster<sup>206</sup>

Der sog. Bandraster bestimmt hiergegen die Lage der Module in ihrer tatsächlichen Dimension. Im Gegensatz zum Achsraster wird dabei auch die gewählte Bauteilstärke berücksichtigt. Meist wird das Rastermaß mithilfe der lichten Abstände zwischen den unterschiedlichen Tragstrukturen bestimmt.

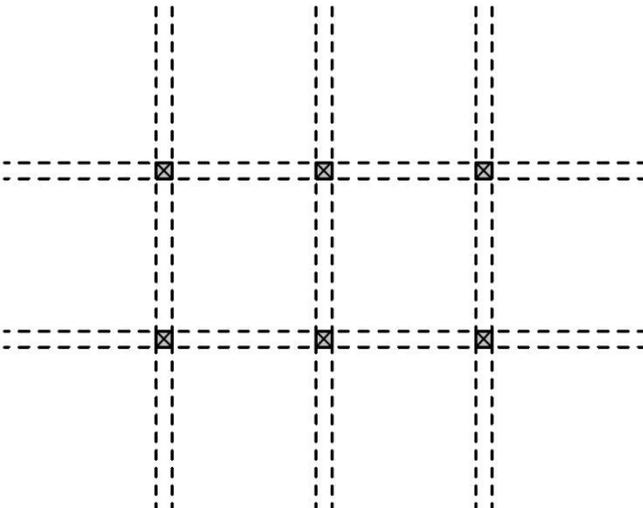


Abbildung 20 Systemdarstellung Bandraster<sup>207</sup>

Neben dem Band- und Achsraster werden für die Planung modularer Gebäude oft andere Rasterysteme zur Anwendung gebracht. Darunter fällt unter anderem der Konstruktionsraster, welcher die Lage aller tragenden Bauteile festlegt.

Durch den Ausbauraster wird etwa die Lage der raumabschließenden Elemente bestimmt. Zusätzlich werden bei sehr komplexen Bauvorhaben

<sup>206</sup> LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Oberösterreich. S. 10.

<sup>207</sup> Ebd. S. 10.

auch sog. Installationsraster angewandt, durch welche die Lage des technischen Ausbaus definiert werden soll.<sup>208</sup>

Ein auf diese Weise definiertes Achssystem bildet dabei stets ein Vielfaches der geplanten Module. Damit verbunden sind auch die Dimensionen der Stützweiten für die Haupt- und Nebenträger. Diese ergibt sich durch ein Vielfaches der Rastermaße.

Die exakte Festlegung der Rasterabstände erfolgt meist aufgrund von statischen und auch wirtschaftlichen Überlegungen, sowie den maximal zulässigen Transportabmessungen. Eine Vergrößerung des Achsabstands verursacht dabei, etwa im Holzbau, einen erhöhten Materialverbrauch, senkt aber laut Ansicht mehrerer Fachleute die Höhe der Gesamtkosten erheblich, da diese vor allem von der benötigten Anzahl der ingenieurmäßigen Knoten abhängen.<sup>209</sup>

Gleichzeitig richtet sich das Maß der Rasterung, beispielsweise im Holzrahmenbau, danach möglichst wenig Verschnitt bei der Beplankung zu erzeugen. In diesem Fall richtet sich das Rastermaß nach den Abmessungen des gewählten Werkstoffs für die Beplankung.<sup>210</sup>

Die Abmessungen gängiger Materialien für die Beplankung und das daraus resultierende Achsrastermaß ist in nachfolgender Grafik zusammengefasst.

Material	OSB Oriented Strand Board	GKF Gipskarton Feuerschutzplatte oder Gipsfaserplatte	MDF Mitteldichte Faserplatte für den Einsatzbereich Wand
Dimension	250 x 500 cm		125 x 250 cm
	125 x 500 cm	125 x 200 – 300 cm	125 x 280 cm
	125 x 280 cm		125 x 300 cm
	125 x 250 cm		67,5 x 250 cm
Achsraster in cm	62,5 cm (125/2)	62,5 cm (125/2)	62,5 cm (125/2)

Abbildung 21 Abmessung unterschiedlicher Materialien und daraus resultierendes Achsrastermaß<sup>211</sup>

Auf Basis dieser Rasterarten, die auf einer einheitlichen Maßordnung, beruhen, werden die Abmessungen der Module, deren Lage sowie Kombinationsmöglichkeiten bestimmt. Auf diese, im Vorhinein bestimmte Maßordnung, baut sowohl die Planung, als auch die Montage und Produktion der Module auf.<sup>212</sup>

<sup>208</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 45.

<sup>209</sup> Vgl. LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Oberösterreich. S. 10.

<sup>210</sup> Vgl. Ebd. S. 10.

<sup>211</sup> LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Oberösterreich. S. 10.

<sup>212</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 44.

Die Größeneinheit wird dabei vom sog. Grundmodul M angegeben. Dieses ist in Europa als Standardgröße von  $M=100\text{mm}$  definiert und bildet das kleinste gemeinsame Vielfache sämtlicher verwendeter Bauteile.<sup>213</sup>

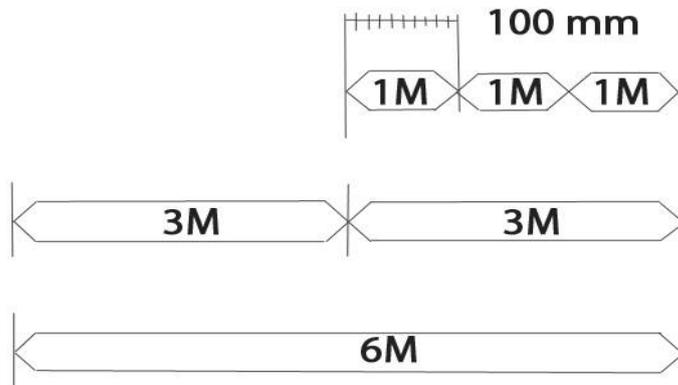


Abbildung 22 unterschiedliche Modulordnungen<sup>214</sup>

Ausgehend vom Grundmodul  $1M$  kann, wie in obiger Abbildung **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt, ein sog. Multimodul, als genormtes Vielfaches des Grundmodules gebildet werden.

Die Ausweitung der Multimodule wird als Strukturmodul bezeichnet und bildet wiederum ein Vielfaches der Multimodule. Diese sind in der Grafik als  $6M$  angegeben.<sup>215</sup>

In wie weit die Vorfabrikation der Einzelteile sinnvoll ist, hängt von mehreren Einflussfaktoren, sowie den Möglichkeiten des Transports und der Art des Bauvorhabens an sich ab. Die Ermittlung des höchstmöglichen und noch sinnvollen Vorfertigungsgrades wird in Kapitel 4.3.2 genauer analysiert.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die unterschiedlichen Vorfertigungsgrade von Halbfertigelementen bis hin zu Raumzellen dargestellt.

### 2.3.3.1 Halbfertigelemente

Halbfertigteile, oft auch als Halbzeuge bezeichnet, sind industriell angefertigte Produkte und Rohmaterialien, wie Trapezbleche, Walzprofile oder Bauschnitthölzer die einen eher geringen Vor-

<sup>213</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 44.

<sup>214</sup> STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 44.

<sup>215</sup> Vgl. Ebd. S. 44.

fertigungsgrad aufweisen und meist erst auf der Baustelle weiterverarbeitet werden.<sup>216</sup>

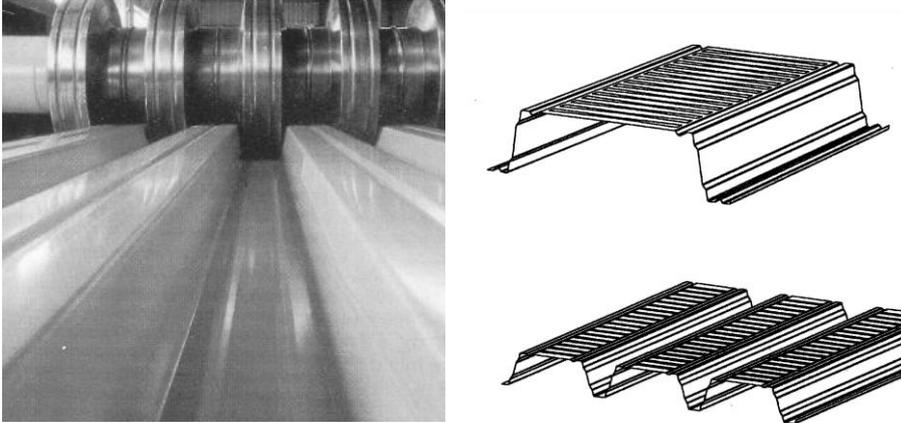


Abbildung 23 Herstellung eines Trapezblechs im Kaltwalzprozess<sup>217</sup>

Diese Produkte werden meist, unabhängig von einem konkreten Bauvorhaben, auf Vorrat angefertigt und erst vor Ort zu komplexeren Strukturen zusammengefügt.<sup>218</sup>

Die Herstellungsverfahren der Halbfertigteile sind in unterschiedlichen Regelwerken verankert. Beispielsweise unterscheidet die DIN EN 10079-216<sup>219</sup> einzelner Stahlprodukte je nach Fertigungsverfahren, unter anderem zwischen den Begriffen des Bandstahls, Breitflachstahls, Stabstahls, Form- und Walzstahls. Dabei stellen die Warmwalzungen die häufigste Fertigungsmethode der Halbzeuge aus Stahl dar. Rund 90% des gesamten Rohstahls werden auf diese Weise ausgewalzt.<sup>220</sup>

Neben den genannten Stahlprofilen zählen auch bspw. Gipskartonplatten oder unterschiedliche Bauschnitthölzer, wie das sog. Brettschichtholz (kurz: BSH), Furnierschichthölzer, oder OSB-Platten, sowie im Betonbau verschiedene Bewehrungen und Faser - Kunststoff – Verbände zu den Halbfabrikaten.

Sie sind weitgehend systemneutral und können daher als offene Systeme bei verschiedenen Bauwerken eingeplant und verbaut werden.

Die verwendeten Bauteile werden dabei entweder manuell auf der Baustelle weiterverarbeitet, oder bereits im Werk zu komplexeren Strukturen zusammengefügt.<sup>221</sup>

<sup>216</sup> Vgl. Ebd. S. 43.

<sup>217</sup> MORO, J. L.: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail. S. 33.

<sup>218</sup> Vgl. MORO, J. L.: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail. S. 34.

<sup>219</sup> Vgl. DIN EN 10079:2007-06: Begriffsbestimmungen für Stahlerzeugnisse S.1ff.

<sup>220</sup> Vgl. MORO, J. L.: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail. S. 176ff.

<sup>221</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 43.

### 2.3.3.2 Rohbauelemente

Elemente werden, unabhängig davon, ob sie als Rohbau- oder Fertigelement ausgeführt sind, als ein im Werk vorgefertigtes Teilstück eines Bauwerks bezeichnet.<sup>222</sup>

Das wesentliche Kennzeichen einer Elementbauweise ist demnach das Fertigen eines Gebäudes oder Bauwerks aus mehreren unterschiedlichen Teilstücken. Die Elemente werden dabei in einem Werk vorgefertigt und als Einzelteile auf die Baustelle geliefert und schließlich vor Ort montiert.

Rohbauelemente werden, im Vergleich zum Halbfertigteil, generell in Halbfertig-Rohbauelemente oder Fertig-Rohbauelemente unterteilt. Zu der Gruppe der halbfertigen Rohbauelemente gehören dabei sowohl sog. verlorene Schalungen, als auch Verbundbauteile, wie Filigrandecken aus Beton, oder auch die scheibenförmige Brettsperrholzplatte.



Abbildung 24 Beispiel Brettsperrholzplatte<sup>223</sup>

Die Filigrandecken werden aus streifenförmigen, im Werk gefertigten Stahlbetonteilen zusammengesetzt und oftmals durch bewehrten Aufbeton zu einer scheibenförmig wirkenden Deckenkonstruktion verbunden.

Die Ausformung der Bewehrung kann dabei in unterschiedlicher Art und Weise durchgeführt werden. Einige Möglichkeiten sind in der nachstehenden Grafik zusammengefasst.

<sup>222</sup> Vgl. ISOPP, A.: Editorial. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 12ff.

<sup>223</sup> <http://graubuendenholz.ch/>. Datum des Zugriffs: 4.Februar.2015

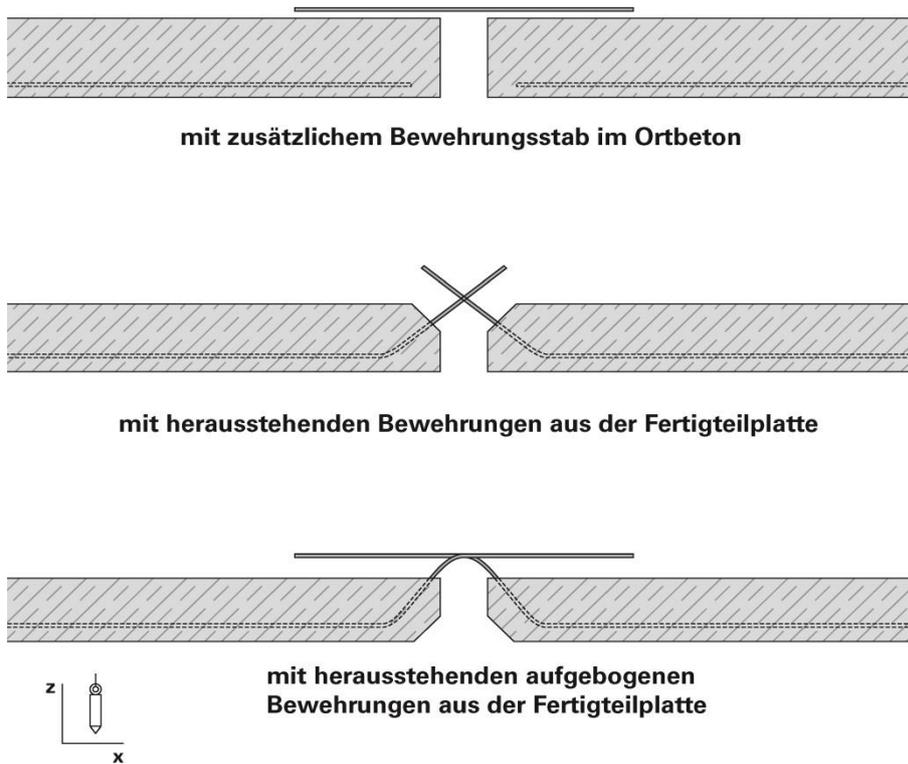


Abbildung 25 Mögliche Ausformung der Bewehrungsstäbe von Elementdecken<sup>224</sup>

Im Gegensatz dazu werden Fertig-Rohbauelemente als bereits komplett vorgefertigte Einheiten zur Baustelle gebracht, montiert und zum Teil bereits in der Produktion fertig oberflächenbehandelt. Einige Beispiele dafür sind Treppenläufe, Hohlwände<sup>225</sup> oder Stützen aus bewehrtem Stahlbeton oder genormten Stahlprofilen.<sup>225</sup>

Laut einem Forschungsbericht aus dem Jahr 2010<sup>226</sup> wurden meist Rohbauelemente meist für die Tragstruktur von Fertigteilherstellern produziert. Individualisierbare Produkte, wie Elementdecken<sup>227</sup>, werden nur in Ausnahmefällen angefertigt. Die Hauptkundengruppe der Fertigteilhersteller sind, zumindest im deutschsprachigen Raum, meist ausführende Baumeister.<sup>228</sup>

<sup>224</sup> MORO, J. L.: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail. S. 770.

<sup>225</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 7f.

<sup>226</sup> Vgl. THOMAS RINAS, G. G.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte Geschäftsmodell für den individuellen FertigteilbauS. 9.

<sup>227</sup> Unter dem Begriff Elementdecke wird eine Fertigteildecke aus Stahlbeton mit einer Ortbetonergänzung verstanden. Diese wird als 4-6cm Dicke Stahlbetonplatte mit den für die Montage notwendigen Zulagebewehrungen zur Baustelle transportiert und dort mittels Aufbeton dauerhaft miteinander verbunden.

<sup>228</sup> Vgl. THOMAS RINAS, G. G.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte Geschäftsmodell für den individuellen FertigteilbauS. 9.

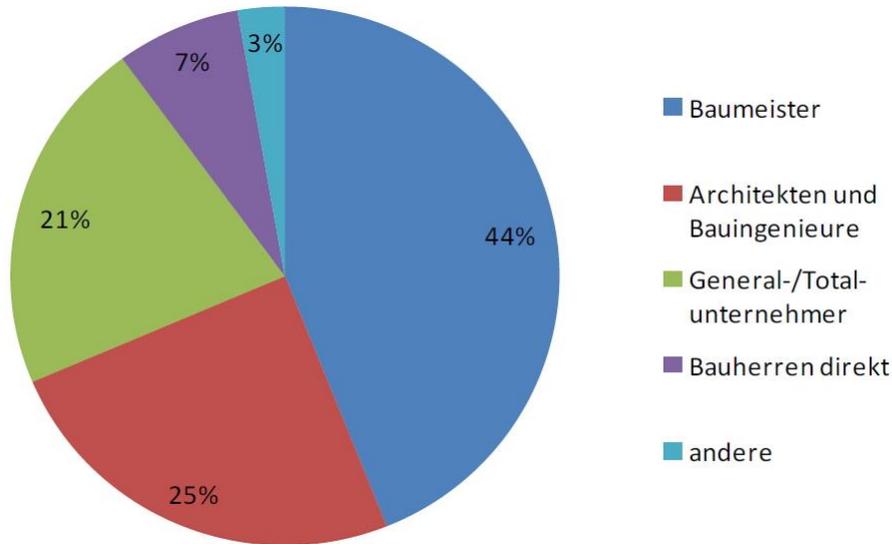


Abbildung 26 Kundengruppen der Fertigteilhersteller<sup>229</sup>

Dabei ist im Vergleich auch der Absatz vorgefertigter Betonfertigteile in der Schweiz über die letzten 10 Jahre konstant angestiegen.

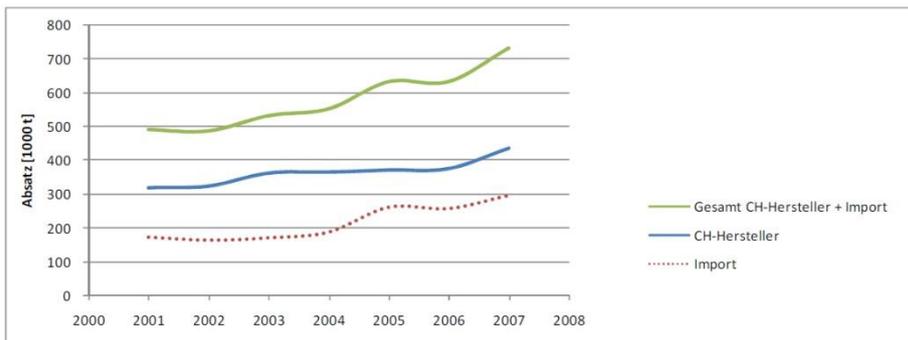


Abbildung 27 Absatz vorgefertigter Betonfertigteile<sup>230</sup>

Laut Ansicht zahlreicher Fachleute wird auch in Zukunft mit einer konstanten Markterweiterung in diesem Bereich zu rechnen sein.

### 2.3.3.3 Fertigelemente

Unter dem Begriff Fertigelement werden funktionsfertige, industriell hergestellte Elemente verstanden, welche zur Baustelle transportiert und dort zu komplexeren Strukturen zusammengeschlossen werden.<sup>231</sup>

Ein Beispiel dafür sind sog. Sandwich-Wandelemente, die aus mehreren, miteinander in Verbund stehenden Schichten bestehen. Die

<sup>229</sup> THOMAS RINAS, G. G.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte Geschäftsmodell für den individuellen Fertigteilbau S. 9.

<sup>230</sup> Vgl. THOMAS RINAS, G. G.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte Geschäftsmodell für den individuellen Fertigteilbau S. 8.

<sup>231</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 7f.

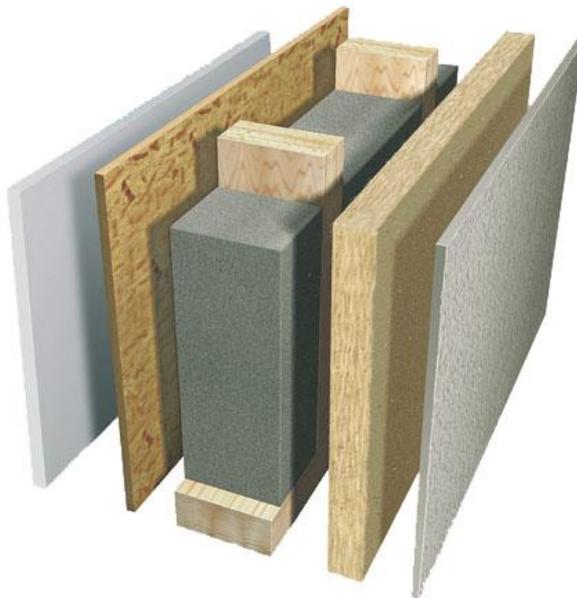
Tragebenen und Wetterschutz-Schicht werden dabei in einem vorgefertigten Element zusammengefasst und so auf die Baustelle geliefert. Durch den Verbund der einzelnen Schichten kann oftmals die Tragschicht insgesamt geringer ausgeführt werden.<sup>232</sup>

Das System der Wandelemente lässt sich im Fertigteilbau grundsätzlich in zwei unterschiedliche Subsysteme, dem Paneel- und Skelettbau unterteilen.

Im Paneelbau besteht das Tragwerk dabei aus flächigen Wand- oder Deckenelementen. Diese bilden in Form von Groß- oder Kleintafeln nicht nur die Tragstruktur, sondern gleichzeitig auch den Raumabschluss des Gebäudes.<sup>233</sup>

Die Paneelbauweise kann dabei aus unterschiedlichen Hohlwänden aus Stahl, Aluminium, oder Stahlbeton hergestellt werden. Zudem werden darunter auch einige Holzbauweisen, wie etwa der Holzrahmenbau subsummiert.

Der Rahmenbau stellt in diesem Zusammenhang eine Weiterentwicklung des sog. Fachwerkbaus dar. Im Gegensatz zur Skelettbauweise wird das Rahmenelement in der Paneelbauweise als tragendes Wandelement eingesetzt. Die komplette Tragwirkung wird dabei erst durch die Beplankung der Rahmen mit flächenförmigen Holzwerkstoffen erreicht.



**Abbildung 28** schematischer Aufbau eines Elements in Holzrahmenbauweise<sup>234</sup>

<sup>232</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Industrielles Bauen. Skriptum. S. 27.

<sup>233</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 110ff.

<sup>234</sup> Vgl. <http://www.hausinterieurs.com/496-aufbau-holzrahmenbau/>. Datum des Zugriffs: 4.Februar.2015

Die Skelettbauweise ist, ähnlich wie auch die Rahmenbauweise, eine Weiterentwicklung des Fachwerkbaus. Der wesentliche Unterschied zur Rahmenbauweise liegt dabei in der strikten Trennung zwischen Tragwerk und raumabschließender Funktion. Während diese beiden Funktionen in der Rahmenbauweise systemimmanent sind, bildet die Skelettbauweise lediglich ein Tragsystem ohne raumabschließende Komponenten aus.<sup>235</sup>

Die durch Stützen und Riegel gebildete Tragstruktur wird durch einen im Vorhinein bestimmtes Raster definiert. Die eingebauten Innenwände und restlichen raumabschließenden Elemente sind bei dieser Bauweise im Normalfall nicht tragend.<sup>236</sup>

#### 2.3.3.4 Raumzellen/Module

Der Begriff Modul wird in der Literatur meist als vorgegebenes Element definiert, das seriell gefertigt und dreidimensional zusammengefügt werden kann. Diese Definition wird dabei, unabhängig vom verwendeten Baustoff oder der entwickelten Geometrie, eingesetzt.

Die Modularität eines Objekts beschreibt die Unterteilung eines Systems in standardisierte Baugruppen, aus denen möglichst variable Gebäudestrukturen zusammengesetzt werden sollen. Je nach Art des entwickelten Baukastenprinzips, können unterschiedliche Varianten innerhalb eines Bausystems miteinander kombiniert werden.<sup>237</sup> Die Anzahl der angebotenen Varianten hat allerdings direkte Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Systeme. Dieser Aspekt wird im späteren Kapitel 3.1.6 genauer erklärt.

Für die Planungsphase bietet eine Erhöhung der Produktvariationen nicht nur die Möglichkeit einer flexibleren Grundrissgestaltung, sondern erfordert meist im Hinblick auf die Ausformulierung der Schnittpunkte einen nicht unerheblichen Mehraufwand.<sup>238</sup>

Die Gruppe der Raumzellen werden in sog. Rohbaurraummodule und sog. Fertigräummodule unterteilt. Während bei den Fertigräummodulen, wie beispielsweise Sanitärzellen, bereits Ausbauarbeiten im Werk erbracht werden, bestehen Rohbaurraummodule aus zusammengeführten Rohbauelementen. Als Raumzelle wird demnach eine funktionsfertige Einheit bezeichnet, die aus mehreren Elementen besteht.<sup>239</sup>

Bei beiden Systemen bildet die Wahl des zugrunde liegenden Tragwerks die Basis für die weiteren Planungstätigkeiten, da damit nicht nur die

<sup>235</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 60ff.

<sup>236</sup> Vgl. Ebd.

<sup>237</sup> Vgl. STEURER, A.: Entwicklung im Ingenieurholzbau. S. 216ff.

<sup>238</sup> Vgl. Ebd.

<sup>239</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 7f.

Materialität der Module, sondern auch der Fertigungs- und schließlich der Transportprozess bestimmt werden müssen. Diese Überlegung wird jedoch nicht nur vom planenden Architekten berücksichtigt, sondern muss von allen beteiligten Fachplanern, wie etwa den Elektro- und HKLS-Planern bedacht werden.<sup>240</sup>

Die möglichen statischen Systeme der Module können in einer ähnlichen Form, wie jene der Elementbauweise, ausgebildet werden. Je nach Wahl des Systems, ob Paneel- oder Skelettbauweise, muss die gesamte Materialzusammenstellung auf den Fertigungsprozess abgestimmt werden.<sup>241</sup>

Die Produktion der Module erfolgt dabei meist in externen Produktionshallen. Prinzipiell durchlaufen die Module im Werk, ähnlich wie bereits in der Automobilindustrie integriert, unterschiedliche Fertigungsstationen.<sup>242</sup> Nach der Fertigung der Module werden sie in Form von kompletten Raumzellen auf die Baustelle transportiert und dort kraftschlüssig miteinander verbunden.

Um eine Bauzeitverzögerung zu vermeiden, muss dabei besonders auf eine zeitgerechte Komplettierung der Planungsarbeiten geachtet werden.

Nach Abschluss der Vorfertigungsarbeiten werden die Module regendicht verpackt und meist direkt ohne Zwischenlagerung zur Baustelle transportiert. Das Zusammenfügen der einzelnen Module und die abschließende Montagearbeit nehmen im Vergleich zu den bereits geleisteten Arbeiten einen eher geringen Zeitaufwand in Anspruch.<sup>243</sup>

<sup>240</sup> Vgl. PIRCHNER, E.: In dreifacher Ausführung: Bürogebäude für Österreich, Rumänien und Deutschland. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 18ff.

<sup>241</sup> Vgl. HUTH, S.: Bauen mit Raumzellen: Analyse e. Baumethode. S. 90.

<sup>242</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.2.5.

<sup>243</sup> Vgl. HUTH, S.: Bauen mit Raumzellen: Analyse e. Baumethode. S. 110ff.



Abbildung 29 Baustellenmontage Modulbau<sup>244</sup>

In der nachfolgenden Abbildung sind die möglichen Formen der Vorfertigung speziell im Holzbau noch einmal zusammenfassend dargestellt.

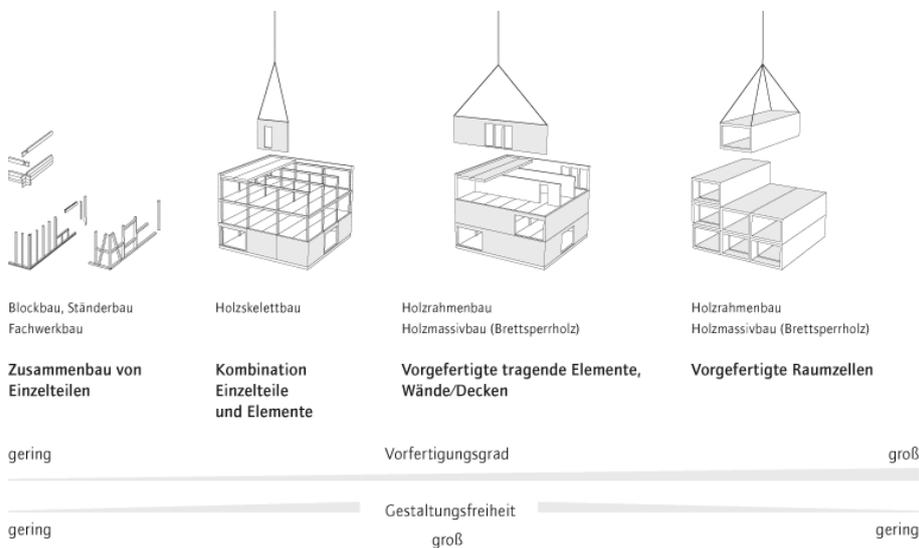


Abbildung 30 Systemübersicht möglicher Vorfertigungstiefen<sup>245</sup>

Im Block- und Fachwerkbau, der sich grundsätzlich durch das Zusammensetzen von Einzelteilen auszeichnet, ist sowohl der Vorfertigungsgrad, als auch die Gestaltungsfreiheit sehr gering.

<sup>244</sup> [http://www.klempnerhandwerk.de/files/smthumbnaildata/800x600/1/8/6/8/4/2/ZDM\\_2013\\_06\\_102\\_BU\\_04\\_Container\\_NE\\_U\\_preview.jpg](http://www.klempnerhandwerk.de/files/smthumbnaildata/800x600/1/8/6/8/4/2/ZDM_2013_06_102_BU_04_Container_NE_U_preview.jpg). Datum des Zugriffs: 4. Februar. 2015

<sup>245</sup> PIRCHNER, E.: In dreifacher Ausführung: Bürogebäude für Österreich, Rumänien und Deutschland. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 12.

Hingegen ist im Holzskelett- und Holzrahmenbau zwar der Vorfertigungsgrad ebenso rudimentär ausgebildet, dafür ist die Gestaltungsfreiheit bei diesen beiden Bausystemen sehr hoch.

Die Modulbauweise in Form von Holzrahmen- oder Holzmassivbauten zeichnet sich schließlich durch einen sehr hohen Grad in der Vorfertigung aus, hierbei ist die Gestaltungsmöglichkeit allerdings durch das vorgegebene Rastermaß stark begrenzt.<sup>246</sup>

### 2.3.4 Aktuelle Beispielprojekte modularer Systeme

Im Bauen mit vorgefertigten Systemen steckt Potential, das anhand einer Reihe bereits realisierten Projekten veranschaulicht werden soll.

#### Seniorenwohnheim Hallein

Ein Beispiel für den Holzmodulbau ist das 2013 fertiggestellte Seniorenwohnheim in Hallein, das aus insgesamt 136 vorgefertigten Wohneinheiten aus Brettsperrholzmodulen errichtet wurde. Der ursprüngliche Entwurf des Architekten Simon Speigner<sup>247</sup> wurde mittels vorgefertigter Raumzellen der Firma Kaufmann Bausysteme<sup>248</sup> errichtet. Die 136 Wohneinheiten, mit jeweils einer Grundfläche von 4-8m wurden in Kalwang in einer Produktionshalle der Firma Mayr Melnhof Kaufmann<sup>249</sup> vorgefertigt und mittels Sondertransporten einzeln nach Hallein transportiert.

Für die Produktion der Module wurde eine Fertigungsstraße aufgebaut, die witterungsunabhängiges Arbeiten ermöglichte. Die einzelnen Raumzellen wurden im Werk oberflächenfertig, also mit eingebautem Holz- und Fliesenfußboden, mit bereits eingebauten Elektro- und Wasserinstallationen, sowie mit vormontierten Sanitäreinrichtungen hergestellt. Durch das kontinuierliche Arbeiten konnte nach Aussage der Verantwortlichen etwa bei der Montage der Waschbecken eine Zeitersparnis von rund 80% erreicht werden.<sup>250</sup>

Auch die Montage vor Ort wurde innerhalb kurzer Zeit fertiggestellt. Pro Werktag konnten durchschnittlich zehn Raummodule montiert werden. Wesentliche Voraussetzung für die schnelle Bauabwicklung war dabei die exakte Fertigung einer planen Oberfläche des Grundgeschosses aus Stahlbeton. Darauf wurden die vorgefertigten Raumzellen mittels Autokran positioniert und untereinander kraftschlüssig verbunden.<sup>251</sup>

<sup>246</sup> Vgl. PIRCHNER, E.: In dreifacher Ausführung: Bürogebäude für Österreich, Rumänien und Deutschland. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 12ff.

<sup>247</sup> Der Entwurf des Seniorenheims wurde vom Salzburger Architekten Simon Speigner erarbeitet.

<sup>248</sup> Die Firma Kaufmann Bausysteme GmbH wurde 2003 in Vorarlberg gegründet und betreibt sowohl die Planung als auch Durchführung und Abwicklung von Industrie- und Gewerbebauten.

<sup>249</sup> Die Firma Mayr Melnhof Kaufmann in Kalwang ist ein Subunternehmen der Mayr Melnhof Holz Holding und erzeugt vor allem Brettstichholz, Sonderbauteile sowie Schalungsmaterial.

<sup>250</sup> Vgl. PLACKNER, H.: Modulbauweise zeigt Stärke. In: Holzkurier, 03/2013. S. 19.

<sup>251</sup> Vgl. Ebd. S. 19.



Abbildung 31 Seniorenwohnheim in Hallein aus modularer Bauweise<sup>252</sup>

### Seniorenwohnheim Hallein

<b>Architekt</b>	Simon Speigner
<b>Errichtung</b>	2013
<b>Volumen</b>	136 Wohneinheiten aus BSP
<b>Montagezeit Module</b>	Rund zwei Wochen
<b>Unternehmen</b>	Mayr Melnhof Kaufmann

Tabelle 2 Basisdaten Seniorenheim Hallein

### Kurhotel Weissenbach

Ein weiteres Beispielprojekt aus modular vorgefertigten Raumzellen ist der von Architekt Gerhard Hinterwirth<sup>253</sup> in Holzmodulbauweise geplante Neubau des Kurhotels Weissenbach im Lavantthal bei Wolfsberg. Bei diesem Bauvorhaben wurde der gesamte Südosttrakt der bestehenden Thermalanlage abgebrochen und dem Stand der Technik entsprechend neu errichtet. Die drei Obergeschosse des Bauvorhabens wurden aus vorgefertigten Modulen aus Brettsperholz, das Erdgeschoß aus Ortbeton realisiert.<sup>254</sup>

Die Werkplanung und Vorfertigung der unterschiedlichen Raumzellen wurde von der Firma Holzbau Weiz<sup>255</sup> in Arndorf durchgeführt. Da aufgrund der grundrissgebenden Gestaltung des Entwurfs einige Räume die für den Straßenverkehr zugelassenen Abmessungen bei weitem überschritten hätten, konnten allerdings nicht alle Einheiten im Werk als

<sup>252</sup> <http://www.sps-architekten.com/projekte.php?detail=seniorenwohnhaus&id=1&return=p>. Datum des Zugriffs: 30.September.2014

<sup>253</sup> Gerhard Hinterwirth gründete und leitet das Ziviltechnikerbüro Hinterwirth Architekten Ziviltechniker OG.

<sup>254</sup> Vgl. (Stingl; Maier, 2014)

<sup>255</sup> Die Firma betreibt unter der Geschäftsführung von Bernhard Neubauer Fertigteilewerke in Hartberg und Arndorf, sowie ein Leimbinderwerk in Trofaiach.

Module vorgefertigt werden. Daher wurden diese Räume mittels Fertigelemente vor Ort realisiert.<sup>256</sup>



Abbildung 32 Vorgefertigte Raumzellen des Kurhotel Weissenbach<sup>257</sup>

Die Vormontage der Räume erfolgte in den firmeneigenen Werkshallen und einer eigens für das Bauvorhaben errichteten, temporären Fertigungshalle am Werksgelände in Trofaiach. Auch bei diesem Projekt sind die Module zum Teil oberflächenfertig ausgeführt. Die Sanitärräume wurden bereits fertig verfliesen und die Leitungen vorinstalliert. Um Transportschäden zu vermeiden, wurde allerdings auf die Ausbildung von Silikonfugen verzichtet.<sup>258</sup>

An den oberen Raumecken der Module wurden Stahllaschen verschraubt, die einerseits als Anschlagpunkte zum Versetzen der Raumzellen, andererseits als vertikale Verbindung der einzelnen Module untereinander dienen

<sup>256</sup> Vgl. (Stingl; Maier, 2014)

<sup>257</sup> Fotoaufnahme Katharina Hintersteiner, 9.9.2014

<sup>258</sup> Vgl. (Stingl; Maier, 2014)



Abbildung 33 Befestigungsglasche



Abbildung 34 vorgefertigter Sanitärraum

Die Manipulation der einzelnen Raummodule vor Ort erfolgt mittels Autokran. Auf Grund des hohen Vorfertigungsgrads konnte auch dieses Bauvorhaben innerhalb kurzer Bauzeit realisiert werden.<sup>259</sup>

#### Kurhotel Weissenbach

<b>Architekt</b>	Gerhard Hinterwirth
<b>Errichtung</b>	2014
<b>Volumen</b>	120 Zimmer aus BSP
<b>Montagezeit Module</b>	Rund zwei Wochen
<b>Unternehmen</b>	Holzbau Weiz

Tabelle 3 Basisdaten Kurhotel Weissenbach

#### Sportausbildungszentrum Mülimatt

Ein weiteres Beispiel für die vorgefertigte Bauweise allerdings aus Stahlbeton ist die 2005 geplante Sporthalle einer Fachhochschule in der Nordwestschweiz. Dieses Gebäude wurde im Zuge eines ausgeschriebenen Wettbewerbs entwickelt und umfasst insgesamt sechs Hallen, sowie mehrere Sitzungs- und Mehrzweckräume.

Das wesentliche Merkmal des Bauwerks ist dabei die große Falterwerkskonstruktion aus Betonfertigteilen, die sowohl als Außen-Fassade, als auch als Tragkonstruktion fungiert.

<sup>259</sup> Vgl. (Stingl; Maier, 2014)

Durch die weitgespannte Konstruktion, welche die gesamte Anlage umhüllt, konnte die Gesamtfläche der Gebäudehülle erheblich reduziert werden, was gleichzeitig einen positiven Effekt auf den thermischen Standard des Bauwerks ausübte.<sup>260</sup>



Abbildung 35 Tragstruktur aus Betonfertigteilen<sup>261</sup>

Das außenliegende Falwerk ermöglichte zudem eine relativ freie Grundrissgestaltung im Gebäudeinneren. Durch das leistungsfähige Tragwerk wurde es möglich, den gesamten Innenraum stützenfrei zu überdachen.

Darüber hinaus ist auch die äußere Erscheinung der Sportanlage durch die komplexe Struktur der vorgefertigten Betonelemente geprägt. Die Herstellung im Werk bot dabei gegenüber einer Fertigung aus Ortbeton eine weitaus bessere Kontrollierbarkeit der verwendeten Zementmischung der Spannbetonelemente, was zu einer Erhöhung der Ausführungsqualität führte.

Für die Manipulation der Schalung im Werk kamen hydraulische Anlagen zum Einsatz, durch welche die Elemente mit V-förmigen Querschnitt besser produziert werden konnten. Dabei war für die Sicherstellung einer porenfreien Oberfläche der einzelnen Bauteile auch eine optimale Entlüftung des Betons erforderlich. Aufgrund der dünnen Wandstärke und der eingelegten Hüllrohre für die Spannkabel, musste in zahlreichen

<sup>260</sup> Vgl. SCHEURER, F.: Sportausbildungszentrum Mülimatt in Brugg/Windisch. In: Detail, 6/2012. S. 620ff.

<sup>261</sup> [http://www.swiss-architects.com/de/projekte/bau-der-woche-detail/32608\\_sportausbildungszentrum\\_muelimatt](http://www.swiss-architects.com/de/projekte/bau-der-woche-detail/32608_sportausbildungszentrum_muelimatt). Datum des Zugriffs: 5.Februar.2015

Vorversuchen eine optimale Betonrezeptur erarbeitet werden. Erst danach konnten die insgesamt 27 Rahmeneinheiten im Werk betoniert und anschließend auf die Baustelle transportiert werden. Die Querschnittshöhe der einzelnen Rahmenelemente betrug etwa 2,59m. Nach der Montage und kraftschlüssigen Verbindung der einzelnen Spannbetonteile, wurden die für den Transport und die Manipulation vor Ort benötigten Vorspannstellen mittels Vergussbeton verschlossen.<sup>262</sup>

#### Sportausbildungszentrum Mülimatt

<b>Architekt</b>	Studio Vacchini Architetti
<b>Errichtung</b>	2005
<b>Volumen</b>	27 vorgefertigte Spannbeton-elemente
<b>Montagezeit</b>	Rund eine Wochen
<b>Unternehmen</b>	Arigon Generalunternehmung AG

Tabelle 4 Basisdaten Sportausbildungszentrum Mülimatt

#### Studentenwohnheim in Delft

Aufgrund der rapide ansteigenden Studentenzahl an der Technischen Universität in Delft mussten innerhalb kürzester Zeit mehr als 1.700 neue Wohneinheiten realisiert werden.

Im Hinblick auf diese Entwicklung wurden von der Wohnungsbaugesellschaft DUWO<sup>263</sup> die Errichtung von 186 neuen Wohneinheiten direkt auf dem Campus der Universität in Auftrag gegeben.

Das vorrangige Ziel dieses Bauvorhabens war dabei innerhalb einer sehr kurzen Projektzeit qualitativ hochwertige Gebäude zu realisieren. Dieses Unterfangen sollte aus einem System aus vorgefertigten Raumzellen umgesetzt werden. Die gesamten Wohneinheiten teilten sich bei dem Projekt auf drei sechsgeschossige Gebäude auf. Der quadratische Grundriss der Wohnanlagen organisiert sich um einen zentralgelegenen Erschließungskern aus Stahlbeton, der auch als Aussteifungselement der Anlage dient.

<sup>262</sup> Vgl. SCHEURER, F.: Sportausbildungszentrum Mülimatt in Brugg/Windisch. In: Detail, 6/2012. S. 620ff.

<sup>263</sup> Die Gesellschaft DUWO ist die größte Studentenwohnheim Kooperation in den Niederlanden und besitzt mehr als 27.000 Zimmer und Gebäude in ganz Holland.



Abbildung 36 zentraler Erschließungskern aus Stahlbeton<sup>264</sup>

Wesentlicher Ansatzpunkt der Entwicklung der Wohnanlagen war die Entscheidung, sämtliche Wohneinheiten, inklusive ihrer Innenausstattung, in spezialisierten Fertigteilvernehmern vorfertigen zu lassen. Das dadurch entwickelte Grundmodul bestand ursprünglich aus einer Betonbodenplatte, und mehreren Leichtbauwänden. Aufgrund von statischen Anforderungen musste dieses System jedoch durch eine Stahlrahmenkonstruktion ergänzt werden. Dieser wurde auf der Baustelle verschraubt und mit dem bereits hergestellten Betonkern rückverankert. Die vorgefertigten Wohnboxen konnten dann, ähnlich wie bei einem Schubladensystem, ohne zusätzliche Befestigung in die Stahlrahmen eingehoben werden.<sup>265</sup>

<sup>264</sup> SCHEURER, F.: Studentenwohnheim in Delft. In: Detail, 6/2012. S. 636..

<sup>265</sup> Vgl. SCHEURER, F.: Studentenwohnheim in Delft. In: Detail, 6/2012. S. 632ff.



Abbildung 37 Studentenwohnheim Delft<sup>266</sup>

**Studentenwohnheim Delft**

<b>Architekt</b>	Mecanoo architecten
<b>Errichtung</b>	2009
<b>Volumen</b>	186 Raumzellen
<b>Montagezeit</b>	Rund drei Wochen
<b>Unternehmen</b>	Ursem Bouwgroep

Tabelle 5 Basisdaten Studentenwohnheim Delft

Hotel bei Reutte

Ein weiteres Beispiel eines industriell hergestellten Modulbaus aus Holz ist das von Oskar Leo Kaufmann<sup>267</sup> entworfene Hotelgebäude bei Reutte in Tirol. Der langgezogene, L-förmige Baukörper ist unter anderem aufgrund des gewählten Bausystems und Bauablaufs durch eine horizontale Zweiteilung gekennzeichnet.

<sup>266</sup> SCHEURER, F.: Studentenwohnheim in Delft. In: Detail, 6/2012. S. 633.

<sup>267</sup> Der Architekt Oskar Leo Kaufmann leitet seit 2013 ein selbständiges Architekturbüro in Dornbirn.

Abbildung 38 Hotel bei Reutte<sup>268</sup>

Die unteren Geschosse aus Stahlbeton wurden dabei vor Ort betoniert. Nach der Fertigstellung des Rohbaus der unteren Geschosse wurden die insgesamt 96 Raumzellen innerhalb von lediglich zehn Werktagen mittels LKWs zur Baustelle transportiert und dort mithilfe eines Mobilkrans in Position gehoben und montiert.

Die Wandverkleidungen und Fassadenplatten aus Edelstahl wurden schließlich nach der Komplettierung des gesamten Rohbaus bauseitig montiert.<sup>269</sup>

Die Aufsplittung des Bauwerks in vorgefertigte Holzboxen und des vor Ort betonierten Stahlbetontragwerks ermöglichte eine erhebliche Reduktion der gesamten Bauzeit. Zudem erlaubte die wettergeschützte Fertigung der Raumzellen eine sehr hohe Ausführungsqualität, die laut der Ansicht der beteiligten Fachleute, bei einer traditionellen Fertigung vor Ort zu erheblichen Mehrkosten geführt hätte.<sup>270</sup>

Die Produktion der Zimmermodule wurde in 31 Tagen abgewickelt, erforderte jedoch eine bis ins letzte Detail geplante Logistik der Materialbeschaffung. Die Vernetzung der einzelnen Gewerke untereinander wurde in der ausführenden Zimmerei die Realisierung einer Produktionsstraße verwirklicht. Die Module durchliefen dabei insgesamt 12 Fertigungsstationen, wobei jeweils auf beiden Seiten der Station Materiallager eingeplant waren. Dadurch konnten die

<sup>268</sup> KAUFMANN, C.: Hotel bei Reutte. In: Detail, 6/2012. S. 615.

<sup>269</sup> Vgl. Ebd. S. 614.

<sup>270</sup> Vgl. Ebd.

zurückgelegten Wegestrecken verkürzt und somit optimiert werden. Größere Einbaukomponenten, wie etwa die bearbeiteten Holztafeln, wurden nach dem JIT-Prinzip angeliefert, wodurch zusätzlich auch die Höhe der Lagerkosten gesenkt werden konnte.

Die Tragstruktur der Brettsperrholzplatten wurde bereits vom Hersteller mit sämtlichen notwendigen Aussparungen ins Werk geliefert, wodurch sich der Zeit- und Arbeitsaufwand der Endmontage verkürzte. Insgesamt wies das Bauvorhaben einen sehr hohen Vorfertigungsgrad auf. In der letzten Fertigungsstation wurden beispielsweise die Wände der Nasszellen und bereits die meisten Möbel positioniert.

Nach der Komplettierung der Vorfertigung wurden die Module anschließend versiegelt und paarweise auf Tiefladern zur Baustelle transportiert.<sup>271</sup>



Abbildung 39 Positionierung der fertigen Raummodule<sup>272</sup>

<sup>271</sup> Vgl. KAUFMANN, C.: Hotel bei Reutte. In: Detail, 6/2012. S. 618.

<sup>272</sup> KAUFMANN, C.: Hotel bei Reutte. In: Detail, 6/2012. S. 618.

<b>Hotel bei Reutte</b>	
<b>Architekt</b>	Oskar Leo Kaufmann
<b>Errichtung</b>	2009
<b>Volumen</b>	96 Raumzellen
<b>Montagezeit</b>	10 Tage
<b>Unternehmen</b>	Kaufmann Bausysteme GmbH

Tabelle 6 Basisdaten Hotel bei Reutte

Thermische Sanierung der Wohnhausanlage Johann-Böhm-Straße

Ziel der 2011 fertiggestellten Sanierung der Wohnanlage in Kapfenberg, war die Modernisierung des Gebäudes zu einem sog. Plus-Energiehauses, ein Gebäude, welches über das gesamte Jahr betrachtet, mehr Energie erzeugt, als von den Nutzern verbraucht wird.

Als Voraussetzung für die erfolgreiche Erneuerung des Gebäudekomplexes galten dabei die gesamtheitliche Betrachtung des Projekts in gestalterischer und wirtschaftlicher Hinsicht, sowie eine frühe Koordination aller Prozessbeteiligten und eine konstante Qualitätssicherung über die einzelnen Planungsphasen hinweg.<sup>273</sup>

Die eigentliche Modernisierung des Bestandsgebäudes erfolgte grundsätzlich durch vorgefertigte, großflächige Fassadenmodule, welche sowohl Solarkollektoren, als auch Teile der Haustechnik integrierten. Dadurch konnte auf umfangreiche Arbeiten vor Ort verzichtet werden und eine Sanierung im bewohnten Zustand erfolgen.

Abbildung 40 thermisch saniertes Wohngebäude<sup>274</sup>

Durch die Vorfertigung der Fassadenelemente als einheitliche gebäudehohe Teilstücke, gelang es darin auch die erneuerten Ver- und

<sup>273</sup> Vgl. HÖFERL, K.; GUTTMANN, E.: Gesamtheitlicher Ansatz der Sanierung . In: att. zuschnitt, 6/2013. S. 13.

<sup>274</sup> [http://www.hausderzukunft.at/imgcache/hdz\\_img/20120328\\_rendering\\_west\\_large\\_900.jpg](http://www.hausderzukunft.at/imgcache/hdz_img/20120328_rendering_west_large_900.jpg). Datum des Zugriffs: 5.Februar.2015

Entsorgungsleitungen des Wohngebäudes einzugliedern. Dies ermöglichte nicht nur ein exakteres Verlegen der Leitungsrohre, sondern stellte auch eine einfache Zugänglichkeit im Fall von Sanierungsmaßnahmen sicher.

Der Aufbau der Elemente bestand im Wesentlichen aus einer Faserzementplatte, welche auf einer hinterlüfteten Konstruktion auf der tragenden Rahmenkonstruktion aus OSB-Platten und Holzrippen angebracht wurde. Die Dämmung und Windsperre, sowie die erforderlichen Installationsleitungen, wurden schließlich im Zwischenraum der Rahmenkonstruktion verlegt.

Befestigt wurden die rund 30 gebäudehohen Elemente direkt an der bestehenden Fassade, wodurch keine größeren Eingriffe in die Gebäudesubstanz nötig wurden.<sup>275</sup>

#### **Thermische Fassadensanierung einer Wohnanlage in Kapfenberg**

<b>Architekt</b>	Nussmüller Architekten
<b>Errichtung</b>	2013
<b>Volumen</b>	30 Fassadenelemente
<b>Montagezeit</b>	3 Tage
<b>Unternehmen</b>	Kulmer Holz-Leimbau

Tabelle 7 Basisdaten Thermische Fassadensanierung einer Wohnanlage in Kapfenberg

<sup>275</sup> Vgl. HÖFERL, K.; GUTTMANN, E.: Gesamtheitlicher Ansatz der Sanierung . In: att. zuschnitt, 6/2013. S. 14.

### Gästehaus am Umweltcampus Birkenfeld

Ein weiteres Bauvorhaben aus vorgefertigten Holzmodulen ist der 2005 realisierte Hotelkomplex in Birkenfeld, welcher aus insgesamt 48 Einbettzimmer besteht.



Abbildung 41 Hotel Birkenfeld<sup>276</sup>

Die wesentlichste Anforderung an die Konstruktion war dabei, neben einem möglichst kostengünstigen Bausystem, die Sicherstellung eines leicht erweiter- und rückbaubaren Grundsystems. Dieses sollte mithilfe einer vorgefertigten Modulbauweise aus Holz realisiert werden.

Um ein Kostenoptimum zu erreichen, wurden dabei jene Komponenten, die laut Ansicht der Projektbeteiligten zu Schwierigkeiten in der Vorfertigung führen könnten, wie etwa die Außenbekleidung und der Laminatboden, vor Ort hergestellt. Die belagsfertigen Module wurden im Werk in einer Rahmenbauweise vorgefertigt. Um den Materialeinsatz zu reduzieren, wurden die Module dabei ohne Deckenelement hergestellt.<sup>277</sup>

Diese Entscheidung erforderte allerdings für den Transport und die Montage zusätzliche, aussteifende Maßnahmen, wie beispielsweise ein vorbereitetes Stabilisierungskreuz und temporär eingelegte Deckenplatten.

Die Positionierung der Elemente vor Ort erfolgte direkt auf die exakt nivellierte Gründung, wobei durch einen Anschluss mittels Stabdübeln eine kraftschlüssige Verbindung zum Untergrund sichergestellt wurde.

<sup>276</sup> <https://ssl.panoramio.com/photo/68542387>. Datum des Zugriffs: 5.Februar.2015

<sup>277</sup> Vgl. KF: Modulbau "unkomplex". In: bauen mit holz , 6/2006. S. 8ff.

Nach der Montage des ersten Geschoßes wurden die temporär eingelegten Deckenplatten und Aussteifungskreuze abgenommen, und zurück zum Werk für den Transport der weiteren Module gebracht.

Die Raumzellen der oberen Geschosse wurden ebenfalls mittels Stabdübel mit den jeweils darunterliegenden Modulen verbunden.<sup>278</sup>

### Gästehaus am Umweltcampus in Birkenfels

<b>Architekt</b>	C3 Koch-Kunz-Ripplinger GbR
<b>Errichtung</b>	2005
<b>Volumen</b>	48 Raumzellen
<b>Montagezeit Module</b>	Rund 1 Woche
<b>Unternehmen</b>	C3 Koch-Kunz-Ripplinger

Tabelle 8 Basisdaten Gästehaus am Umweltcampus in Birkenfels

Wiener Schulklassen von Stugeba

Ein abschließendes Projektbeispiel aus vorgefertigten Modulen sind die 2014 von der Firma Stugeba<sup>279</sup> realisierten Schulklassen in Wien-Penzing.

Um die insgesamt fünf Erweiterungsbauten mit in Summe 27 Klassenzimmern und einer Nutzfläche von 3.600m<sup>2</sup> pünktlich zum neuen Schuljahr eröffnen zu können, wurden die Gebäude in Module zerlegt und im Werk vorgefertigt. Der große Zeitdruck stellte dabei auch hohe Anforderungen an die Zulieferlogistik. Die von der Firma Stora Enso<sup>280</sup> abgebundenen Brettsper Holzplatten wurden nach dem JIT – Prinzip bestellt und innerhalb kurzer Zeit angeliefert.

Durch die getaktete Lieferung konnte der strikte Zeitplan - insgesamt wurde für die gesamte Produktion der fünf Gebäude eine Produktionsdauer von 14 Wochen anberaumt, auch tatsächlich eingehalten werden.

Für die eigentliche Vorfertigung in Bad St. Leonhard wurden dabei acht Wochen veranschlagt. Die endgültige Montage vor Ort musste dann in rund sechs Wochen rechtzeitig vor Schulbeginn durchgeführt werden.<sup>281</sup>

<sup>278</sup> Vgl. KF: Modulbau "unkomplex". In: bauen mit holz , 6/2006. S. 8ff.

<sup>279</sup> Stugeba ist ein Modulbauunternehmen mit Sitz in Bad St. Leonhard.

<sup>280</sup> Sora Enso ist das zweitgrößte Forstunternehmen der Welt und hat insgesamt auch 4 Standorte in Österreich.

<sup>281</sup> Vgl. PLACKNER, H.: das hölzerne Klassenzimmer. timber-online.net. Datum des Zugriffs: 5.Februar.2015



Abbildung 42 Volksschule aus modularer Bauweise<sup>282</sup>

### Wiener Schulklassen von Stugeba

<b>Architekt</b>	Stugeba
<b>Errichtung</b>	2014
<b>Volumen</b>	27 Klassenzimmer
<b>Montagezeit Module</b>	Rund 6 Woche
<b>Unternehmen</b>	Stugeba und Stora Enso

Tabelle 9 Basisdaten Wiener Schulklassen von Stugeba

### 2.3.5 Sinnhaftigkeit industrieller Vorfertigung

Die Sinnhaftigkeit der Vorfertigung industrieller Bauprodukte wurde und wird auch heute immer wieder in Frage gestellt. Bereits Walter Gropius beschreibt 1924 die unterschiedlichen Markterfolge der bauwirtschaftlichen und stationären Industrie. Während der überwiegende Teil der Bevölkerung damals wie heute vorgefertigte Gebrauchsgegenstände verwendet, werden Bauvorhaben, welche aus Raummodulen bestehen, nach wie vor eher in Ausnahmefällen realisiert. Obwohl das Potenzial vor allem im Wohnbau durch immer wiederkehrende Geometrien oder ähnliche Elemente gegeben wäre, muss laut Ansicht zahlreicher Experten zur erfolgreichen Integration des industriellen Bauens in den Markt eine grundlegende Umgestaltung der Bauwirtschaft durchgeführt werden.<sup>283</sup>

<sup>282</sup> PLACKNER, H.: das hölzerne Klassenzimmer. timber-online.net. Datum des Zugriffs: 5.Februar.2015

<sup>283</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 588.

In der Baubranche von heute stellen Bauvorhaben in Modulbauweise, unabhängig vom Baustoff, eher die Ausnahme dar. Durch die wettergeschützte Produktion, die Verkürzung der Bauzeit durch die rasche Montage vor Ort und die laufenden Qualitätssicherungen im Werk, gewinnt diese Art des Bauens allerdings auch nach der Ansicht von Experten immer mehr an Bedeutung. Neben den bereits beschriebenen Vorteilen der Vorfabrikation erweist sich auch die Elementierung von temporären Bauvorhaben, insbesondere im Hinblick auf die meist sehr kurzen Einsatzzeiten dieser Projekte und der Frage nach einer künftigen Wiederverwendung der Bauteile als sinnvoll.<sup>284</sup>

Eine im Jahr 2005 durchgeführte Studie<sup>285</sup> zeigt das enorme industrielle Automatisierungspotential von Holzkonstruktionen. Durch die Definition unterschiedlicher Eigenschaften der Holzwerkstoffe wurden die Prozessschritte der Fertigung von verschiedenen Elementen analysiert und hinsichtlich des technisch sinnvollen Automatisierungspotentials bewertet. Das Ergebnis der Studie zeigt, dass sich nur etwa 17% aller Tätigkeiten eines Bauvorhabens nicht zur automatisierten Vorfertigung eignen. Darunter fallen unter anderem das Befestigen der Gurtschlaufen, das Einlegen der Elektroleitungen und die Einbringung der Dämmmaterialien. Darüber hinaus ist das Spannen und Befestigen der Dampfbremsen, aufgrund der geringen Biegesteifigkeit dieser Materialien, kaum zur maschinellen Vorfertigung geeignet. Zum einen ist bei der Aufbringung der Folien aufgrund der bauphysikalischen Anforderungen besondere Vorsicht in Bezug auf eine durchgängige Dichtheit geboten, zum anderen ist die Manipulation biegeweicher Materialien durch automatisierte Prozesse bis dato schwer oder gar nicht möglich.<sup>286</sup>

Die Ergebnisse der Versuchsstudie zeigen, dass die Höhe des Automatisierungsgrades zugleich Einfluss auf die Höhe der Gesamtkosten eines Bauwerks ausübt. Im Verlauf der Studie wurden allerdings nicht nur unterschiedliche Fertigungskonzepte mit einem variablem Automatisierungsgrad untereinander verglichen, sondern auch die Einflüsse des Planungsprozesses auf die Baukosten dargestellt.

Dabei wird deutlich, dass sich die Art der Planungsabwicklung direkt auf die Länge der Produktions-, und somit Durchlaufzeit auswirkt. Bei der Fertigung eines Einfamilienhauses kann durch eine optimierte Planung eine Zeitersparnis während der Produktion von bis zu einem halben Arbeitstag erreicht werden.<sup>287</sup>

<sup>284</sup> Vgl. KALTENBACH, F.: Hotel bei Reutte. In: Detail, 6/2012. S. 614ff.

<sup>285</sup> Vgl. KESSEL, M. et al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht. S. 1ff.

<sup>286</sup> Vgl. Ebd. S. 20.

<sup>287</sup> Vgl. KESSEL, M. et al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht. S. 29.

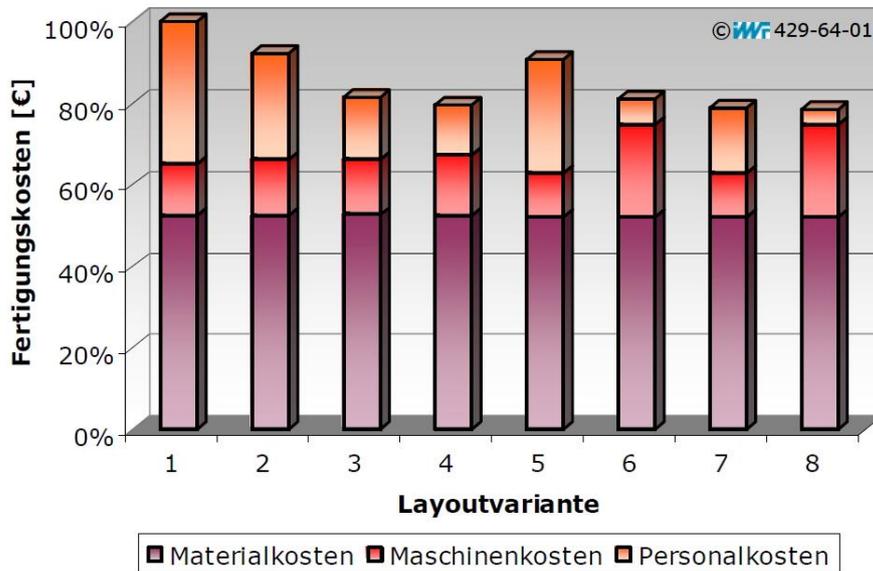


Abbildung 43 Höhe der Fertigungskosten und unterschiedliche Kostenstruktur in Abhängigkeit zum Automatisierungsgrad<sup>288</sup>

Die vorherige zeigt das ermittelte Einsparungspotential, welches durch eine Erhöhung des Automatisierungsgrades erwirtschaftet werden kann.

Die einzelnen, aufgezeigten Produktionsvarianten beziehen sich dabei auf unterschiedliche Fertigungsabläufe.

Bei Variante 1 wird die Fertigung nach dem Stand der Technik durch manuelle Montagevorgänge mit einer klaren Auftragstrennung zwischen Planung und Fertigung durchgeführt. Dieses System wird als Basisbezug zu den nachfolgenden Lösungen angesehen.

Die zweite Produktionsvariante ist ebenfalls durch manuelle Montageabläufe gekennzeichnet. Hier sind die Aufträge zwischen Planung und Fertigung allerdings miteinander verbunden. Durch die engere Kooperation zwischen Planung und Montage kann der Faktor der Personalkosten um etwa 10% gesenkt werden.

Lösungsvariante 3 sieht eine automatisierte Fertigung starrer Bauteile, wie etwa jene von Brettsperrholzplatten, bei einer klaren Auftrags-trennung vor. Durch diese Art der Automatisierung können laut der Studie die Personalkosten gegenüber Fertigungsvariante 1 um knapp die Hälfte reduziert werden.

Fertigungsvariante 4 sieht ebenfalls eine automatisierte Produktion starrer Bauteile vor. Anders als bei Variante 3 wird hier jedoch eine Verbindung der Aufträge zwischen Planung und Fertigung hergestellt.

Dadurch gelingt es, den Faktor der Personalkosten noch weiter zu senken.

<sup>288</sup> KESSEL, M. et al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht. S. 31.

Variante 5 sieht eine Durchlauffertigung mit manuellen Montagevorgängen vor. Mithilfe dieser Art der Fertigung und dem hohen Grad an manuellen Montagevorgängen, kann zwar der Faktor der Maschinenkosten deutlich gesenkt werden, gleichzeitig werden sich jedoch die Personalkosten erhöhen.

Im Gegensatz dazu verdoppelt sich in Variante 6 der Anteil der Maschinenkosten bei einer vollautomatisierten Durchlauffertigung<sup>289</sup>. Allerdings fällt hier auch Anteil der Personalkosten deutlich geringer aus, als bei den zuvor beschriebenen Varianten.<sup>290</sup>

Im Falle einer vollautomatisierten Durchlauffertigung, welche in Version 7 betrachtet und analysiert wurde, können zwar die Maschinenkosten um gesenkt werden, gleichzeitig erhöhen sich allerdings die anfallenden Personalkosten.

Fertigungsvariante 8 zeigt das Potential einer vollautomatisierten Durchlauffertigung im Zwei-Schichtbetrieb. Während hierbei der Anteil der Personalkosten deutlich gesenkt werden kann, fallen laut Ansicht der Experten in Summe deutlich höhere Maschinenkosten an.<sup>291</sup>

Das Potential für eine sinnvolle, automatisierte Vorfertigung ist demnach durchaus gegeben. Die Frage, bis zu welchem Grad eine werkseitige Vorfertigung baubetriebliche und bauwirtschaftlich richtig ist, wird im Kapitel 4.3.2 genauer behandelt.

## 2.4 Daten zur industriellen Vorfertigung in Österreich

Die Abwicklung von Gebäuden ist derzeit in Österreich, wie bereits erwähnt, meist durch handwerkliches Bauen geprägt. Der überwiegende Teil aller Gebäudekomponenten wird zwar vorgefertigt, aber vor Ort zu größeren Einheiten zusammengesetzt. Während bereits ab der Mitte des 19. Jahrhunderts einige Leuchtturmprojekte aus komplett vorgefertigten Elementen realisiert wurden, stellt die Vorfertigung bis heute eigentlich nicht den Stand der Technik dar.<sup>292</sup>

Obwohl sich Ansätze der Industrialisierung bei elementierten Bauteilen, wie Decken oder Wände, durchsetzen, ist eine serielle Vorfertigung von vollständigen, mehrgeschossigen Bauten aufbauend auf Bausystemen sowohl in Europa, als auch im amerikanischen und teilweise im asiatischen Raum nur bedingt üblich. Eine Ausnahme stellt das Bauen mit industriell vorgefertigten Raummodulen dar. Diese, im Vergleich nach Ansicht von Experten teure, Bauweise hat sich in den letzten Jahren speziell in Mitteleuropa besonders bei Bauvorhaben mit einer großen

<sup>289</sup> Dieses System wurde bei Variante 6-8 berücksichtigt.

<sup>290</sup> Vgl. KESSEL, M. et al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht, S. 31.

<sup>291</sup> Vgl. Ebd. S. 31.

<sup>292</sup> Vgl. KAUFMANN, H.: Der andere Bauprozess. In: Zuschnitt, Juni/2013. S. 4f.

Zahl gleicher oder ähnlicher Räume, wie es in Hotels und in Studenten-, sowie Seniorenheime aber teilweise auch bei Zubauten und Aufstockungen aufgrund der kurzen Bauzeit und des geringen Gewichts durchgesetzt.<sup>293</sup> Einige Beispiele wurden bereits in Kapitel 2.3.4 dargestellt.

Die Abmessungen der einzelnen vorgefertigten Einheiten sind von den maximal zulässigen Transportmaßen<sup>294</sup> und dem eher untergeordneten, maximalen Transportgewicht abhängig. Dabei gilt: je größer das vorgefertigte Element ist, desto wirtschaftlicher ist meist dessen Verarbeitung. Als Grund wird von Fachleuten die Reduktion der erforderlichen, teuren und oft auch statisch und bauphysikalisch problematischen Elementstöße genannt.

Das größte Hemmnis beim Bauen mit seriell vorgefertigten Modulen wird auch heute noch in der Einschränkung der gestalterischen Freiheiten in der Planung des Architekten gesehen. Tatsächlich lässt aber die Realisierung von seriell produzierten Bauvorhaben einen relativ hohen Gestaltungsfreiraum zu. Voraussetzung hierfür ist allerdings die frühe Berücksichtigung der Charakteristika vorgefertigter Komponenten in den Planungsphasen.<sup>295</sup>

Eine von Statistik Austria 2004 veröffentlichte Studie<sup>296</sup> zeigt unter anderem die prozentuelle Verteilung realisierter Gebäude nach ihren Bauweisen. Im Jahr 2002 wurden österreichweit insgesamt 14.634 Wohngebäude unabhängig vom Baustoff und Bauweise realisiert. Rund 6,2% davon wurden aus vorgefertigten Ziegel- oder Betonfertigteilen errichtet. Weitere 17,7% wurden zumindest zu einem Teil aus vorgefertigten Holzelementen produziert.<sup>297</sup>

Dabei wurden in Wien insgesamt prozentuell gesehen die meisten Wohngebäude aus vorgefertigten Elementen anfertigt. Rund 27% der errichteten Gebäude aus zum Teil vorgefertigten Holzelementen, meist Holzrahmenbauten produziert. Weitere 10,8% wurden mit Betonfertigteilen errichtet.

Neben Wien wurden in Niederösterreich, Vorarlberg und Kärnten mit einem Marktanteil von jeweils knapp 20% die meisten Bauvorhaben aus vorgefertigten Holzelementen realisiert.

Ähnlich zeigt sich die Verteilung der Marktanteile der Bauvorhaben aus vorgefertigten Betonelementen. Hier ist allerdings das Burgenland mit einem Marktanteil von knappen 12,5% Spitzenreiter.<sup>298</sup>

<sup>293</sup> Vgl. KAUFMANN, H.: Der andere Bauprozess. In: Zuschnitt, Juni/2013. S. 4f.

<sup>294</sup> Anmerkung: 4 Meter Breite und 20 Meter Länge

<sup>295</sup> Vgl. KAUFMANN, H.: Der andere Bauprozess. In: Zuschnitt, Juni/2013. S. 4f.

<sup>296</sup> Vgl. VOLLMANN, K.: Wohnbautätigkeit Bewilligungen und Fertigstellungen 2002 Wohnbaukosten 2001. Statistik. S. 1ff.

<sup>297</sup> Vgl. Ebd. S 52.

<sup>298</sup> Vgl. Ebd. S 52ff.

Diese Aufspaltung der Marktanteile realisierter Bauvorhaben in Abhängigkeit ihrer Bauweisen verdeutlicht, dass bereits 2002 die überwiegende Mehrheit vorgefertigter Gebäude aus unterschiedlichen Holzwerkstoffen, meist jedoch in Form eines Holzrahmenbaus mit variierenden Plattenwerkstoffen realisiert wurde.<sup>299</sup>

Während derzeit die Entwicklung des Anteils von im Werk vorgefertigten Einfamilienhäusern aufgrund der Tatsache, dass in Summe weniger Einfamilienhäuser errichtet wurden, rückläufig ist, konnte im Jahr 2012, die Vorfertigung großvolumiger Bauvorhaben gegenüber 2011 um etwa 20% gesteigert werden. Dies zeigt ein von den Mitgliedern des Österreichischen Fertighausverbands veröffentlichter Bericht im Mai 2014.<sup>300</sup>

Diese Entwicklung ist in der nachfolgenden Abbildung grafisch dargestellt.

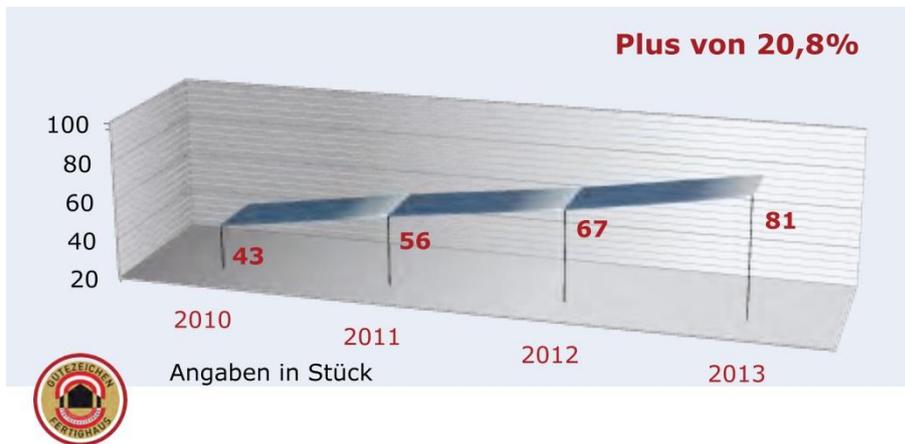


Abbildung 44 Stückzahl produzierter großvolumiger Gebäude in Fertigteilbauweise<sup>301</sup>

Im Jahr 2013 wurden insgesamt 81 großvolumige Gebäude in Fertigteilbauweise realisiert. Dies bedeutet einen Marktzuwachs von knapp 21% gegenüber dem Vorjahr.

Etwas rückläufig gestaltet sich hiergegen die Entwicklung des Einfamilienhausbaus mit vorgefertigten Elementen. In diesem Marktsegment wurden insgesamt rund 3% weniger Gebäude errichtet als im Jahr zuvor.

<sup>299</sup> Vgl. VOLLMANN, K.: Wohnbautätigkeit Bewilligungen und Fertigstellungen 2002 Wohnbaukosten 2001. Statistik. S. 52 f.

<sup>300</sup> Vgl. STEINKELLER, H.: Salzburger Nachrichten. <http://www.salzburg.com/nachrichten/rubriken/besteimmobilien/immobilien-nachrichten/sn/artikel/vom-shop-bis-zur-schule-loesungen-nach-mass-106671/>. Datum des Zugriffs: 5. Oktober. 2014

<sup>301</sup> Ebd. S. 7.



Abbildung 45 Stückzahl<sup>302</sup> produzierter Einfamilienhäuser in Fertigteilbauweise

<sup>302</sup> MURHAMMER, C.: Pressegespräch des Österreichischen Fertighausverbandes. Pressemitteilung. S. 6.

### 3 Aspekte des industriellen Bauens mit bau-wirtschaftlichen Auswirkungen

Nach den einleitenden Kapitel über die geschichtlichen Grundlagen und theoretischen Kennzeichen des industriellen Bauens werden im nachfolgenden Kapitel die bauwirtschaftlichen Auswirkungen einer industriellen Bauweise näher erläutert.

Die industrielle Vorfertigung hat sich in unterschiedlichen Markt-disziplinen bereits erfolgreich durchgesetzt. Durch Vorteile, wie bspw. die Reduktion von wetterbedingten Ausfallzeiten und Leistungsschwankungen, sowie durch die Verkürzung der Herstell- und Bauzeit, durch parallel ablaufende Bauprozesse, wird das Prinzip der werkseitigen Vorfertigung auch in der Baubranche immer öfter angewandt.<sup>303</sup> Das Bauen mit vorproduzierten Systemen soll dabei den Bauprozess durch den Einsatz vorgefertigter Bauteile oder Module vereinfachen und so effizienter und damit kostengünstiger gestalten. Aufgrund des immer wiederkehrenden Einsatzes bestimmter Elemente, Produkte oder Materialien kann dabei nicht nur ein hoher technischer Standard, sondern gleichzeitig auch eine deutliche Kostensenkung in der Produktion von Bauwerken erreicht werden.<sup>304</sup> Mithilfe der bereits beschriebenen Prinzipien von Lean Construction kann darüber hinaus ein übermäßiger Verschnitt und Verschwendung von Arbeitsleistung und Material vermieden werden.<sup>305</sup>

Zudem sind viele Projekte erst durch die Einführung von Bausystemen mit einem bestimmten Grad an Vorfertigung umsetzbar. Dies trifft besonders bei größeren Bauvorhaben mit einer begrenzt zur Verfügung stehenden Bauzeit zu. Erst durch die Entwicklung von durchgängigen Systemen kann auch in der Abwicklung von sehr komplexen Bauvorhaben eine erhebliche Bauzeitreduktion erreicht werden. Ein weiterer Vorteil der industriellen Vorfertigung liegt in der Möglichkeit einer Kostenoptimierung und der qualitativen Verbesserung der entwickelten Endprodukte oder Baumodule.<sup>306</sup>

Der Einsatz von Systemen beschränkt sich in der Bauwirtschaft dabei nicht nur auf die ausführenden Tätigkeiten, sondern wird immer öfter auch innerhalb der Planungs- und Konstruktionsprozesse angewandt. Durch die Systematisierung der gesamten Planungsabläufe und die Einführung neuer Bearbeitungstechnologien werden die entwickelten Systeme allerdings nicht nur auf einzelne Projekte begrenzt, sondern können auch bei mehreren, ähnlich gestalteten Bauvorhaben zur Anwendung kommen.

<sup>303</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 525f.

<sup>304</sup> Vgl. KNAACK, U.; CHUNG-KLATTE, S.; HASSELBACH, R.: Systembau: Prinzipien der Konstruktion. S. 7.

<sup>305</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.4.

<sup>306</sup> Vgl. KNAACK, U.; CHUNG-KLATTE, S.; HASSELBACH, R.: Systembau: Prinzipien der Konstruktion. S. 8.

Mit einer zunehmenden Komplexität der Systematisierung erhöhen sich jedoch auch die Anforderungen in der Planungsphase. Der Architekt und/oder Fachplaner muss nicht nur die individuellen Wünsche der Nutzer bzw. Bauherren, sondern auch die Anforderungen zur Erreichung einer kosteneffizienten Architektur berücksichtigen. Während die Forderung nach der Schaffung eines günstigen Wohnraums in früheren Jahren des vergangenen Jahrhunderts vor allem durch die strenge Rasterung der Entwürfe mittels Band- oder Achsraster<sup>307</sup> erreicht werden sollte, wird die erforderliche Standardisierung heutzutage meist auf Bauteilebene realisiert. Dies führte besonders in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten zu einem Wiederaufleben der industriellen Vorfertigung. Die Frage, in wie weit eine serielle Wiederholung den Wert der Architektur beeinflusst, bleibt hierbei allerdings nach wie vor bestehen und setzt hohe Ansprüche an die Entwicklungs- und Entwurfsphase.<sup>308</sup>

Der in diesem Zusammenhang immer wiederkehrende Begriff des Systembaus wird überwiegend als Gegensatz zur manuellen Fertigung vor Ort verstanden. Diese Schlussfolgerung erweist sich jedoch nur als teilweise richtig. Einige Baumethoden, welche vor Ort durchgeführt werden, sind weitaus systematisierter, als die derzeit gängigen Methoden innerhalb der Vorfertigung. Zudem kann mithilfe einiger gängiger vor Ort-Verfahren die Produktionsleistung gegenüber jenen hocheffizienter Fabrikfertigungen bei Weitem übertroffen werden. Einige sehr effiziente Beispiele und Methoden einer on-site Industrialisierung wurden bereits in einem der vorherigen Kapitel beschrieben.<sup>309, 310</sup>

Den oftmals zitierten Potentialen einer industriellen Produktion steht jedoch eine Reihe von Risiken gegenüber, die in dieser Betrachtung nicht unerwähnt bleiben sollen.

Den bereits aufgezählten Vorteilen stehen Nachteile wie

- höhere Transportkosten für größere Bauteile,
- ein hoher Fixkostenanteil in der Produktion,
- sowie ein gesteigerter Planungsaufwand bei dem Wunsch nach Einzellösungen gegenüber.<sup>311</sup>

Zudem erfordert die Verbindung von bauseits hergestellten Elementen oder Modulen mit weiteren vorgefertigten Komponenten durch die meist gering bemessenen Toleranzen ein äußerst exaktes Arbeiten und stellt hohe Anforderungen an das Vermessungswesen, sowohl in der Produktion, als auch auf der Baustelle. Durch die Wahl einer

<sup>307</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.3.3.

<sup>308</sup> Vgl. KNAACK, U.; CHUNG-KLATTE, S.; HASSELBACH, R.: Systembau: Prinzipien der Konstruktion. S. 7f.

<sup>309</sup> Vgl. Ebd. S.9.

<sup>310</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.6.

<sup>311</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 13.

vorgefertigten Bauweise kann folglich die Bauzeit zwar erheblich reduziert werden, gleichzeitig erhöht sich jedoch der Aufwand der erforderlichen Vorarbeiten.<sup>312</sup>

Schließlich wird das systematisierte Bauen in der Fachliteratur immer dann als Lösungsmodell angedacht, wenn die wirtschaftlichen Schwierigkeiten eines Unternehmens bereits existenzbedrohende Ausmaße annehmen.<sup>313</sup> Die Verwendung von modernen Fertigungstechnologien alleine kann dabei allerdings nicht zum erwünschten Erfolg führen. Erst durch eine grundlegende Umstrukturierung der Planungs- und Produktionsebenen innerhalb eines Unternehmens wird laut Ansicht von Experten, die Einführung von industriellen Produktionsmethoden zum wirtschaftlichen Erfolg führen.<sup>314</sup>

### 3.1 Grundlagen und Begriffsbestimmungen

In den folgenden Kapiteln werden einige bau- und betriebswirtschaftliche Begrifflichkeiten, die in engem Zusammenhang mit industrieller Produktion und Vorfertigung stehen, näher beschrieben.

Bei allen angeführten Begriffen steht dabei die Bewältigung der sich stets steigenden Komplexität im Vordergrund. Durch die auch in der industriellen Vorfertigung steigende Anzahl an sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren, wie bspw. die geometrische Komplexität der Bauvorhaben und die immer vielschichtiger werdende Projektumwelt, kommt der eigentlichen Strategieentwicklung zur Komplexitätsreduktion eine erhebliche Bedeutung zu. Im Zuge dieser Betrachtung wird in den nachfolgenden Kapiteln der Komplexitätszuwachs im Bereich der Kalkulation schlüsselfertiger Bauvorhaben dargestellt. Darauf bezugnehmend werden einige Methoden des Komplexitätsmanagements vorgestellt und analysiert.<sup>315</sup>

Vorweg sei dabei angemerkt, dass der Begriff der Komplexität in der Systemtheorie nicht die Vielschichtigkeit und die Kompliziertheit von Systemen beschreibt, sondern viel mehr den Grad der Interaktion einzelner Elemente innerhalb eines Systems.<sup>316</sup> Ein weiterer Faktor über den die Komplexität näher beschrieben werden kann, ist die Vielfalt der einzelnen Elemente und deren dynamische Beziehung untereinander. Umgelegt auf die Baubranche und im Speziellen auch auf den Schlüsselfertigbau bedeutet das, dass verschiedene Merkmale, die in einer dynamischen Wechselbeziehung zueinander stehen, die

<sup>312</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 13.

<sup>313</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.; HOFMANN, E.: Industrielles Bauen – Fertigungstechnologie oder Managementkonzept?. In: Bauingenieur, 75/2000. S. 586ff.

<sup>314</sup> Vgl. Ebd. S. 586ff.

<sup>315</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.1.6.

<sup>316</sup> Vgl. SCHLEICHER, M.: Komplexitätsmanagement von Geschäftsprozessen dargestellt am Beispiel der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau. Forschungsbericht. S. 197.

Komplexität von Bauvorhaben und somit auch deren Bewältigungsfaktor entscheidend beeinflussen.<sup>317</sup> Grundsätzlich werden in der einschlägigen Fachliteratur fünf Komponenten für die Erhöhung der Komplexität von schlüsselfertigen Bauvorhaben verantwortlich gemacht. Diese sind in der nachstehenden Grafik zusammengefasst.



Abbildung 46 Komplexitätstreiber im Schlüsselfertigbau<sup>318</sup>

Eine wesentliche Rolle innerhalb des Komplexitätsmanagements kommt dabei der Handhabung der hohen Anzahl an Schnittstellen im Schlüsselfertigbau zu. Um eine qualitativ hochwertige Bauleistung zu erbringen, müssen sämtliche, für den Bauprozess notwendigen, Teilleistungen gewerkeübergreifend aufeinander abgestimmt werden. Durch die starke Vernetzung der einzelnen Teilprozesse des Schlüsselfertigbaus kommt der verwendeten Informationstechnologie in diesem Zusammenhang eine bedeutende Rolle zu. Dabei müssen die funktionale Verkettung sämtlicher Teilleistungen, sowie deren gegenseitige Beeinflussung und Abhängigkeit zueinander, eindeutig und nachvollziehbar abgebildet werden.<sup>319</sup>

Die Möglichkeiten dieser Art der Komplexitätsbewältigung werden unter anderem durch die jüngsten Entwicklungen der sog. Informationsrevolution, die im nachfolgenden Kapitel näher beschrieben werden, ermöglicht.

<sup>317</sup> Vgl. SCHLEICHER, M.: Komplexitätsmanagement von Geschäftsprozessen dargestellt am Beispiel der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau. Forschungsbericht. S. 197.

<sup>318</sup> SCHLEICHER, M.: Komplexitätsmanagement von Geschäftsprozessen dargestellt am Beispiel der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau. Forschungsbericht. S. 198.

<sup>319</sup> Vgl. Ebd. S.198f.

Weitere sog. Komplexitätstreiber im Schlüsselfertigbau sind die Anzahl der Projektbeteiligten und die Gesamtdauer der eigentlichen Projekt- abwicklung. Je mehr Unternehmer und Fachplaner an einem Projekt beteiligt sind, desto größer wird auch der Koordinationsaufwand. Ähnliches gilt auch für die Dauer der Bauarbeiten. Eine insgesamt sehr kurze Projektzeit stellt hohe Anforderungen an die Kommunikationstechnologie und das Informationsverarbeitungssystem. Um Zeitverluste, aufgrund einer fehlerhaften Kommunikation, zu vermeiden, muss bereits im Vorfeld der Projektarbeit auf ein durchgängiges Kommunikationssystem geachtet werden.<sup>320</sup>

Die möglichen Auswirkungen neuer Kommunikationstechnologien auf die Produktion von vorgefertigten Bauelementen werden in Kapitel 3.3.1 beschrieben.

Zuletzt wirken sich auch der gewünschte Grad der Individualisierung der Bauwerksentwürfe, sowie die projektspezifischen Zielsysteme, auf die Komplexität eines Bauvorhabens aus. Eine Steigerung der kundenspezifischen Wünsche erhöht gleichzeitig auch den Koordinationsaufwand der abzuwickelnden Bauaufgabe.<sup>321</sup> Um der gesteigerten Forderung nach einer Individualisierung der Bauvorhaben gerecht zu werden, haben sich im vergangenen Jahrhundert einige Methoden, unter anderem die in einem der vorherigen Kapitel beschriebene Mass Customization, entwickelt.<sup>322</sup> Diese Strategie soll die Vorteile einer klassischen Massenproduktion mit jenen einer kundenindividuellen Einzelfertigung verbinden.

Der Zusammenhang und die gegenseitige Wechselwirkung zwischen dem geforderten Grad an Standardisierung der Produktionsprozesse einerseits und der gewünschten Individualisierung der Ergebnisse andererseits werden in einem späteren Kapitel näher erläutert.

Um das notwendige Komplexitätsmanagement zu bewältigen, muss jedoch zunächst das Erkennen der komplexen Zusammenhänge und deren Schnittstellen gewährleistet werden. Die Erhöhung der Schnittstellendichte hat daher immer auch eine Erhöhung des Koordinationsaufwandes zur Folge.<sup>323</sup> Eine Möglichkeit, diese gesteigerte Komplexität dennoch bewältigen zu können, liegt in der Darstellung einzelner Prozessabläufe in sog. ereignisgesteuerten Prozessketten. Diese Methode erleichtert unter anderem die Optimierung des Verständnisses und der Transparenz von mehreren, parallel verlaufenden Geschäftsprozessen.<sup>324</sup>

<sup>320</sup> Vgl. SCHLEICHER, M.: Komplexitätsmanagement von Geschäftsprozessen dargestellt am Beispiel der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau. Forschungsbericht. S. 198f.

<sup>321</sup> Vgl. Ebd. S.198.

<sup>322</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.3 und 2.2.4.

<sup>323</sup> Vgl. SCHLEICHER, M.: Komplexitätsmanagement von Geschäftsprozessen dargestellt am Beispiel der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau. Forschungsbericht. S. 199.

<sup>324</sup> Vgl. Ebd. S. 200ff.

Die Grundlagen dafür werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer betrachtet.

### 3.1.1 Informationsgesellschaft und Informationsrevolution

Die erstaunlichen technologischen Entwicklungen im Informations- und Kommunikationsmanagement werden seit rund fünf Jahrzehnten mit dem Begriff der Informationsgesellschaft zusammengefasst. Dabei steht vor allem der ökonomische Nutzen neuer Kommunikations- und Informationstechnologien (kurz: KIT), sowie das Potential, die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Strukturen durch den Einsatz moderner Techniken zu beeinflussen, im Mittelpunkt.<sup>325</sup>

Der Begriff der Informationsgesellschaft wurde erstmals in den 1960er Jahren geprägt und ist seitdem nach wie vor unklar definiert. Im Allgemeinen wird damit eine Form der postindustriellen Gesellschaft beschrieben. Diese ist durch Allokation der Berufstätigen und einer Verlagerung der Schwerpunktsetzung von der rein industriell geprägten Massenfertigung zu einer kundenindividuellen Produktion mit Fokussierung auf den Dienstleistungs- und Informationssektor gekennzeichnet. Als Resultat dieser Entwicklung wird in der einschlägigen Literatur ein grundlegender Wandel der gesellschaftlichen Schichtungen gesehen.<sup>326</sup>

Durch die zunehmende Bedeutung der Informationstechnologien ändern sich auch die Anforderungen an die Bauproduktion und somit an eine industrielle Vorfertigung. Während die Gestaltung der werkseitig angefertigten Produkte, Bauelemente oder kompletter Module bis vor einem halben Jahrhundert vor allem durch die gegebenen Möglichkeiten der Produktionsmethoden begrenzt waren, wird heute eine immer größere Individualisierung der Einzelelemente zusätzlich ermöglicht.<sup>327</sup>

Die rapide Entwicklung der Informationstechnologie nimmt ihren Ursprung in den 1930er Jahren und beeinflusste nach und nach nicht nur den Produktionssektor, sondern auch jenen der Landwirtschaft und der Dienstleistungen:

Während die sog. industrielle Gesellschaft<sup>328</sup> durch Kapitalgüter und den Einsatz von Maschinen stark geprägt ist, wird im sog. Informationszeitalter durch die verbesserten technologischen Möglichkeiten die Informationsverarbeitung und Weitergabe zum dominierenden Wirtschaftssektor.<sup>329</sup> Da sich immer mehr Berufe und Fachbereiche mit dem Beschaffen und Bearbeiten von Informationen

<sup>325</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 29f.

<sup>326</sup> Vgl. Ebd. S. 31.

<sup>327</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.3.1.

<sup>328</sup> Die industrielle Gesellschaft ist durch werkseitige Produktionsprozesse geprägt, welche schlussendlich auch enormen Einfluss auf die gesellschaftliche Ordnung ausüben.

<sup>329</sup> Vgl. WEBSTER, F.: Theories of the information society. S. 120.

beschäftigen, wird das bislang vertretene Drei-Sektoren-Modell der Volkswirtschaft anstelle von Landwirtschaft, Produktion und Dienstleistungen letztendlich um den vierten Sektor der Information erweitert.<sup>330</sup>

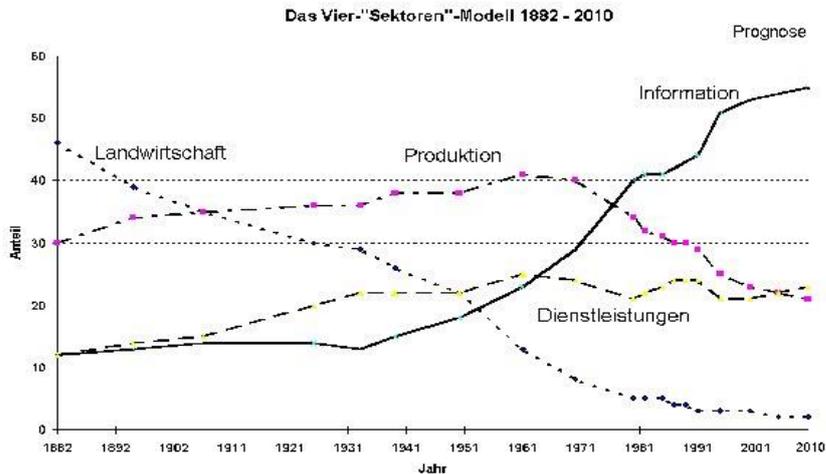


Abbildung 47 Das Vier-Sektoren-Modell<sup>331</sup>

Dieses Modell betont allerdings die auch weiterhin große Bedeutung der materiellen Produktion für die Gesamtwirtschaft. Wie in der obiger Grafik dargestellt, ist bis zum Beginn der 1970er Jahre der eigentliche Produktionssektor der dominierende Wirtschaftszweig. In den 1960er Jahren nimmt dieser sogar einen Anteil von mehr als 40% der gesamten Leistung der Volkswirtschaft ein. Erst ab der Mitte der 1970er Jahre wird die Vorherrschaft der Produktion durch den Sektor der Informationstechnologien abgelöst. Dieser ist in der Grafik mit einer durchgängigen Linie dargestellt.

Gleichzeitig nimmt der Anteil der Produktion an der gesamten Wirtschaftskraft kontinuierlich ab. Der Produktionssektor, der in der Grafik als violett strichlierte Linie dargestellt ist, bleibt jedoch lange Zeit der zweitwichtigste Wirtschaftszweig und wurde erst in der jüngeren Vergangenheit durch den Sektor der Dienstleistungen abgelöst.

Hiergegen entfallen in einer Informationsgesellschaft mehr als 50% der Wirtschaftskraft auf informationsbasierte Dienstleistungen. Da jedoch, anders als bei den traditionellen Sektoren einer Volkswirtschaft, keine eindeutige Zuordenbarkeit der Informationsbearbeitung zu den jeweiligen Sektoren möglich ist, wird dieser Sektor meist als virtuell beschrieben.<sup>332</sup>

Die Informationsgesellschaft ist somit im Wesentlichen die Weiterentwicklung der industriellen Revolution und wird in der

<sup>330</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 31f.

<sup>331</sup> <http://www.wissensgesellschaft.org/themen/bildung/arbeitundlernen.html>. Datum des Zugriffs: 24.Jänner.2015

<sup>332</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 32f.

betriebswirtschaftlichen Literatur meist als fünfte Welle des sog. Kondratieff-Zyklusses bezeichnet<sup>333</sup>. Das Modell der volkswirtschaftlich wiederkehrenden Auf- und Abschwünge wurde 1925 von Nikolai Kondratieff definiert und beschreibt die in einem 60-jährigen Rhythmus konträr verlaufenden Wirtschaftsphasen. Ausgelöst durch externe Faktoren, wie bspw. die Entwicklung der Eisenbahn und der Elektrizität, kam es zu einem wirtschaftlichen Aufschwung, der einige Jahre anhielt und schließlich wieder zurückging. Durch die Entwicklung der KIT wurde die bislang letzte Prosperität ausgelöst.<sup>334</sup>

Im Zusammenhang mit der Informationsgesellschaft wird auch der Begriff der Informationsrevolution geprägt. Diese ermöglicht den Wandel von der industriellen hin zur Informationsgesellschaft. Der Begriff Revolution wird dabei im wissenschaftlichen Sinn als Paradigmenwechsel verstanden und zielt nicht auf die eigentliche Dynamik oder Dauer des Umschwungs ab. Der Wandel erfolgt laut einschlägiger Literatur nicht abrupt, sondern findet durch schrittweise Verbesserungen der bereits bestehenden Technologien statt. Die enorme Leistungsfähigkeit und Vernetzung der Informationsmethoden ermöglicht schließlich eine komplexe Neugestaltung betriebs- und bauwirtschaftlicher Strukturen.<sup>335</sup> Darüber hinaus wird durch die Entwicklung und kontinuierliche Verbesserung der Informationssysteme das im einleitenden Kapitel erwähnte Komplexitätsmanagement vermehrt unterstützt. Die Systematisierung der Computer- und Arbeitsprogramme beeinflusst dabei nicht nur die Möglichkeiten der Datenerstellung und Datenpflege, sondern ermöglicht auch eine virtuelle Nachbildung des gesamten Produktionsablaufs. Dies wiederum hat erhebliche Auswirkungen auf das Qualitätsmanagement und die Arbeitsvorbereitung innerhalb des industriellen Bauens. Mithilfe leistungsstarker Informations- und Datensystemen können demnach sowohl sämtliche Support-Prozesse, als auch die dafür notwendige Kommunikation und Datenverarbeitung standardisiert und bis zu einem gewissen Grad rationalisiert werden. Wie in Kapitel 2.1.5 beschrieben, ermöglicht eine lückenlose Datenstruktur darüber hinaus eine Vermeidung von Verlusten von Dokumenten oder eine zeitaufwändige Mehrfachnutzung unterschiedlicher Datenmodelle.<sup>336</sup>

Diese beiden Aspekte werden in den nachfolgenden Kapiteln noch genauer beschrieben.

<sup>333</sup> Die Theorie der Kondratieff Zyklen wurde vom sowjetischen Wirtschaftswissenschaftler Nikolai Kondratjew entwickelt und beschreibt eine zyklische Wirtschaftsentwicklung, welche Paradigmenwechsel und innovationsbedingten Investitionen hervorgerufen werden.

<sup>334</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 35.

<sup>335</sup> Vgl. Ebd. S. 37.

<sup>336</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 533ff.

### 3.1.2 Just-in-Time Management

Das Streben nach einer Optimierung von technischen und logistischen Abläufen hat sich besonders in der Mathematik und den Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften über die letzten Jahrzehnte stark erweitert. Dabei wurden unter anderem verschiedene Algorithmen ausgearbeitet, welche den Arbeitsfluss in unterschiedlichen Tätigkeitsfeldern durch leistungsstarke Simulationen abbilden und miteinander verknüpfen können. Diese Entwicklung bildete eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Optimierung der Stochastik sowie der Produktkontrolle und Wartung.<sup>337</sup>

Auch für das Prinzip der Just-in-time-Production (kurz: JIT-Production) bzw. des Just-in-time-Managements bildet diese Entwicklung eine der wesentlichsten Voraussetzungen. Die gesamtheitliche virtuelle Abbildung des Arbeitsflusses ermöglicht eine enorme Verfeinerung der Logistikabläufe und somit auch eine Optimierung des Lieferservices.<sup>338</sup>

Die JIT-Philosophie wurde in den 1950er Jahren mit dem Bestreben entwickelt, sowohl die Inventar-, als auch die laufenden Nebenkosten einer Produktions- bzw. Baufirma zu senken. Mittlerweile wird das JIT-Prinzip nicht mehr nur von der produzierenden Industrie, sondern vom Großteil aller Wirtschaftszweige zur Kostenoptimierung angewandt.<sup>339</sup>

Dabei wird diese Methode als System verstanden, in dem die notwendigste Anzahl an Produkten in einer zuvor bestimmten Qualität und zur spätest möglichen Zeit ausgeliefert oder produziert wird. In der Massenproduktion und auch in der industriellen Vorfertigung wird als weiteres Hauptziel hauptsächlich die Reduktion des Lagerbestandes zur Kostensenkung genannt. Um einen Mehraufwand in der dafür erforderlichen Kosten- und Terminkontrolle zu vermeiden, muss besonders in der Produktion einer Vielzahl von Bauelementen auf ein geeignetes Komplexitätsmanagement geachtet werden. Beispielsweise sollte nicht für jedes einzelne Modul oder Bauelement eine separate Arbeitsflusssimulation programmiert, sondern eine übergeordnete Ablaufsimulation erarbeitet werden. In diesem Modell werden dabei nicht nur die einzelnen Arbeitsschritte, die zur Produktion eines Moduls oder Elements notwendig sind, sondern auch die begleitenden Nebenprozesse und die vor- und nachgelagerten Arbeitsschritte abgebildet. In diesem Punkt ist eine enge Zusammenarbeit zwischen den produzierenden Firmen, den einzelnen Zulieferern, Logistikunternehmen und unterschiedlichen Fachplanern erforderlich. Um die Vorteile der JIT-Methode, wie bspw. die Reduktion der Rüst- und Lagerhaltungskosten, ausschöpfen zu können, muss daher eine umfangreiche und exakte Arbeitsvorbereitung durchgeführt werden. Der

<sup>337</sup> Vgl. R'IOS-MERCADO, R. Z.; R'IOS-SOL'IS, Y.: Just-in-Time Systems. S. 1.

<sup>338</sup> Vgl. Ebd. S. V.

<sup>339</sup> Vgl. Ebd. S.V.

Aufwand der Arbeitsvorbereitung erhöht sich dabei nach dem Prinzip je größer die Anzahl an unterschiedlichen Varianten wird, desto mehr und umfangreichere Faktoren müssen bei der Produktion beachtet werden. Vor allem bei erforderlichen Materialabweichungen zwischen den jeweiligen Produktvarianten wird der Umfang der vorbereitenden Arbeitsschritte deutlich gesteigert. Dieser Punkt wird in Kapitel 3.1.6 näher beschrieben.

Um dem Prinzip der JIT-Production, bei welcher ausschließlich die notwendigen Produktkomponenten zur Vorfertigung geliefert werden, nachzukommen und trotzdem einen durchgängigen Arbeitsfluss sicherzustellen, muss bereits vor Produktionsbeginn ein genauer Ablauf- und Bedarfsplan erstellt werden.<sup>340</sup>

Hierfür werden meist sehr komplexe algorithmische Lösungsmethoden angewandt, die einen möglichst flexiblen Ablaufplan einer variantenreichen Produktion, unter Berücksichtigung der Anforderungen an ein JIT-System, berechnen. Dadurch kann nicht nur ein optimiertes Produktionsvolumen in Abhängigkeit der Zeit  $t$  ( $tr_i$ ), sondern auch ein idealer Produktionsplan für jedes Element  $j$  innerhalb eines Fertigungsmodells  $i$  errechnet werden.<sup>341</sup>

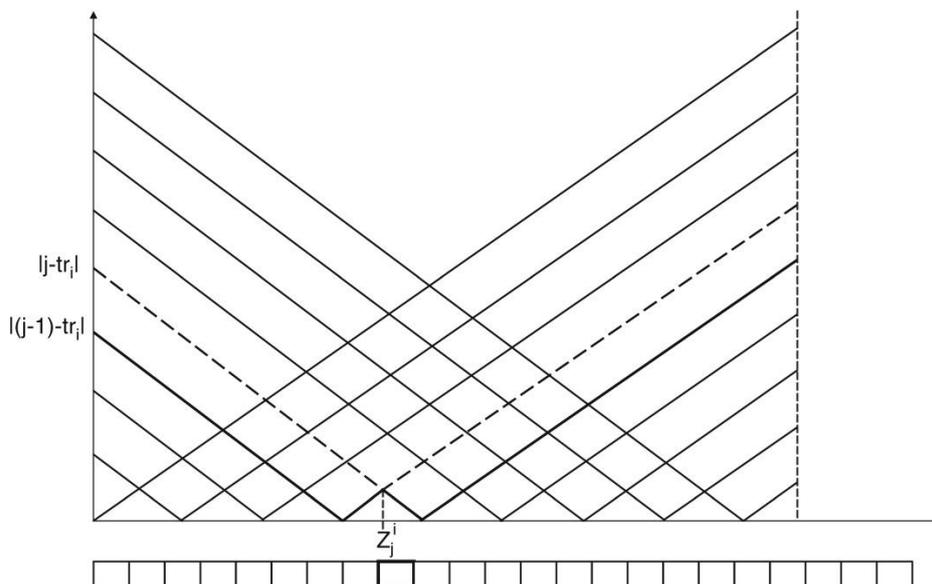


Abbildung 48 optimierte Fertigstellungszeit nach dem JIT Prinzip<sup>342</sup>

Wie in der oben abgebildeten Grafik dargestellt, bildet für das Element  $j$  des Fertigungsmodells  $i$  der Zeitpunkt  $Z_j$  den idealen Fertigstellungs-termin. Dieser wird als Schnittpunkt der Abweichungskurven für die Fertigstellung von  $j$  Elementen bzw.  $j-1$  Elementen berechnet.

<sup>340</sup> Vgl. R'IOS-MERCADO, R. Z.; R'IOS-SOL'IS, Y.: Just-in-Time Systems. S. 171ff.

<sup>341</sup> Vgl. End. S. 179.

<sup>342</sup> R'IOS-MERCADO, R. Z.; R'IOS-SOL'IS, Y.: Just-in-Time Systems. S. 179.

Analog dazu kann der früheste bzw. spätest mögliche Fertigstellungszeitpunkt eines Elements  $j$  in Abhängigkeit zur Zeit und einer dafür gegebenen Maximalabweichung ermittelt werden.

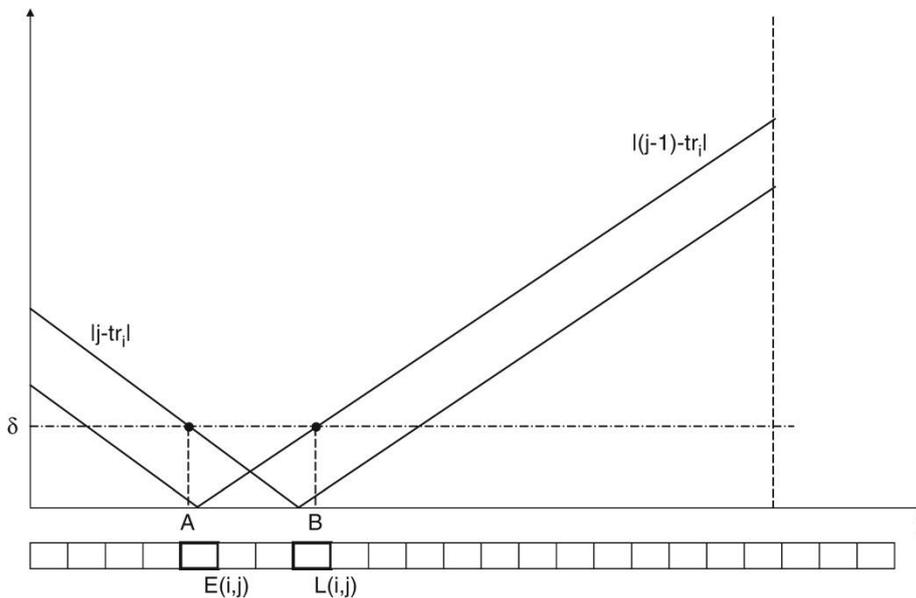


Abbildung 49 frühest und spätest möglicher Fertigstellungszeitpunkt eines Elements  $j$  in Abhängigkeit der Zeit und einer Maximalabweichung<sup>343</sup>

Mithilfe der gegebenen Maximalabweichung  $\delta$  kann mithilfe der ermittelten Abweichungsgrafen der benötigten Fertigstellungszeit für das Element  $j$  und das Element  $j-1$  ein mögliches Zeitfenster für deren eigentliche Fertigung berechnet werden. Soll die zeitliche Abweichung der Produktion des Elements  $j$  nicht größer als  $\delta$  sein, so kann mit dessen Fertigung erst ab dem Zeitpunkt  $A$  begonnen werden. Auf der anderen Seite muss das Element bereits vor dem Zeitpunkt  $B$  fertiggestellt werden, da ansonsten die Bedingung  $(j-1)-tr_i < \delta$  nicht erfüllt wäre.<sup>344</sup>

Bei der Analyse dieser Bedingungen wird deutlich, wie wichtig eine exakte Abstimmung der Planung auf die Produktionsbedingungen von unterschiedlichen Bauvorhaben und deren Erfordernissen ist. Unter der Sicherstellung der Gestaltungsfreiheit werden die verwendeten Bauteile standardisiert und bilden so eine Basis der industriellen Produktion einzelner Bauelemente. In Berücksichtigung von technischen und bauphysikalischen Anforderungen, wie der Gewährleistung eines entsprechenden Schall- und Wärmeschutzes, werden Bauteile systematisiert, welche somit die Grundlage für sog. Plattformkonzepte bilden. Darunter sind bspw. Systemkonzepte, welche eine Standardisierung von Bauteilaufbauten definieren.<sup>345</sup> Um diese Systeme nach ökonomischen Gesichtspunkten produzieren zu können, muss

<sup>343</sup> R'IOS-MERCADO, R. Z.; R'IOS-SOL'IS, Y.: Just-in-Time Systems. S. 184.

<sup>344</sup> Vgl. Ebd. S.182ff.

<sup>345</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 539.

jedoch eine große Menge von gleichen Elementen angefertigt und anschließend auch abgesetzt werden. Dabei ist die Geometrie der produzierten Elemente oder Module weniger ausschlaggebend, wie die eigentliche Gleichheit der verwendeten Materialien. Das Verarbeiten von den immer gleichen Materialien kann zu erheblichen Kostenreduktionen etwa durch das Prinzip der Just-in-Time-Production, beitragen.<sup>346</sup> Die in Kapitel 2.1.5 beschriebene Standardisierung, welche zur Kostenoptimierung beitragen soll, wird demnach meist auf Bauteilebene realisiert.

Durch die Produktion nach dem JIT-Prinzip kann gleichzeitig der Lagerbestand auf Baustellen oder in Werkshallen erheblich gesenkt werden. Dies hat wiederum eine unmittelbare Auswirkung auf die Höhe der Lagerkosten. Zudem ist bei einigen Baustellen im innerstädtischen Bereich durch die beengten Platzverhältnisse eine Zwischenlagerung von Bauelementen kaum möglich.<sup>347, 348</sup> Durch die gering zur Verfügung stehenden Lagerflächen werden die erforderlichen Baumaterialien in der im Vorhinein bestimmten Güte und Menge unmittelbar vor dem Einbauzeitpunkt dieser auf den Bauplatz angeliefert. Obwohl dieses Prinzip eine erhebliche Reduktionen der Lagerbestände ermöglicht, wird dadurch auch ein entsprechender Aufwand in der Arbeitsvorbereitung und der Logistikplanung erforderlich. So würden Verzögerungen bei einer JIT-Production in Extremfällen unmittelbar zum Stillstand der Baustelle führen. Das bedeutet auch einen erhöhten Aufwand in der Wahl der Lieferanten. Diese dürfen nicht nur nach dem Billigstbieterprinzip ausgewählt werden, sondern müssen über ein entsprechendes Qualitätsmanagement verfügen, um die vereinbarten Termine auch einhalten zu können, d.h. nach dem Bestbieterprinzip ausgewählt werden.<sup>349</sup>

Eine der wesentlichsten Voraussetzungen für die erfolgreiche Umsetzung des Just-in-Time-Prinzips ist die Erstellung eines durchgängigen Informations- und Materialflusses.<sup>350</sup> Die Ansprüche und Voraussetzungen einer durchgehenden Kommunikation werden in den späteren Kapiteln in dieser Arbeit näher beschrieben.

Nachdem in diesen einleitenden Kapiteln die Grundlagen eines Komplexitätsmanagements und die Entwicklung modernster KIT, sowie die Prinzipien der JIT-Methode dargestellt wurden, soll in den nachfolgenden Kapiteln auf die wesentlichen Kostentreiber und Kostenarten innerhalb einer Vorfertigung näher eingegangen werden.

<sup>346</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 543f.

<sup>347</sup> Vgl. Ebd. S. 543f.

<sup>348</sup> Vgl. KONRAD ZILCH, C. J.: Handbuch für Bauingenieure, Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit. S. 860.

<sup>349</sup> Vgl. Ebd. S. 860.

<sup>350</sup> Vgl. Ebd. S.418.

### 3.1.3 Kosteneinflüsse innerhalb einer Produktion

Die wesentlichen Kostentreiber innerhalb einer Produktion sind insbesondere von der Art der Fertigung abhängig. Dabei sind sowohl in der Produktion von unterschiedlichen Produktvarianten, als auch in der Fertigung von kundenindividuellen Aufträgen zusätzliche Kosten zu erwarten. Dieser Kostenanstieg ist hier vor allem auf eine deutliche Erhöhung der Komplexität aller Unternehmensprozesse zurückzuführen. Um diese Vielschichtigkeit zu bewältigen, müssen daher zusätzliche Maßnahmen im Komplexitätsmanagement getroffen werden.

Bei der Einzelfertigung, aber auch bei der Variantenfertigung steigt die sog. Variabilität der zu organisierenden Arbeitsschritte im Vergleich zu jenem einer klassischen Massenproduktion erheblich an. Hinzu kommt, dass im Falle der kundenindividuellen Einzelfertigung, bei welcher eine Produktion in Losgröße eins abgewickelt wird, eine erhebliche Intensitätssteigerung der Kommunikation mit dem Kunden oder Bauherren bewältigt werden muss. Dieser Punkt kann hiergegen innerhalb einer anonymen Variantenfertigung, bei der sich die Produktion nach der zuvor ermittelten Nachfrage des Marktes richtet, weitestgehend vernachlässigt werden. Zwar ist auch hier, im Vergleich zum homogenen Absatzmarkt von Massengütern, mit einer leichten Steigerung der Komplexität der erforderlichen Kommunikationsflüsse zu rechnen. Dieser Anstieg ist jedoch im Vergleich zu dem einer echten Einzelfertigung kaum wahrnehmbar.<sup>351</sup>

Da bei der kundenindividuellen Einzelfertigung im Normalfall ein direkter Austausch mit dem Endkunden oder Bauherren stattfindet, muss ein deutlicher Mehraufwand in der Kommunikation bewältigt werden. Zudem müssen bereits vor dem Fertigungsbeginn die gewünschten Produktspezifikationen erhoben und in den Planungs- und Produktionsprozess integriert werden. Dies stellt wiederum hohe Anforderungen an die Arbeitsbereiche der Planung und Produktion und erfordert zudem ein flexibel gestaltbares Fertigungssystem.<sup>352</sup>

Je nach Fertigungsart erhöhen sich allerdings nicht nur die Anforderungen an das Komplexitätsmanagement in der Kommunikationsabwicklung, sondern auch jene an die Flexibilisierung der Produktionsabläufe. Um diese Zusammenhänge näher beschreiben zu können, muss zunächst eine Systematisierung der unterschiedlichen Kosteneinflüsse innerhalb einer Produktion vorgenommen werden.

Wie im Kapitel zum Thema Lean Construction beschrieben, besteht die wesentliche Anforderung an eine erfolgreiche Umsetzung der kundenindividuellen Gestaltung von Massenprodukten in der Generierung eines effizienten Kompromisses zwischen der geforderten

<sup>351</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 138.

<sup>352</sup> Vgl. Ebd. S. 139.

Kundennähe und der Reduktion von unnötigen Komplexitätskosten.<sup>353</sup> Der Komplexitätsgrad innerhalb einer Fertigung ist dabei nur sehr schwer zu bestimmen. Einfacher ist die Unterteilung der Kosten entsprechend der Entstehung während der eigentlichen Produktion. Dabei wird zwischen den sog. Produktions- und den Transaktionskosten unterschieden.<sup>354</sup> Diese werden wie folgt definiert.

### 3.1.4 Produktionskosten

Die Gruppe der Produktionskosten werden in zwei weitere Gruppen unterteilt.

Als Produktionskosten im weiteren Sinn werden dabei all jene Kostenkomponenten verstanden, die zur Herstellung von Gütern und Dienstleistungen aufgebracht werden müssen. Darunter werden sowohl Forschungs- und Entwicklungskosten, als auch Material-, Lager- und Distributionskosten subsumiert.

Die zweite Gruppe umfasst jene der Produktionskosten im engeren Sinn. Dazu zählen neben den Fertigungslöhnen auch die Ausgaben für die Anlagen und Qualitätskontrollen sowie auch die Rüstkosten.<sup>355</sup>

Besonders in diesen Kostengruppen kann unter der Berücksichtigung der Lean-Prinzipien rasch eine Kostenoptimierung erreicht werden.<sup>356</sup> Je nach Produktionsanlage und Fertigungsablauf wird dabei jedoch ein nicht unerheblicher Mehraufwand in der Vorbereitung der Optimierungsmaßnahmen entstehen. Umgelegt auf die Optimierung der Wartungsmaßnahmen nach dem Lean Prinzip bedeutet das, dass zunächst eine gesamtheitliche Nachbildung des Arbeits- und Informationsflusses die Grundlage für die Entwicklung eines kostenoptimierten Wartungssystems schafft. Dabei soll auf all jene Wartungsarbeiten, die nicht zielführend sind, verzichtet werden.

Dieser Zusammenhang wird in der nachstehenden Grafik verdeutlicht.

<sup>353</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.4.

<sup>354</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 139.

<sup>355</sup> Vgl. Ebd. S. 139.

<sup>356</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.4.

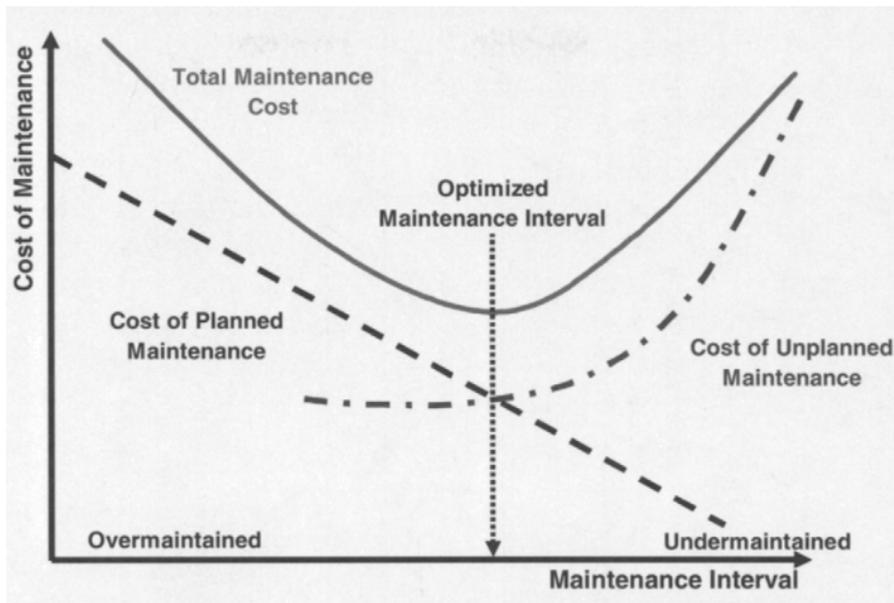


Abbildung 50 Die Möglichkeiten der Kostenminimierung bei Wartungsmaßnahmen<sup>357</sup>

Generell setzen sich die Wartungskosten aus geplanten und ungeplanten Ausgaben zusammen. Bei einer Zunahme der Dauer eines Serviceintervalls sinken die geplanten Kosten, was in der Grafik als strichlierte Linie dargestellt ist. Dagegen werden die ungeplanten Kosten, die aufgrund von unvorhergesehenen Ereignissen entstehen, bei einer Abnahme der Servicefrequenz exponentiell ansteigen. Dieser Verlauf ist in der Grafik als strichpunktierte Linie abgebildet.

Die Summe der beiden Kosten, also den geplanten und ungeplanten Kosten, bildet schließlich die Höhe der endgültigen Ausgabe für die Wartungsaufwendungen. Dabei ist ersichtlich, dass sowohl ein zu oft wiederkehrender Serviceintervall, als auch zu selten durchgeführte Wartungsarbeiten zu erhöhten Kosten führen kann. Während zu häufig durchgeführte Wartungen, aufgrund der unverhältnismäßig hohen Ausgaben der geplanten Kosten unwirtschaftlich sind, erweist sich auch ein zu selten durchgeführtes Service, durch den enormen Anstieg an ungeplanten Kosten, als überteuert.<sup>358</sup>

Um somit die Frequenz eines optimalen Serviceintervalls bestimmen zu können, müssen daher sowohl die geplanten, als auch die ungeplanten Kosten, die je nach gewähltem Wartungssystem auftreten können, berücksichtigt werden.

<sup>357</sup> SMITH, R.; HAWKINS, B.: Lean Maintenance. S. 29.

<sup>358</sup> Vgl. SMITH, R.; HAWKINS, B.: Lean Maintenance. S. 29.

### 3.1.5 Transaktionskosten

Die zweite wesentliche Gruppe, die innerhalb einer Produktion auftritt, wird als Gruppe der sog. Transaktionskosten beschrieben.

Zu dieser zählen all jene Aufwendungen, die nicht direkt den Produktionskosten angerechnet werden können. Dazu zählen Kosten für Informations- und Transaktionsaktivitäten, genauso wie die Ausgaben für den Leistungsaustausch zwischen mehreren Unternehmen. Besonders bei einer einzelkundenbezogenen Fertigung ist durch die zunehmende Informationsintensität mit höheren Transaktionskosten im Vergleich zur Massenproduktion zu rechnen. Zudem ist durch die Steigerung der Anforderungen an die Verträge und Kommunikationsaufwendungen mit höheren Ausgaben zu rechnen.<sup>359</sup>

Die Entwicklung der Produktionskosten im weiteren Sinne und der Transaktionskosten in Abhängigkeit unterschiedlicher Wertschöpfungsaktivitäten ist in nachstehender Tabelle zusammengefasst.

Wertschöpfungsaktivität	Zunahme der Produktionskosten i.w.S.	Zunahme der Transaktionskosten
Forschung und Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höherer Entwicklungsaufwand</li> <li>• Erhöhter Aufwand der Stücklistenherstellung und -verwaltung</li> <li>• Kundenspezifische Anpassungen</li> <li>• Gefahr nicht nachfragewirksamer antizipativer Variantenkonstruktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abstimmungsprozesse bei kundenspezifischer Konstruktion von Varianten</li> <li>• Einschaltung externer Entwicklungsbüros</li> </ul>
Erhebung der kundenspezifischen Konfiguration der Leistung (Interaktion mit dem Kunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Schnittstellen zur Integration des Kunden in den Leistungserstellungsprozess</li> <li>• Kosten der Personalqualifizierung für Verkaufsgespräche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedarf an aufwendiger Direktkommunikation</li> <li>• Ständiger Abstimmungs- und Informationsbedarf</li> <li>• Schaffung von Vertrauen, Abbau der Unsicherheit der Abnehmer</li> </ul>
Materialwirtschaft und Beschaffung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umfangreichere Lagerhaltung der Vorprodukte, Eingangsmaterialien in verschiedenen Variationen</li> <li>• Aufwendigere Eingangskontrolle und Materialverwaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höherer Aufwand des Beschaffungsvorgangs, Mindermengenzuschläge</li> <li>• Steigende Dispositions-/Koordinationskosten durch zunehmende Lieferantenzahl</li> </ul>
Produktionsplanung und Fertigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höheres Investitionsvolumen für flexible Produktionsanlagen</li> <li>• Geringere Produktivität</li> <li>• Höhere Wechsel-/Rüstkosten (Arbeitskosten, Probeteile, Stillstandskosten)</li> <li>• Umfangreichere Qualitätskontrolle</li> <li>• Sinkende Kapazitätsauslastung der Anlagen durch höheren Flexibilitätsbedarf</li> <li>• Kosten höher qualifizierter Arbeit</li> <li>• Aufwendigere Fertigungssteuerung</li> <li>• Kosten aus verlorenen Effizienzvorteilen einer standardisierten Massenproduktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigende Koordinationskosten bei Auslagerung von Fertigungsaktivitäten</li> <li>• Abstimmung mit externen Zulieferern wird informationsintensiver</li> <li>• Übertragung und Verarbeitung der Konfiguration in die Produktion</li> <li>• Überwachung der Einhaltung der Konfigurationsvorgaben</li> </ul>
Distribution und Kundendienst	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umfangreichere (flexiblere) Transport- und Handlingsysteme</li> <li>• Aufwendigere Distribution</li> <li>• Höhere Dokumentationskosten</li> <li>• Risikokosten der Nichtabnahme bestellter Leistungen</li> <li>• Höhere Ersatzteilbevorratung</li> <li>• Höherer Reparaturaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beauftragung externer Dienstleister</li> <li>• Aufwendige Auftragsbearbeitung</li> <li>• Aufwendige Fakturierung und Auftragskalkulation</li> <li>• Erschwerte Sekundärdienstleistungen</li> <li>• Steigende Abstimmungskosten bei der Abwicklung von Serviceaufträgen</li> </ul>

Abbildung 51 Kostensteigerung durch einzelkundenbezogene Fertigung<sup>360</sup>

<sup>359</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 139.

<sup>360</sup> PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 140.

Je komplexer unterschiedliche Teilbereiche der Wertschöpfungskette werden, desto grösser werden auch die Produktions- und Transaktionskosten. Ein Beispiel dafür ist die Steigerung des Materialbedarfs in einer Produktion. Je umfangreicher die Materialwirtschaft ist, desto höher werden die Kosten für die Lagerhaltung in der Vorproduktion. Zudem erhöhen sich die Aufwendungen für die Eingangskontrollen. Diese beiden Faktoren beeinflussen schließlich auch das Ergebnis der Produktionskosten. Gleichzeitig erhöht sich bei komplexerem Lagerbestand der Aufwand für die Beschaffungslogistik. Dies hat wiederum direkte Auswirkungen auf die Summe der Transaktionskosten.<sup>361</sup>

Um das Thema der Komplexitätstreiber innerhalb einer Produktion gesamtheitlich beschreiben zu können, werden in den nun nachfolgenden Kapiteln die Fertigungsprinzipien der Einzel- sowie der Variantenfertigung näher erklärt, anschließend gegenübergestellt und miteinander verglichen.

### 3.1.6 Einzelfertigung versus Variantenfertigung

Um der wachsenden Nachfrage nach individuell angefertigten Produkten oder Gebäudekomponenten in der Massenproduktion gerecht zu werden, haben sich in den letzten Jahren vor allem zwei Lösungsansätze entwickelt. Diese beiden Konzepte werden im nun folgenden Kapitel beschrieben.<sup>362</sup>

Neben der bereits beschriebenen Mass Customization<sup>363</sup> werden in der betriebswirtschaftlichen Literatur weitere Methoden vorgestellt, die eine unterschiedlich ausgestaltete kundenbezogene Leistungserstellung ermöglichen. Je nach Größe der Kundengruppe und dem möglichen Spezifizierungsgrad wird grundsätzlich zwischen der auftragsbezogenen Einzelfertigung und eine auf verschiedenen große Marktnischen bezogene Variantenfertigung unterschieden. Aufgrund des unterschiedlich hohen Spezifizierungsgrades, der durch die Anforderungen der individuellen Kundenwünsche gegeben ist, resultieren unterschiedlich hohe Ansprüche an das Komplexitätsmanagement.<sup>364</sup>

Dies trifft unter anderem auf die Anforderungen an die Kalkulation, den möglichen Vorfertigungsgrad, sowie die Ansprüche an die Flexibilisierung der Fertigungsmethoden zu.<sup>365</sup>

Die Erhöhung der Komplexität bei gleichzeitig steigender Spezifizierung der Kundenwünsche hat zusätzliche Auswirkungen auf die Entwicklungs-

<sup>361</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 140.

<sup>362</sup> Vgl. Ebd. S. 128f.

<sup>363</sup> Vgl. Hierzu Kapitel 2.2.4.

<sup>364</sup> Vgl. THOMAS; PETER: Mass Customization als Wettbewerbsstrategie in der Finanzdienstleistungsbranche. S. 71.

<sup>365</sup> Vgl. Ebd. S. 71f.

kosten der Bauelemente oder Baumodule. Eine 2003 veröffentlichte Studie<sup>366</sup> zeigt, dass, je nach produzierter Seriengröße, zwischen fünf und 15% der Gesamtkosten eines Unternehmens für die Konzipierung von Elementen ausgegeben werden.

Jene Unternehmen, welche Großserien verschiedener Produkte produzieren, wenden rund fünf Prozent der Unternehmensleistung für die eigentliche Produktentwicklung auf. Deutlich höher fallen diese Kosten bei einer auf den Einzelkunden bezogenen Produktentwicklung aus. Hier werden im Schnitt rund 15% der Gesamtkosten durch die Unternehmen ausgegeben.<sup>367</sup>

### 3.1.6.1 Variantenfertigung

Neben der auf einen individuellen Kunden zugeschnittenen Einzel- fertigung hat sich in der Praxis die sog. Variantenfertigung durchgesetzt. Diese reagiert durch die Produktion einer großen Anzahl an Produktversionen auf den steigenden Marktdruck. Besonders deutlich zeigt sich diese Entwicklung in der Automobilindustrie.<sup>368</sup> Während in den 1960er Jahren noch eine strikte Trennung der Produktion in vier Wagenklassen vorherrschte, wurden bis zur Mitte der 1990er Jahre ein Produktangebot von über 200 verschiedenen Varianten mit zusätzlich rund 500 Länderausführungen und 1.400 Sonderausstattungen über alle Hersteller hinweg, entworfen.<sup>369</sup> Eine ähnliche Zunahme der Variantenvielfalt zeigt sich in der Unterhaltungs- und Lebensmittelindustrie. Die Steigerung der Variantenvielfalt ist in diesen Bereichen besonders durch die stetige Verfeinerung des Produkt- angebots der bereits etablierten Firmen zurückzuführen. Unternehmen wie Sony oder Philips bieten bis dato hunderte unterschiedliche Versionen ihrer Basisprodukte an.<sup>370</sup> In der Baubranche ist hiergegen zum Teil eine eher entgegengesetzte Entwicklung ablesbar. Um eine möglichst einfache Kombination von Konstruktionselementen unterschiedlicher Hersteller zu gewährleisten, wird meist eine Standardisierung der angebotenen Produkte angestrebt. Eine Ausnahme bilden dabei unterschiedliche Ausbauelemente, wie Türen oder Komponenten der technischen Gebäudeausstattung. Hier ist, ähnlich wie bei den Produkten der Unterhaltungsindustrie, eine stetige Verfeinerung des Produktangebots und eine gleichzeitige Erhöhung der Produktvielfalt ersichtlich.

<sup>366</sup> Vgl. FISCHER, J. O.: Kostenbewusstes Konstruieren. S. 1ff.

<sup>367</sup> Vgl. Ebd. S. 46.

<sup>368</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 127f.

<sup>369</sup> Vgl. SCHUH, G.; MÜLLER, S.: Verbundprojekte im Automobilbau stoppen die Variantenvielfalt. In: VDI-Z, 140, 3/4/1998. S. 37ff.

<sup>370</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 127f.

Das Prinzip der Ausweitung des Produktsortiments durch stetige Verfeinerung der Basisangebote beruht dabei auf der Ausarbeitung einer sog. Nischenstrategie. Durch die Bildung von kleinen, in sich einheitlichen, Marktsegmenten gelingt es, eine differenzierte Produktvariante für jede ausgearbeitete Marktlücke zu entwickeln. Die Herstellung der einzelnen Produkte funktioniert dabei immer nach dem Grundsatz der seriellen Massenfertigung. Die danach entwickelten Produkte erfüllen zwar zu einem bestimmten Grad die individuellen Wünsche der Kunden, richten sich in der Herstellung jedoch immer nach den durchschnittlichen Ansprüchen von kompletten Kundengruppen. Dieses System wird in der einschlägigen Literatur auch als anonyme Variantenfertigung bezeichnet. Um die sich ständig ändernden Kundenwünsche durch eine Variantenbildung zu erfüllen, sind die Hersteller gezwungen, ihr Produktangebot immer weiter zu verfeinern. Die Ausweitung der Angebote ist jedoch stets mit einer enormen Erhöhung der anfallenden Produktionskosten verbunden und steht letztendlich im Widerspruch zum eigentlichen produktionsbestimmenden Preisdruck.<sup>371</sup>

Ein stetiger Wechsel der Produktangebote verursacht neben einem höheren Aufwand für die Qualitätssicherung auch eine Steigerung der Komplexität in Bezug auf die Steuerung und Planung des Produktionsablaufs. Eine Variantenfertigung, unter der Beibehaltung von klassischen Fertigungsmethoden, ist demnach nicht sinnvoll. Erst durch die Einführung moderner Fertigungsmethoden<sup>372</sup> wird die Produktion mehrerer unterschiedlicher Module ermöglicht. Die Integration neuer Produktionssysteme gestattet unter anderem eine deutliche Reduktion der Rüstkosten einzelner Fertigungsanlagen. Trotzdem bleiben auch bei Verwendung von CAD-Systemen ab einer bestimmten Anzahl von Versionen, die produktionsbezogenen Wechselkosten sehr hoch.<sup>373, 374</sup>

Die steigende Komplexität bei zunehmender Variantenvielfalt ist also ein wesentlicher Kostenfaktor innerhalb einer Produktion. Der Komplexitätsgrad im betrieblichen Umfeld wird dabei von einer Fülle an internen und externen Komplexitätstreibern beeinflusst, die in diesem Zusammenhang nicht detailliert bestimmt werden.

Grundsätzlich wird die externe Komplexität von den marktseitigen Anforderungen bestimmt. Diese Nachfragekomplexität ist vom Unternehmen selbst nicht beeinflussbar, hat allerdings große Auswirkung auf die internen Beziehungen eines Unternehmens.<sup>375</sup>

<sup>371</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 128f.

<sup>372</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.3.1.

<sup>373</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 129.

<sup>374</sup> Die Potentiale einer computergestützten Fertigung sind in den Kapitel 3.3 genauer analysiert.

<sup>375</sup> Vgl. SCHOENEBERG, K.-P.: Komplexitätsmanagement in Unternehmen. S. 16ff.

Die sog. interne Komplexität wird hiergegen von Faktoren, wie der Komponentenanzahl oder der Fertigungstiefe bestimmt. Ein hoher Grad an Produktindividualisierung bedingt dabei eine steigende Innovationsdynamik und somit erheblich verkürzte Entwicklungszyklen.<sup>376</sup>

Die einschlägige Literatur nennt einen Kostenanstieg von 20 bis 30% durch jede Verdoppelung der Variantenanzahl. Die Gründe hierfür liegen in dem Anstieg des Produktionsaufwandes. Die Herstellung von unterschiedlichen Varianten bedingt beispielsweise eine zunehmend komplexer werdende Kundenstruktur und die Ausbildung verschiedener Marktsegmente. Dadurch wächst wiederum der Bedarf an Vermarktungs- und Vertriebsanforderungen.<sup>377</sup> Gleichzeitig erhöht sich die Anzahl an spezifischen Komponenten in der Fertigung, die nur für eine bestimmte Variantenart verwendet werden können. Die Zahl standardisierter Elemente wird somit rückläufig. Durch die große Menge an unterschiedlichen Komponenten erhöht sich auch der Aufwand bei der Beschaffungs- und Lagerungslogistik. Je höher die Anzahl an Varianten wird, desto geringer werden die Losgrößen. Dadurch wird eine regelmäßige Umstellung der Produktion erforderlich, die zu einem hohen Koordinationsbedarf und erhöhten Rüstkosten führt. Zudem drohen durch die diskontinuierliche Produktion längere Lagerungszeiten sowie fertigungsbedingte Verluste durch Stillstände.<sup>378</sup>

Um dieser gesteigerten Komplexität entgegenzuwirken, werden in der Literatur drei entwickelte Basisstrategien genannt.

Die Strategie der Komplexitätsvermeidung zielt dabei auf die präventive Verhinderung von der Entstehung eines zusätzlichen Aufwandes ab. Ein Beispiel dafür ist die Modularisierung von Produkten oder Bauteilen. Dadurch können die Komponenten mit hohem Innovationsbedarf von jenen mit niedrigen Veränderungsanforderungen getrennt werden. Auf diese Weise müssen bei einem zukünftigen Adaptionwunsch ausschließlich die nötigsten und daher wesentlichsten Elemente eines Moduls verändert werden.

Als zweite Methode wird die Komplexitätsbeherrschung genannt. Ziel dieser Strategie ist es, die interne Komplexität, welche nicht vermieden werden kann, durch möglichst effiziente Systeme und Abläufe zu beherrschen. Die Handhabung der Komplexität kann dabei durch flexible Schnittstellengestaltung oder durch leistungsstarke IT-Systeme geschehen.

Eine weitere Möglichkeit ist die Komplexitätsreduktion. Um am Markt bestehen zu können, wird auf einen Teil der Varianten oder Komponenten verzichtet. Durch die Entwicklung von kombinierbaren

<sup>376</sup> Vgl. SCHOENEBERG, K.-P.: Komplexitätsmanagement in Unternehmen. S. 17.

<sup>377</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 133.

<sup>378</sup> Vgl. Ebd. S. 134.

Modulen kann trotz einer geringer werdenden Anzahl an Elementvarianten eine hohe Produktvielfalt sichergestellt werden.<sup>379</sup>

### 3.1.6.2 Einzelfertigung

Anders als in der Variantenfertigung wird in der kundenbezogenen Einzelfertigung nicht nach einer Segmentierung des Marktes gestrebt, sondern versucht, auf die speziellen Anforderungen jedes einzelnen Kunden einzugehen. Die erstellten Leistungen werden an die konkreten Ansprüche des Käufers angepasst und so eine echte Individualisierung in der Produktion erreicht. Im Gegensatz zur Variantenfertigung muss sich der Kunde oder Bauherr in der Einzelfertigung nicht zwischen einer vorgegebenen Auswahl mehrerer Produktkomponenten entscheiden, sondern gibt die konkreten Vorstellungen an die Produktentwicklung weiter. Erst nach der Übermittlung des Kundenauftrags wird mit dem Produktionsprozess begonnen.<sup>380</sup> Diese Art der Fertigung stellt derzeit auch in der industriellen Vorfertigung die gängigste Produktionsmethode dar.<sup>381</sup>

Die wesentlichen Charakteristika der individuellen Einzelfertigung sind, neben der auftragsbezogenen Kalkulation, ein sehr niedriger Vorfertigungsgrad, sowie die auftragsbezogene Erstellung von Fertigungsunterlagen. Ähnlich wie die variantenreiche Produktion, bringt auch die nach Kundenwünschen erarbeitete Einzelfertigung eine Reihe von zusätzlichen Kosten mit sich. Im Vergleich zu einer strikten Massenproduktion sind die Kosten der Einzelfertigung deutlich höher. Dies ist, wie auch im Falle der Variantenfertigung, vor allem auf die gesteigerte Komplexität der zugrunde liegenden Unternehmensprozesse zurückzuführen. Während sich bei der Variantenfertigung die Transaktionskosten allerdings auf die unterschiedlichen Varianten verteilen, ist bei der Einzelfertigung durch die hohen Abstimmungskosten mit noch höheren Transaktionskosten in der Abwicklung von Serviceaufträgen zu rechnen.<sup>382</sup>

Gleichzeitig erhöht sich die Intensität des erforderlichen Informationsflusses. Da die individuelle Fertigung meist eine Produktion mit Losgröße eins erfordert, wird die direkte Kommunikation zwischen Hersteller und Kunde erforderlich. Somit ist mit einer deutlich höheren Komplexität der produktionsbegleitenden Dienstleistungen und erforderlichen Kommunikation mit dem Abnehmer zu rechnen. In extremen Fällen ist zudem der Entwicklungsaufwand einer

<sup>379</sup> Vgl. SCHOENEBERG, K.-P.: Komplexitätsmanagement in Unternehmen. S. 20f.

<sup>380</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 136f.

<sup>381</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.6.5.

<sup>382</sup> Vgl. Ebd. S. 139.

Einzelfertigung gleich groß, wie jener Aufwand für die Entwicklung einer großen Losgröße.<sup>383</sup>

Der wesentliche Vorteil der kundenbezogenen Fertigung gegenüber einer variantenreichen Produktion liegt in dem wirtschaftlicheren Umgang der tatsächlichen Materialbeschaffung nach einem Lean-Prinzip. Während bei der anonymen Variantenfertigung, wie auch bei der Massenfertigung, auf Verdacht vorgefertigt wird, produziert die Einzelfertigung erst auf Bestellung. Dadurch werden die Bestände fertiggestellter Waren, und somit auch die Lagerkosten, erheblich gesenkt. Um trotz der stets unterschiedlichen Materialanforderungen einen kontinuierlichen Produktionsablauf sicherzustellen, muss besonderes Augenmerk auf ein reibungsloses Bestellsystem gelegt werden. Dies verursacht nicht nur zusätzliche Transaktionskosten, sondern stellt auch hohe Anforderungen an eine intensive Zusammenarbeit zwischen den Produzenten und Lieferanten.<sup>384</sup>

Während bei der Variantenproduktion eine immer größer werdende Vielzahl an Produktversionen entwickelt wird, um immer mehr Kundengruppen anzusprechen, wird bei der Einzelfertigung auf eine vollständige Individualisierung der Leistungserstellung gesetzt. Dies hat eine enorme Steigerung der Komplexitätskosten zur Folge, die sich wiederum negativ auf die Nachfrage auswirken kann. Diesem Widerspruch soll durch moderne Computer Integrated Manufacturing - Technologien (kurz: CIM - Technologien) entgegengewirkt werden. Durch flexible Fertigungssysteme werden die wirtschaftlichen Vorteile einer standardisierten Produktion auf die Methode der Einzelfertigung übertragen. Die Verbindung der Vorteile einer Massenproduktion und individuellen Fertigung wurde bereits im Kapitel zur Mass Customization vorgestellt.<sup>385</sup>

### 3.1.6.3 Gegenüberstellung: Einzelfertigung versus Variantenfertigung

Der unmittelbare Vergleich zwischen der Einzel- und die Variantenfertigung zeigt einige wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Produktionssystemen. Ein entscheidender Unterschied besteht dabei in der Art und Abwicklung der Angebots- und Projektkalkulation.

Da der Preisbildungsprozess in der individuellen Einzelfertigung üblicherweise vor der technischen Entwicklung der Bauteile abläuft, muss nicht nur das Entwicklungsrisiko, sondern auch das technische und technologische Risiko, in Form von Zuschlägen mit dem angebotenen Preis gedeckt sein.

<sup>383</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 141ff.

<sup>384</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 144ff.

<sup>385</sup> Vgl. Ebd. S. 150f.

Bei einer Variantenfertigung muss hiergegen zwar die Entwicklungs- oder Entwurfsarbeit auch von Kostenschätzungen ausgehen, die eigentliche Festlegung des endgültigen Preises geschieht jedoch erst nach der Entwicklung eines Prototyps und den dafür notwendigen technischen Vorarbeiten. Das interne Risiko, das aufgrund der Fertigung oder der eingesetzten Technologie entsteht, ist daher um einiges geringer als jenes einer kundenindividuellen Einzelfertigung. Im Gegensatz dazu muss bei der Fertigung von größeren Stückzahlen das Risiko auch Gewinn zu generieren und des dafür notwendigen Absatzmarktes getragen werden.<sup>386</sup>

Ein weiterer Unterschied liegt in der Verrechnung der auftretenden Entwicklungs- und Konstruktionseinzelkosten. Diese fassen unter anderem die Ausgaben für die Konzeption, den Entwurf und die Konstruktion der Bauteile oder Module, sowie deren Erprobung zusammen und werden in der Serienfertigung auf die berechnete Absatzmenge umgelegt. Bei der Einzelfertigung müssen diese Kosten hiergegen mit jedem individuellen Kundenauftrag direkt verrechnet werden.<sup>387</sup>

Ähnliches gilt für die Berücksichtigung der sog. Sondereinzelkosten. Werden für die Fertigung der Bauteile individuelle Betriebsmittel, wie bspw. spezielle Sensoren oder Bohrer benötigt, müssen diese Kosten in der sog. Zuschlagskalkulation<sup>388</sup> dem endgültigen Preis zugeschlagen werden. Dies geschieht bei der reinen Einzelfertigung direkt auf den jeweiligen Auftrag. Bei der Variantenfertigung werden die Kosten anteilig auf die ermittelte Stückzahl umgelegt, was auch als Divisionskalkulation bezeichnet wird.<sup>389</sup>

Zudem fallen im Falle der Kostenermittlung bei einer Einzelfertigung die Dauer der Rüstzeit und die Größe der zu produzierenden Lose deutlich stärker ins Gewicht, als dies bei der Variantenfertigung der Fall ist. Laut Fachliteratur bewegt sich der Anteil der Rüstzeit bei Maschinenwerkstätten derzeit zwischen zehn und 100% der jeweiligen Ausführungszeit. Um dennoch kleinere Losgrößen wirtschaftlich produzieren zu können, müssen die Möglichkeiten der Maschinenumrüstung optimiert werden. Diese Kausalität wird an dieser Stelle nur erwähnt und im Kapitel Reduktion der Rüstkosten genauer beschrieben.<sup>390</sup>

Während die Rüstkosten in der Produktion von immergleichen Bauteilen, wie etwa bei der Massenproduktion oder bei einer Großserienproduktion,

<sup>386</sup> Vgl. BRONNER, A.: Angebots- und Projektkalkulation. S. X.

<sup>387</sup> Vgl. Ebd. S. 10.

<sup>388</sup> Die Zuschlagskalkulation ist eine Methode zur Angebotsermittlung, bei der sämtliche Gemeinkosten mittels Zuschlagssätze auf die berechneten Einzelkosten zugeschlagen werden.

<sup>389</sup> Vgl. BRONNER, A.: Angebots- und Projektkalkulation. S. 61f.

<sup>390</sup> Vgl. Ebd. S. 38.

deutlich sinken, steigt jedoch der Aufwand für die Lagerkosten, also auch die Raum- und Zinskosten teils erheblich an.

Durch die Gegenläufigkeit dieser Kostenentwicklung kann eine wirtschaftlich optimale Losgröße einer Produktion bestimmt werden. Dieser Zusammenhang ist in der nachstehenden Grafik veranschaulicht.

Kosten in € / Stck

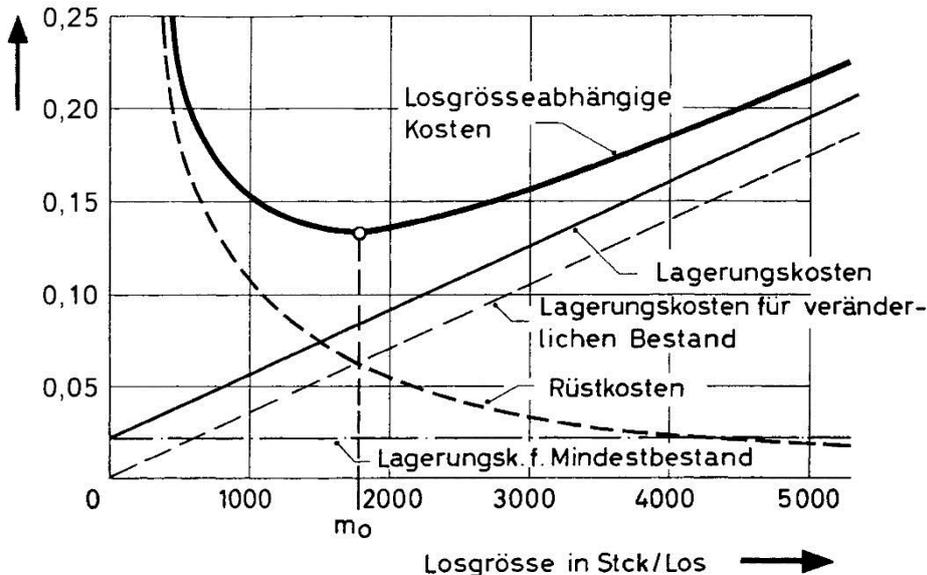


Abbildung 52 Ermittlung der wirtschaftlichsten Losgröße<sup>391</sup>

Während die Höhe der Rüstkosten mit Zunahme der Losgröße in einer Normalhyperbel abfällt, steigen die Lagerkosten direkt proportional zum Bestand an. Der Verlauf der Rüstkosten ist in der Grafik als strichlierte Linie dargestellt. Jener der Lagerkosten als feine, durchgezogene Linie.

Aus der Summe der beiden Kostengruppen werden die sog. losgrößenabhängigen Kosten ermittelt. Diese sind in der Abbildung als dicke durchgängige Kurvenlinie dargestellt. Der Scheitelpunkt dieses Grafen bildet dabei die wirtschaftlich optimalste Losgröße einer Fertigung.

Die Kostentreiber innerhalb einer Produktion werden demnach größtenteils von der Komplexität der Fertigung und der zugehörigen Support-Prozesse beeinflusst. Diese Komplexität wird derzeit meist mithilfe moderner KIT bewältigt.

Nach der Beschreibung der kostenspezifischen Grundlagen des industriellen Bauens werden in den nun folgenden Kapiteln die Auswirkungen einer industriellen Bauweise auf die Planung, sowie die speziellen Anforderungen an die Gebäudetechnikplanung näher analysiert.

<sup>391</sup> BRONNER, A.: Angebots- und Projektkalkulation. S. 39.

### 3.2 Auswirkungen auf die Planung im industriellen Bauen

Die Entscheidung industriell vorzufertigen hat nicht nur Auswirkungen auf die Phase der Arbeitsvorbereitung, sondern stellt bereits innerhalb der Konzeptfindung teils sehr hohe Ansprüche. Die Vorleistung einer Planung ist besonders im Hinblick auf die Reduktion unnötiger Kosten wesentlich. Bereits in einer sehr frühen Phase der Projektentwicklung müssen Entscheidungen getroffen werden, welche später grundsätzlich zur endgültigen Kostenentwicklung der Projekte beitragen werden.

Allerdings steht eine sog. integrale Planung<sup>392</sup> laut Ansicht von Experten im direkten Gegensatz zur derzeitigen Vergabesituation. Insbesondere bei öffentlichen Bauvorhaben werden die Entwurfsaufgaben in Form von Architekturwettbewerben vergeben. Der dabei von den teilnehmenden Architekten entwickelte Vorentwurf wird meist ohne integrale oder interdisziplinäre Planung abgewickelt. Erst nach dem Zuschlag an den Wettbewerbsgewinner wird ein komplettes Planungsteam zusammengestellt, welches unter Berücksichtigung des bereits ausgearbeiteten Konzepts zusätzliche Planungsanforderungen umsetzen muss. Dieses Vorgehen erweist sich allerdings aufgrund von im Nachhinein erforderlich gewordenen Planänderungen meist als ineffizient.<sup>393</sup>

Die Anforderungen an die Planungsleistung sind in den nachfolgenden Kapiteln zusammengefasst.

#### 3.2.1 Vorleistung der Planung

Der Bauherr stellt, unabhängig von der gewählten Bauweise, hohe Ansprüche an ein sowohl kostengünstiges als auch hochwertiges Gebäude. Besonders im Wohnbau müssen die individuellen Vorstellungen und Bedürfnisse an das Eigenheim in der Planung und Umsetzung des Bauvorhabens berücksichtigt werden. Die Anforderungen an eine persönliche Ausgestaltung der vorgefertigten Komponenten sind meist mit einem sehr hohen Planungsaufwand verbunden. Dieser kann meist nur durch die Einführung eines Automatisierungsprozesses in der Produktion gesenkt werden.<sup>394</sup>

Allgemein betrachtet werden die vom Architekten oder Fachplaner übermittelten Entwurfsdaten in der Vorbereitungsphase zur Werkfertigung in ein virtuelles, meist räumliches oder zweidimensionales Gebäudemodell übergeführt. Daraus werden unter anderem die Werkspläne, die Werkstattpläne, sowie die Montagepläne für die Baustelle als auch die eigentlichen Fertigungspläne für die werkseitige

<sup>392</sup> Die integrale Planung zeichnet sich durch eine frühzeitige, interdisziplinäre Zusammenarbeit unterschiedlicher Spezialisten aus. Dabei werden bereits in einer sehr frühen Planungsphase Faktoren wie die statischen Anforderungen, TGA und die speziellen Voraussetzungen für den späteren Rückbau berücksichtigt.

<sup>393</sup> Vgl. KAUFMANN, H.: Fit machen für systematisches Bauen. In: Mikado, 9/2014, S. 21.

<sup>394</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 11.

Produktion abgeleitet, welche in weiterer Folge die Basis für die späteren Montagearbeiten vor Ort bilden. Diese Arbeitsweise wurde bereits in Kapitel 2.3.1 näher beschrieben.

Neben den Montageplänen werden anhand des virtuellen Gebäudemodells auch einzelne Bauteilzeichnungen erstellt, welche für die Arbeitsvorbereitung im Vorrichtungsbau<sup>395</sup> verwendet werden. Durch die Bauteilzeichnungen kann der Bedarf an Bewegungs- und Bearbeitungsflächen, sowie der Bedarf an Bau- und Hilfsstoffen ermittelt werden.<sup>396</sup>

Eine weitere Anforderung an die Planungsleistung im Vorfeld der Produktion ist die Erstellung von Stücklisten, Einzelstückzeichnungen, Material- und Produktionslisten. Mithilfe dieser Daten wird das für die Produktion erforderliche Material vom Lieferanten bestellt und kann direkt in die Werkshalle geliefert werden. Da die benötigten Bau- und Hilfsstoffe meist von mehreren Betrieben angeliefert werden, wird hier neben einer exakten Planung auch ein reibungsloser Datenaustausch zwischen Planern, Arbeitsvorbereitung und zuliefernden Betrieben erforderlich.<sup>397</sup>

Auch die geometrischen Datensätze, die für die CNC – Bearbeitung der einzelnen Werkstücke erforderlich sind, werden in der Planungs- und Vorbereitungsphase anhand des erstellten Gebäudemodells generiert. Diese Datensätze werden an eine meist automatisierte Produktionsanlage weitergeleitet und stellen hohe Anforderungen an die Maßhaltigkeit der entwickelten Gebäudeelemente.<sup>398</sup>

<sup>395</sup> Im Vorrichtungsbau werden meist sehr komplexe und kostenintensive Werkzeuge oder Maschinen zur Anwendung unterschiedlicher Produktionsmethoden hergestellt.

<sup>396</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 11.

<sup>397</sup> Vgl. Ebd. S. 11.

<sup>398</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 543f.

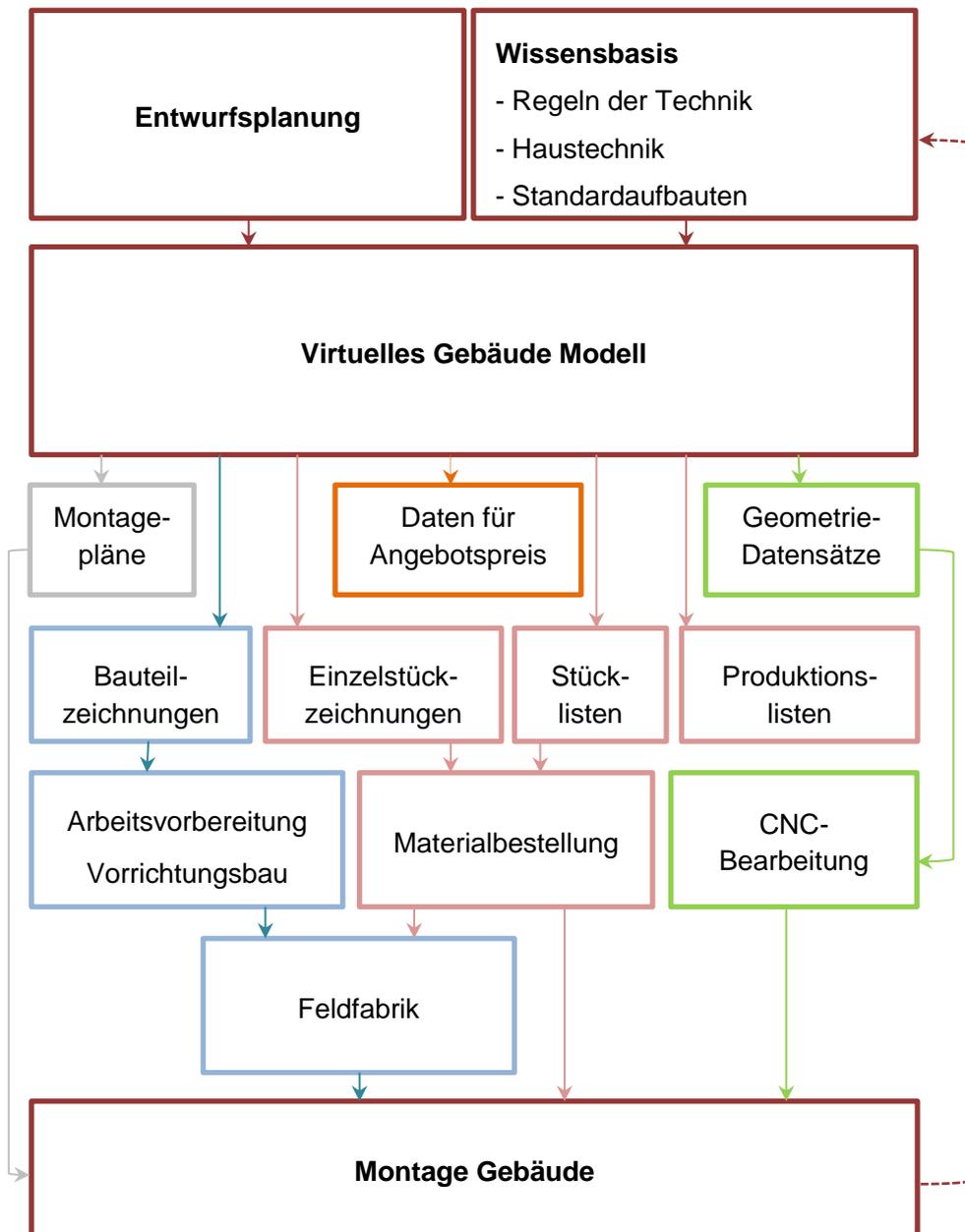


Abbildung 53 Planungsschritte beim industriellen Bauen<sup>399</sup>

Die oben abgebildete Grafik zeigt die vernetzten allgemein gültigen, baustoffunabhängigen Anforderungen an die Planungsleistung in der Abwicklung von vorgefertigten Bauten.

Neben den beschriebenen Punkten der Planung muss auch die Möglichkeit eines späteren Änderung innerhalb eines Projekts bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden.<sup>400</sup>

<sup>399</sup> In Anlehnung an M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 21.

<sup>400</sup> Vgl. KESSEL, M. et al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht. S. 11.

Ein weiterer wesentlicher Punkt, der bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden muss, ist die erwartbare Wirtschaftlichkeit der geplanten Bauvorhabens. Je höher die serielle Wiederholung in einem Entwurf ist, desto leichter lassen sich modulare Strukturen einbinden und vorfertigen. Die serielle Wiederholung bezieht sich dabei jedoch nicht auf die eigentliche Geometrie, sondern auf die einheitliche Verwendung von Materialien innerhalb eines Projekts. Neben diesen Überlegungen muss nach der Fertigstellung des Entwurfs eine geeignete Basis für die Erstellung der Angebote erarbeitet werden. Auch dies geschieht meist anhand digital erstellter Gebäudemodelle.<sup>401</sup>

Während der Planungsphase müssen demnach bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt Entscheidungen getroffen werden, die sowohl an die Gestaltung der Fertigungssysteme, als auch auf die zu erwartenden Kosten des Gebäudes und auf die Art der Projektabwicklung und schließlich auch auf die Bauzeit selbst Auswirkungen haben.

Diese gegenläufige Bewegung zwischen der Beeinflussbarkeit der Kosten während des Entwurfs und die letztendlich anfallenden Lebenszykluskosten eines Projekts ist in der nachstehenden Grafik abgebildet.

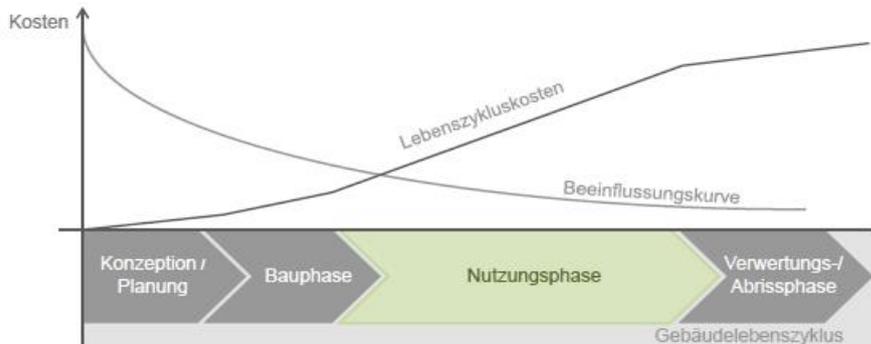


Abbildung 54 Kostenbeeinflussbarkeit in Abhängigkeit des Lebenszyklus.<sup>402</sup>

Während in der Phase der Konzeption und Planung eine hohe Beeinflussbarkeit der Kosten bei einer sehr geringen Auswirkung auf die Höhe der Lebenszykluskosten gegeben ist, reduziert sich diese Beeinflussbarkeit bereits in der Bauphase erheblich.

In der Nutzungs- und schließlich auch in der Verwertungsphase ist eine Beeinflussung der Kosten schließlich fast nicht mehr gegeben.

<sup>401</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 11.

<sup>402</sup> Vgl. KUMMERT, K.; MAY, M.: Nachhaltiges Facility Management. S. 71.



Arbeitsplätze und eine Optimierung des sog. Workflows<sup>405</sup> sicherzustellen. Hierbei werden alle Prozesse einer bestimmten Funktion in der Abwicklung von Aufträgen zugewiesen und einer Optimierung des Produktionsablaufs untergeordnet.<sup>406</sup>

### 3.2.1.2 Design to Cost

Design to Cost beschreibt hiergegen ein Managementkonzept, welches die zu erwartenden Kosten bereits in der Produktentwicklungsphase festlegt. Da die Zusammenhänge zwischen den technischen und wirtschaftlichen Aspekten eines Gebäudes oder Produkts meist sehr eng und komplex miteinander verbunden sind, muss auch während der Entwicklungsphase eine enge Zusammenarbeit zwischen Entwicklung und Konstruktion stattfinden. Der Ausdruck Design to Cost beschreibt zudem eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Produktion inklusive aller technischen und wirtschaftlichen Vorgaben und Anforderungen.<sup>407</sup>

Um die im Vorhinein bestimmten Kosten nicht zu überschreiten, werden bereits während der Planung die Kosten sowie der Nutzen einer Konstruktion in den Mittelpunkt der Überlegungen gestellt.<sup>408</sup>

## 3.2.2 Anforderungen an die Gebäudetechnikplanung

Nach den allgemeinen Anforderungen an die Vorleistung der Planung im industriellen Bauen, werden an dieser Stelle die konkreten Ansprüche an die Gebäudetechnikplanung näher beschrieben.

Der Begriff Gebäudetechnik ist als Teilgebiet der sog. Versorgungstechnik zu verstehen, die alle Maßnahmen, welche die stoffliche und energetische Versorgung und Entsorgung einer definierten Einheit sicherstellt, beinhaltet. Während die Versorgungstechnik jedoch sämtliche Gebäude, Anlagen, Einrichtungen und Betriebstätten betrachtet, wird innerhalb der Disziplin der Gebäudetechnik lediglich die Technische Gebäudeausrüstung (kurz: TGA) von Gebäuden, Nichtwohngebäuden und Industrieanlagen behandelt.<sup>409</sup>

Generell wird die Gebäudetechnik dabei in drei Untergruppen aufgesplittet. Das sind die Zentralen, Leitungen und Anlageteile.

Die Zentralen der Gebäudetechnik bilden hier die Schnittstellen zur externen Infrastruktur. Sie stellen die Übergabestation der unterschiedlichen Medien dar.

<sup>405</sup> Unter Workflow werden der Arbeitsablauf und eine klar definierte Folge von unterschiedlichen Arbeitsschritten innerhalb eines Systems verstanden.

<sup>406</sup> Vgl. WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. S. 11.

<sup>407</sup> Vgl. ERMANNI, P.: Composites Technologien. Skriptum. S. 192.

<sup>408</sup> Vgl. Ebd. S.193.

<sup>409</sup> Vgl. SCHMID, G.; SCHICKHOFER, G.: Gebäudetechnik für Geschößbauten im Holzmassivbau. Bericht. S. 8.

Unter den Anlagenteilen werden sämtliche haustechnischen Geräte, aber auch alle messtechnischen Komponenten und Armaturen zusammengefasst.

Das erforderliche Leitungsnetz verbindet schließlich alle Anlagenteile mit den Zentralen der Gebäudetechnik und stellt den Transport unterschiedlicher Medien in elektrischer, signaltechnischer, flüssiger oder gasförmiger Konsistenz sicher.<sup>410</sup>

Diese einzelnen Komponenten sind in der nachfolgenden Grafik schematisch für ein Gebäude abgebildet.

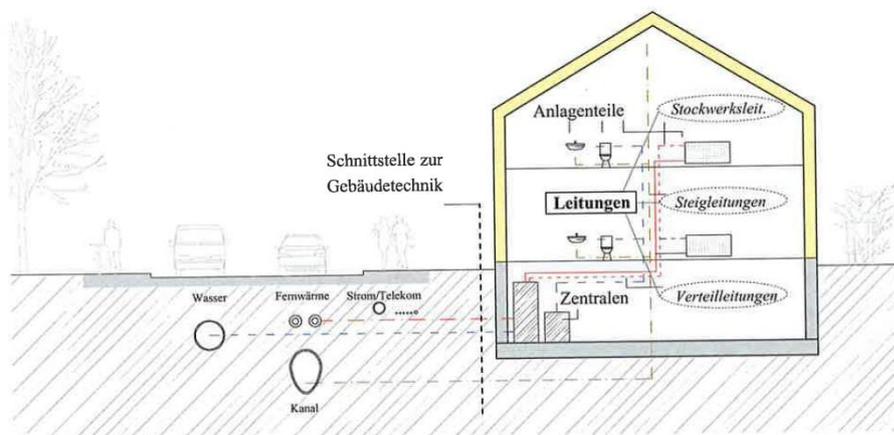


Abbildung 56 Komponenten der Gebäudetechnik<sup>411</sup>

Um während der Nutzungsphase ein reibungsloses Funktionieren der Gebäudetechnik zu ermöglichen, muss die Positionierung und gegenseitige Wechselwirkung der einzelnen Anlagenteile bereits in der Planung des Gebäudes durchdacht werden.

Die Einbindung der Gebäudetechnik in die vorgefertigte Bauweise stellt besonders bei der Integration von wasserführenden Leitungssystemen eine teils enorme Herausforderung dar. Vor allem im Holzbau können undichte Leitungen zu unkontrolliertem Wasseraustritt führen, der meist irreversible Schäden an der Konstruktion bis hin zur Holzsubstanz verursachen kann.<sup>412</sup>

Um dieser Kausalkette entgegenzuwirken, muss daher die Planung der Leitungsführungen und die Positionierung der Versorgungschächte zu einem sehr frühen Zeitpunkt, im besten Fall bereits in der Entwurfsphase, mitbedacht und innerhalb eines interdisziplinären, gewerkeübergreifenden Planungsprozesses erarbeitet werden. Dabei

<sup>410</sup> Vgl. SCHMID, G.; SCHICKHOFER, G.: Gebäudetechnik für Geschößbauten im Holzmassivbau. Bericht. S. 8.

<sup>411</sup> SCHMID, G.; SCHICKHOFER, G.: Gebäudetechnik für Geschößbauten im Holzmassivbau. Bericht. S. 9.

<sup>412</sup> Vgl. Ebd. S.7.

wird oft auch der erforderliche Platzbedarf der zentral oder vertikal geführten Steigleitungen der Versorgungstechnik unterschätzt.<sup>413</sup>

Eine weitere Herausforderung stellt die Planung und Ausführung der horizontalen Verbindungsstrecken zwischen den vertikalen Steigleitungen und den Sanitäreinrichtungen dar. Wird dieser Planungsbedarf in der Entwurfsphase vernachlässigt, muss die Leitungsführung durch Vor-Ort-Entscheidungen bestimmt werden, welche meist ein Verlegen der Rohre in konventioneller Weise im Fußbodenaufbau vorsehen. Diese Methode kann jedoch durch das Ignorieren von Anforderungen, wie das Einhalten von minimalen Leitungsfällen, zu erheblichen Ausführungsmängeln und letztlich zu erheblichen Bauschäden führen. Zudem erhöht das Prinzip einer verdeckten Leitungsführung die Gefahr des nicht rechtzeitigen Erkennens von auftretenden Wasserschäden.

Die unsichtbare und unzugängliche Verlegung der Versorgungsrohre im Fußbodenaufbau stellt jedoch bislang im Geschosswohnbau die häufigste Verlegart und den Stand der Technik dar. Allerdings wird in der Fachliteratur häufig darauf hingewiesen, dass dieses Vorgehen nicht mehr dem State of the Art entspricht. Beispielsweise verweisen hier Experten darauf<sup>414</sup>, dass aufgrund der unterschiedlich langen Nutzungsdauer der einzelnen Komponenten der Versorgungstechnik eine leicht reversierbare Verlegeart der Rohrleitungen von Vorteil wäre.<sup>415</sup>

Dabei muss die Planung der Leitungsführung besonders im Wohnbau als interdisziplinärer Prozess verstanden werden, der sowohl gestalterische und bauphysikalische, als auch statische und technische Aufgaben übernimmt. In diesem Fall beeinflusst vor allem die Art der horizontalen Leitungsführung, ob sichtbar, in Aussparungen, hinter Vorsatzschalen oder im Fußbodenaufbau, die Möglichkeiten der Zugänglichkeit, der Wartung und Sanierung erheblich und trägt auch wesentlich zu den zu erwartenden Lebenszykluskosten einer Anlage bei.<sup>416</sup>

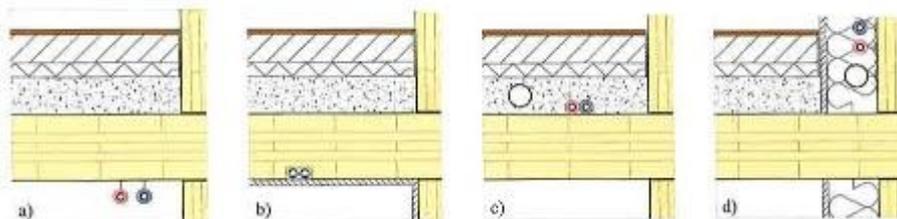


Abbildung 57 mögliche Arten der Leitungsführung<sup>417</sup>

<sup>413</sup> Vgl. SCHMID, G.; SCHICKHOFER, G.: Gebäudetechnik für Geschossbauten im Holzmassivbau. Bericht. S. 7.

<sup>414</sup> Vgl. SCHMID, G.; SCHICKHOFER, G.: Gebäudetechnik für Geschossbauten im Holzmassivbau. Bericht. S. 1ff.

<sup>415</sup> Vgl. Ebd. S.7.

<sup>416</sup> Vgl. Ebd.S.11.

<sup>417</sup> SCHMID, G.; SCHICKHOFER, G.: Gebäudetechnik für Geschossbauten im Holzmassivbau. Bericht. S. 11.

In der oben abgebildeten Grafik sind die prinzipiellen Einbausituationen und Möglichkeiten einer Leitungsführung ober bzw. unterhalb einer Decke dargestellt.

Eine sichtbare Leitungsführung (Abbildung 57 a) wird derzeit aus optischen und schalltechnischen Gründen im Wohnbau kaum umgesetzt. Im Hinblick auf die Kontrollierbarkeit und die gegebenen Möglichkeiten der Wartung ist diese Verteilervariante allerdings als sehr positiv zu bewerten.

In den unterschiedlichen mineralischen Massivbauweisen, aber auch im Holz-Massivbau findet die Installationsvariante in kleineren Schlitzten oder Aussparungen (Abbildung 57 b) besonders bei der Verlegung von Leitungen kleinerer Dimensionen, wie bspw. Elektroleitungen, vermehrt Anwendung. Aufgrund statischer und schalltechnischer Anforderungen, werden jedoch vor allem Sanitärinstallationen hinter zusätzlichen Vorsatzschalen verlegt. Im Holz-Massivbau muss bei dieser Art der Verteilung allerdings besonders auf ein mögliches Abzeichnen von Wasserflecken in der Schlitzabdeckung geachtet werden.

Bei der Leitungsführung in einer Vorsatzschale (Abbildung 57 d) werden die Installationen entkoppelt von der Wand oder Decke montiert und anschließend mit vorgesetzten Schalen meist aus Gipskartonplatten verkleidet. Diese Art der Leitungsführung wird besonders bei Neubauten in Massiv- oder Skelettbauweise angewandt und stellt laut Expertenmeinung eine kostengünstige und einfache Sanierung und Wartung sicher. Allerdings erhöht sich dabei das Risiko, dass mögliche Feuchteinträge hinter der vorgesetzten Schale lange Zeit unbemerkt bleiben und so im schlimmsten Fall zu erheblichen Bauschäden und Folgekosten führen. Zusätzliche Feuchteschutzmaßnahmen im Bereich der Vorsatzschale, sowie weitere Kontrollmaßnahmen wie bspw. spezielle, messtechnische Sensoren, sind demnach laut Fachliteratur erstrebenswert.<sup>418</sup>

Die nachfolgende Grafik bildet eine mögliche Leitungsführung unterschiedlicher TGA-Komponenten ab.

<sup>418</sup> Vgl. SCHMID, G.; SCHICKHOFER, G.: Gebäudetechnik für Geschößbauten im Holzmassivbau. Bericht. S. 12.

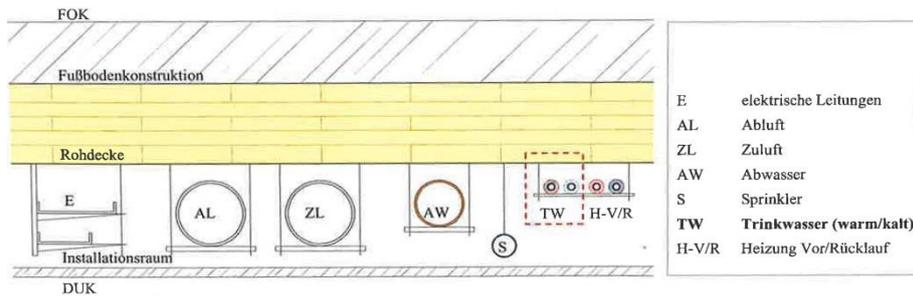


Abbildung 58 unterschiedliche Arten der Installation innerhalb einer abgehängten Decke<sup>419</sup>

Werden horizontale Verteilerleitungen über längere Distanzen erforderlich, erfolgt die Verlegung meist innerhalb unterschiedlicher Bauteilkonstruktionen. Die derzeit gängigste Methode ist dabei die Leitungsführung im Fußbodenaufbau. (Abbildung 57c) Diese Variante bietet zwar die Vorteile einer einfachen Verlegearbeit und geringen Planungsaufwandes bei der Leitungsführung, sowie einer sehr günstigen Erstinstallation, erhöht allerdings das Risiko eines unbemerkten Feuchteaustritts erheblich. Zudem erschwert die willkürliche und ungeplante Lage der Leitungsführungen mögliche Umbauarbeiten.<sup>420</sup>

An dieser Stelle sei auch die Forschungsarbeit zum Thema Holzbau der Zukunft verwiesen, die das Vorfertigungspotential von Installations-systemen im mehrgeschossigen Holzbau analysiert.<sup>421</sup> Obwohl der Vorfertigungsgrad der einzelnen Komponenten bereits sehr weit fortgeschritten ist, wird die Verbindung zwischen den Zentralen und Anlageteilen meist erst vor Ort hergestellt. In den seltensten Fällen wird derzeit die Leitungsführung bereits in der Vorfertigung berücksichtigt. Dabei können laut Expertenmeinung rund zwei Drittel aller Baumängel in der Versorgungstechnik auf Planungs- bzw. Ausführungsfehler zurückgeführt werden. Eine Verbesserung der Planungs- und Ausführungsqualität auch durch die Erhöhung des Vorfertigungsgrads wird laut Ansicht zahlreicher Fachleute in diesem Punkt daher sehr zielführend sein.<sup>422</sup>

Grundsätzlich müssen für die Erhöhung der Ausführungsqualität sechs Grundgedanken berücksichtigt werden. Diese sollen im Folgenden näher erläutert werden:

Ausgehend von einem vertikalen, meist zentral angeordneten Schacht, der sämtliche Ver- und Entsorgungsleitungen beinhaltet, wird eine möglichst zentralgelegene, horizontale Leitungsführung abgeleitet. Sowohl der vertikale Schacht, als auch das horizontale Leitungssystem

<sup>419</sup> SCHMID, G.; SCHICKHOFER, G.: Gebäudetechnik für Geschößbauten im Holzmassivbau. Bericht. S. 15.

<sup>420</sup> Vgl. SCHMID, G.; SCHICKHOFER, G.: Gebäudetechnik für Geschößbauten im Holzmassivbau. Bericht. S. 13.

<sup>421</sup> Vgl. HAUSLADEN, G.; HUBER, C.; HILGER, M.: Holzbau der Zukunft Teilprojekt 12. Modulare, vorgefertigte Installationen in mehrgeschossigen Holzbauwerken. Forschungsbericht. S. 1ff.

<sup>422</sup> Vgl. Ebd. S. 44ff.

wird weitgehend vom Tragwerk und den Ausbauelementen entkoppelt und kann als gesamtes System im Werk vorgefertigt werden.

Die einzelnen Leitungstrassen werden im Gebäude dabei so positioniert, dass eine möglichst einfache Wartung durch mehrere Öffnungs- und Revisionsschächte gegeben ist. Zudem sollen zusätzliche Platzreserven eine nachträgliche Erweiterung der Gebäudetechnik für künftige Komponenten und Nutzerbedürfnisse ermöglichen. Auch dieser Punkt muss bereits in der anfänglichen Planungsphase bedacht und konzeptioniert werden.

Durch die Vorfertigung der Versorgungsschächte können diese bereits im Werk mit geeigneten Materialien für Brand-, Schall- und Wärmeschutz ausgekleidet werden. Zusätzlich können auch Leerverrohrungen für Leitungen im Werk mit dem benötigten Gefälle installiert werden. Dadurch lässt sich die Ausführungsqualität der Gebäudetechnik erheblich steigern und für spätere ev. Erforderliche Adaptionsmaßnahmen Vorsorge treffen.<sup>423</sup>



Abbildung 59 komplett vorgefertigter Sanitärschacht eines dreigeschossigen Gebäudes<sup>424</sup>

Die separate Vorfertigung der einzelnen Technikkomponenten und der entkoppelte Einbau der Trassenführung im Werk ermöglicht nicht nur eine rasche Montage auf der Baustelle, sondern auch ein optimiertes und auch später leicht mögliches Ein-, Aus- und Umbauen der einzelnen Einheiten.<sup>425</sup>

Für diese flexible Gestaltung der Trassenführung muss vor Baubeginn allerdings ein exakter Ablauf der Integration der Gebäudetechnik bspw. im Modul überlegt werden. Die Werksfertigung von Modulen oder ganzer Bauelemente erfordert neben einer flexiblen Gestaltung in der Verbindungstechnik eine exakte Komponentenfertigung und

<sup>423</sup> Vgl. HAUSLADEN, G.; HUBER, C.; HILGER, M.: Holzbau der Zukunft Teilprojekt 12. Modulare, vorgefertigte Installationen in mehrgeschossigen Holzbauwerken. Forschungsbericht. S. 78ff.

<sup>424</sup> KAUFMANN, H.: Gebäudetechnik im seriellen Holzbau. Bericht. S. 61.

<sup>425</sup> Vgl. HAUSLADEN, G.; HUBER, C.; HILGER, M.: Holzbau der Zukunft Teilprojekt 12. Modulare, vorgefertigte Installationen in mehrgeschossigen Holzbauwerken. Forschungsbericht. S. 92ff.

Produktionsplanung. Diese beinhaltet, wie im vorhergegangenen Kapitel beschrieben, nicht nur den Stand der Technik sowie diverse Standardaufbauten, sondern auch die Integration der gesamten Gebäudetechnik in den Entwurf. Dies setzt wiederum ein breites Wissen über die Anforderungen an die bauphysikalischen und technischen Aspekte der Haustechnik voraus.<sup>426</sup>

Neben der Organisation der Gebäudetechnik im Element oder Modul müssen während der Planungsphase bereits die Möglichkeiten der Montage im Werk bedacht werden. Während Tragwerkskomponenten, wie Dach- oder Wandelemente, meist auf vollautomatisierten Abbundanlagen zugeschnitten und auf sog. Nagelbrücken gefügt und komplettiert werden, erfolgt die Installation der Gebäudetechnik bis jetzt meist manuell und größtenteils im Nachhinein. Nur das Bohren diverser Wandanschlussöffnungen und das Setzen der Elektrodosen wird oftmals maschinell auf automatisierten Anlagen bewerkstelligt.<sup>427</sup>

Zudem muss bei der Planung der Gebäudetechnik auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebs der verwendeten Anlagen während der Nutzungsdauer geachtet werden. Die Haustechnik ist derzeit einer der wesentlichsten Faktoren für die gesamte Höhe der eigentlichen Lebenszykluskosten eines Objekts. Die Planung der Gebäudetechnik muss daher einige sehr komplexe Themengebiete inkludieren. Einige Beispiele dafür wären laut Fachliteratur:

- Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung
- die unterschiedlichsten technischen Einrichtungen zur Erzeugung von bspw. Heizenergie, wie Solaranlagen oder Anschlüsse für Fernwärmeleitungen
- die Installation von Heizkörpern oder die Verlegung von Heizungsrohren im Fußboden
- die Integration von Telekommunikations-, Alarm- oder Steuerungseinrichtungen, oder Bussysteme.<sup>428</sup>

Die Planungsphase und vor allem die Gebäudetechnikplanung stellt besonders im industriellen Bauen eine Herausforderung dar. Dabei müssen nicht nur die Wünsche des Bauherren und Nutzers, sondern auch die Bedingungen der späteren Produktionsabläufe berücksichtigt werden. Mithilfe einer klaren Konzipierung der Gebäudetechnik kann letztendlich auch ein insgesamt höherer Lebenszyklusnutzen und geringere Betriebskosten erreicht werden.<sup>429</sup>

<sup>426</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 20.

<sup>427</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 16.

<sup>428</sup> Vgl. GIRMSCHEID, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 322.

<sup>429</sup> Diese Aspekte werden in Kapitel 4.7.3 näher analysiert.

Nachdem nun die allgemeinen Anforderungen an die Abwicklung der Planung von industriell produzierten Gebäuden beschrieben wurden, werden im anschließenden Kapitel die Möglichkeiten, welche durch neue Kommunikationstechnologien gegeben sind, erläutert.

### 3.3 Computerunterstützte Systeme in der Vorfertigung

Sowohl in der Bauwirtschaft, als auch in der stationären Industrie, bildet die Entwicklung eines leistungsstarken Rechnersystems die Grundlage einer effizienten Vorfertigung von Bauteilen und Produkten.

Die Produktion ist dabei stets diejenige Abteilung eines Unternehmens, welche am stärksten von der Entwicklung neuer Kommunikationstechnologien betroffen ist.<sup>430</sup> Durch die Einführung neuer computerunterstützter Systeme in die Kommunikationstechnik einer Produktion wurden jedoch nicht primär die Verarbeitung der materiellen Gegebenheiten der Fertigung, sondern vor allem die dispositiven Aufgaben der Unternehmen stark beeinflusst. Die Integration neuer Möglichkeiten der KIT hat dabei insbesondere auf die Effektivität des Leistungspotentials und die Flexibilität der Fertigung von Modulen und Bauelementen erheblichen Einfluss.<sup>431</sup>

Die Auswirkungen neuer Kommunikationsstrategien auf die Effektivität einer Produktion werden in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben.

#### 3.3.1 Auswirkung neuer Kommunikationstechnologien auf die Produktion

Eine flexible Fertigungstechnologie erfordert moderne Informationssysteme. Dabei übt die Integration neuer KIT in ein Unternehmen nicht nur auf die Manipulation der Materialien, sondern vor allem auch auf die Durchführung ergänzender Dienstleistungen wesentlichen Einfluss aus. Durch den Einsatz moderner Kommunikationsmedien wird dabei nicht nur eine wirtschaftliche Produktion von unterschiedlichen Varianten ermöglicht<sup>432</sup>, sondern auch eine Steigerung der Flexibilität in der Leistungserstellung bewerkstelligt.<sup>433</sup>

Die so überarbeiteten Produktionsabläufe haben primäre Auswirkungen auf eine flexiblere Gestaltung einer Fließbandfertigung. Durch den Einsatz moderner Fertigungsprogramme gelingt es selbst die Produktion kleiner Serien zu automatisieren und kostengünstig zu fertigen. Gleichzeitig wirkt sich die Installation neuer Planungsprogramme auf die Kapazität der Planungsabteilung und auf die Möglichkeiten der Koordination der jeweiligen Teilprozesse aus. Während die klassische Werksfertigung meist durch lange, organisationsbedingte Liegezeiten beeinflusst wurde, kann somit durch die erweiterten Möglichkeiten der Kommunikationssysteme eine exaktere Abstimmung der einzelnen Arbeitsabläufe auch untereinander stattfinden. Durch die bessere

<sup>430</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 92.

<sup>431</sup> Vgl. Ebd. S.93.

<sup>432</sup> Die günstige Ausführung von flexiblen Fertigungsmethoden wird auch als Effizienz bezeichnet.

<sup>433</sup> Die Steigerung des flexiblen Leistungspotentials wird in der Literatur auch als Effektivität benannt.

Koordination der einzelnen Aufträge wird zudem die Produktivität im Werk gesteigert. Gleichzeitig sollen die bislang entgegengesetzten Prinzipien der produktiven Fließband-fertigung und individuellen Einzelfertigung durch das Konzept der CIM überwunden werden.<sup>434</sup> Die Ansätze dafür wurden bereits in Kapitel 2.2.4 beschrieben. Die Bezeichnung des Computer Integrated Manufacturing (kurz: CIM) steht dabei für die gänzliche Integration der KIT in sämtlichen technischen und organisatorischen Prozesse der Produktion. Um einen durchgängigen Informationsfluss sicherzustellen, muss das CIM sowohl die Produktionsplanung, als auch die computerunterstützte Konstruktion und Fertigung umfassen. Das primäre Ziel der Entwicklung eines CIM-Standards in einem Unternehmen ist dabei nicht nur die Flexibilisierung der Fertigung, sondern vor allem auch die Verkürzung der Durchlaufzeiten und Reduktion der Lagerbestände.<sup>435</sup>

Trotz der theoretisch dargestellten Vorteile einer durchgängigen CAD-CAM Kette wird derzeit verstärkt das positive Bild einer absoluten Integration der KIT-Methoden in der Fachwelt teilweise angezweifelt. Der technische Fortschritt innerhalb eines Unternehmens alleine kann nur bis zu einem gewissen Grad zur Effizienzsteigerung beitragen. Erst die vollständige Erfassung der Kommunikation zwischen Kunden, Lieferanten und Produzenten soll das erhöhte Flexibilitätsbedürfnis der individuellen Fertigung abdecken können. Auch eine vernetzte Kommunikation zwischen den beteiligten Firmen wird durch eine durchgängige Kommunikationstechnologie erleichtert. Dies hat Einfluss auf die gesamte Arbeitsorganisation eines Produktionsprozesses. Statt der bislang vorherrschenden zentralisierten Produktion entwickeln sich zunehmend dezentrale Strukturen mit Subunternehmern und Lieferanten, die eine schnellere Reaktion auf die immer komplexer werdende Wertschöpfung ermöglichen und gewährleisten.<sup>436</sup>

Dennoch ist der Grad der Automatisierung in der Produktion von Bauelementen derzeit eher gering. Während sich sowohl in der Unterhaltungs- und Automobilbranche, als auch in der japanischen Fertighausindustrie vollautomatisierte Produktionsmethoden bereits durchsetzen und etablieren konnten, wird die Vorfertigung in der Baubranche bis dato größtenteils mittels zweidimensionaler CAD-Systeme abgewickelt. Allerdings ist laut einschlägiger Fachliteratur vor allem beim industriellen Holzbau ein Trend in Richtung Koppelung der Planungs- und Produktionsprozesse ersichtlich.<sup>437</sup> Die dreidimensionale und virtuelle Abbildung der zu produzierenden Module ist dabei laut Expertenmeinung eines der wesentlichsten Voraussetzungen zur Optimierung des Produktionsprozesses. Derzeit werden die Möglich-

<sup>434</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 93f.

<sup>435</sup> Vgl. Ebd. S.94.

<sup>436</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 96.

<sup>437</sup> Vgl. ELIASSON, L.: Components at the right time with right properties in the exact amount. Bericht. S. 4.

keiten der Informationstechnologien eher in der Phase der Konzeption und Planung, seltener in der Produktion ausgenutzt. Das bedeutet, dass die Planunterlagen für die Produktion der eigentlichen Module oder Elemente, vor Produktionsbeginn meist auf Papier gedruckt und verteilt werden. Diese analoge Vorgehensweise in einer Produktion bringt jedoch einige Nachteile, wie bspw. eine Verschlechterung der Produktivität sowie die Häufung von Fehler durch alte Planstände mit sich. Zudem steigt das Risiko, dass unterschiedliche Versionen von Plänen gleichzeitig auf der Baustelle oder im Werk kursieren und so Baufehler auftreten. Papierbasierte Fertigungsmethoden erhöhen demnach auch die Anforderungen an das Koordinationsmanagement.<sup>438</sup>

### 3.3.2 Vom Computer Aided Design zum Computer Aided Manufacturing

Die eigentliche Vorfertigung von Modulen und Elementen ist vor allem durch den Einsatz leistungsstarker Maschinen geprägt. Während die maschinelle Ausrichtung des Bauens noch vor rund einem halben Jahrhundert als entwurfsbestimmend galt, wird heute verstärkt nach der Möglichkeit eines individuell gestaltbaren Vorfertigungsprozesses gesucht.<sup>439, 440</sup> Das vorrangige Ziel dabei ist die Verbesserung eines durchgängigen Datenflusses zwischen der Planung und Fertigungsarbeit. Dieser wird durch CAD-CAM-gekoppelte-Systeme ermöglicht, welche der bestehenden Schnittstellenproblematik nachkommen sollen. Die Entwurfsdaten des Architekten und Fachplaners werden dabei direkt oder über Schnittstellen und Umwandlungsprogramme sowie Fachpersonal der Arbeitsvorbereitung zu den Vorfertigungsmaschinen geleitet. Ein Beispiel dafür sind die CNC-gesteuerten-Abbundanlagen, die durch computergestützte Steuerungen mehrere Arbeitsschritte parallel durchführen können.<sup>441</sup>

Die computergesteuerte Vorfertigung soll demnach die subjektiv empfundene gestalterische Einengung überwinden. Tatsächlich ermöglichen moderne Abbund-anlagen auch die Umsetzung der ungewöhnlichsten Entwürfe von Architekten und Ideen von Bauherren. Nicht selten dienen dabei die Möglichkeiten des digitalen Datenflusses von der Designarbeit zur Produktion als Rechtfertigung zur Realisierung ausgefallener Ideen. Besonders durch die Entwicklung neuer Architekturprogramme wird eine Vielzahl an außergewöhnlichen Projekten visualisiert, deren Fertigung jedoch nur zum Teil durch CAD-CAM-Koppelung funktioniert. Ein Grund für die lückenhafte Realisierung

<sup>438</sup> Vgl. ELIASSON, L.: Components at the right time with right properties in the exact amount. Bericht. S. 4.

<sup>439</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 267.

<sup>440</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 590.

<sup>441</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 267.

einer automatisierten Unikatsfertigung sind die immer noch sehr niedrigen Lohnkosten in einigen, vor allem ost-europäischen Ländern, welche das Bild der heutigen General- und Subunternehmer stark prägen. Zudem ist das Schnittstellenproblem zwischen der Planung und Fertigung, aber auch zwischen den einzelnen Gewerken bei weitem nicht allumfassend gelöst. Als Ursache dafür wird auch die Frage der späteren Haftung genannt. Die an der Herstellung beteiligten Firmen berücksichtigen meist nur ihr eigenes Metier, nicht das gesamte Modul.<sup>442</sup>

Trotz der genannten Schwachpunkte und Probleme ermittelte eine in den USA durchgeführte Studie<sup>443</sup> ein Einsparungspotential von rund 50% der Herstellkosten durch die Verwendung von durchgängigen Informations- und Datensystemen. Dieses Potential wird derzeit jedoch bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Bis dato werden die Programme vornehmlich dazu verwendet, die ungewöhnlichen Geometrien technisch überhaupt erst zu ermöglichen und zu einem angemessenen Preis zu realisieren.<sup>444</sup>

Das System einer durchgängigen computerunterstützten Fertigung von Bauelementen wurde in den 1980er Jahren in Japan entwickelt.<sup>445</sup> Die damals konstruierten Maschinen konnten mittels einfacher Programme komplexe Arbeitsschritte zeitgleich durchführen. Das Grundprinzip dieser Roboter wird auch in den aktuellen europäischen Abbundanlagen verfolgt. Während in Japan mehrere monofunktionelle Maschinen zu einer multifunktionalen Arbeitsstation zusammengeschlossen werden, kommen in Europa meist flexible Geräte zum Einsatz, die verschiedene Fertigungsschritte synchron durchführen können. Ein Beispiel dafür sind jene Anlagen, die zur Produktion von Holzrahmenelementen eingesetzt werden. Diese können sowohl einzelne stabförmige Hölzer, als auch großformatige flächige Plattenelemente und Holzwerkstoffe verarbeiten.<sup>446</sup>

In einem ersten Prozess werden die Tragwerkskomponenten nach den individuellen Vorgaben der computerunterstützten Designprogramme vollautomatisch zugeschnitten. Danach werden die gefertigten Einzelteile zu ganzen Strukturen zusammengesetzt. Die Möglichkeiten der weiteren Bearbeitung sind dabei sehr vielfältig. Sie reichen vom Zuschneiden der einzelnen Komponenten über das Hobeln und Schleifen der Oberflächen bis zum Vorbohren von Durchlässen und Öffnungen. Um eine effiziente Fertigung der Bauteile zu ermöglichen, muss jedoch vor allem in der automatisierten Fertigung auf einen durchgängigen Produktionsprozess

<sup>442</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 590.

<sup>443</sup> Vgl. Ebd. S. 1ff.

<sup>444</sup> Vgl. Ebd. S. 591.

<sup>445</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.6.

<sup>446</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 267f.

geachtet werden. Dafür ist eine im Vorhinein bestimmte Produktionslinie, oder zumindest ein gutdurchdachter Produktionsablauf die wesentlichste Voraussetzung. Das Ergebnis der nach diesem Prinzip entwickelten Komponenten reicht von komplexen Tragstrukturen bis hin zu voll funktionsfertigen Raummodulen.<sup>447</sup>

Vollautomatisch produzierte Raumzellen werden bis dato jedoch erst in Japan angefertigt. Die Produktion erfolgt dabei, wie im Kapitel 2.2.5 beschrieben, mit Hilfe eines Stahlgerüsts, das als Trägerkonstruktion für die Fertigung der Module dient.<sup>448</sup>

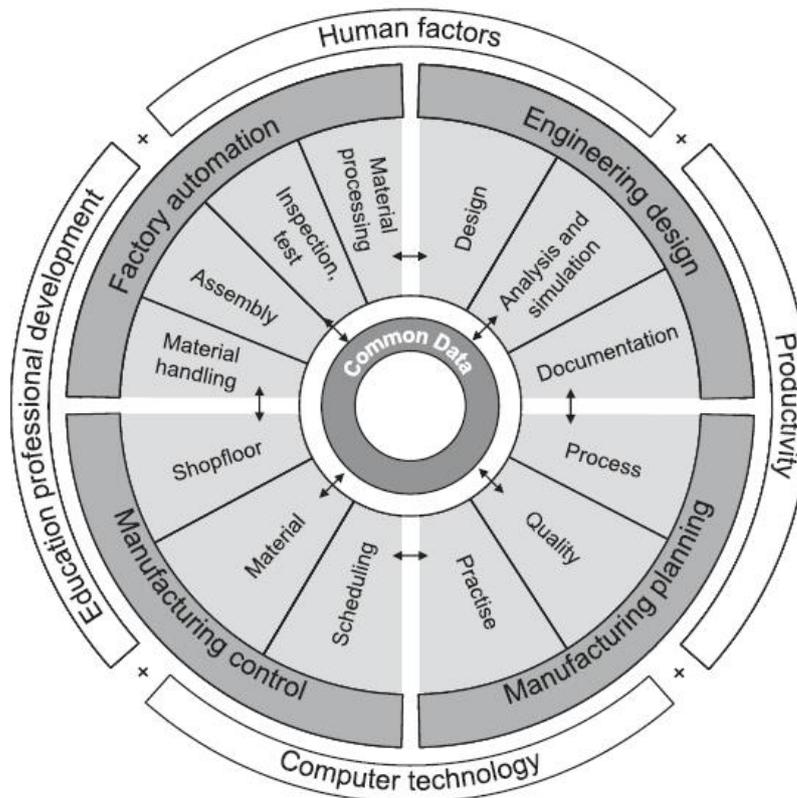
Im Gegensatz zur Bauindustrie wurden die Potentiale der CIM bereits Mitte der 1970er Jahre in der amerikanischen Luftfahrttechnik erforscht. Drei Ingenieure<sup>449</sup> erarbeiteten 1977 ein Programm, welches die computertechnischen Wechselwirkungen innerhalb einer Produktion verdeutlichte. Mithilfe eines -Computer-Aided-Manufacturing sollten die sich gegenseitig beeinflussenden Produktionsaufgaben aufeinander abgestimmt werden. Die nachstehende Grafik veranschaulicht die vier Hauptfunktionen, die bei einer automatisierten Projektbearbeitung berücksichtigt werden müssen.

---

<sup>447</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 267ff.

<sup>448</sup> Vgl. Ebd. S.274.

<sup>449</sup> Wisnosky, Shunk und Harrington

Abbildung 60 Faktoren der CIM<sup>450</sup>

Wie auch bei der automatisierten Vorfertigung von Bauteilen wird bei der computergestützten Produktion in der stationären Industrie die Datenverarbeitung und –weitergabe als Schlüsselfunktion in der Durchsetzung von CIM-Technologien genannt. Weitere wichtige Faktoren, die hierbei Berücksichtigung finden müssen, sind neben der Produktionsplanung und –steuerung auch die Produktentwicklung und Automation der eigentlichen Fabrik. Zudem kommt der Einbeziehung der Mitarbeiter in den erneuerten Produktionsablauf erhebliche Bedeutung zu. Gleichzeitig muss auch eine Standardisierung der Dokumentationsmethoden und der Programmiersprache durchgesetzt werden. Die neu entwickelten CIM-Systeme stießen in der amerikanischen Fachwelt auf breite Zustimmung. In Europa wurde die Entwicklung jedoch zunächst mit Distanz verfolgt. Erst seit dem Anfang der 1980er Jahre werden auch in europäischen Unternehmen die entwickelten Produktionsmethoden übernommen.<sup>451</sup>

Anschließend zu den ermittelten Auswirkungen und den geschichtlichen Hintergründen neuer Kommunikationstechnologien auf die Produktion werden nun die Folgen moderner KIT auf die Datenerstellung und Datenpflege beschrieben.

<sup>450</sup> WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. S. 52.

<sup>451</sup> Vgl. WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. S. 51ff.

### 3.3.3 Datenerstellung und Datenpflege

Durch die Verwendung von leistungsstarken Kommunikations- und Informationsprogrammen kommt der Erstellung und Speicherung von generierten Daten besondere Bedeutung zu. Dabei muss sowohl auf die Datenpflege der internen, als auch externen Projektinformation und – Kommunikation eingegangen werden. Die interne Projektkommunikation umfasst vor allem die Dokumentation und Koordination von Arbeitsabläufen innerhalb eines Unternehmens. Hiergegen wird die externe Kommunikation mit außenstehenden Mitarbeitern, potenziellen Kunden und Medien, aber auch mit der Öffentlichkeit abgewickelt.<sup>452</sup>

Durch die zeitliche Begrenzung der Projekte und einzelkundenbezogene Produktionsprozesse werden sehr hohe Ansprüche an eine reibungslose Datenerstellung gestellt. Besonders durch Einflüsse, wie die Termination<sup>453</sup>, Heterogenität<sup>454</sup>, Limitierung und Dedikation<sup>455</sup> müssen klare und knappe Kommunikationswege gefunden werden.<sup>456</sup>

Die zumeist kurze Dauer eines Projekts oder einer Produktionsepisode erfordert sowohl einen unmissverständlichen, schnellen und vor allem eindeutigen Informationsfluss. Gleichzeitig werden dadurch auch besondere Ansprüche an die Verwaltung und Dokumentation der aufgenommenen Daten gestellt.<sup>457</sup>

Sowohl die projektbezogene Kommunikation, als auch die projektspezifische Datenpflege muss für die speziellen Anforderungen, wie zeitliche Knappheit sowie passende Kommunikationssysteme bereitstellen. Gleichzeitig sollen geeignete Datenbanksysteme entwickelt werden, die einerseits Zugriff zu bereits erfolgreich abgeschlossenen Projekten gewährleisten, andererseits auch die Möglichkeit einer einfachen Verwaltung und Bearbeitung der jeweils aktuellen Dokumente ermöglichen. Aufgrund der meist enormen Vielzahl von Informationen und Dokumenten, die während eines Produktionsprozesses entstehen und verarbeitet werden, wie etwa die erarbeiteten Stücklisten oder die zu beachtenden Normen und Grundlagen, muss bei der Erstellung des Datenmanagements auf eine klare und eindeutige Bezeichnung der einzelnen Dokumente und Unterlagen geachtet werden. Wesentlich ist dabei auch die Vermeidung von sog. Datenfriedhöfen, also die Vermeidung von nicht mehr verwendeten, alten meist nicht mehr gültigen

<sup>452</sup> Vgl. RUSCH, G.: (IT-) Projekt-Kommunikation – Kommunikation in Prozessen sozialer Strukturierung, soziotechnischen und multiplexen Systemen. In: Projektkommunikation. S. 81.

<sup>453</sup> Unter Termination wird eine von Beginn an begrenzte Auftragssituation, wie sie in der Produktion von Einzelaufträgen zu finden ist, beschrieben.

<sup>454</sup> Die Heterogenität ist laut Rusch eine personell inhomogene Zusammensetzung der Projektbeteiligten. Dadurch wird eine klare und für alle Beteiligten verständliche Formulierung der verwendeten Daten erforderlich. (vgl. RUSCH, G.: (IT-) Projekt-Kommunikation – Kommunikation in Prozessen sozialer Strukturierung, soziotechnischen und multiplexen Systemen. In: Projektkommunikation. S. 82.)

<sup>455</sup> Unter Dedikation werden jene Projekte verstanden, die einzig einer bestimmten Aufgabe dienen.

<sup>456</sup> Vgl. RUSCH, G.: (IT-) Projekt-Kommunikation – Kommunikation in Prozessen sozialer Strukturierung, soziotechnischen und multiplexen Systemen. In: Projektkommunikation. S. 82.

<sup>457</sup> Vgl. RUSCH, G.: (IT-) Projekt-Kommunikation – Kommunikation in Prozessen sozialer Strukturierung, soziotechnischen und multiplexen Systemen. In: Projektkommunikation. S. 82.

Versionen von bspw. Planunterlagen. Vor der Integration neuer Informationen in ein Datensystem muss daher auf die Aktualität der erhobenen Daten geachtet und bestimmt werden und welche Daten für die weiteren Produktionsschritte relevant sind.<sup>458</sup>

### 3.3.4 Digitales Bauen

Mittlerweile sind moderne Informations- und Verarbeitungssysteme kaum noch von einem Arbeitsplatz wegzudenken. Auch die Produktion von unterschiedlichen Gütern erfolgt meist mithilfe einer exakten digitalen Arbeitsvorbereitung. Dabei werden nicht nur die Produkte, sondern sämtliche, für die Fertigung erforderlichen Fabrikhallen und Maschinen digital nachgebildet. Die Digitalisierung der Arbeitsumgebung ermöglicht die Berechnung einer möglichen Optimierung des Arbeitsprozesses. Dafür müssen sämtliche organisatorische und technische Ablaufprozesse der Unternehmen digital nachgestellt werden. Dieses Vorgehen wird in der fachlichen Literatur auch als Digitale Produktion oder Digitales Bauen bezeichnet.<sup>459</sup>

Das Digitale Bauen umfasste bis vor kurzem nur die Erstellung der eigentlichen digitalen Produktion der Elemente. Die Auslieferung an den Kunden und die weitere Bearbeitung der Güter blieb bis dato unberücksichtigt. Durch die neu entwickelten Möglichkeiten der globalen Kommunikation und dem steigenden Wettbewerbsdruck wird der Anwendungsbereich der digitalen Produktion nun nach und nach auf den gesamten Lebenszyklus der Gebäude ausgeweitet.<sup>460</sup>

Die Produktion wird dabei als Prozess der Transformation von Materialien zur Generierung einer Wertschöpfung verstanden. Dies soll durch die Produktion von Elementen innerhalb einer Fabrik erreicht werden. Durch die modernen Methoden des digitalen Bauens wird der Wertschöpfungsprozess der Unternehmen optimiert. Die digitale Produktion verfolgt allerdings nicht mehr das Ziel einer arbeitsteiligen Funktionstrennung der einzelnen Produktionsschritte, sondern versucht durch die Nutzung von neuesten IT-Programmen eine möglichst schnelle Reaktion auf externe Einflüsse sicherzustellen. Dabei ist die Möglichkeit des Datenzugriffs für jeden Beteiligten von enormer Bedeutung. Die erarbeiteten Daten müssen jederzeit und überall erreichbar und erweiterbar sein. Diese Anforderung setzt wiederum hohe Ansprüche an das verwendete Datensystem.<sup>461</sup> Durch die vielseitige Verwendung der Digitalen Fabrik müssen außerdem eine einheitliche Software und eine bis zu einem gewissen Grad genormte Datenstruktur erstellt werden.

<sup>458</sup> Vgl. RUSCH, G.: (IT-) Projekt-Kommunikation – Kommunikation in Prozessen sozialer Strukturierung, soziotechnischen und multiplexen Systemen. In: Projektkommunikation. S. 82.

<sup>459</sup> Vgl. WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. S. 11.

<sup>460</sup> Vgl. WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. S. 11.

<sup>461</sup> Vgl. dazu Kapitel 3.3.3.

Erst dann kann eine dynamische Interaktion zwischen allen Beteiligten ermöglicht werden.<sup>462</sup>

Die nachstehende Grafik veranschaulicht das Modell einer digitalen Produktion.



Abbildung 61 Rahmenmodell des Digitalen Bauens<sup>463</sup>

Durch die digitale Nachbildung der Produkte und Gegebenheiten der Fabrikhallen kann eine schnelle Reaktion auf geänderte Markt-anforderungen erfolgen.<sup>464</sup>

### 3.3.5 Building Information Modelling

Im Zusammenhang mit der digitalen Produktion ist auch der Begriff des Building Information Modelling (kurz: BIM) zu nennen. In der fachlichen Literatur wird BIM als eine Weiterentwicklung der CAD-Systeme verstanden. Diese Methode dient hier zur digitalen Planung und Dokumentation von Gebäuden. Es wird jedoch nicht nur in der Planungsphase, sondern in allen Vorgängen während des gesamten Objekt-Lebenszykluses angewandt.

Der wesentliche Aspekt bei der Bearbeitung eines Projektes mittels BIM ist allerdings nicht die digitale Wiedergabe des zu realisierenden Projektes, sondern die Verknüpfung der Gebäudebestandteile mit weiteren Informationen und spezifischen Eigenschaften. Dabei arbeiten alle beteiligten Fachplaner und Unternehmer an nur einem digitalen Modell. Auch bei dieser Methode ist die Möglichkeit einer fächerübergreifenden Bearbeitung des Gebäudemodells die wesentliche Voraussetzung für eine effiziente Nutzung. Das Programm muss, anders

<sup>462</sup> Vgl. WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. S. 15f.

<sup>463</sup> WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. S. 16.

<sup>464</sup> Vgl. WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. S. 15.

als die meisten CAD-Systeme, nicht nur von einer einzelnen Planungsdisziplin bearbeitet werden können, sondern ein zeitgleiches, interdisziplinäres Arbeiten ermöglichen.<sup>465</sup>

Das wesentliche Ziel der Einführung eines BIM-Systems ist demnach die bessere und rechtzeitige Koordination von Planungsleistungen. Durch die Vermeidung von Datenverlusten während eines Gebäudelebenszykluses können die Gesamtkosten eines Bauprojekts laut Fachliteratur um rund 3% gesenkt werden. Weitere Ziele der BIM sind:

- die Verbesserung der Koordination von Planungsaufgaben
- die Erhöhung der Produktivität durch die Möglichkeit eines schnelleren Datenzugriffs
- eine Möglichkeit zur schnellen Visualisierung von konstruktiven Zusammenhängen,
- die Durchführung von Kollisionsprüfungen am Bauablauf,
- die Vermeidung von Datenverlusten und Mehrfachnutzung von denselben Informationen.

Dadurch wird eine effizientere Kommunikation zwischen den am Bau beteiligten Personen und Unternehmen sichergestellt.<sup>466</sup>

Allerdings steht die Umsetzung der BIM-Technologie in Mitteleuropa erst an ihrem Anfang. Während es sich in den nordeuropäischen Ländern, in England und den USA bereits etablieren konnte, wird es im restlichen Europa speziell von der planenden Seite bis dato kaum angenommen. Dabei versprechen die Ergebnisse einiger, bereits umgesetzter Pilotprojekte eine deutliche Reduktion von bis zu 50% der Planungs- und Ausführungszeit mit gleichzeitiger Verringerung der Planungsfehler und einer Optimierung des Materialverbrauchs. Trotzdem hält die Mehrzahl der Architektur- und Ingenieurbüros an den bereits veralteten Zeichenprogrammen und CAD-System fest. Selbst bei der Anwendung von BIM-Werkzeugen bleibt das vollständige Potential, wie etwa das in den meisten Programmen integrierte mögliche Kosten- und Terminmanagement weitestgehend ungenutzt.<sup>467</sup>

Die von der Forschungsinitiative Zukunft Bau veröffentlichte Arbeit über die Potentiale und Hemmnisse der Umsetzung einer integrierten Planungsmethodik<sup>468</sup> ortet vor allem in den Bereichen der Ausbildung, der Informationstechnologie und des Vertragswesens Schwierigkeiten in der Umsetzung dieser Planungsmethode.

Eine im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführte Umfrage ergibt, dass bis zu 100% der Unternehmen, die auf ein BIM-System umsteigen

<sup>465</sup> Vgl. MAY, M.: CAFM-Handbuch IT im Facility Management erfolgreich einsetzen. S. 237f.

<sup>466</sup> Vgl. Ebd. S. 83f.

<sup>467</sup> Vgl. KOCH, V.; KINDSVATER, A.: BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. S. 1f.

<sup>468</sup> Vgl. Ebd. S.1ff.

wollen, Weiterbildungsbedarf bei ihren Mitarbeitern sehen. Hiergegen geben jedoch nur rund 61% der umsteigewilligen Unternehmen an, ihre Mitarbeiter regelmäßig auf Fortbildungskurse dieser Art zu schicken.<sup>469</sup>

Diese prozentuellen Angaben sind in den nachstehenden Grafiken abgebildet. Die erste Grafik zeigt dabei die prozentuelle Verteilung des Beherrschungsgrades der modellierten Arbeitsweise.

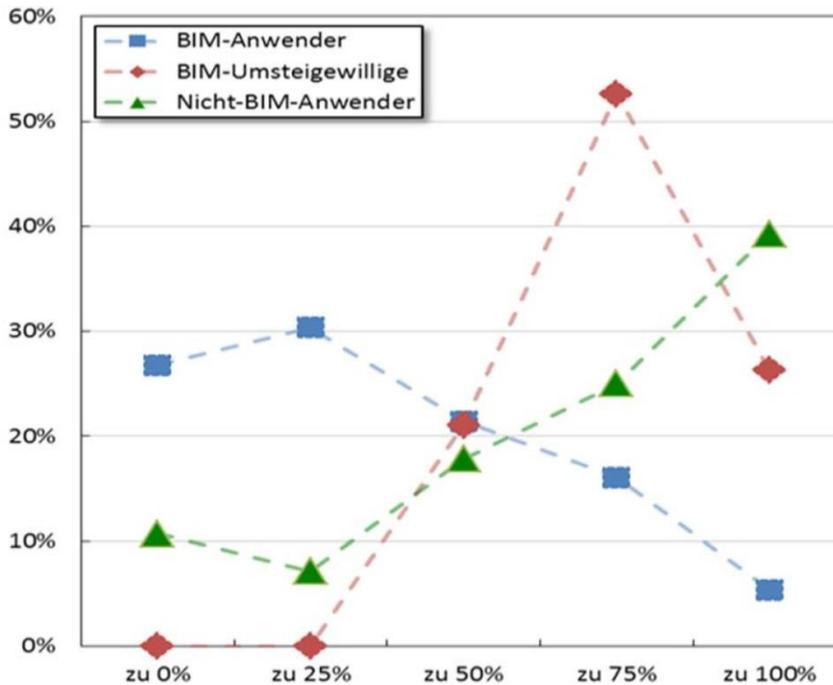


Abbildung 62 <sup>470</sup> Prozentuelle Verteilung des Beherrschungsgrades der BIM Technologie

Die Unternehmer sollten dabei die Frage beantworten, ob und wieviel Prozent ihrer Mitarbeiter BIM-taugliche Programme nicht beherrschen. Auffällig bei dieser Auswertung ist die gegenläufige Verteilung der Prozentangaben der Unternehmen, die bereits BIM-Methoden anwenden und jener die erst auf diese Methodik umsteigen wollen.<sup>471</sup>

Die nachstehende Grafik zeigt die Häufigkeitsverteilung der durchgeführten Fortbildungsmaßnahmen. Insgesamt besteht in diesem Punkt nur eine sehr geringfügige Abweichung zwischen den Angaben der einzelnen Anwendergruppen. In der Gruppe der BIM-Anwender geben im Durchschnitt 59% an, dass ihre Mitarbeiter Fortbildungsmaßnahmen besuchen. Bei dem umsteigewilligen Unternehmen beläuft sich dieser Wert auf rund 43%, bei den Nicht-BIM-Anwendern auf nur mehr etwa 37%.

<sup>469</sup> Vgl. KOCH, V.; KINDESVATER, A.: BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. S. 131f.

<sup>470</sup> KOCH, V.; KINDESVATER, A.: BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. S. 131.

<sup>471</sup> Vgl. Ebd. S. 132.

Die Verteilungskurven sind in diesem Fall sehr ähnlich gestaltet, wobei eine klare Tendenz zur Befürwortung der Fortbildungsmaßnahmen abzulesen ist.<sup>472</sup>

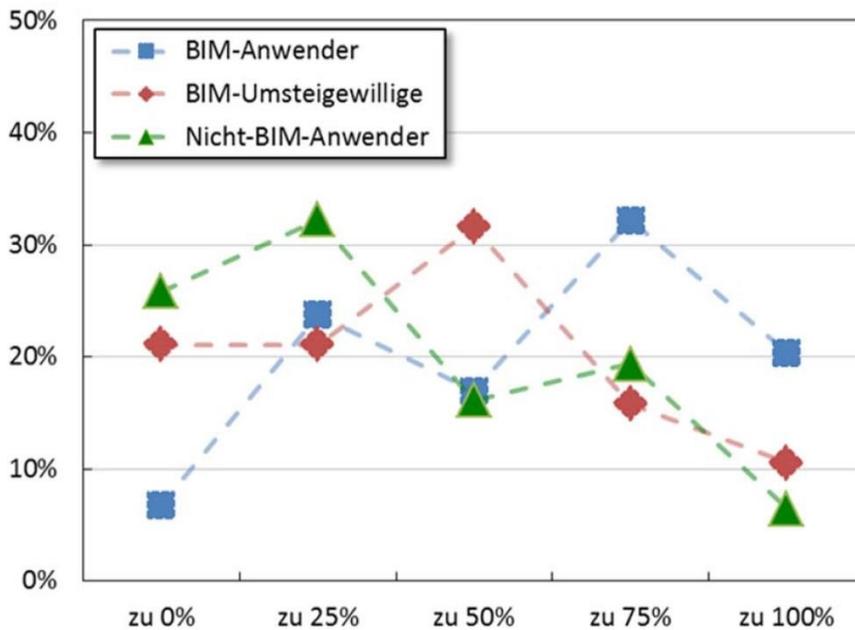


Abbildung 63 prozentuelle Verteilung der durchgeführten Fortbildungsmaßnahmen<sup>473</sup>

Neben den Grenzen, die durch den Beherrschungsgrad der unterschiedlichen Software Produkte gegeben sind, werden auch die Grenzen der Methode selbst als potentielles Hemmnis in der Umsetzung einer modellorientierten Arbeitsweise gesehen.

Mehr als die Hälfte der befragten Unternehmer geben an, dass die derzeit am Markt verfügbare Software funktionale Grenzen hat, die den Planungsprozess nicht durchgängig unterstützen. Bei der Gruppe der Nicht-BIM-Anwender beläuft sich dieser Wert sogar auf 74%.

Zudem wird häufig bemängelt, dass die Komplexität der zur Verfügung stehenden Software für die Einsatzzwecke der Unternehmen zu hoch sei. Gleichzeitig sind derzeit die Anforderungen der BIM-Programme an die Hardware zu groß und die verfügbaren digitalen Austauschformate der virtuell erstellten Gebäudemodelle noch nicht durchgängig nutzbar.<sup>474</sup>

Auch die prozessorientierten Hemmnisse, wie die fehlende Leistungsvergütung der Erstellung von digitalen Gebäudemodellen hindern einige Unternehmen daran, auf eine BIM unterstützte Arbeitsweise umzusteigen.<sup>475</sup>

<sup>472</sup> Vgl. KOCH, V.; KINDSVATER, A.: BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. S. 132.

<sup>473</sup> KOCH, V.; KINDSVATER, A.: BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. S. 132.

<sup>474</sup> Vgl. Ebd. S. 150ff.

<sup>475</sup> Vgl. Ebd. S. 157ff.

Den genannten Hemmnissen steht jedoch eine Reihe von Potentialen gegenüber, die auch von den Projektbeteiligten und Investoren nach und nach wahrgenommen werden.

Die wesentlichen Argumente der Verwendung einer BIM-Technologie sind dabei nicht nur die Verkürzung des gesamten Projektverlaufs, sondern auch die Verringerung des zeitlichen Aufwands bei Änderungen im Projekt und die Reduktion der Fehlerhäufigkeit bei Umplanungen und Anpassungen.<sup>476</sup>

Dieses Potential wird sowohl von Architekten und Fachplanern, als auch von Ausführenden und Investoren anerkannt.

Die Frage, inwieweit sich der zeitliche Aufwand bei Projektänderungen durch den Einsatz einer BIM-Software geändert hat, wird von der überwiegenden Mehrheit als positiv bewertet.

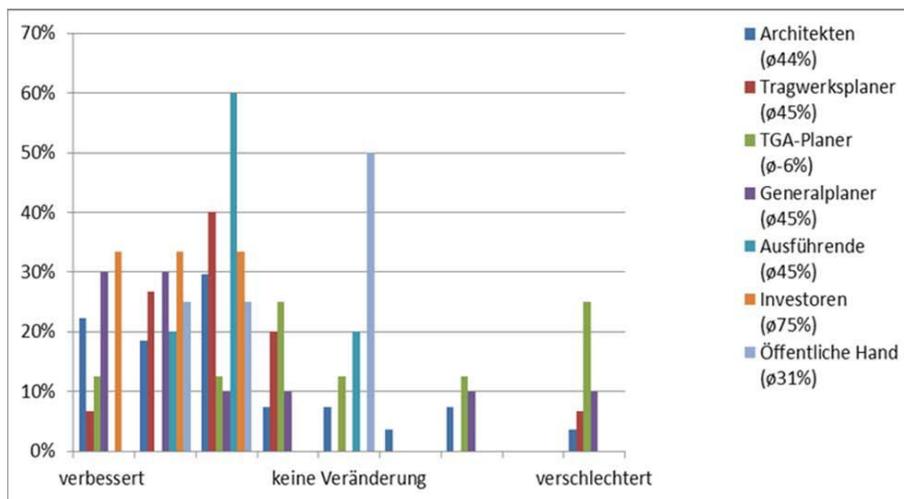


Abbildung 64 aufgeschlüsselte Bewertung des Potentials einer BIM-Technologie bei Projektänderungen je Berufsgruppe<sup>477</sup>

Die oben abgebildete Grafik zeigt, dass vor allem bei den Generalplanern, Architekten und Tragwerksplanern eine positive Tendenz bei der Annahme von BIM-Tools abzuleiten ist. Hiergegen ist bei der Gruppe der TGA-Planer keine klare Bewertung ablesbar. Und auch bei der Gruppe der öffentlichen Auftraggeber, die in der Abbildung als hellblaue Balken dargestellt sind, kann keine eindeutige Aussage getroffen werden, da rund 50% für eine neutrale Entwicklung stimmten.<sup>478</sup>

Eine ähnliche Verteilungskurve zeigt sich bei der Bewertung der Effizienzsteigerung durch die Minimierung von erforderlichen Mehrfacheingaben innerhalb eines Computersystems.

<sup>476</sup> Vgl. KOCH, V.; KINDSVATER, A.: BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. S. 115.

<sup>477</sup> KOCH, V.; KINDSVATER, A.: BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. S. 116.

<sup>478</sup> Vgl. KOCH, V.; KINDSVATER, A.: BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. S. 116.

In diesem Punkt bewerten die Investoren und Ausführenden, aber auch die Gruppe der Architekten und jene der Fachplaner, das Potential der BIM-Systeme als durchwegs positiv.<sup>479</sup>

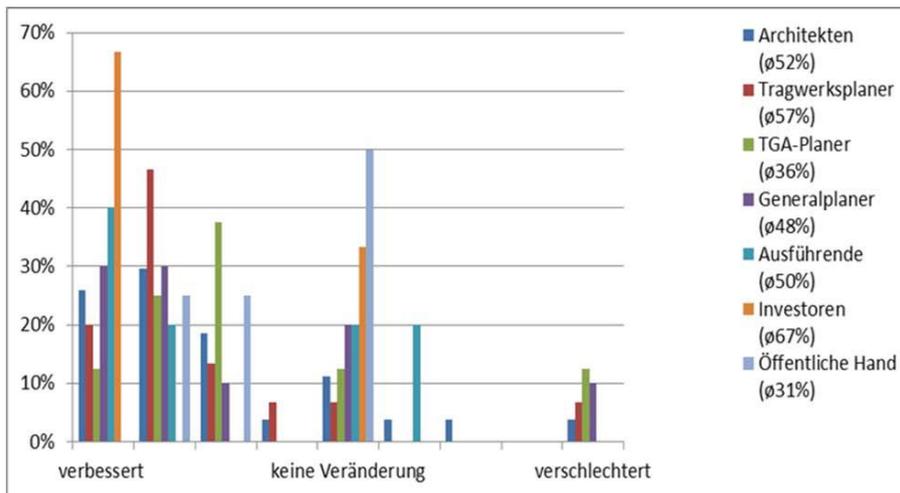


Abbildung 65 Bewertung der Effizienzsteigerung durch die Installation eines BIM Systems durch die Minimierung von erforderlichen Mehrfacheingaben<sup>480</sup>

Insgesamt wird das Potential der BIM-Technologie demnach als positiv bewertet. Die Umstellung auf ein Arbeitssystem, das sich grundsätzlich auf diese Art der Technologie stützt, wird allerdings derzeit noch aufgrund des fehlenden Fachwissens als sehr zeit- und kostenintensiv wahrgenommen.<sup>481</sup>

Vor allem für den industriellen Holzbau ist laut der Ansicht von Experten die Entwicklung einer modernen KIT, wie in diesem Kapitel dargelegt, enorm wichtig. Dadurch kann nicht nur der eigentliche Produktionsprozess in einer Werksfertigung beschleunigt, sondern auch die Anlieferung des Ausgangsmaterials nach einem JIT-Prinzip optimiert werden. Mithilfe neuer Technologien soll darüber hinaus auch der Automatisierungsgrad der Werks- und Baustellenfertigung einzelner Elemente oder kompletter Module erhöht werden. Beispielsweise ermöglichen modernste Informationstechnologien die künftige Entwicklung vollautomatisierter Montageplattformen, welche bereits auf einigen japanischen Baustellen verwendet werden.<sup>482</sup>

Gleichzeitig kann mithilfe computergestützter Baustellenroboter eine deutliche Effizienzsteigerung der Baustellenproduktion erreicht werden. Dafür wird allerdings eine wesentlich umfassendere Arbeitsvorbereitung erforderlich. Für eine reibungslose Navigation der Bauroboter muss

<sup>479</sup> Vgl. KOCH, V.; KINDSVATER, A.: BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. S. 118.

<sup>480</sup> KOCH, V.; KINDSVATER, A.: BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. S. 118.

<sup>481</sup> Vgl. Ebd. S.130ff.

<sup>482</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.6.

beispielsweise ein ausreichend großer Bewegungsraum innerhalb der Baustelle freigehalten werden.<sup>483</sup>

Die Erhöhung des Automatisierungsgrads einer Werksfertigung ist allerdings nur unter der Berücksichtigung einiger Rahmenbedingungen zielführend. Darunter fällt unter anderem die Größe und Struktur der jeweiligen Unternehmen oder die Systematisierbarkeit der Produktion. Diese werden in einem der nachfolgenden Kapitel näher erläutert.<sup>484</sup>

Durch die Industrialisierung der Bauprozesse können einige bereits in der Industrieproduktion erprobte Methoden auch auf die Baubranche umgelegt werden. Aufgrund unterschiedlicher Vorteile, wie beispielsweise die Eliminierung von wetterbedingten Ausfallzeiten, sowie die Verkürzung der gesamten Bauzeit, durch parallel ablaufende Produktion- und Baustellenprozesse, kann zudem die Höhe der zu erwartenden Baukosten deutlich gesenkt werden.

Der Einsatz moderner KIT wirkt sich darüber hinaus auch auf die Methodik der Planung und Arbeitsvorbereitung aus. Ein durchgängiger Datenfluss, von der Planung bis zur endgültigen Fertigung der Module, ermöglicht laut der Ansicht von Fachleuten eine deutliche Reduktion der Planvorlaufzeit. Gleichzeitig kann mithilfe eines interaktiven Planungssystems im Fall einer nachträglichen Planänderung möglichst schnell auf die abweichenden Kundenwünsche reagiert werden.

Trotz dieser augenscheinlichen Vorteile stellt die Methode einer digitalen Kette laut Expertenmeinung derzeit eher eine Ausnahme dar. Immer noch werden die unterschiedlichen Bauvorhaben mithilfe analoger Plan-darstellungen umgesetzt. Dies birgt jedoch das Risiko, dass veraltete Versionen einer Planung als Ausführungsbasis herangezogen werden.<sup>485</sup>

Die technischen Grundlagen des industriellen Bauens sind demnach zumindest theoretisch sehr weit entwickelt. Mithilfe einiger systemimmanenter Vorteile, wie die wettergeschützte Produktion, oder das optimierte Qualitätsmanagement, lässt sich nach Ansicht von Experten und mehrerer Studien eine teils erhebliche Bauzeit- und Kostenreduktion erzielen. Inwiefern sich diese analysierten Aspekte auf den Holzbau, welcher aufgrund einiger werksstoffspezifischer Eigenschaften wie zur Vorfertigung geschaffen erscheint, umlegen und anwenden lassen, wird in den nachfolgenden Kapitel näher analysiert.

<sup>483</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 119.

<sup>484</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.5.

<sup>485</sup> Vgl. ELIASSON, L.: Components at the right time with right properties in the exact amount. Bericht. S. 4.

## 4 Anwendung des industriellen Bauens im Holzbau

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die geschichtlichen und bauwirtschaftlichen Grundlagen zur industriellen Vorfertigung dargestellt wurden, wird im nun folgenden Kapitel speziell die Anwendbarkeit dieser Aspekte im Holzbau herausgearbeitet und analysiert.

Das Wesen der Baubranche ist maßgeblich von drei Faktoren beeinflusst. Neben dem Entwurf bzw. Planung und den technischen Bearbeitungsmöglichkeiten, kommt auch dem Werkstoff eine erhebliche Bedeutung zu.<sup>486</sup>

Die Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf den Entwurfsprozess und die Verarbeitung der Baustoffe wurden bereits in den vorigen Kapiteln beschrieben. Sowohl die technischen Neuerungen auf der Entwurfs- und Produktionsebene, welche vor allem auf die Entwicklung neuer Informationstechnologien zurückzuführen sind, als auch die kontinuierliche Weiterentwicklung der verwendeten Werkstoffe, führte dabei in der Vergangenheit zu immer neuen Möglichkeiten in der industriellen Vorfertigung.<sup>487</sup>

Insbesondere der Holzbau durchlief in den letzten 20 Jahren einen bedeutenden technologischen Wandel wie kaum ein anderer Werkstoff. Während in den 1990er Jahren vor allem der Skelett- und Holzrahmenbau forciert wurde, wird derzeit besonders die großformatige Holz-Massivbauweise erforscht. Diese Bauweise ermöglicht die Fertigung ganzer Wand- oder Deckenelemente, welche bereits alle bauphysikalisch notwendigen Aufbauten besitzen.<sup>488</sup> Bereits abgeschlossene Großprojekte mit Brettsperrholz (kurz: BSP) mit zehn und mehr Geschossen zeigen den stetigen Aufwärtstrend dieser Bauweise.

Gleichzeitig gelingt es durch die Entwicklung des flächenförmig wirkenden Baustoffes Brettsperrholz neue Bau-Sparten und Märkte zu erschließen, die bis dato meist anderen Baustoffen vorbehalten waren. Durch dessen Einsatz wird es bspw. möglich, mehrgeschossige Gebäude mit teils großer Höhe zu errichten, welche bis vor kurzem mit dem Material Holz noch undenkbar gewesen wären. Ein bereits älteres Beispiel dafür ist das Stadthaus Murray Grove<sup>489</sup> in London, das aus insgesamt neun Geschossen mit Massivholzplatten errichtet wurde.<sup>490</sup>

<sup>486</sup> Vgl. HERMANN KAUFMANN, W. N.: Bauen mit Holz, Wege in die Zukunft. S. 56.

<sup>487</sup> Vgl. Ebd. S.56.

<sup>488</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 588.

<sup>489</sup> Das vom Architekten Waugh Thistleton entworfene Stadthaus Murray Grove wurde 2009 im Londoner Stadtteil Hackney realisiert. Sowohl die Decken und das Dach, als auch sämtliche Wände wurden dabei aus Massivholzplatten angefertigt.

<sup>490</sup> Vgl. GREEN, M.: The Case for Tall Wood Buildings. S. 30-31.

Neben den allgemeinen Rahmenbedingungen, wie der Vorfertigung im Holzbau, werden in den nachfolgenden Kapitel der Status Quo des industriellen Holzbaus, sowie die erweiterten Anforderungen an die Arbeitsvorbereitung und die Auswirkungen einer Automatisierung für den Holzbau eingehend beschrieben. Ein umfangreiches Experteninterview in unterschiedlichen Fachrichtungen rückt dabei die aktuellen Tendenzen und Entwicklungen in den Vordergrund. Abschließend wird anhand eines bereits realisierten Projektes das Potential der vorgefertigten Holzbauweise analysiert. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den Möglichkeiten des Einsatzes industriell vorgefertigter Holzelemente im Wohnbau.

## 4.1 Vorfertigung im Holzbau

Der Holzbau hat sich während der letzten hundert Jahre konstant positiv weiterentwickelt. Ausgehend von einer langjährigen eher traditionellen Bauweise, werden derzeit, durch die Entwicklung plattenförmiger Holzwerkstoffe, neue Anwendungsbereiche ermöglicht, die bis vor wenigen Jahren aus statisch-konstruktiven Gründen noch primär dem Stahlbeton- oder Stahlbau zugerechnet wurden. Durch die neuen technischen Möglichkeiten der Herstellung und Verarbeitung und durch die angepassten Vorschriften an die Konstruktion und Bauphysik präsentiert sich der Holzbau heute grundlegend anders als noch vor einigen Jahren.<sup>491</sup>

Besonders mit der Entstehung flächenförmiger Massivholzplatten, wie Brettsperrholz, wurde ein Werkstoff entwickelt, der aufgrund seines relativ geringen Eigengewichts und der einfachen Verarbeitungsmöglichkeiten ideale Grundlagen zur Vorfertigung bildet.<sup>492</sup> Sowohl die Analyse der Fachliteratur, als auch die Auswertung aktueller Daten zur Vorfertigung im Wohnungsbau<sup>493</sup> unterstreichen die Bedeutung des Holzbaus im industriellen Bauen.

Obwohl bei kleineren Bauvorhaben bis dato vor allem ein eher handwerklich dominierter Produktionsprozess zum Einsatz kam, werden großvolumige Bauten von heute immer öfter aus vorgefertigten Komponenten erstellt. Der Vorfertigungsgrad reicht dabei von elementierten Wand- und Deckeneinheiten, welche vor Ort zusammengebaut und danach komplettiert werden, bis hin zu fast schlüsselfertigen Raumzellen.<sup>494</sup>

Gleichzeitig erlaubt es die konstante Optimierung der planerischen Vielfalt und Formgebungsmöglichkeiten im industriellen Holzbau, immer komplexere Raumstrukturen zu realisieren. Beispielsweise gestattet die Koppelung der Entwurfs- und Fertigungstechnologie die Realisierung von geometrisch komplizierten Strukturen, die in traditioneller Bauweise kaum durchführbar wären. Die Steuerung der Abbundmaschinen mittels Computercodes ermöglicht etwa eine automatisierte Produktion von individuell gestaltbaren Holzbauteilen und lässt so eine industrielle Produktion ohne Zwang zur Serie erst zu. Mit Hilfe eines durchgängigen Informationsflusses von parametrisierbaren Entwurfsprogrammen hin zu den Steuerungsprogrammen der Produktionsmaschinen, wird gleichzeitig eine möglichst rasche Fertigung von Bauteilen, ohne durch Unterbrechung bedingten Zeitverlusten, zugelassen.<sup>495</sup> Die Grundlagen

<sup>491</sup> Vgl. MAYERHOFER, S.: Holzbauweisen im verdichteten Wohnungsbau. In: Detail, Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Bauen mit Holz, 10/2012. S. 1088.

<sup>492</sup> Vgl. unter anderem: LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 3.

<sup>493</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.4 Daten zur industriellen Vorfertigung in Österreich.

<sup>494</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 588.

<sup>495</sup> Vgl. HERMANN KAUFMANN, W. N.: Bauen mit Holz, Wege in die Zukunft. S. 58f.

des technischen Potentials im Informationszeitalter wurden bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben.<sup>496</sup> Nachfolgend werden nun diese Grundlagen dem speziellen Anwendungsbereich des Holzbaus gegenübergestellt und genauer analysiert.

#### 4.1.1 Bauphysikalische Rahmenbedingungen

Der Vollständigkeit halber werden kurz die bauphysikalischen Rahmenbedingungen des Holzbaus vorgestellt.

Die normative Grundlage des österreichischen Bauwesens ist nicht auf Bundes-, sondern auf Länderebene geregelt. Um den daraus resultierenden Abweichungen in der Gesetzgebung entgegenzuwirken, wurden 2007 die bundesweit einheitlichen sog. OIB-Richtlinien<sup>497</sup> des österreichischen Instituts für Bautechnik veröffentlicht. Gegenstand dieser Bestimmungen ist die Einhaltung bestimmter, bautechnischer Anforderungen. Darunter fällt etwa die Gewährleistung der Stand-sicherheit<sup>498</sup> und die Einhaltung eines entsprechenden Brand-, Schall-<sup>499</sup> und Wärmeschutzes.<sup>500</sup>

Die speziellen, bauphysikalischen Rahmenbedingungen des Holzbaus sind unter anderem in der ÖNORM B2320<sup>501</sup> geregelt. Diese technische Norm enthält die Mindestanforderungen an unterschiedliche Holzbau-teile im Wohnbau. Besonderes Augenmerk wird innerhalb der Richtlinie auf den Brand- und Feuchtschutz von Bauelementen gerichtet.<sup>502</sup>

Der Feuchteschutz im Wohnbau behandelt dabei sowohl den Schutz vor Niederschlag, als auch das Ableiten von im Innenraum entstehendem Wasserdampf. Grundsätzlich müssen alle Konstruktionen und speziell auch Bauteile aus Holz, sowohl vor direkter Feuchtigkeit<sup>503</sup>, als auch vor eintretendem Wasserdampf, mithilfe geeigneter Maßnahmen geschützt werden. Dafür können beispielsweise mehrschichtige Wandaufbauten zum Einsatz kommen, wobei stets darauf geachtet werden muss, dass die eingedrungene Feuchtigkeit möglichst rasch entweichen kann. Besonders im Falle von Außenwandaufbauten muss daher der Diffusionswiderstand von innen nach außen abnehmen. Kann die eingedrungene Feuchtigkeit vom Bauteil nicht entweichen, droht unter

<sup>496</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.3 Computerunterstützte Systeme in der Vorfertigung. ff.

<sup>497</sup> Vgl. <http://www.oib.or.at/oib-richtlinien/richtlinien/2007>. Datum des Zugriffs: 11.November.2014.

<sup>498</sup> Vgl. OIB: OIB-Richtlinie 1. Richtlinie. S. 1ff.

<sup>499</sup> Vgl. OIB: OIB-Richtlinie 5. Richtlinie. S. 1ff

<sup>500</sup> Vgl. OIB: OIB-Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz. Richtlinie. S. 1ff.

<sup>501</sup> Vgl. ÖNORM B 2320, 2005-11-01: Wohnhäuser aus Holz - Technische Anforderungen . S.1ff.

<sup>502</sup> Vgl. ÖNORM B 2310, 2009-05-01: Fertighäuser – Benennungen und Definition sowie Mindestleistungsumfang. S.1ff.

<sup>503</sup> Wenn diese in keinem angemessenen Zeitraum austrocknen kann

anderem Schimmelbefall oder eine Verminderung der wärmedämmenden Eigenschaften.<sup>504</sup>

Für weiterführende Grundlagen und Studien bezüglich des Wärmeschutzes sei an dieser Stelle auf einschlägige Fachliteratur verwiesen.

Ein wesentlicher Punkt der Bauphysik ist die Sicherstellung des Wärmeschutzes von Gebäuden. Besonders im Hinblick auf den hohen Energiebedarf für Heizungswärme, kommt dem sog. winterlichen Wärmeschutz hohe Bedeutung zu. Hierbei kann der Baustoff Holz im Vergleich zu anderen Baumaterialien, durch seine biologisch bedingten Grundeigenschaften bereits wesentliche Vorteile erzielen. Die ÖNORM B 8110-7<sup>505</sup> gibt beispielsweise an, dass die thermische Leitfähigkeit von Holzwerkstoffen rund 20-mal niedriger ist als jene von Stahlbeton.<sup>506</sup> Anders ausgedrückt bedeutet das, dass Holz einen rund 20-mal besseren Wärmedurchlasswiderstand aufweist als Stahlbeton. Dieser Umstand wirkt sich auch auf die Gestaltung der produzierten Bauteile aus. Bei gleichbleibendem U-Wert eines gesamten Wandaufbaus können die Dämmstoffschichten in der Holzbauweise wesentlich schlanker ausfallen, als bei einer reinen Ziegel- oder Stahlbetonbauweise.

Die gesetzlichen Anforderungen an den Wärmeschutz sind in der OIB-Richtlinie 6<sup>507</sup>, sowie in der ÖNORM B 8110-7 geregelt. Dabei wird insbesondere für Neubauten ein höchstzulässiger Heizwärmebedarf beziehungsweise Kühlbedarf angegeben.

Die technischen Grundlagen zur Vermeidung von geometrischen oder stofflich bedingten Wärmebrücken, sowie die Auswirkungen von fehlerhaften Dämmungen, wie etwa Kondensatbildung im Innenraum, werden an dieser Stelle nicht näher beschrieben.

Während der Holzbau in Bezug auf Wärmeschutz sehr positive Eigenschaften besitzt, muss dem Schallschutz, im Vergleich zu dem einer mineralischen Bauweise, höhere Beachtung geschenkt werden. Dies ist vor allem auf die bessere Übertragung des Luftschalls durch das geringe flächenbezogene Gewicht zurückzuführen.<sup>508</sup>

Die Normanforderungen, sowie die Ermittlung des zulässigen Luftschalls, sind in den ÖNORMen der Reihe B 8115 geregelt.<sup>509</sup>

Neben der Übertragung des Luftschalls muss bei Bauwerken auch auf die Minimierung einer Trittschallübertragung geachtet werden. Dies wird

<sup>504</sup> Vgl. TICHELMANN, K.: Schwerpunkt Bauphysikalische Eigenschaften von Leichtbauweisen. Eigenschaften und Potentiale des Leichtbaus. S. 40f.

<sup>505</sup> Vgl. ÖNORM B 8110-7, 2013-03-15: Wärmeschutz im Hochbau - Teil7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte. S. 1ff.

<sup>506</sup> Vgl. Ebd. S. 7ff.

<sup>507</sup> Vgl. OIB: OIB-Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz. Richtlinie. S. 1ff.

<sup>508</sup> Vgl. TEIBINGER, M.; MATZINGER, I.: Bauen mit Brettspertholz im Geschoßbau. S. 25f.

<sup>509</sup> Vgl. ÖNORM B 8115, 2003-09-01: Schallschutz und Raumakustik S1ff.

meist durch die bautechnische Trennung von Elementen mittels biegeweicher Materialien, wie bspw. Elastomerlager, erreicht.

#### 4.1.2 Unterschiedliche Vorfertigungsgrade im Holzbau

Die Baubranche und besonders auch der Holzbau, sind durch einen stetigen Fortschritt der technischen Verarbeitungsmethoden, aber auch durch die Weiterentwicklung von Baustoffen gekennzeichnet. Nicht nur durch die sich rapide schneller und präziser werdenden Computerprogramme, sondern auch durch die neu entwickelnden Holzwerkstoffe eröffnen sich vor allem im Holzbau zukunftsweisende Möglichkeiten in der industriellen Vorfertigung. So haben sich beispielsweise die Verarbeitungsmöglichkeiten innerhalb einer Vorfabrikation mit der Entstehung des flächenförmigen Produkts Brettsperrholz vor mittlerweile rund 20 Jahren stark erweitert.<sup>510</sup>

Trotz der fast unbegrenzt erscheinenden Aussichten von Technik und Konstruktion, insbesondere der Entwicklungs- und Entwurfsprogramme, bilden vollständig vorgefertigte Bauwerke bis dato nach wie vor die Ausnahme als die Regel.<sup>511</sup> Vor allem kleinere Bauvorhaben werden dabei fast ausschließlich mit traditionell handwerklichen Methoden errichtet. Dennoch wird mittlerweile fast jedes Gebäude, unabhängig vom Baustoff, bis zu einem bestimmten Grad aus vorgefertigten Elementen, wie Wand- und Deckenelementen aus Halbfertigteilen, Treppenläufe oder Balkone hergestellt.<sup>512</sup>

Die Einsatzmöglichkeiten der Vorfertigung im Holzbau sind dabei sehr vielfältig. Sie reichen von abgebundenen Tragwerkselementen bis hin zu vollständig im Werk produzierten Raumzellen. Die unterschiedlichen Systeme der Vorfertigung werden in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben. Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass die Abgrenzung zwischen den beiden Begrifflichkeiten des Elementbaus und des Modulbaus in der Fachliteratur und Praxis nicht immer eindeutig erfolgt.<sup>513</sup>

Die Grundlagen der nachfolgend erarbeiteten Aspekte lassen sich daher zum Teil auf unterschiedliche Bauteilsysteme im Holzbau umlegen.

##### 4.1.2.1 Bauteilsysteme im Holzbau

In wie weit sich ein Bauvorhaben bzw. Projekt vorfertigen lässt, ist unter anderem von der Art des gewählten Bausystems abhängig. Grund-

<sup>510</sup> Vgl. LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 3ff.

<sup>511</sup> Vgl. KAUFMANN, H.: Der andere Bauprozess. In: Zuschnitt, Juni/2013. S. 4f.

<sup>512</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. , S.594f

<sup>513</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 44.

sätzlich können Bausysteme im Holzbau in massive und leichte Bauweisen eingeteilt werden. Unabhängig davon gilt, je einheitlicher der Produktionsablauf der Bauteile ist, desto wirtschaftlicher wird auch das System ausfallen.<sup>514</sup>

Wie bereits in vorigen Kapitel eingehend beschrieben, können die entwickelten Bauweisen prinzipiell aus linearen, flächigen, oder dreidimensionalen Komponenten zusammengestellt werden. Je nach gewählter Bauweise, Skelettbau oder Elementbau, ergeben sich daraus unterschiedliche Anforderungen an die Vorfertigung.<sup>515</sup> Da die einzelnen Bauweisen in der Praxis nur selten in ihrer Reinform auftreten, muss in diesem Zusammenhang auch auf die Kombinierbarkeit der einzelnen Bausteine der Systeme untereinander geachtet werden. Besonders bei sog. Offenen Systemen, also Bauweisen, bei denen unterschiedliche Komponenten von mehreren Herstellern miteinander kombiniert werden können, kommt es zu einem nicht unerheblichen Mehraufwand während der Planungsphase. Um die geforderte Maßgenauigkeit einzuhalten, müssen beispielsweise die entwickelten Module typisiert und je nach Verwendungszweck katalogisiert werden. Die dadurch erreichte Normierung der Elemente gewährleistet eine reibungslose Kombinationsmöglichkeit einzelner Komponenten aus unterschiedlichen Bausystemen.<sup>516</sup>

In einschlägiger Fachliteratur zum Thema Vorfertigung wird beschrieben, dass die Bauweise an sich ganz wesentlich zur Höhe des Vorfertigungsgrades beiträgt. Während ein durchschnittlicher Fertigteilbau einen Vorfertigungsgrad von rund 40-60% aufweist, werden bei der Raumzellenbauweise Vorfertigungsgrade von bis zu 90% erreicht.<sup>517</sup>

Die in der nachstehenden Tabelle aufgelisteten Prozentsätze veranschaulichen die differierenden Verhältnisse von vorgefertigter zu traditioneller Bauleistung.

<sup>514</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 41f.

<sup>515</sup> Vgl. Ebd. S. 42.

<sup>516</sup> Vgl. Ebd. S. 42.

<sup>517</sup> Vgl. Ebd. S. 40.

Bereich des Bauens	Vorfertigungsgrad[%]
Rationalisierter Wohnungsbau	25-35
Industrielle Baustellenverfahren	20-30
Marktüblicher Fertigbau (Stahlbeton, Stahl, Holz)	40-60
Fertighäuser (Holzgroßtafeln)	50-80
Raumzellen, Sanitärzellen (Stahlbeton, Stahl, Holz)	80-90
Mobile Raumzellen (Stahl, Holz)	95-100
PKW-Fertigung (zum Vergleich)	100

**Tabelle 10** unterschiedliche Vorfertigungsgrade in Abhängigkeit zur Bauweise<sup>518</sup>

Dem hohen Vorfertigungsgrad von Raumzellen steht jedoch ein eher geringer Gestaltungsfreiraum gegenüber. Dennoch ist nach Ansicht zahlreicher Autoren ein hoher Vorfertigungsgrad nicht automatisch mit einer schlechten Individualisierbarkeit gleichzusetzen.<sup>519</sup> Denn wichtiger als eine einheitliche Geometrie der entwickelten Module, ist ein gleichförmiger Produktionsablauf dahinter zur Herstellung selbiger.<sup>520</sup> Dieser ist, je nach Bauweise, unterschiedlich und eignet sich teilweise nur bedingt zur Vorfertigung.

In der Holz-Rahmenbauweise wird eine nach einem bestimmten Raster erstellte, stabförmige Tragkonstruktion von Abbundmaschinen zugeschnitten und zu plattenförmigen Elementen zusammengefügt. Die notwendige Aussteifung erfolgt dabei durch mindestens eine einseitige Beplankung der Elemente. Die weitere Verarbeitung, wie etwa die Einbringung der Dämmstoffe, erfolgt derzeit meist manuell.<sup>521</sup>

Im Gegensatz dazu wird die Aussteifung im Holzskelettbau größtenteils durch die Integration von statisch wirksamen Diagonalen und Verbänden erreicht. Dabei sind, wie in der Rahmenbauweise, die stabförmigen Tragwerkelemente funktional streng von den raumabschließenden, flächigen Elementen getrennt. Durch die Entwicklung einer raster-

<sup>518</sup> STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 40.

<sup>519</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.2.1 Vorleistung des Planers

<sup>520</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 11.

<sup>521</sup> Vgl. (Steiermark, 2014)

förmigen Anordnung der Tragstruktur kann darüber hinaus ein hoher Gestaltungsfreiraum sichergestellt werden.<sup>522</sup>

Der erreichbare Vorfertigungsgrad kann innerhalb dieser Bauweise unterschiedlich hoch ausfallen. Er reicht grundsätzlich von der kompletten Fertigung vor Ort bis zur Produktion von ganzen Raumzellen im Werk.<sup>523</sup>

#### 4.1.2.2 Elementebau im Holz

Der moderne Holzbau war und ist sehr eng mit den Methoden der industriellen Vorfertigung verbunden. Bereits vor mehreren hundert Jahren wurden die verwendeten Holzelemente im Werk teils abgebunden und somit so weit wie möglich vorgefertigt. Mittlerweile reicht diese Vorfabrikation bis hin zu voll funktionsfähigen Wand- oder Deckenelementen, die vor Ort nur noch zusammengefügt und untereinander verbunden werden müssen.<sup>524, 525</sup> Diese bemerkenswerte Entwicklung ist einerseits auf die unaufhaltsame Evolution der verwendeten Datensysteme, andererseits auf die verbesserten Möglichkeiten der Transport- und Montagelogistik zurückzuführen.<sup>526</sup>

Daneben eröffneten sich durch die Weiterentwicklung der Holzbausysteme neue Möglichkeiten in der Vorfertigung. Während beim klassischen Skelettbau die lastabtragenden und raumabschließenden Elemente noch klar voneinander getrennt waren, werden diese Funktionen im Falle des Holzrahmen- oder Holzmassivbaus von ein und demselben Element erfüllt.<sup>527</sup> Die Ausbildung von tragenden, plattenförmigen Holzelementen erlaubt im Unterschied zur Vorfertigung von rein stabförmigen Konstruktionen einen sehr hohen Vorfabrikationsgrad. Dies erscheint nachvollziehbar, da ein Skelettbau vor Ort zumindest noch zur Rahmenverhüllung verkleidet werden muss. Hingegen ist dieser Arbeitsschritt bei der Entwicklung von flächenförmigen Elementen bereits meistens inkludiert.<sup>528</sup>

Die möglichen Systeme der Vorfertigung sind so vielfältig wie die unterschiedlichen Holzbausysteme selbst. Sie reichen von der Holzskelettbauweise über den Holzmassivbau bis hin zu vorgefertigten Raumzellen. Der Übergang zwischen dem Holzrahmen- bzw.

<sup>522</sup> Vgl. CARSTEN ROTH, C. R.: fertighauscity5+, Typologische und technische Untersuchung zu mehrgeschssigen Holzbauweisen. Forschungsbericht. S. 106f.

<sup>523</sup> Vgl. SCHÖBER, K. P.: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich, Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 5ff.

<sup>524</sup> Vgl. hierzu eingehender Kapitel 2.2.1 Von den Ursprüngen bis zur industriellen Revolution.

<sup>525</sup> Vgl. ISOPP, A.: Editorial. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 3.

<sup>526</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.3ff.

<sup>527</sup> Vgl. SCHÖBER, P.: Die Logistik der Vorfertigung. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 12.

<sup>528</sup> Vgl. ISOPP, A.: Editorial. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 3.

Holzmassivbau und der Raumzellenbauweise erfolgt dabei oft fließend.<sup>529</sup>

Prinzipiell können vorgefertigte Systeme aus stabförmigen Elementen oder Paneelen produziert werden. In Abhängigkeit von der gewählten Tragstruktur, also einer Skelett- oder Massivbauweise, können unterschiedlich hohe Vorfertigungsgrade erreicht werden.<sup>530</sup>

Einer der ersten industriell vorgefertigten Holzbausysteme waren die Skelettbauten der Manning-Cottages, die während der britischen Kolonialisierung im 18. Jahrhundert sehr weit verbreitet waren.<sup>531, 532</sup>

Das besondere Merkmal dieser Bauten sind die mehrmals demontierbaren, in einem Großraster eingebetteten Stützen, deren Funktion ausschließlich der Lastabtragung diene. Ähnlich wie beim ingenieurmäßigen Skelettbau sind die raumabschließenden oder für die Bauphysik erforderlichen Schichten klar von der Tragstruktur getrennt gewesen. Die Tiefe der Vorfertigung reichte dabei vom rein handwerklichen, auf der Baustelle produzierten Fachwerksbauten, bis hin zu komplexen im Werk produzierten Sandwichelementen.<sup>533</sup>

Neben der Skelettbauweise hat sich vor allem seit den 1920er und 1930er Jahren der Holzrahmenbau sowohl in Europa, als auch in den USA, Kanada und Australien allerdings sehr unterschiedlich etabliert. Nach dem Vorbild der amerikanischen sog. balloon-frames<sup>534</sup> setzte sich auch in Europa, insbesondere durch die Entwicklung von neuen Holzwerkstoffen, die ein- oder zweiseitig beplankte Holzrahmenbauweise durch. Der Beplankung kommt hier nicht nur eine raumabschließende, sondern auch eine aussteifende Funktion zu. Aufgrund der schlanken Rahmenquerschnitte werden meist sehr enge Rasterabstände nötig. Die Konstruktion der Holzrahmen erlaubt es jedoch, die Zwischenräume der Stützen mit Dämmmaterialien auszufüllen, wodurch eine sehr filigrane Konstruktionsfläche möglich wird. Diese Konstruktionsart ermöglicht tatsächlich den höchsten Vorfertigungsgrad einer Elementbauweise und ist besonders im Ein- und Mehrfamilienhausbau die am Öftesten realisierte Bauweise.<sup>535</sup>

Ein weiteres Holzbausystem, welches sich laut Meinung von Experten besonders zur Vorfertigung eignet, ist der eher junge Holzmassivbau. Speziell durch die in der jüngeren Vergangenheit entwickelten Vollholzelemente aus sog. Brettstapelbauteilen<sup>536</sup> oder Brettsperrholz könnten

<sup>529</sup> Vgl. SCHÖBER, P.: Die Logistik der Vorfertigung. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 12.

<sup>530</sup> Vgl. Ebd.

<sup>531</sup> Vgl. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 29.

<sup>532</sup> Die Entwicklung der vorgefertigten Gebäude insbesondere des Manning-Cottages ist in Kapitel 2.2.1 genauer beschrieben.

<sup>533</sup> Vgl. SCHÖBER, P.: Die Logistik der Vorfertigung. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 12.

<sup>534</sup> Die amerikanischen Balloon Frames waren bis Anfang des 19. Jahrhunderts in Nordamerika die gängigste Holz-Leichtbauweise. Die Tragkonstruktion erstreckte sich dabei meist durchgängig über zwei Geschosse.

<sup>535</sup> Vgl. SCHÖBER, P.: Die Logistik der Vorfertigung. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 12f.

<sup>536</sup> Brettstapelbauteile sind massive Holzbauteile, welche aus verdübelten Nadelschnitthölzern hergestellt werden.

auch bei dieser Bauweise hohe Vorfertigungsgrade erreicht werden. Ähnlich wie im Falle des Holzrahmenbaus sind dabei die lastabtragende und raumabschließende Funktion durch ein und dasselbe Element gegeben. Allerdings ist bei Konstruktionen aus massiven Holzbauteilen die tragende Schicht klar von den für die bauphysikalischen Anforderungen notwendigen Ebenen getrennt. So muss beispielsweise die Dämmung separat auf die Tragstruktur aufgebracht werden.

Die massiven Holzplatten werden fast ausschließlich im Werk abgebunden und auf der Baustelle durch meist standardisierte Verbindungssysteme miteinander verbunden. Üblicherweise werden dabei auch die Fenster und Installationen erst vor Ort montiert, die Öffnungen dafür aber bereits im Werk vorgeschritten.<sup>537</sup>

#### 4.1.2.3 Modulbau im Holz

Die Begrifflichkeiten des Elements oder Moduls sind in der einschlägigen Literatur oft nicht klar voneinander abgegrenzt und werden in der Praxis teilweise sogar synonym für ein Bauen nach dem sog. Baukastenprinzip verwendet.

Streng genommen wird unter einem Bauelement ein vorgefertigtes Teilstück verstanden, welches zur Errichtung von Gebäuden oder verschiedenen Maschinen eingesetzt wird.<sup>538</sup>

Ein Modul bezeichnet im Bauwesen hiergegen einen Teil eines Ganzen, der besonders durch serielle Wiederholung in der Produktion und im Entwurf gekennzeichnet ist. Diese Teilstücke werden durch dreidimensionales Zusammenfügen zu größeren Strukturen und Einheiten verbunden.<sup>539</sup>

Der Grad der Vorfertigung ist durch diese beiden Definitionen alleine jedoch noch nicht bestimmt. Erst die Begrifflichkeit der Raumzelle, die im Duden als vollständig im Werk produzierter Teil eines Gebäudes definiert wird, lässt einen Rückschluss über den Umfang der Vorfabrikation zu.<sup>540</sup>

Unter einer Raumzelle wird demnach eine vollständig funktionsfähige Einheit verstanden, die im Werk produziert und auf der Baustelle zu einem Gebäude zusammengefügt werden kann. Prinzipiell werden diese Einheiten, je nach Anforderungen, entweder als tragende oder nicht tragende Komponenten ausgebildet. In Abhängigkeit vom Verwendungszweck werden dabei neben den Tragwerkselementen, auch unterschiedliche Ausbauteile im Werk integriert. Dadurch können mitunter sehr hohe Vorfertigungsgrade erreicht werden, etwa wenn

<sup>537</sup> Vgl. SCHÖBER, P.: Die Logistik der Vorfertigung. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 2.

<sup>538</sup> Vgl. <http://www.duden.de/suchen/dudenonline/Bauelement>. Datum des Zugriffs: 20.11.2014

<sup>539</sup> Vgl. STEURER, A.: Entwicklung im Ingenieurholzbau. S. 216ff.

<sup>540</sup> Vgl. <http://www.duden.de/rechtschreibung/Raumzelle>. Datum des Zugriffs: 20.11.2014

sowohl die gesamte Gebäudetechnik, als auch der Innenausbau und die Fenster- und Türelemente in die Vorfertigung einbezogen werden.<sup>541</sup>

Die tragende Struktur der Raumzellen wird meist aus Stahl, Beton oder eben Holz gefertigt. In den 1960er und 1970er Jahren wurden zum Teil auch Raumzellen aus Kunststoff produziert, die den futuristischen Charakter mancher Architekturentwürfe unterstreichen sollten.

Heute wird die Modulbauweise vorwiegend dann eingesetzt, wenn das Bauvorhaben innerhalb einer kurzen Montagezeit vor Ort abgewickelt werden muss. Dabei ist es für die Wahl des Bausystems irrelevant, ob das Bauvorhaben nur temporär am Bauplatz aufgestellt wird, oder ob eine dauerhafte Nutzung erforderlich ist. Grundsätzlich besteht ein Raummodul aus Holz meist aus vertikalen und horizontalen, flächigen Elementen, wobei die Module nach einem vorab entwickelten Prinzip addiert werden können.<sup>542</sup>



Abbildung 66 Beispiel einer fertigen Raumzelle aus Holz<sup>543</sup>

Eine stetige Wiederholung der Grundmodule begünstigt dabei die Vorfertigung der Holzbauteile. Je nach Größe der entwickelten Serie wird eine sehr wirtschaftliche Automatisierung der Produktion ermöglicht, welche bis zu einem gewissen Grad auch einen höheren Leistungsumfang in der Arbeitsvorbereitung und Detailplanung rechtfertigen.<sup>544</sup>

Mithilfe moderner Produktionstechniken können mittlerweile allerdings auch bei kleineren Bauvorhaben individuelle Bauherrenwünsche

<sup>541</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 160.

<sup>542</sup> STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 162.

<sup>543</sup> <http://www.wir-bauen-leben.de/home/>. Datum des Zugriffs: 25.Februar.2015

<sup>544</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 533.

wirtschaftlich umgesetzt werden.<sup>545</sup> Die Raumzellen werden dabei meist von Zimmereibetrieben oder auch großen Holzbauunternehmen komplett vorgefertigt und zur endgültigen Montage auf die Baustelle transportiert. Die Größe der produzierten Holzzellen richtet sich in diesem Kontext nach den maximal zulässigen Abmessungen des Straßentransports und darf nach gültiger Straßenverkehrsordnung höchstens 6,0 mal 20,0 mal 2,7 Meter betragen, wenn dementsprechende Genehmigungen vorliegen und Begleitfahrzeuge zum Einsatz kommen. Ein wesentlicher Vorteil von Holzzellen gegenüber jenen aus Beton stellt hier vor allem das relativ geringe Eigengewicht der Konstruktion dar. Dies lässt auch einen unkomplizierten Transport der Module über weite Strecken zu.<sup>546</sup>

Die Tragkonstruktion der entwickelten Raumzellen wird meist in einer Form der Holzrahmenbauweise oder aus massiven Brettsperrholzplatten hergestellt. Ähnlich wie bei dem im vorherigen Kapitel beschriebenen Elementbau wird die Dämmung und Installationsführung bei Modulen aus Holzrahmenelementen in den systeminternen Hohlräumen verlegt. Bei Raumzellen aus Massivholz werden hiergegen die für die Einhaltung der bauphysikalischen Rahmenbedingungen notwendigen Schichten an der Außenseite der Elemente angebracht. Dies bedingt allerdings eine größere Bauteildicke. Daher kann aufgrund der großen Masse einer massiven Konstruktion aus Holz ein verbesserter Schallschutz erreicht werden als im Falle einer Leichtbaukonstruktion.<sup>547</sup>

Die Manipulation der Raumzellen vor Ort erfolgt bei beiden Vorfertigungssystemen sehr ähnlich. Mithilfe von leistungsstarken Hebewerkzeugen und meist Mobilkränen werden die Module auf Streifen- oder Plattenfundamente gesetzt und mittels spezieller Anschlusswinkel oder auch Lochblechen, die gleichzeitig auch als Hebevorrückung dienen, kraftschlüssig miteinander verbunden. Die erlaubte Höhe der auf diese Weise errichteten Bauwerke ist bis dato noch durch die Baugesetze begrenzt.<sup>548</sup>

<sup>545</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.3.

<sup>546</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 162.

<sup>547</sup> Vgl. Ebd. S.162.

<sup>548</sup> STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 163.

## 4.2 Status quo im industriellen Holzbau

Die Idee der Vorfertigung und Elementierung von Strukturen erlangte nicht nur in der Automobil- und Unterhaltungsindustrie, sondern auch in der Bauwirtschaft über die letzten Jahrzehnte, hauptsächlich aufgrund der Zeit-, Kosten- und Qualitätsvorteile, im Vergleich zu konventionellen Bauweisen, immer größere Bedeutung. Der Einsatz von vollständig vorgefertigten Modulen, die nach dem JIT-Prinzip auf die Baustelle geliefert werden, erreicht durch den stets wichtiger werdenden Faktor Zeit immer größeren Einfluss. Eines der zentralsten Themen der Vorfertigung ist dabei die strukturelle Verbesserung des Herstellungsprozesses zur Steigerung der Effizienz und Produktqualität.<sup>549</sup>

Bezogen auf die Vorfertigung von Gebäuden bedeutet das meist ein Streben nach Standardisierung und Normierung von gut durchdachten Einzelkomponenten, die vor Ort nach einem unterschiedlich gelagerten Baukastenprinzip zu Bauwerken verbunden werden. Je höher der Vorfertigungsgrad dieser Bauteile ist, desto geringer fallen in der Regel dabei die notwendigen Montage- oder Nacharbeiten auf der Baustelle aus. Dadurch kann die Bauzeit erheblich reduziert werden.

Die zweite Strategie, welche eine Effizienzsteigerung in der Herstellung ermöglicht, ist die Erhöhung der on-site Automatisierung. Durch den Einsatz von computerunterstützten Maschinen lassen sich besonders immer wiederkehrende Arbeitsabläufe durch vollautomatische Roboter ausführen.<sup>550</sup> Diese Maschinen erlauben nicht nur eine weitaus höhere Präzision, sondern können auch dann eingesetzt werden, wenn die Arbeit für die Arbeitnehmer eine zu große Gefahr darstellen würde.<sup>551</sup>

Die unterschiedlichen Produktionsstrategien, die zur Effizienzsteigerung eingesetzt werden, sind in den nachfolgenden Kapiteln genauer beschrieben.

Da sich der Baustoff Holz durch unterschiedliche Faktoren, wie dessen leichte Bearbeitbarkeit und geringes Eigengewicht bei gleichzeitig guten statischen Werten, sehr gut zur Vorfertigung eignet, sind die einzelnen Strategien vor allem auf die Vorfertigung in der Holzbauweise bezogen.

Grundsätzlich lassen sich die vorgefertigten Holzbauweisen in die

- Blockbauweise
- Holzrahmenbauweise
- Skelettbauweise und
- plattenförmige Massivholzbauweise unterscheiden.<sup>552</sup>

<sup>549</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 263.

<sup>550</sup> Vgl. Hierzu Kapitel 2.1.6.

<sup>551</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 263f.

<sup>552</sup> Vgl. 57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 264.

Die in den folgenden Kapiteln bezogenen Grundsätze beziehen sich dabei auf alle genannten Bausysteme.

#### 4.2.1 Baustellenproduktion

Bei einer Baustellenproduktion wird die Steigerung der Arbeitsproduktivität durch einen Anstieg des Automatisierungsgrades der Baustellenarbeit an sich erreicht. Dies wird mithilfe der Mechanisierung von einfachen, sich wiederholenden Arbeitsschritten, die eine konstant hohe Qualität erfordern, ermöglicht. Je öfter wiederkehrende und immer gleiche Arbeitsabläufe durch eine Maschine durchgeführt werden können, desto höher ist der Auslastungsgrad selbiger und somit auch die Wirtschaftlichkeit der Mechanisierung. Eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Integration von vollautomatischen Arbeitsrobotern in den Bauablauf ist dabei die technische Robustheit der Maschine im eher rauen Baustellenalltag. Gleichzeitig muss die Höhe der Anschaffungskosten in einem vertretbaren Verhältnis zu dem erzielbaren Produktivitätsgewinn stehen. Dies wird nach Ansicht von Experten nur durch die Verwendung von Seriengeräten erreicht.<sup>553</sup>

Beispiele für die Automatisierung im Holzbau sind die kontinuierliche Aufbringung von Außenputz auf das entwickelte Wärmedämmsystem oder auch die vollautomatische Zulieferung von Holzelementen zu den Abbundanlagen im Werk.

Obwohl ein hoher Automatisierungsgrad zu einem effizienteren Bauablauf führt oder führen kann, muss bei zunehmender Mechanisierung ein zeitlicher und personeller Mehraufwand in der Arbeitsvorbereitung ausgeglichen werden.<sup>554</sup>

Dabei ist anzumerken, dass der Holzbau in der Vorfertigung und insbesondere in der individuellen Fertigbauweise, im Vergleich zu anderen konstruktiven Baustoffen, derzeit nach Ansicht von Experten am Stärksten entwickelt ist. Durch den Einsatz von CIM-gesteuerter Technik oder von Fräs- und Nagelmaschinen gelingt es einschlägiger Literatur folgend, individuell gestaltete Bauelemente mit sehr hohem Vorfertigungsgrad und ohne nennenswerte höhere Kosten herzustellen.<sup>555</sup> Der Anteil der Baustellenfertigung ist bei dieser Form der Vorfertigung folglich sehr gering und beschränkt sich auf das Heben, Positionieren und Verbinden der einzelnen Bauelemente untereinander. Zudem muss eine wetterfeste Abdichtung der Konstruktion ausgebildet werden.<sup>556</sup> Die klassische, meist manuelle Baustellenarbeit, wird durch

<sup>553</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 531ff.

<sup>554</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.3ff.

<sup>555</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit, S. 24.

<sup>556</sup> Vgl. WELLER, K.: Industrielles Bauen 1. Grundlagen und Entwicklung des industriellen, energie- und rohstoffsparenden Bauens. S. 96f.

eine fast reine Montagearbeit ersetzt, bei der die Gebäude geschößweise montiert werden. Dabei ist besonders auf eine einfache und rasch durchführbare Verbindungstechnik, sowie auf einen kontinuierlichen Material-, Anlieferungs- und Arbeitsfluss zu achten. Dies stellt insgesamt hohe Anforderungen an die eigentliche Ablaufplanung bzw. Arbeitsvorbereitung und Materialbeschaffung.<sup>557, 558</sup>

Um eine effiziente Positionierung der vorgefertigten Elemente oder Module vor Ort sicherzustellen, werden meist vorgezeichnete Bezugsflächen oder passgenaue Hilfsmaterialien verwendet, durch welche ein zeitaufwändiges Nachjustieren verhindert werden soll. Allerdings muss auch beim Arbeiten mit vofabrizierten Elementen laufend auf die Gewährleistung der Standsicherheit geachtet werden. Bis diese erreicht ist, werden die positionierten Elemente meist durch schräggehende Justierstützen oder anderen Hilfskonstruktionen gestützt.<sup>559</sup>

#### 4.2.2 Integration von Komponenten der technischen Gebäudeausstattung im Werk

Der Grad der Vorfertigung von Gebäuden fällt oft unterschiedlich hoch aus. Bezogen auf Einfamilienhäuser haben sich gemäß der ÖNORM B 2310 verschiedene Ausbaustufen entwickelt, welche die Fertigungstiefe von Bauwerken klassifiziert. Je höher dabei der Vorfertigungsgrad ist, desto geringer wird die Eigenleistung des Auftraggebers bzw. die Arbeit Dritter sein.<sup>560</sup>

Neben den drei von der ÖNORM definierten Ausbaustufen<sup>561</sup>, haben sich in der Praxis weitere Bauformen und -stufen entwickelt, welche meist nicht klar definiert sind und von Hersteller zu Hersteller variieren. Einige Ausbaustufen, wie etwa das Rohbauhaus oder das Bausatzhaus, bei denen noch ein sehr hoher Anteil an Eigenleistung erbracht werden muss, werden mittlerweile kaum noch von den Herstellern angeboten. Hiergegen werden jene Ausbaustufen, bei denen zumindest die Rohinstallation der technischen Gebäudeausstattung (kurz: TGA) im Werk vorgefertigt wird, standardmäßig von den meisten Anbietern ausgeführt.<sup>562</sup>

<sup>557</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.3ff.

<sup>558</sup> Vgl. WELLER, K.: Industrielles Bauen 1. Grundlagen und Entwicklung des industriellen, energie- und rohstoffsparenden Bauens. S. 96f.

<sup>559</sup> Vgl. Ebd. S. 96f.

<sup>560</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 29.

<sup>561</sup> Das sind das Ausbauhaus, das belagsfertige Haus und das schlüsselfertige Haus.

<sup>562</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 29.



Abbildung 67 oberer Anschluss des teilvorgefertigten Gebäudeschachts<sup>563</sup>

Eine höhere Fertigungstiefe hat allerdings auch einen höheren Planungsaufwand und eine umfangreichere Arbeitsvorbereitung zur Folge. Der Fertigteilbau in der Holzbranche ist derzeit von kleinen bis mittelständischen Unternehmen (kurz: KMU's) einerseits und der sog. Fertighausindustrie andererseits geprägt. Klassische Holzbauunternehmen greifen bei der Vorfertigung meist noch auf manuelle Tätigkeiten zurück. Daneben wird nur ein gezielter Einsatz von Spezialmaschinen verfolgt. Sehr selten setzt sich ein vollautomatisierter Ablauf in der Produktion durch.<sup>564</sup>



Abbildung 68 teilvorgefertigter Gebäudeschacht<sup>565</sup>

<sup>563</sup> Fotoaufnahme Katharina Hintersteininger, 9.9.2014

<sup>564</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 20.

<sup>565</sup> Fotoaufnahme Katharina Hintersteininger, 9.9.2014

Zusätzlich zu der flexiblen Produktionstechnik kommt auch der Produktionsplanung sehr große Bedeutung zu. Bei der Fertigung eines Holzhauses wird dabei meist ein virtuelles 3D-Modell der Konstruktion des Objekts nachgebildet, wobei sämtliche, zur Verfügung stehenden Entwurfsdaten, bereits frühzeitig integriert werden. Anhand der so generierten Daten wird es möglich, alle für die Produktion notwendigen Details im System abzubilden und so die Anlagen mit allen für die Fertigung relevanten Informationen zu versorgen.<sup>566</sup> Besonderes Augenmerk sollte in diesem Zusammenhang auch auf die Einbindung der eigentlichen Gebäudetechnik in den Entwurf und die Ausführung dieser gelegt werden. Nicht nur die Anordnung der Gebäudetechnik und der dafür notwendigen Installationen, sondern auch die technischen Möglichkeiten der Produktion müssen hier Berücksichtigung finden. Die Vorfertigung der Gebäudetechnik im Werk erfolgt bis dato mit wenigen Ausnahmen, wie bspw. das Vorbohren der erforderlichen Wandanschlüsse, nach wie vor größtenteils manuell. Auch das Verziehen der Leerverrohrungen im Schacht wird meistens händisch durchgeführt.

Die Elementfertigung erfolgt hiergegen zumindest teilautomatisiert, indem die Elemente der Tragstruktur auf Abbundanlagen zugeschnitten und je nach Bauweise auf Nagelbrücken weiterverarbeitet werden. Die so entstandenen Elemente können im Werk danach durch geeignete Hebevorrichtungen positioniert und kraftschlüssig zu Raumzellen verbunden werden. Die spätere Aufbringung der Dämmung geschieht dann meist wieder manuell.<sup>567</sup>

#### 4.2.3 Aspekte der Logistik und Montage

Nach der Aufbringung der äußersten Putzschicht werden die vorgefertigten Module oder Elemente wetterfest verpackt und mithilfe eines oft komplexen logistischen Systems, wie Liefer- und Verladereihenfolgen, für den Transport verladen. Diese Arbeit erfolgt derzeit zum größten Teil manuell unter der Zuhilfenahme verschiedener Hebezeuge.<sup>568</sup>

Um die Elemente möglichst platzsparend und für die spätere Montage vor Ort bedarfsgerecht zu transportieren, muss zuvor eine sog. Ladereihenfolge festgelegt werden.<sup>569</sup> Zusätzlich ist auch eine exakte Koordination der Logistikbewegungen auf der Baustelle notwendig, damit der Vorteil der kurzen Montagezeit vor Ort auch genutzt und eventuell

<sup>566</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.2.2.

<sup>567</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 16.

<sup>568</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 46.

<sup>569</sup> Vgl. Ebd. S. 46.

sogar ausgebaut werden kann. Diese Anforderung ist dann umso wichtiger, wenn eine JIT-Lieferung verfolgt wird.<sup>570</sup>

Insbesondere beim Modulbau spielen die Aspekte der Logistik und Montage zu einem sehr frühen Zeitpunkt eine wesentliche Rolle. So muss beispielsweise bereits in der Planung das zu erwartende gesamte Eigengewicht der entwickelten Module, sowohl auf die Möglichkeiten des Transportgeräts, die Straßen und Zufahrtssituationen, als auch auf die Leistungsfähigkeit der Hebewerkzeuge auf der Baustelle abgestimmt werden.

Gleichzeitig errechnet sich der Umfang der Restarbeiten auf der Baustelle in Abhängigkeit zum Vorfertigungsgrad. Bei Modulen mit hoher Fertigungstiefe werden Arbeiten, wie jene der Ausbaugewerke oder die Montage der Installationen, eher gering ausfallen.<sup>571</sup>

Nach der Kommissionierung der Elemente oder Raumzellen in der eigentlichen Produktion werden diese vom Werk zur Baustelle transportiert. Damit unverzüglich mit der Montage der Module begonnen werden kann, müssen zuvor jedoch die eventuell erforderlichen Massivbauarbeiten vor Ort abgeschlossen sein, um eventuelle Bauzeitverzögerungen und Stillstände der Hebezeuge und des Montagepersonals zu vermeiden. Allerdings werden die Massivbauleistungen an Fundamenten oder Stiegenhausbauten meist von anderen Professionisten übernommen und an Subunternehmer weitergegeben. Dadurch entsteht zwar ein gewisser Mehraufwand in der Koordination, gleichzeitig bietet Distanz anderer Gewerke einige Vorteile. So kann etwa bei einer Ortsgebundenheit der Betonwerke auf weite Transportwege verzichtet werden. Dies ist vor allem im Hinblick auf das meist sehr hohe Eigengewicht der zu verbauenden Betonmassen von Vorteil. Im Gegensatz dazu stellen der Transport und die Logistik der im Werk produzierten Holzelemente aufgrund des geringen Eigengewichts heute keine nennenswerten Schwierigkeiten und Herausforderungen dar.<sup>572</sup>

<sup>570</sup> Vgl. WELLER, K.: Industrielles Bauen 1. Grundlagen und Entwicklung des industriellen, energie- und rohstoffsparenden Bauens. S. 96f.

<sup>571</sup> Vgl. PIRCHNER, E.: In dreifacher Ausführung: Bürogebäude für Österreich, Rumänien und Deutschland. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 18f.

<sup>572</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 47.

### 4.3 Arbeitsvorbereitung im Holzbau

Mit der steigenden Automatisierung des Bauablaufs gewinnt auch eine umfassende Arbeitsvorbereitung an Bedeutung.<sup>573</sup> Darunter fällt prinzipiell die vorrausschauende Planung, sowie die Koordination der eigentlichen Fertigungsprozesse. Für eine erfolgreiche Umsetzung einer industriellen Produktion ist neben einer hohen Mechanisierung der eingesetzten Arbeitsgeräte auch eine standardisierte und prozessorientierte Arbeitsvorbereitung von Bedeutung. Es reicht also nicht aus die Arbeitsschritte auf der Baustelle oder im Werk soweit zu rationalisieren, dass ein bestmöglicher Wirtschaftserfolg erzielt werden kann. Vielmehr wird erst durch die Automatisierung der Arbeitsvorbereitung eine effiziente Vorfertigung ermöglicht.<sup>574</sup>

Sowohl das Bauen mit Fertigteilen, als auch der Einsatz von automatisch ablaufenden Arbeitsschritten erfordert eine systematische und klar durchdachte Planung des eigentlichen Bauablaufs. Dabei muss nicht nur die Produktion im Werk, sondern auch der Transport zur Baustelle und die Montage vor Ort Berücksichtigung finden. Insbesondere die Just-In-Time Produktion stellt hier hohe Anforderungen an die Koordination der Tätigkeiten und an die Arbeitsvorbereitung. Eine Verzögerung der Lieferungen könnte den Stillstand der gesamten Baustelle zur Folge haben.<sup>575</sup>

Allerdings hat laut Ansicht mehrerer Fachleute nicht nur die Wahl des Liefersystems, sondern auch die Wahl des verwendeten Fertigungsverfahrens Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Bauunternehmers. Hierbei muss vor allem eine kontinuierliche Auslastung der verwendeten Produktionsmittel sichergestellt werden. Dafür wird der Arbeitsablauf in einzelne Schritte unterteilt und diese zeitlich aufeinander abgestimmt. Durch verschiedene Kontrollmechanismen kann dabei die Einhaltung der veranschlagten Bauzeit kontrolliert oder auf etwaige zu erwartende Bauzeitverzögerungen reagiert werden.

In den nächsten Kapiteln werden der Ablauf der Fertigungsplanung, sowie die dafür notwendigen Produktionsprozesse im Holzbau näher beschrieben. Danach werden die einzelnen Produktionsprozesse unterteilt und klassifiziert, um so einen bestmöglichen und wirtschaftlich sinnvollen Vorfertigungsgrad zu bestimmen.

Abschließend wird der Ablauf einer Standardisierung und Systematisierung in dessen Grundzügen für den Holzbau erklärt.

<sup>573</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 533.

<sup>574</sup> Vgl. Ebd. S. 529ff.

<sup>575</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529ff.

### 4.3.1 Fertigungsplanung

Allgemein betrachtet benötigen komplexe, großvolumige Holzbauprojekte eine längere Vorlaufzeit für die Planung und Vorfertigung der notwendigen Elemente, als vergleichbare Projekte in traditioneller Bauweise. Aufgrund der hohen Fertigungstiefe ist es zudem nötig, alle wichtigen Entscheidungen bereits im Vorfeld der Produktion zu treffen, denn eine baubegleitende Ausführungsplanung ist im Falle einer industriellen Bauweise in keinster Weise möglich und sinnvoll.

Mithilfe der industriellen Bauweise kann jedoch letztendlich die insgesamt länger dauernde Planungszeit im Vorfeld durch eine schnellere Montage ausgeglichen werden. In den nachfolgenden Grafiken wird der zeitliche Ablauf einer konventionellen Bauweise mit der eines industriell gefertigten Holzbauprojekts verglichen.

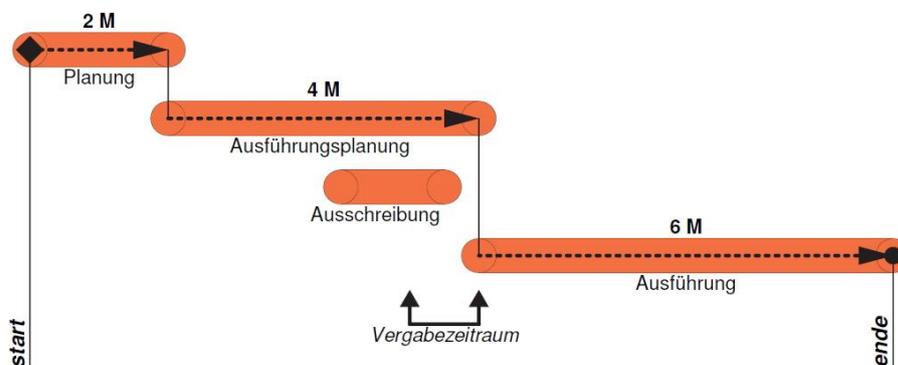


Abbildung 69 Bauablauf einer klassischen Bauweise<sup>576</sup>

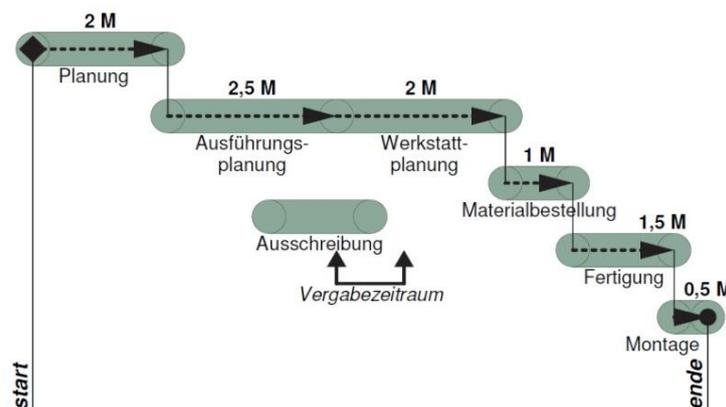


Abbildung 70 Bauablauf eines industriellen Holzbauprojekts<sup>577</sup>

Eine baubegleitende Ausführungsplanung bei konventioneller Bauweise birgt zudem einige Risiken in sich. Bspw. wird durch die parallel verlaufenden Planungs- und Ausführungstätigkeiten der Koordinations-

<sup>576</sup> ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 68.

<sup>577</sup> ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 68.

und Kommunikationsaufwand zwischen den Fachplanern und ausführenden Unternehmen deutlich erhöht. Zudem besteht die Gefahr, dass alte, nicht mehr aktuelle Planunterlagen als Ausführungsbasis herangezogen werden und so zu Baufehlern führen. Eine laufende, präzise Kontrolle und Bauüberwachung wird daher zwingend notwendig.

Während die Ausführungs- und Werkstattplanung bei einer vorgefertigten Bauweise in Summe länger dauert, kann durch die Optimierung des Fertigungs- und Montageablaufs insgesamt eine kürzere Ausführungszeit erreicht werden.<sup>578</sup>

Seit einigen Jahren steht das interdisziplinäre Streben, individuelle Produkte zu ähnlichen Konditionen, wie jene der klassischen Serienproduktion, anbieten zu können, im Mittelpunkt der betriebswirtschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Forschung. Diese Thematik setzt besonders hohe Ansprüche an die Prozessentwicklung der Werkplanung.<sup>579</sup>

Für die Umsetzung einer individualisierten und dennoch günstigen Produktion müssen vor allem drei Baseigenschaften für die Fertigungs- und Logistikplanung erreicht werden. Neben der Erweiterbarkeit der Planungsaufgaben, sind das eine flexible Integrationsfähigkeit von neuen Aufgaben und eine konstante Lernfähigkeit der entwickelten Planungsprozesse. Bei geänderten Voraussetzungen sollen die entwickelten Prozesse auf vergleichbare Problemlösungen bereits durchgeführter Planungsaufgaben zurückgreifen und diese entsprechend der gegenwärtigen Problemstellung modifizieren.<sup>580</sup>

Die Anforderungen an die Werkplanung von individuellen Bauteilen sind um einiges komplexer als jene einer standardisierten Produktion. Dies rührt auch daher, dass sich einige Aufgaben aus der Produktentwicklung in die Ebene der Auftragsabwicklung verschieben. Dazu gehören unter anderem eine kundenspezifische Produktionsplanung, sowie die individuelle Erarbeitung von Fertigungsunterlagen. Da diese Aufgaben im Falle einer kundenindividuellen Einzelfertigung um ein Vielfaches häufiger durchgeführt werden müssen, als bei einer seriellen Produktion, wird in vielen Fällen versucht, diese bis zu einem gewissen Grad zu standardisieren und automatisieren.<sup>581</sup>

Die Arbeits- oder Werkplanung ist, zeitlich betrachtet, zwischen der Entwurfsplanung, der eigentlichen Konstruktionsplanung, der Werkplanung und der Werkstattplanung mit den endgültigen Einzelteilszeichnungen und der endgültigen Montage der Bauteile mit

<sup>578</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 68.

<sup>579</sup> Vgl. LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.: Individualisierte Produkte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion . S. V.

<sup>580</sup> Vgl. LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.: Individualisierte Produkte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion . S. 64.

<sup>581</sup> Vgl. Ebd. S.71.

der Montageplanung angeordnet. Die zuvor beschriebene Basisaufgabe der Integrationsfähigkeit bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die Möglichkeit, das entwickelte System als Schnittstelle zwischen den beiden Aufgaben zu installieren. Dafür werden meist herstellerunabhängige CAD-Systeme eingesetzt, die über eine erweiterungsfähige Kommunikationstechnologie verfügen.

Der Faktor der Lernfähigkeit wird durch eine stetige Ergänzung der im Programm integrierten Datensätze erreicht. Dabei muss besonders die Rückkoppelung der aus der Fertigung gewonnenen Informationen zur Werkplanung sichergestellt werden.<sup>582</sup>

Das primäre Ziel der Werkplanung, die Produktion und Absetzung industrieller Güter, wird erst durch die Verknüpfung mehrerer Teilbereiche untereinander bewerkstelligt. Die wichtigsten Faktoren sind in diesem Zusammenhang die Materialbeschaffung, die Durchführung der Produktion und der Vertrieb der angefertigten Bauteile.

Die Produktion selbst stellt dabei den zentralen Bereich eines industriell orientierten Unternehmens dar. Die wesentliche Aufgabe ist in diesem Fall, die bereits entworfenen Bauteile oder Produkte nach einem zuvor bestimmten Bedarf und einem Terminplan wirtschaftlich anzufertigen. Die Beschaffungslogistik und der Vertrieb der produzierten Elemente sind der Produktion vor- bzw. nachgelagert und stehen in direkter Verbindung mit der Unternehmensumwelt.

Sowohl die Beschaffung, als auch die Produktion und der Vertrieb sind in weitere Subsysteme unterteilt. Bezogen auf die Produktion sind das die Bereiche der Arbeitsvorbereitung, der Fertigung und der Montage.<sup>583</sup>

Die nachstehende Grafik stellt ein systematisches Modell der Prozessgestaltung eines Produktionsunternehmens dar.

<sup>582</sup> Vgl. LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.: Individualisierte Produkte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion . S. 72.

<sup>583</sup> Vgl. Ebd. S. 72.

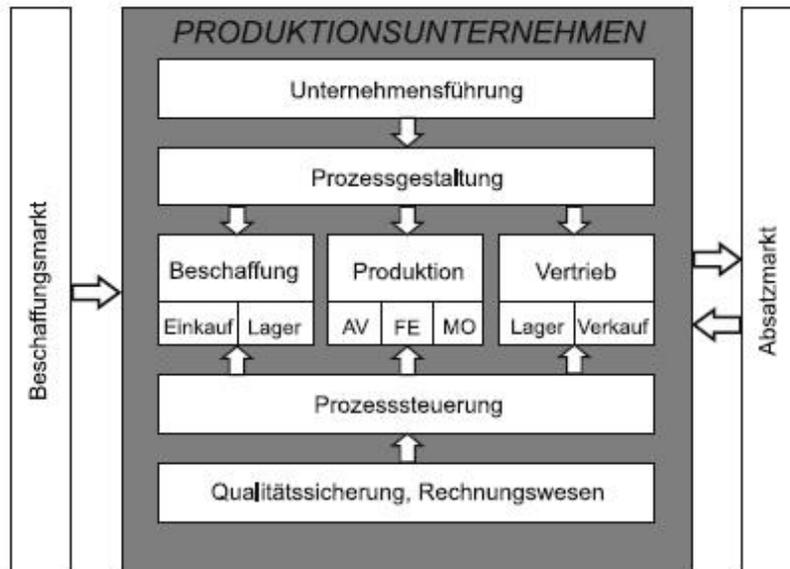


Abbildung 71 systematisches Modell der Prozessgestaltung eines Unternehmens<sup>584</sup>

Das Subsystem der Arbeitsvorbereitung wird wiederum in die Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung unterteilt. Die Arbeitsplanung befasst sich dabei mit einmalig auftretenden Planungsaufgaben unter ständiger Berücksichtigung einer wirtschaftlich optimalen Fertigungsstrategie. Darunter fallen sowohl längerfristige Aufgaben, wie bspw. die Koordination der Lager- und Transportplanung, als auch die Behandlung kurzfristiger Problemstellungen, wie die Erarbeitung von Stücklisten für die Produktion. Die Arbeitssteuerung behandelt dagegen jene Aspekte, welche für die Durchführung einer erfolgreichen Arbeitsplanung notwendig sind. Das ist unter anderem die Ermittlung des Anteils an Eigenfertigung oder die Koordination der Fremdbezugsplanung.<sup>585</sup>

Im Subsystem der Fertigung werden die geometrischen Vorgaben des Entwurfs durch die Veränderung der Beschaffenheit und Oberfläche des Ausgangsmaterials umgesetzt. Im Holzbau erfolgt dies meist durch das Abbinden, Fräsen oder Bohren der Ausgangsmaterialien.<sup>586</sup>

Die Montage stellt schließlich den Abschluss des Produktionssystems dar. Hier werden alle vorangegangenen Arbeitsschritte zu einem Gesamtergebnis zusammengefügt.<sup>587</sup>

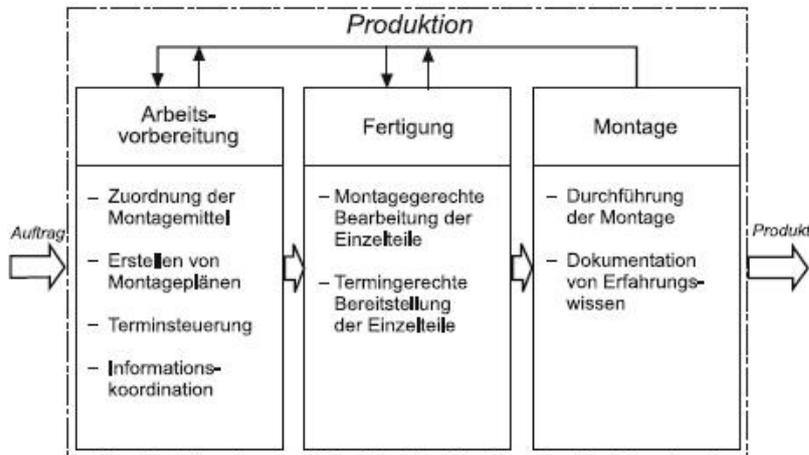
Die nachstehende Grafik bildet den Ablauf einer Produktion von der Arbeitsvorbereitung über die Fertigung bis zur Montage ab.

<sup>584</sup> LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.: Individualisierte Produkte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion . S. 73.

<sup>585</sup> Vgl. Ebd. S. 73f.

<sup>586</sup> Für den genauen Ablauf der Produktion von vorgefertigten Holzelementen Vgl. Kapitel 2.3.1.

<sup>587</sup> Vgl. LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.: Individualisierte Produkte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion . S. 74.

Abbildung 72 systematischer Ablauf einer Produktion<sup>588</sup>

Eine wichtige Voraussetzung für die Fertigungsplanung ist besonders bei einer kundenindividuellen Produktion eine fertigungsnahe Bedarfsermittlung und -steuerung der benötigten Betriebsmittel. Dies stellt hohe Anforderungen an die Erstellung von auftragsabhängigen Fertigungsunterlagen. Zudem nimmt aufgrund des sich je Auftrag ändernden Leistungsziels auch die Bedeutung des Informationsgehalts der Fertigungspläne zu. Da die Aufträge meist sehr unterschiedlich ausfallen, müssen sich die Mitarbeiter stets auf die zur Verfügung gestellten Unterlagen verlassen und können nur bedingt auf Erfahrungsprojekte zurückgreifen. Dies führt unweigerlich zu einem Mehraufwand innerhalb der Fertigungsplanung. Um eine konstante und hohe Qualität der Unterlagen sicherzustellen, wird meist die Anzahl der Planungsaufgaben erhöht, was unweigerlich zu höheren Kosten führt. Diesem Kostenanstieg kann jedoch durch die Entwicklung eines geeigneten Systems entgegengewirkt werden. So wird die Fertigungsplanung beispielsweise in partielle Teile untergliedert, welche parallel oder nacheinander ablaufen können.<sup>589</sup>

Ein weiterer wesentlicher Punkt in der Fertigungsplanung ist die Planung des Materialflusses. Um individualisierte Bauteile herstellen zu können, muss auch die Steuerung des tatsächlichen Materialflusses flexibel auf die Anforderungen der Kundenwünsche reagieren können. Dabei muss vor allem eine Fördergutflexibilität, Layoutflexibilität und Durchsatzflexibilität ermöglicht werden.

Die Fördergutflexibilität beschreibt in diesem Zusammenhang die Möglichkeiten eines Systems, unterschiedlichste Produkte, unabhängig von deren Abmessungen oder Eigengewicht, zu transportieren. Die Layoutflexibilität beschreibt eine schnelle Reaktionszeit des Material-

<sup>588</sup> LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.: Individualisierte Produkte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. S. 74.

<sup>589</sup> Vgl. Ebd. S.75.

flusses innerhalb der gesamten Werkshalle. Die Durchsatz-flexibilität beschreibt schließlich die Möglichkeit eines Systems, auf unvorhersehbare Einflüsse rasch reagieren zu können. Da allerdings nicht alle drei Faktoren gleichermaßen durchgesetzt werden können, muss ein geeignetes Mittelmaß gefunden werden.<sup>590</sup>

Bis dato werden vor allem manuelle Materialflüsse, wie Hubsysteme etc. durchgesetzt. Diese zeichnen sich durch sehr geringe Investitionskosten bei hoher Wandelbarkeit aus. Dabei bleibt die Produktivität bei manuellen Methoden meist hinter jenen automatisch ablaufender Systeme zurück. Allerdings gelten die bis dato angewandten automatisierten Lösungsansätze meistens als zu starr und ungeeignet für die kundenindividuelle Produktion. Trotz des Einsatzes von Feldbussystemen bleiben die entwickelten Methoden meist abgeschlossene Systeme, welche sich nur anhand weniger Parameter verändern lassen.<sup>591</sup>

#### 4.3.2 Unterteilung der Produktionsprozesse zur Ermittlung des bestmöglichen Vorfertigungsgrades

Eine sehr wesentliche Aufgabe im Sinne des Komplexitätsmanagements einer Mass Customization<sup>592</sup> ist die Ermittlung eines bestmöglichen Vorfertigungsgrades der produzierten Bauelemente.

In der Betriebswirtschaft muss hierfür der Fertigungsprozess in einen standardisierten, vom Kunden nicht beeinflussbaren Teil, und in einen kundenorientierten Ablauf gegliedert werden. Der kundenunabhängige Abschnitt bewirkt dabei durch die Möglichkeit zur Standardisierung eine kostengünstige Vorfertigung. Hingegen sorgt der auf den Kunden abgestimmte Teil für eine Individualisierung des Endproduktes.<sup>593</sup>

Diese Splittung des Fertigungsablaufs ist eine der grundlegendsten Voraussetzungen zur Minimierung der Planungs- oder Fertigungs-komplexität. Dabei werden die eingehenden Aufträge generell in mehrere Subsysteme unterteilt, welche sich wiederum aus zwei systematisierten Regelkreisen, einem kundenauftragsbezogenen Anteil und einem kundenauftragsneutralen Teil zusammensetzen.

Der erste Regelkreis steuert die Fertigungsaufträge, die einem konkreten Kundenauftrag zuordenbar sind.

Der kundenauftragsneutrale Kreis lenkt hingegen jene Abläufe, welche zur Herstellung von standardisierten Modulen und Elementen notwendig

<sup>590</sup> Vgl. LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.: Individualisierte Produkte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion . S. 78.

<sup>591</sup> Vgl. Ebd. S. 80.

<sup>592</sup> Vgl. hierzu genauer Kapitel 3.1.6.

<sup>593</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 201.

sind. Diese Fertigungsaufträge stehen in keiner direkten Beziehung zu einem spezifischen Kundenauftrag.<sup>594</sup>

Ziel dieser, meist nur gedanklichen Zweiteilung des Produktionsprozesses ist nicht nur die Reduktion der Komplexität des Gesamtprozesses, sondern auch die Ermittlung eines optimalen Vorfertigungsgrades, der im Wesentlichen den Schnittpunkt der beiden Regelkreise bildet.<sup>595</sup>

Das Konzept der Schnittstellenbildung lässt prinzipiell zwei unterschiedliche Vorgehensweisen in der Optimierung einer Vorfertigung zu. Möglichkeit a) ist eine generelle, auftragsneutrale Vorfertigung. Hier werden die unterschiedlichen Bauteile standardisiert und auf Vorrat produziert. Erst nach Erhalt eines konkreten Auftrags werden die angefertigten Module weiterverarbeitet und nach den speziellen Kundenwünschen gestaltet. Je größer der Anteil der standardisierten Vorfertigung ist, desto besser fallen auch die Möglichkeiten der Komplexitätsreduktion aus. Durch die Abnahme individueller Leistungen kann eine Vereinheitlichung der Produktionsprozesse erreicht werden. Zusätzlich nimmt die Dauer zwischen Kundenauftrag und Auslieferung deutlich ab, da nach Erhalt eines Auftrags nur noch wenige Produktionsschritte durchgeführt werden müssen.

Allerdings bewirkt ein hoher Vorfertigungsgrad nach diesem System auch einen logistischen Mehraufwand im Vergleich zu konventionellen Systemen. Denn durch die enorme Lagerhaltung erhöhen sich nicht nur die Lagerkosten, sondern auch das Bestandsrisiko des Unternehmens. Beispielsweise kann die Wertschöpfung der Produktion aufgrund von fehlproduzierten Modulen erheblich gesenkt werden. In diesem Fall birgt eine Senkung des Vorfertigungsgrades zwar das Risiko einer Steigerung der Komplexität, gleichzeitig kann dadurch jedoch einer systemimmanenten Verschwendung entgegengewirkt werden.<sup>596</sup>

Die zweite Produktionsmöglichkeit b) knüpft unmittelbar an diese Überlegungen an. Dabei wird die Produktion erst nach dem Eingang eines konkreten Kundenauftrags begonnen. Somit werden die Lagerkosten und Logistkarbeiten gesenkt und das Bestandsrisiko auf ein Minimum reduziert. Um ein solches Produktionssystem durchsetzen zu können, muss das Unternehmen allerdings über ausreichende Kapazitäten verfügen.

Die Bestimmung der optimalen Vorfertigung liegt demnach im Spannungsfeld und Grenzbereich zwischen Standardisierung und Individualisierung.

<sup>594</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 201.

<sup>595</sup> Vgl. Ebd. S. 201f.

<sup>596</sup> Vgl. Ebd. S. 202.

In der Betriebswirtschaft wird der bestmögliche Vorfertigungsgrad durch die theoretische Ermittlung eines noch akzeptierten maximalen Preises bestimmt, der den errechneten Fertigungskosten gegenübergestellt wird. Das Optimum ist dann erreicht, wenn der Gewinn eines Systems am Höchsten ausfällt. Dieser Punkt ist in der Praxis allerdings nur sehr schwer bis gar nicht ermittelbar. Meist werden dafür technische Simulationen, wie etwa ein sog. Punktwertzahlverfahren erarbeitet, das anhand einer Reihe, im Vorhinein bestimmter qualitativer Faktoren, wie Handling und Verarbeitbarkeit des Materials, ein Optimum errechnet.<sup>597</sup>

In der Bauwirtschaft muss bei der Ermittlung eines idealen Vorfertigungsgrades neben der oben beschriebenen Unterteilung der Produktionsprozesse auch auf eine Vielzahl weiterer Faktoren geachtet werden. Dies betrifft vor allem die Einschränkungen einer zielführenden Vorfabrikation durch die vorgegebenen Bedingungen des Transports und der Montagemöglichkeiten. Allerdings geht der Trend der Vorfertigung sehr stark in Richtung belagsfertiger und teilweise auch schlüsselfertiger Module. Obwohl Ausbauegegenstände, wie Fliesen und Silikonfugen, bei der Verladung und dem Transport häufig Gefahr laufen, beschädigt zu werden, ist es in Summe wirtschaftlich günstiger, in einer höheren Fertigungstiefe zu produzieren und nur die beschädigten Elemente vor Ort auszutauschen.<sup>598</sup>

Das Potential der Vorfabrikation wird sowohl von Unternehmen, als auch von Architekten und Bauherren in der Produktion belagsfertiger und teilweise auch schlüsselfertiger Module gesehen. Dies geht unter anderem aus einigen von der Verfasserin durchgeführten Expertenbefragungen von einzelnen Unternehmen, Bauherren und Planern hervor.

### 4.3.3 Standardisierung und Systematisierung

Die Standardisierung und Systematisierung sind wohl die beiden wesentlichsten Kennzeichen und Ziele einer Vorfertigung. Diese Paradigmen zielen nicht nur auf die reine Fertigung von Bauelementen und Modulen ab, sondern betreffen auch die zugehörigen Prozesse und Dienstleistungen aller beteiligten Unternehmen.<sup>599</sup>

In der Fachliteratur wird bspw. betont, dass für die Industrialisierung der Bauproduktion stets ein kontinuierlicher Prozess einer Standardisierung der Bauelemente und Systematisierung der Abläufe hin zur einer Flexibilisierung und Mechanisierung notwendig ist. Innerhalb der auf diese Weise entwickelten Industrialisierung können so unterschiedliche Leitziele verfolgt werden. Diese stellen unter anderem eine

<sup>597</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 203.

<sup>598</sup> Vgl. (Erich, 2014)

<sup>599</sup> Vgl. hierzu eingehender Kapitel 2.1.5.

prozessorientierte Gestaltung der Produktionsabläufe, sowie eine durchgängige Planung der Baustellen- oder Vorproduktion dar.<sup>600</sup>

Der Schwerpunkt der Industrialisierung der Bauwirtschaft liegt laut Ansicht von Fachleuten in der Integration einer stufenweise durchgeführten Automatisierung der Bauprozesse an sich. Hierbei muss allen voran eine Standardisierung der Bauteile und Systematisierung der Arbeitsvorbereitung erreicht werden. Erst darauf aufbauend werden die Potenziale, welche durch die Verwendung von Fertigteilen generiert werden können, voll ausgeschöpft.

Auch die Flexibilisierung der Baustellenprozesse, sowie eine weitestgehende Automatisierung der Fertigungsabläufe kann, erst nach der Einführung einer wie auch immer gearteten Standardisierung erreicht werden. Für die Entwicklung einer modular aufgebauten Gebäudestruktur ist, wie im vorhergegangenen Kapitel beschrieben, besonders auf eine sinnvolle Unterteilung der Produktionsprozesse zu achten. Ein zu hoher Grad an Standardisierung kann durch die Erhöhung der Lagerkosten und des Bestandsrisikos insgesamt zu einer schlechteren Wertschöpfung führen.<sup>601</sup>

---

<sup>600</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529f.

<sup>601</sup> Vgl. Ebd. S: 531.

#### 4.4 Experteninterviews zur Industrialisierung im Holzbau

Die Befragung wurde im Zeitraum vom November 2014 bis Februar 2015 unter 28 Personen durchgeführt. Dabei wurden jeweils Fachleute aus den Bereichen der Planung, Ausführung, Bauherrenschaft und der Forschung mit jeweils ein bis zwei Untergruppen interviewt. Die Kategorie der Planung wurde bspw. in die Gruppe der Fachplaner und jene der Architekten gegliedert, die Gruppe der Ausführung in Holzbauunternehmen und allgemeine ausführende Unternehmen. Die Gruppe der Bauherrenschaft wird weiter in die Kategorien der öffentlichen und privaten Auftraggeber, sowie die Gruppe der Genossenschaften und Bauträger unterteilt.

Diese prinzipielle Gruppierung ist in nachfolgender Grafik dargestellt.



Abbildung 73 Aufsplittung der befragten Expertengruppen

Mithilfe der geführten Interviews wird ein direkter Vergleich zwischen den aus der einschlägigen Literatur erhobenen Fakten und der derzeitigen Situation in der Praxis möglich. Neben den allgemeinen Erkundigungen zum Unternehmen wurden die teilnehmenden Experten befragt, welches künftige Potential, bzw. welche Schwierigkeiten und Hemmnisse sie in der derzeitigen Situation der industriellen Vorfertigung im Holzbau sehen. Der dafür verwendete Interviewleitfaden ist dem Anhang beigefügt und gibt einen Überblick über die Themengebiete.

Nachfolgend und in den weiteren Kapiteln werden die Ergebnisse der Befragung näher erläutert und mit den Erkenntnissen aus der fachlichen Literatur verglichen.

#### 4.4.1 Experteninterview: Gründe für industrielles Bauen

In den einleitenden Fragen wurde erhoben, warum sich die unterschiedlichen Fachgruppen für die Abwicklung industrieller Projekte entschlossen haben. Die dabei genannten Gründe für eine Durchführung von industriell entwickelten Projekten sind sehr vielfältig und reichen von dem Wunsch nach einer Effizienzsteigerung der unterschiedlichsten Prozesse, bis zur reinen Neugierde an neuen Bausystemen.

Rund die Hälfte der befragten Experten gab dabei an, durch die Industrialisierung der Bauprozesse eine Effizienzsteigerung in der Produktionsebene erreichen zu wollen bzw. aus Interesse an technischen Weiterentwicklungen, industrielle Bauweisen umgesetzt zu haben. Der Wunsch nach einer Umsatzsteigerung im Unternehmen, bzw. nach der Ausweitung des Marktangebots erscheint in diesem Zusammenhang mit knapp einem Fünftel an Zustimmung eher gering ausgeprägt.

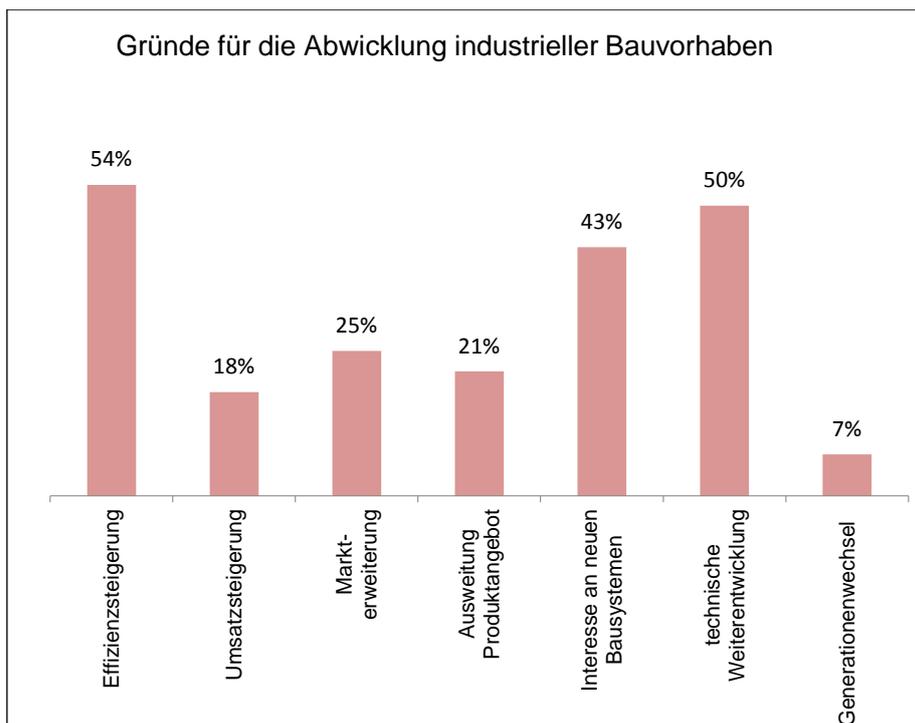


Abbildung 74 Expertenbefragung: genannte Gründe für die Abwicklung industrieller Bauvorhaben

Das Streben nach einer Umsatzsteigerung und die Ausweitung der technischen Möglichkeiten wurde dabei vor allem von der Gruppe der ausführenden Unternehmen genannt. In der Kategorie der Fachplaner und Architekten rührte der Entschluss zur Abwicklung industrieller Bauvorhaben hiergegen meist aus der Bestrebung nach einer Effizienzsteigerung bzw. aus Interesse an neuen Bausystemen.

Eine mögliche Steigerung der Effizienz stellte auch bei der Gruppe der privaten und öffentlichen Bauherren, bzw. bei den Bauherrenvertretern, den wesentlichsten Grund für die Entscheidung zur Abwicklung industrieller Bauvorhaben dar. Die genaue Aufschlüsselung der einzelnen Antworten ist im Anhang 1.2 dieser Bearbeitung beigefügt.

#### 4.4.2 Experteninterviews: Entwicklung Betätigungsfeld industrielles Bauen

Aufgrund der positiven Entwicklungen im industriellen Bauen gibt die überwiegende Anzahl der Experten an, auch in Zukunft vorgefertigte Bauvorhaben abwickeln zu wollen. Dabei geht der Trend eher in Richtung einer größeren Vorfertigungstiefe. Diese Tendenz ist in nachfolgender Grafik abgebildet.

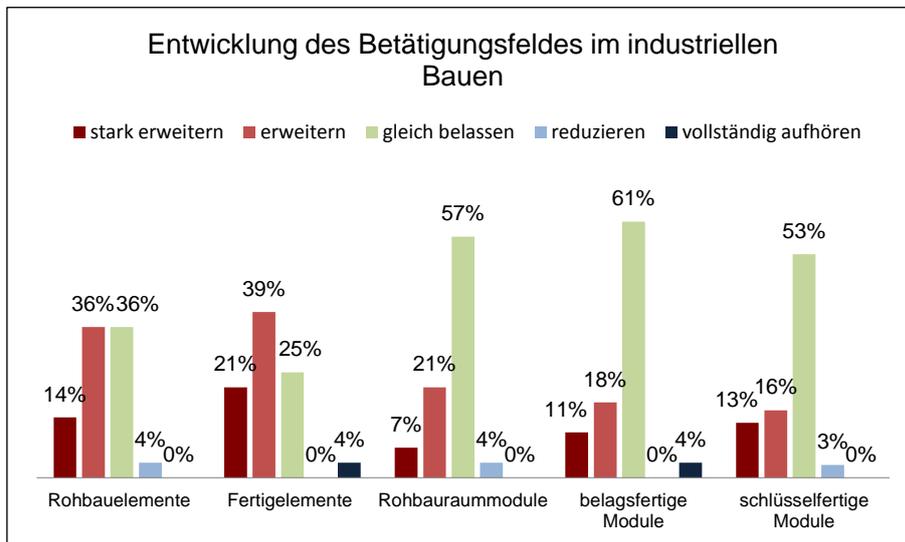


Abbildung 75 Expertenbefragung: Entwicklung des Betätigungsfeldes im industriellen Bauen

Während nur 7% bzw. 14% der Befragten angeben, in Zukunft verstärkt mit Rohbaurraummodulen oder Rohbauelementen arbeiten zu wollen, geben immerhin 21% der interviewten Experten an, künftig intensiver Fertigteile im Bauprozess einzusetzen.

Insgesamt geben die unterschiedlichen Fachgruppen an, mit der Handhabung der vorgefertigten Elemente oder Module zufrieden zu sein und die Tätigkeiten im industriellen Bauen auch in näherer Zukunft erweitern zu wollen. Die nachfolgende Grafik bildet diesen Erweiterungswunsch bezogen auf die Fachgruppe der Architekten ab. Ähnlich wie auch bei den anderen Disziplinen steht in diesem Zusammenhang vor allem das System aus schlüsselfertigen oder belagsfertigen Raummodulen im Zentrum des zukünftigen Tätigkeitsbereichs.

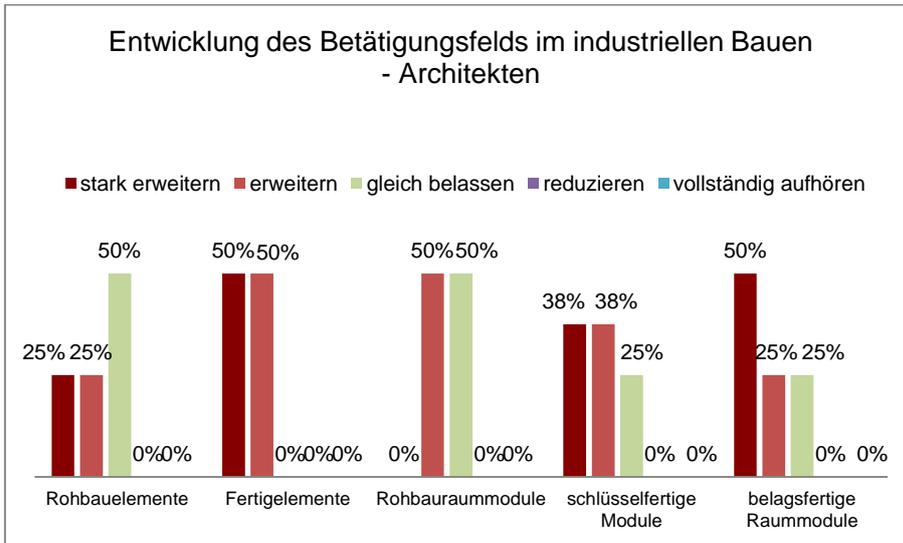


Abbildung 76 Expertenbefragung: Tätigkeitsumfang im industriellen Bauen - befragte Architekten

Bei der Gegenüberstellung der einzelnen Fachgruppen fällt in diesem Zusammenhang auf, dass vor allem die Gruppe der Architekten und befragten Holzbauunternehmen auch künftig vermehrt mit vorgefertigten Systemen und Modulen arbeiten wird.

Dagegen steht die Gruppe der befragten öffentlichen und privaten Auftraggeber dem modularen Bauen teilweise eher skeptisch gegenüber.

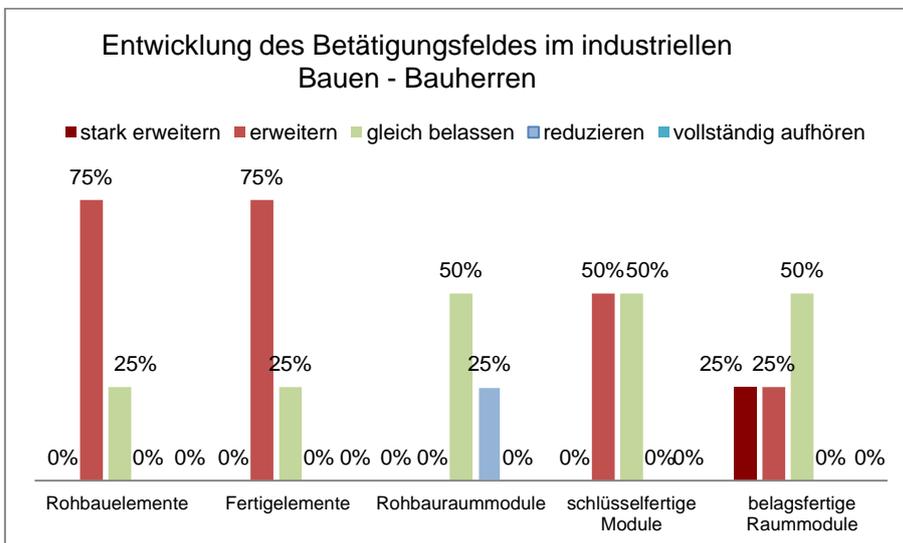


Abbildung 77 Expertenbefragung: Entwicklung des Betätigungsfeldes im industriellen Bauen - Bauherren

Die Hälfte der befragten öffentlichen und privaten Bauherren gibt an, auch künftig keine Ausweitung ihres Engagements in der modularen Bauweise durchführen zu wollen. Um dies zu ändern bzw. die Akzeptanz bei der Bauherrenschaft zu steigern, wäre auch in Zukunft gezielte Informationskampagnen und weiterführende Forschungsarbeiten sinnvoll

und wünschenswert. Denn grundsätzlich wird das Potential sowie die Marktentwicklung im industriellen Bauen als positiv eingeschätzt.

#### 4.4.3 Experteninterviews: Marktentwicklung industrielles Bauen – Baustoff unabhängig

Die nachfolgende Grafik zeigt das von den befragten Experten geschätzte Potential der Vorfertigung in Abhängigkeit von der Fertigungstiefe.

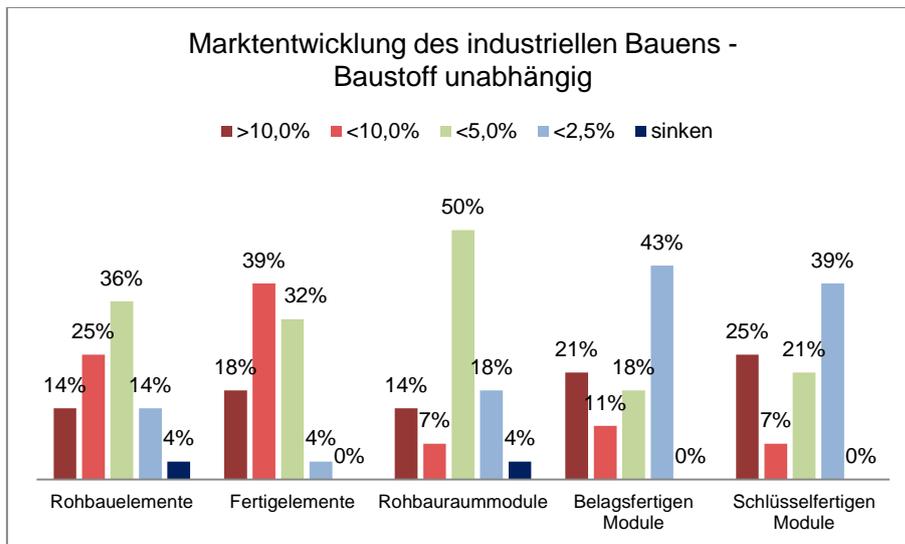


Abbildung 78 Expertenbefragung: Marktentwicklung des industriellen Bauens - baustoffunabhängig

Laut Ansicht der befragten Experten wird das industrielle Bauen, unabhängig vom gewählten Baustoff, vor allem bei jenen Bauweisen mit höheren Vorfertigungstiefen an Bedeutung gewinnen. Dabei wird insbesondere das Bauen mit schlüsselfertigen Modulen auch künftig konstant an Marktwert zulegen. In etwa ein Viertel der Befragten vermutet, dass diese Bauweise in den nächsten Jahren um mehr als 10% häufiger umgesetzt wird, als dies heute der Fall ist. Weitere 7% geben an, dass sich der Marktanteil dieser Bauweise um mindestens 5% steigern wird.

Eine sehr ähnliche Entwicklung wird bei den Systemen aus belagsfertigen Modulen vermutet. Hier gibt rund ein Fünftel an, dass sich diese Bauweise in Zukunft deutlich vermehrt durchsetzen wird.

#### 4.4.4 Experteninterviews: Marktentwicklung industrielles Bauen im Holzbau

Eine ähnliche Entwicklung wird speziell im industriellen Holzbau vermutet. Dabei ist vor allem bei der elementierten Bauweise ein klarer Trend in Richtung eines höheren Vorfertigungsgrades ablesbar. Rund zwei Drittel der befragten Experten geben an, dass sich der Marktanteil der Fertigelemente um mehr als 5% steigern wird. Diese Entwicklung ist im Diagramm als dunkel- bzw. hellroter Balken dargestellt. Bei den Rohbauelementen schätzt das immerhin noch die Hälfte der Befragten ähnlich ein. Allerdings wird auch von rund einem Zehntel der befragten Experten angegeben, dass der Marktanteil der Rohbauelemente in den nächsten Jahren sinken wird. Dieser Trend ist als dunkelblauer Balken abgebildet.

Diese Entwicklung ist in nachfolgender Grafik abgebildet.

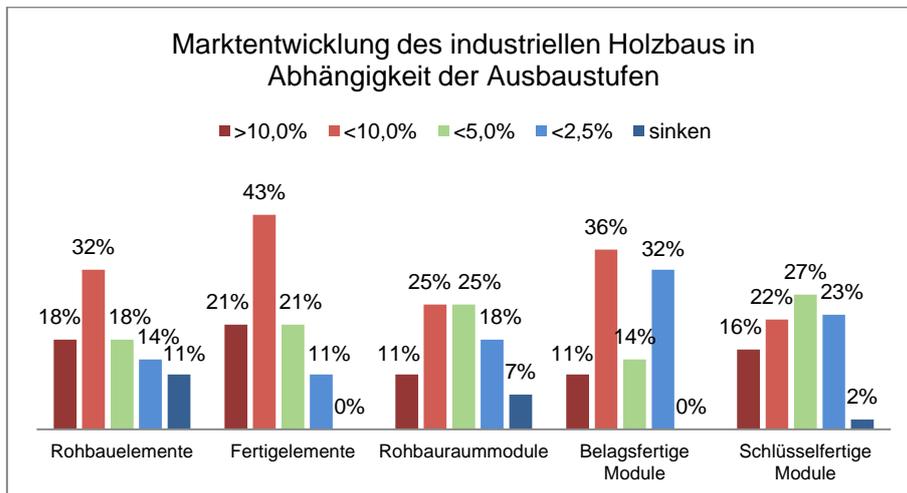


Abbildung 79 Expertenbefragung: Marktentwicklung des industriellen Holzbaus

Eine ähnliche Tendenz ist auch beim Sektor der Modulbauweise ableitbar. In diesem Bereich werden laut Ansicht der befragten Fachleute jene Bauweisen, welche eine höhere Vorfertigungstiefe aufweisen, an wirtschaftlicher Bedeutung gewinnen. Laut Einschätzung der Experten werden dabei künftig vor allem jene Systeme belagsfertiger Module umgesetzt. Knapp die Hälfte der Befragten geben an, dass sich die Marktanteile der belagsfertigen Module in den nächsten Jahren um mehr als 5% steigern werden. Bei den schlüsselfertigen Modulen meinen das immerhin 38%.

Bei den Rohbauraumzellen beläuft sich der Wert zwar noch auf 36%, gleichzeitig schätzen jedoch rund 7%, dass in diesem Sektor in den nächsten Jahren mit Markteinbußen zu rechnen sein wird.

Laut allgemeiner Einschätzung der befragten Experten wird sich die Marktentwicklung des industriellen Holzbaus demnach vor allem bei der elementierten, aber auch bei der modularen Bauweise deutlich

erweitern. Tendenziell werden dabei besonders jene Bausysteme, welche höhere Vorfertigungsgrade aufweisen, an Marktwert gewinnen.

Um dieses ermittelte Potential voll ausschöpfen zu können, muss allerdings eine Reihe weiterer Grundlagen, wie bspw. die Standardisierung und Systematisierung der Bauprozesse eingehend betrachtet werden und Berücksichtigung finden.

#### 4.4.5 Experteninterviews: Entwicklungstrend Holz-Elementebau / Holz-Modulbau

In der Holzbaubranche ist insbesondere bei der Produktion von Brettsperrholzplatten in den letzten Jahren ein Trend Richtung Standardisierung der Plattenstärken bemerkbar. Durch die Verwendung von einheitlichen, meist im Zentimeterbereich liegenden Nennstärken der verarbeiteten Bretter wird sich eine Standardisierung dieser Bauweise weiterhin durchsetzen. Diese ist vor allem im Hinblick auf die Generierung einer höheren Planungs- und Kostensicherheit eine wesentliche Grundvoraussetzung.

Zwar werden bis dato die meisten vorgefertigten Holzbauprojekte als Prototypen, sowohl in der Planungs-, als auch in der Ausführungsphase angesehen und behandelt, die Tendenz zur Verwendung vorgefertigter Holzmodule oder auch einzelner Elemente wird jedoch überwiegend positiv gesehen. Dies geht auch durch die von der Verfasserin durchgeführte Befragung eindeutig hervor.

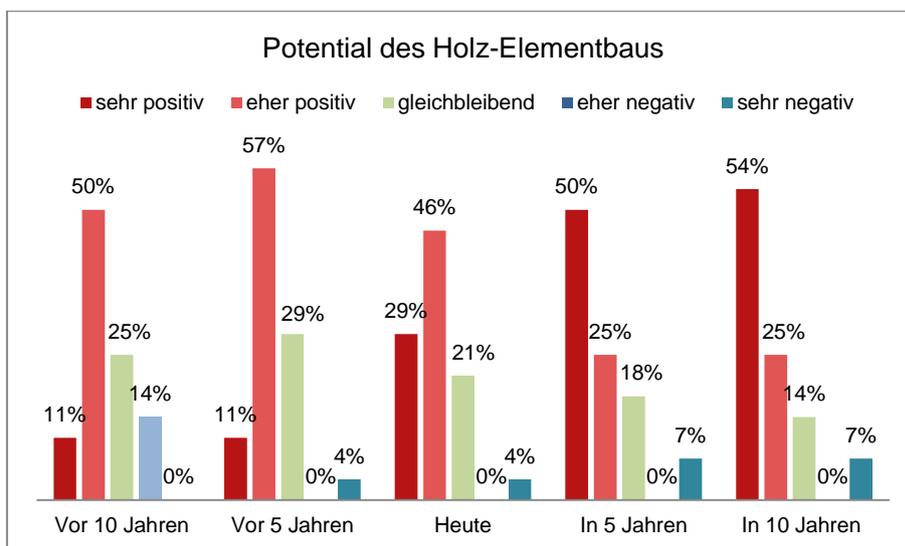


Abbildung 80 Expertenbefragung: Entwicklungstrend der elementierten Holz-Bauweise

Die überwiegende Anzahl der befragten Experten sieht beim elementierten Bauen eine sehr positive oder positive Entwicklung. Diese Einschätzungen sind in voriger Abbildung als dunkel- bzw. hellrote

Säulen dargestellt. Mehr als die Hälfte der befragten Fachleute gibt an, dass sich in den nächsten 5 bis 10 Jahren eine deutlich positive Entwicklung hinsichtlich des Potentials und der technischen Möglichkeiten der Elementbauweise abzeichnen wird. Dabei vermuten vor allem die befragten Architekten, Wissenschaftler, sowie private und öffentliche Auftraggeber, dass sich die technischen Möglichkeiten und Potentiale des industriell gefertigten Holz-Elementbaus in den kommenden 10 Jahren deutlich erweitern werden.

Ähnliches gilt auch für die Modulbauweise.

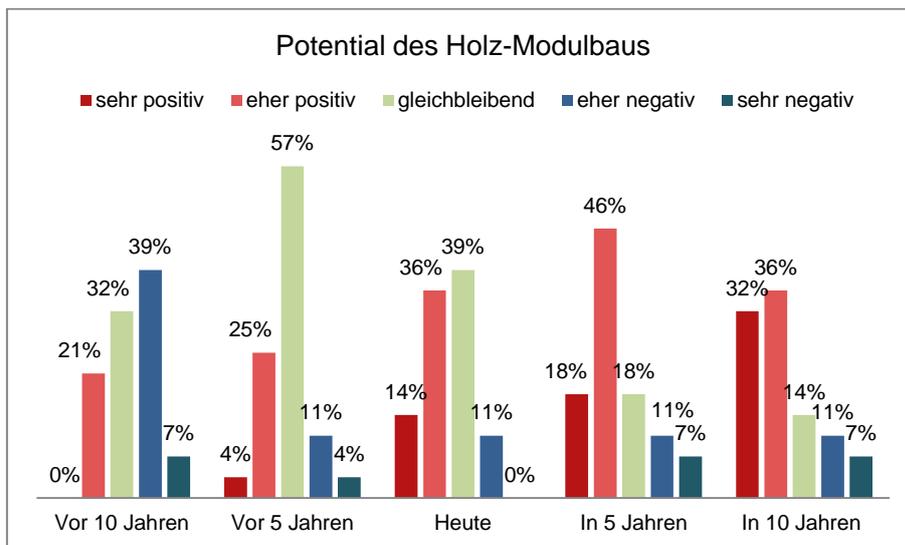


Abbildung 81 Expertenbefragung: Entwicklungstrend der modularen Holz-Bauweise

Während die Elementbauweise bereits vor einigen Jahren sehr weit entwickelt war und auch in Zukunft stetig an Bedeutung gewinnen wird, ist im Falle der Holz-Modulbauweise, laut Ansicht der befragten Experten, erst in den kommenden 10 Jahren mit einem deutlicheren Marktzuwachs zu rechnen. Auch bei diesen Bausystemen ist es vor allem die Gruppe der befragten Architekten und Wissenschaftler, welche in den kommenden 10 Jahren einen deutlichen Marktzuwachs des Holz-Modulbaus vermuten. Hiergegen sehen rund 75% der befragten Holzbau-unternehmer künftig eine eher negative Marktentwicklung des Holz-Modulbaus. Die genaue Aufschlüsselung der Ergebnisse ist im Anhang zu finden.

#### 4.4.6 Experteninterviews: Potential baustoffunabhängiger Modulbauweise

Eine in etwa gleichartige Entwicklung wird bei einer baustoffunabhängigen Modulbauweise vermutet.

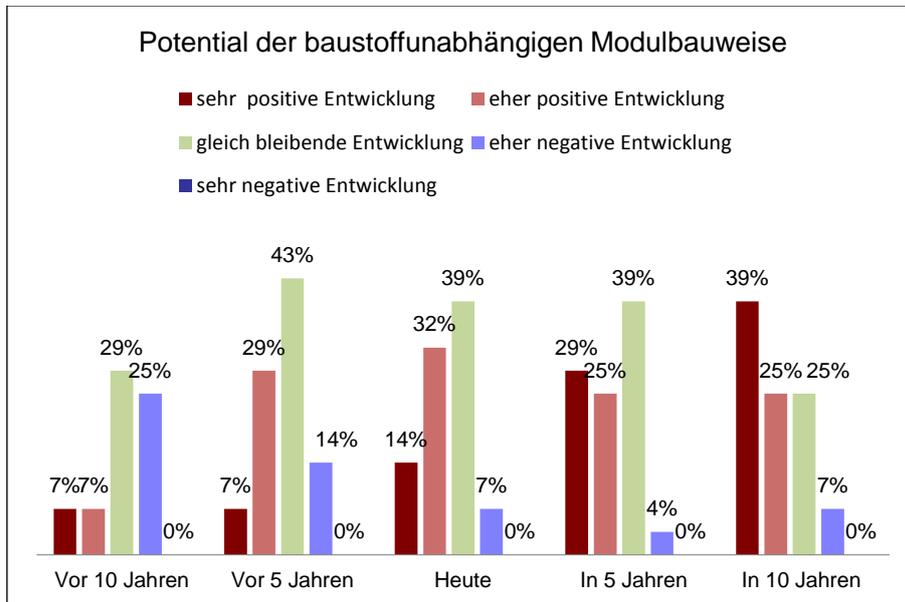


Abbildung 82 Expertenbefragung: Potential der baustoffunabhängigen Modulbauweise

Knapp 40% der befragten Experten geben an, dass sich die technischen Möglichkeiten der Industrialisierung speziell in der Modulbauweise baustoffunabhängig in den nächsten 10 Jahren stark erweitern werden. Weitere 25% vermuten, dass sich das Potential einer Modulbauweise zumindest teilweise erweitern wird. Dabei geben rund drei Viertel der befragten Architekten an, dass sich die Modulbauweise unabhängig vom Baustoff in den nächsten 10 Jahren stärker etablieren wird. Diese Einschätzung wird von etwa der Hälfte der befragten Wissenschaftler und Fachplaner geteilt.

Hiergegen sehen jeweils ein Viertel der befragten öffentlichen und privaten Auftraggeber und ausführende Bauunternehmer künftig eine eher negative Marktentwicklung in der modularen Bauweise.

Die exakte Aufschlüsselung und Ergebnisse der Befragung sind im Anhang angeführt.

#### 4.4.7 Experteninterviews: Anforderungen und Potentiale vorgefertigter Bausysteme

Um dieses Potential voll ausschöpfen zu können, muss jedoch laut Ansicht der Experten, eine Reihe weiterer Maßnahmen, wie bspw. die Erstellung von Systemlösungen der Schnittstellen und Fugenbildung, sowie eine Verbesserung und Weiterentwicklung der Baustellenlogistik erreicht werden. Erst durch eine Standardisierung einzelner Bauteile oder Fertigungsprozesse kann demnach das ermittelte Potential realisiert werden.

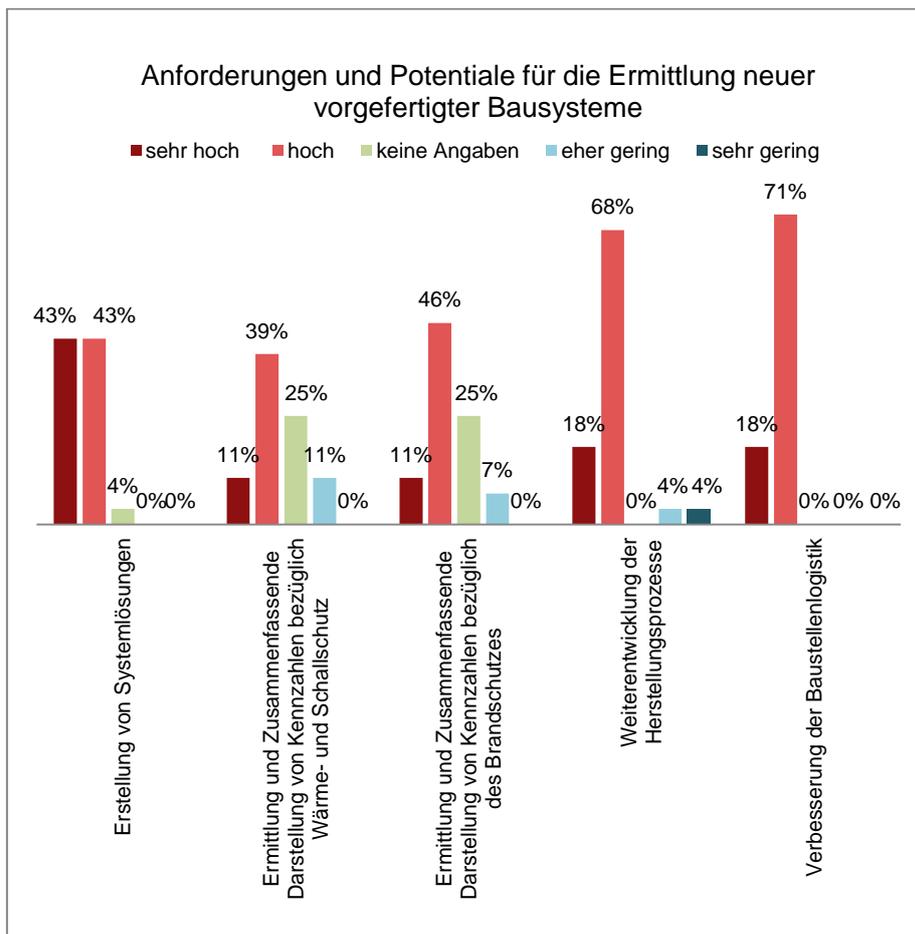


Abbildung 83 Expertenbefragung: Anforderungen und Potentiale für die Ermittlung neuer vorgefertigter Bausysteme

Zwar sind die derzeitigen Möglichkeiten der Vorfertigung laut Ansicht der befragten Experten bereits weit fortgeschritten, um das volle Potential ausnutzen zu können, müssen jedoch zusätzliche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durchgeführt werden. Zudem erfordert die bis dato teilweise noch geringe Akzeptanz der Vorfertigung seitens der Nutzer und Bauherren eine konstante und durchgängige Werbestrategie.

#### 4.4.8 Experteninterviews: Akzeptanz industrielles Bauen

Trotz der positiven Entwicklungen und Tendenzen in der Annahme industrieller Bauweisen bleibt eine deutliche Diskrepanz zwischen der Nachfrage nach industriell gefertigten Produkten und vorgefertigten Gebäuden bestehen. Dies ist laut Ansicht der befragten Experten vor allem auf die emotionale Bindung an das Eigenheim und dem derzeitiger eher mangelhaftes Angebot zum Thema Vorfertigung am Bauprodukt zurückzuführen.

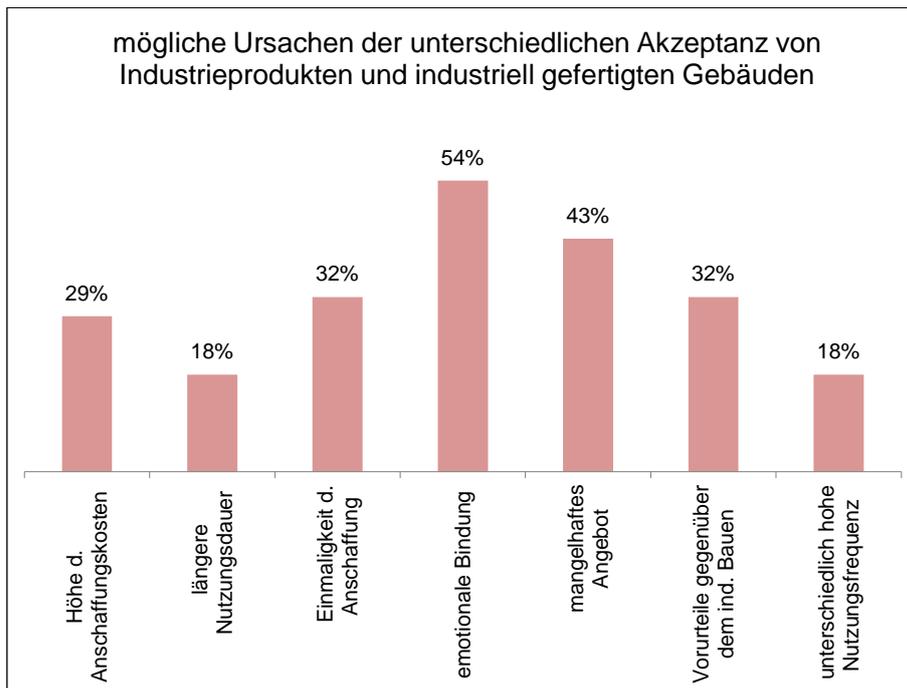


Abbildung 84 Expertenbefragung: mögliche Ursachen der unterschiedlichen Akzeptanz von Industrieprodukten und industriell gefertigten Gebäuden

Um die Möglichkeiten und Akzeptanz des industriellen Bauens in den nächsten Jahren zu erweitern, wird daher eine Reihe weiterer Maßnahmen, wie bspw. eine gezielte Bewerbung industrieller Bausysteme, durch die Realisierung von Leuchtturmprojekten und die Erstellung von Systemlösungen in der Bauteilfertigung erforderlich.

Zudem kann das Potential vorgefertigter Holzbau-Systeme mithilfe einer gezielten Weiterentwicklung der Herstellprozesse erweitert werden. Dabei soll vor allem durch eine zunehmende Automatisierung der Produktion wirtschaftliche und terminliche Vorteile erzielt werden.

#### 4.5 Auswirkung zunehmender Automatisierung im Holzbau

Der Holzbau durchlief in den letzten 20 Jahren einen, aus technologischer Sicht, beispiellosen Entwicklungsschub, wie kaum ein anderes Bau-material. Mehrgeschossige Wohnbauten aus Holz nehmen durch die Entwicklung leistungsstarker Holzwerkstoffe und Bauweisen teilweise bereits einen hohen Materialanteil ein. Sogar individuelle Holzbauten, mit konstruktiv anspruchsvollen Strukturen, können mithilfe einer flexiblen Objektfertigung mühelos realisiert werden. Um langfristig gesehen dabei einen wirtschaftlichen Erfolg zu erzielen, ist allerdings eine Erhöhung des Automatisierungsgrades erstrebenswert.<sup>602</sup> Es ist jedoch auch anzumerken, dass der Holzbau innerhalb der industrialisierten Baubranche, bereits die am weitesten verbreitete Bauweise darstellt und gleichzeitig den höchsten Automatisierungsgrad aller Baustoffe aufweist.<sup>603</sup>

Die Entscheidung, Produktionsprozesse zu automatisieren, erweist sich jedoch nicht immer als wirtschaftlich sinnvoll. Die Grenzen, welche der Automatisierung gestellt sind, liegen hier meist in der möglichen Fertigungskapazität der jeweiligen Bauunternehmen.

Beispielsweise muss für die Realisierung eines vollautomatischen Produktionssystems meist zusätzlicher Raum bzw. Fertigungshallen für die Weiterverarbeitung geschaffen werden, der sich wirtschaftlich erst amortisieren muss. Für kleine und mittelständische Unternehmen mit begrenzten Produktionsmöglichkeiten sollten umfangreiche Neuinvestitionen daher stets im Zusammenhang mit einer möglichen Vollauslastung der Produktionsmaschinen gesehen werden.<sup>604</sup>

Um die Möglichkeiten der Automatisierung von Produktionsprozessen abschätzen zu können, wurden daher unterschiedliche Methoden entwickelt, welche das Potenzial anhand wirtschaftlicher und technischer Kriterien analysieren. Diese Methoden sind meist in drei aufeinanderfolgende Phasen eingeteilt:

- Anfänglich werden sämtliche, für die Produktion erforderlichen, Prozesse charakterisiert und einer Normung folgend unterteilt.
- Danach wird das wirtschaftliche Potential, das in der Automatisierung der Arbeitsschritte liegt, ermittelt.
- Abschließend werden die ermittelten Automatisierungspotentiale miteinander verglichen.<sup>605</sup>

<sup>602</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 88.

<sup>603</sup> Vgl. Ebd. S.35.

<sup>604</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. S. 25.

<sup>605</sup> Vgl. Ebd. S. 33.

Einige Beispiele der zu Punkt eins gehörenden und zu berücksichtigenden Charakteristika sind das Leistungspotential der verwendeten Maschinen, sowie die Kenntnisse der beteiligten Techniker. Zudem finden hier Merkmale der zu bearbeiteten Baustoffe Berücksichtigung. Nicht alle Baustoffe eignen sich aufgrund ihrer Haptik für die Vorfertigung. Besonders für biegeweiche Baustoffe, wie bspw. Dämmstoffe, müssen spezielle Zusatzmaßnahmen, wie zusätzliche Greifvorrichtungen, getroffen werden.

Im zweiten Schritt werden die so ermittelten Charakteristika gewichtet, wodurch die Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades erst möglich wird.<sup>606</sup>

Die Entscheidung, eine Automatisierung der Bauprozesse anzustreben, muss demnach wohl überlegt werden. Neben den erweiterten Anforderungen an die Produktionstechnik und die Informationssysteme, bedeutet eine Automatisierung des Bauablaufs stets auch einen erhöhten Bedarf an zur Verfügung stehender Nutzfläche. Zudem erhöht sich im Zuge der Mechanisierung der Produktion auch der Aufwand in der Arbeitsvorbereitung.

Die Auswirkungen der Automatisierung im Holzbau, vor allem die Potentiale und die mögliche Zeitersparnis durch die Entwicklung einer CIM-Technologie, werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer analysiert.

#### 4.5.1 Potential durch Automatisierung

Um das Potential einer Automatisierung bestimmen zu können, müssen zuvor Faktoren, wie die Größe des Bauunternehmens, die vorhandenen Kapazitäten, sowie die Nachfrage an vorgefertigten Bauelementen, eingehend analysiert werden. Je kleiner das Unternehmen ist, in dem ein Automatisierungsprozess entwickelt werden soll, desto höher ist auch das Risiko, die anfallenden Investitionskosten nicht ausgleichen zu können.<sup>607</sup>

Die Vorteile und Potentiale einer erfolgreichen Mechanisierung des Produktionsprozesses liegen hiergegen vor allem in der Reduktion der Durchlaufzeit und der Senkung der Arbeitskosten für die menschliche Arbeitskraft. Durch einen automatischen Ablauf der Produktionsprozesse kann die Anzahl der produktiven Arbeitskräfte und somit auch die Dauer der manuellen Fertigungszeit erheblich gesenkt werden.<sup>608</sup>

Gleichzeitig erhöhen sich durch den gesteigerten Einsatz von leistungsstarken Produktionsanlagen die tatsächlichen Maschinen-

<sup>606</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 34.

<sup>607</sup> Vgl. Ebd. S. 25.

<sup>608</sup> Vgl. ERMANNI, P.: Composites Technologien. Skriptum. S. 206.

stunden. Dieser Anstieg wird mithilfe einer Verringerung von manuell betriebenen Fertigungsabläufen ausgeglichen. Zudem fällt die Steigerung der Maschineneinsatzzeit durch eine insgesamt stark verkürzte Produktionsdauer nur unwesentlich aus.<sup>609</sup>

Das Potential eines automatisierten Produktionsablaufs liegt demnach in der Reduktion der benötigten Durchlaufzeit und der damit verbundenen Minimierung der anfallenden Lohn- und Maschinenkosten. Allerdings muss in diesem Zusammenhang besonders auf die Eignung der verwendeten Baumaterialien geachtet werden. Vor allem die maximal zulässige Größe und das maximale Eigengewicht sind durch die Bedingungen einer Produktion und auch während des Transportes abhängig. Darüber hinaus sind einer sinnvollen Automatisierung, in Bezug auf das Handling der zu bearbeiteten Baumaterialien, Grenzen gesetzt.<sup>610</sup>

In Bezug auf den Holzbau ergeben sich hier meist nur bei wenigen Arbeitsschritten, vor allem bei den sog. Ausbaugewerken, erhöhte Schwierigkeiten. Eine im Jahr 2005 durchgeführte Studie<sup>611</sup> zeigt, dass sich im Holzfertigbau rund 83% aller Produktionsschritte als gut automatisierbar erweisen. Bei den verbleibenden 17% handelt es sich um Prozessschritte, in denen vor allem biegeeweiche Bauelemente, wie Dämmung und diverse Folien, manipuliert werden. Diese Arbeitsschritte, wie bspw. das Auflegen der Dampfbremse oder das Spannen einer diffusionsoffenen Folie, stellen nicht nur für das Handling, sondern auch für die Materialbereitstellung große Herausforderungen dar. Für die Verarbeitung dieser Materialien werden spezielle Greifsysteme erforderlich, welche zusätzlich erhebliche Investitionskosten hervorrufen können.<sup>612, 613</sup>

#### 4.5.2 Zeitersparnis bei durchgängiger CAD-CAM Kette

Die Möglichkeiten der Automatisierung im industriellen Bauen betreffen nicht nur den Fertigungsprozess, sondern können bereits die Planungsphase und die Phase der Arbeitsvorbereitung stark beeinflussen. Vor allem durch die in den letzten fünf Jahrzehnten erheblich veränderten Voraussetzungen der Vorfertigung haben sich die Anforderungen an die maschinelle Fertigung wesentlich geändert.<sup>614</sup> Während vor rund einem halben Jahrhundert das Erscheinungsbild der Architektur vornehmlich von den Möglichkeiten der Fertigung geprägt

<sup>609</sup> Vgl. ERMANNI, P.: Composites Technologien. Skriptum. S. 206.

<sup>610</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 39.

<sup>611</sup> Vgl. Ebd. S.1ff

<sup>612</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 39.

<sup>613</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.3.

<sup>614</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2

war, bestimmen derzeit im Umkehrschluss die ungewöhnlichen Vorstellungen der Planer die Methoden der Produktion. Durch die Entwicklung einer computerbasierten Umsetzung mit einer durchgängigen digitalen Kette von der Planung bis zur Produktion lassen sich auch sehr komplexe Strukturen heute leichter umsetzen.

Allerdings ist eine solche durchgängige sog. CIM-Kette bis dato nur in sehr wenigen Ausnahmen realisierbar. Ein Beispiel hierfür sind die computergesteuerten CNC-Fräsen, welche nach den Vorgaben von digitalen Entwurfsmodellen Bauteile zuschneiden und bearbeiten können. In den meisten Fällen ist eine derartige vollautomatische Koppelung einer CAD-CAM Kette jedoch noch nicht lückenlos möglich. Zwar sind computergestützte Entwurfsprogramme bereits sehr hoch entwickelt, es besteht allerdings immer noch eine Schnittstellenproblematik zwischen dem Entwurf, der digitalen Ausführung und den einzelnen Gewerken.

Ein weiterer Grund, warum sich der Einsatz einer CAD-CAM Kette in der Produktion nicht weiter durchgesetzt hat, liegt in der vorherrschenden Unternehmerstruktur. Da die Baubranche, und speziell auch der Holzbau, bis heute meist in kleinen bis mittelständigen Unternehmen (kurz: KMU's<sup>615</sup>) gegliedert ist, würde der Aufbau eines höheren Technisierungsgrades einen zu hohen Kapitalaufwand für den einzelnen Unternehmer bedeuten.<sup>616</sup>

Trotzdem zeigen einige Projekte, wie bspw. der Pavillon in Sevilla, der sog. Parasol<sup>617</sup>, wie hoch das Einsparungspotential bei einer durchgängigen CIM Kette sein kan.<sup>618</sup>

Da der Ansatz der Digitalisierung der Produktionskette in der Baubranche immer noch sehr theoretisch ist und eher den Charakter eines Prototyps, denn eines massentauglichen Systems aufweist, wird an dieser Stelle ein Vergleich zur stationären Industrie gezogen. Hier ist die moderne Fertigungstechnologie bereits untrennbar mit einer fortschrittlichen Informationsverarbeitung verbunden. Dabei soll nicht nur eine Erhöhung der Flexibilität, sondern auch eine kostengünstige Realisierung einer flexiblen Produktion sichergestellt werden. Die neuen Kommunikations- und Informations-Technologien betreffen in diesem Zusammenhang nicht nur die eigentlichen Produktionsmethoden, sondern üben auch einen erheblichen Einfluss auf die

<sup>615</sup> In Österreich existiert bis dato keine verbindliche Definition welche Unternehmen zu KMU's gezählt werden. Als Anhaltspunkt kann jedoch die Höhe des jährlichen Umsatzes, oder die Anzahl der beschäftigten Mitarbeiter herangezogen werden. Eine Empfehlung der EU-Kommission nennt als Kriterium eines Klein- oder mittelständischen Unternehmens einen Umsatz von mehr als 50 Mio Euro pro Jahr, bzw. einen Mitarbeiterstock von bis zu 249 Beschäftigten.

<sup>616</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 594f.

<sup>617</sup> Der sog. Parasol ist eine Holzkonstruktion in Sevilla, welche 2005 vom deutschen Architekten Jürgen Mayer entwickelt wurde. Mit einer Abmessung von knapp 150x70x26 Metern gilt das Bauwerk als eines der größten Holzkonstruktionen.

<sup>618</sup> Laut einschlägiger Fachliteratur (Vgl. BAUERNHANSL, T.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. S 31.) können durch einen hohen Grad an Automatisierung rund 10-20% der Fertigungs- und Logistikkosten eingespart werden.

Planungskapazitäten und die Verknüpfung der einzelnen Teilprozesse aus.<sup>619</sup> Durch die Optimierung der Planungsabläufe und der Schnittstelle zwischen Planung und Produktion, kann eine deutliche Verkürzung der gesamten Durchlaufzeit erwirkt werden. Denn in einer Werkstattfertigung wird die Gesamtdauer der Durchlaufzeit zum größten Teil durch ablaufbedingte Stillstandzeiten bestimmt. Diese können durch eine Optimierung und Automatisierung des Planungs- und Produktionsprozesses erheblich reduziert werden.<sup>620</sup>

Mithilfe eines durchgängigen Computer Integrated Manufacturing können zudem die Vorteile einer individuellen Einzelfertigung, mit jenen einer Fließbandfertigung, verbunden werden. In der stationären Industrie gelingt es demnach bereits mehrheitlich, Produkte in Seriengröße eins zu ähnlichen Preisen, wie massenhaft erstellte Güter, anzubieten. Der vielfach verwendete Begriff des CIM bildet dabei eine rhetorische Klammer um eine Vielzahl von Subsystemen, welche miteinander in direkter Verbindung stehen.

Neben der Entwurfsaufgabe muss auch die Arbeitsvorbereitung, Projektsteuerung und die laufende Qualitätsüberprüfung vom eigentlichen CIM-System erfasst werden.<sup>621</sup> Allerdings konnte eine komplett durchgängige Automatisierung des Produktionsprozesses auch in der stationären Industrie bis dato kaum entwickelt werden. Und obwohl diese Methode in der Vergangenheit einige Vorteile im Hinblick auf eine Kosten- und Zeitoptimierung erzielt hat, wird derzeit immer stärker angezweifelt, ob eine vollständige, digitale Verknüpfung der einzelnen Schritte tatsächlich machbar und erstrebenswert ist. Vor allem die hohe Komplexität einer gänzlichen Digitalisierung und der enorme Entwicklungsaufwand lassen diese Methode letztendlich als unwirtschaftlich erscheinen. Zudem muss für die Entwicklung eines erfolgreichen CIM-Systems der gesamte Informationsfluss, von den Lieferanten über die einzelnen Gewerke bis hin zum Endkunden, durchgängig abgebildet werden.<sup>622</sup>

Es besteht auch in diesem Zusammenhang die Frage nach der Sinnhaftigkeit einer derartigen Systemeinführung bestehen.

#### 4.5.3 Qualitätssicherung im industriellen Bauen

Die Automatisierung der Fertigungsverfahren und geänderten Produktionsbedingungen in wettergeschützten Werkshallen hat unmittelbare Auswirkungen auf die Produktqualität der entwickelten Holzbauelemente. Der Einsatz automatisierter Produktionsweisen

<sup>619</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 93.

<sup>620</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 94..

<sup>621</sup> Vgl. Ebd. S. 94f.

<sup>622</sup> Vgl. Ebd. S. 95.

ermöglicht die Herstellung von komplexen Bauelementen in einer hohen Genauigkeit, welche mit einer traditionellen Bauweise nur sehr schwer erreichbar ist.

Um die Vielzahl der Bearbeitungsschritte, wie bspw. das Fixieren und Befestigen von einzelnen Bauteilen, sowie das Setzen von erforderlichen Bohrungen mit der benötigten Sorgfalt, durchführen zu können, kommen meist sehr weit entwickelte und über längere Zeiträume erprobte Maschinen zum Einsatz. Diese sind, etwa durch Funktransponder oder Barcodes, in der Lage, unterschiedliche Bauteile zu identifizieren. Dadurch kann eine ungewollte Verwechslung von sich ähnelnden Bauteilen vermieden werden.<sup>623</sup>

Eine weitere Möglichkeit der Qualitätssicherung bei einem automatisierten Produktionsablauf ist die Installation von Lichtschranken oder Kamera-systemen. Diese können die Lage, Positionierung und Ausrichtung der einzelnen Komponenten im Werkstück exakt überprüfen.<sup>624</sup>

Eine Automatisierung der Fertigungsabläufe hat, wie im vorigen Kapitel bereits beschrieben, zwangsläufig auch Auswirkungen auf die davor stattfindende Planungsphase. Um spätere Komplikationen und Folgefehler zu vermeiden, muss besonders im Planungsprozess auf eine hohe Sorgfalt in der präzisen Detailentwicklung geachtet werden. Gleichzeitig bietet eine digitalisierte Produktion in der Vorfertigung die Möglichkeit, den Produktionsprozess durch virtuelle Fertigungssimulationen nachzubilden und vorab Fehlerquellen zu erkennen und möglichst zu vermeiden. Dafür muss allerdings der gesamte Produktionsablauf dreidimensional nachgebildet werden. Anhand dieses virtuellen CAD-CAM Systems können dann jedoch nicht nur Fehler im Maschinenprogramm ermittelt, sondern auch exakte Kollisionskontrollen durchgeführt werden. Dadurch gelingt es etwa, unproduktive Zeiten und erhebliche Kostenflüsse in der Produktion, bspw. durch Maschinencrashes, zu vermeiden.

Ein weiterer wichtiger Punkt in der Qualitätssicherung von industriellen Bauabläufen ist die Materialflusssimulation. Diese wird bereits während des Planungsprozesses erarbeitet und bildet den ermittelten Material- und Hilfsmaterialbedarf ab. Dadurch können Produktionsengpässe frühzeitig erkannt und vermieden werden. Hierfür ist allerdings eine rechtzeitige Materialbedarfsrechnung bzw. Materialbereitstellung erforderlich. Um den Produktionsfortschritt und die Produktionsqualität überprüfen zu können, werden zudem laufende Fortschrittskontrollen durchgeführt. Diese dienen auch bei späteren Bauvorhaben als

<sup>623</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 120.

<sup>624</sup> Vgl. Ebd. S. 120.

Referenzbeispiele und werden meist ebenso als Kalkulationsgrundlage herangezogen.<sup>625</sup>

Viele Unternehmer bieten zudem auch unterschiedliche Zertifizierungen ihrer Bauleistungen als ein Zeichen externer Qualitätsüberprüfungen an.<sup>626</sup> Diese Qualitätszeichen stellen auch für den Bauherren und Kunden einen wesentlichen Anhaltspunkt der baulichen Qualität der angebotenen Elemente bzw. Module dar, ohne dafür besonderes Fachwissen aufbringen zu müssen.<sup>627</sup>

#### 4.6 Potentiale der Vorfertigung im Holzbau

Der Baustoff Holz eignet sich aufgrund unterschiedlicher, Werkstoff eigener Charakteristika, wie kaum ein anderes Material zur Vorfertigung. Neben dem geringen Eigengewicht bei ausgezeichneten Materialeigenschaften bietet vor allem die leichte Verarbeitbarkeit des Baustoffs einen wesentlichen Vorteil in der Vorfabrikation.<sup>628</sup>

Jüngste Studien über die Entwicklung des Marktanteils vorgefertigter Bausysteme zeigen, dass hier besonders im Holzbau auch in Zukunft ein konstantes Wachstum zu verzeichnen sein wird.<sup>629, 630</sup> Besonders die Industrialisierung von mehrgeschossigen Bauweisen wird nach und nach an Bedeutung gewinnen.<sup>631</sup>

##### 4.6.1 Experteninterviews: Potentialverteilung industrielles Bauen – baustoffunabhängig

Dieser Entwicklungstrend ist auch bei den von der Verfasserin durchgeführten Experteninterviews abzulesen. Wie bereits erwähnt, wurde im Zuge dieser Abschlussarbeit im Zeitraum vom Oktober 2014 bis Februar 2015 eine gezielte Expertenbefragung zur Ermittlung des künftigen Potentials industrieller Bauweisen durchgeführt. Neben den zuvor beschriebenen, allgemeinen Ermittlungen des künftigen Marktpotentials industrieller Bauweisen, wurde im Zuge der Interviews auch nach der konkreten Potentialverteilung innerhalb des industriellen Bauens gefragt.

<sup>625</sup> Vgl. M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse S. 120.

<sup>626</sup> Vgl. hierzu genauer Kapitel 2.1.8

<sup>627</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 32.

<sup>628</sup> Vgl. LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 3.

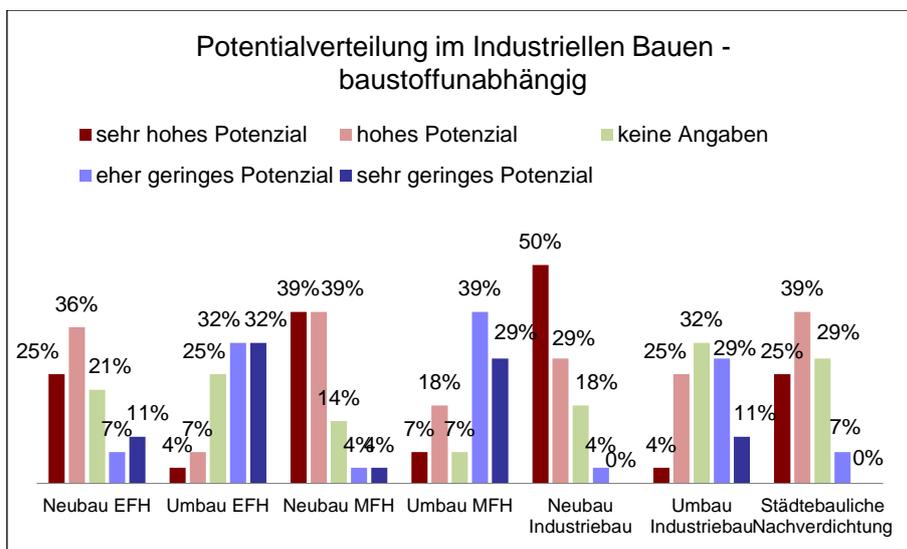
<sup>629</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.4

<sup>630</sup> Vgl. VOLLMANN, K.: Wohnbautätigkeit Bewilligungen und Fertigstellungen 2002 Wohnbaukosten 2001. Statistik. S. 52ff.

<sup>631</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 64.

Hier sind es vor allem Neubauten von Industriegebäuden oder mehrgeschossigen Wohnbauten, welche laut Ansicht der befragten Experten künftig vermehrt in industrieller Bauweise errichtet werden können.

Die im Zuge der Befragung ermittelte Potentialverteilung in unterschiedlichen Bereichen, wie bspw. im Neu- und Umbau von Ein- oder Mehrfamilienhäusern (kurz: EFH und MFH) oder Industriebauten ist in nachfolgender Grafik zusammengefasst. Eine detaillierte Aufschlüsselung der einzelnen Ergebnisse ist wiederum dem Anhang zu entnehmen.



**Abbildung 85** Expertenbefragung: Potentialverteilung im industriellen Bauen - baustoffunabhängig

Die erhobenen Daten zeigen, dass das zukünftige Potential der vorgefertigten Holzbauweise nicht nur im kleinvolumigen Einfamilienhausbau (kurz: EFH), sondern vermehrt auch in großvolumigen Projekten, wie bspw. beim Neubau von Mehrfamilienwohnhäusern (kurz: MFH) zu finden sein wird. Dabei geben vor allem die befragten Auftraggeber und Genossenschaften an, dass auch künftig großes Potential in der Abwicklung industriell gefertigter, mehrgeschossiger Wohnbauten zu finden sein wird. Rund drei Viertel der befragten Auftraggeber sind der Meinung, dass in diesem Sektor künftig sehr hohes Potential für das industrielle Bauen gegeben ist.

Die befragten Holzbau-Unternehmer geben zusätzlich an, dass auch im Bereich der städtebaulichen Nachverdichtung künftig hohes Potential, vor allem durch die Vorteile einer kurzen Montagezeit, einer industriell gefertigten Bauweise, gegeben ist.

Eher geringes Potential wird hingegen im Umbau von klein- und größervolumigen Wohnbauten vermutet. Jeweils die Hälfte der Befragten Holzbauunternehmer und ausführenden Firmen geben an, dass in

diesem Sektor künftig nur ein sehr geringes Potential für die industrielle Vorfertigung gegeben sein wird. Zudem wird auch in der Abwicklung industriell gefertigter Einfamilienhäuser von 50% der interviewten Architekten ein sehr geringes Potential vermutet.

Diese Entwicklung ist vor allem einer Reihe von Vorteilen zu verdanken, welche in weiterer Folge kurz beschrieben werden.

Der heutige Planungs- und Bauprozess ist so komplex, dass er von den meisten Laien nur schwer nachvollziehbar ist. Zusätzlich ist die damit verbundene finanzielle Belastung für die Bauherren so groß, dass der Erwerb eines Eigenheims innerhalb eines Lebens meist nur eine einmalige Ausgabe bleibt. Dementsprechend ergibt sich der Bauherrenwunsch, eine umfassende Vereinfachung des gesamten Planungs- und Bauvorgangs zu erwirken, um dadurch eine Optimierung der Qualität, der Termine und der Kosten zu erreichen.<sup>632</sup>

Das Bauen mit vorgefertigten Komponenten unterscheidet sich dabei grundlegend von jenem einer traditionellen Bauweise. Ein hoher Vorfertigungsgrad senkt die Komplexität der organisatorischen Abläufe nach außen hin erheblich. Firmenintern bleibt die eher komplexe Organisationsstruktur allerdings erhalten bzw. wird teils sogar erhöht.

Bei der Ausführung eines Bauvorhabens in traditioneller Bauweise ist der Bauherr meist mit der Beauftragung und Koordination mehrerer, voneinander unabhängiger, aber teilweise zeitgleich auftretender Gewerke konfrontiert. Bei industriell produzierten Bauvorhaben werden hiergegen im Vergleich dazu die Bauleistungen aller Gewerke als Generalleistung sozusagen aus einer Hand angeboten.

Ein weiterer Vorteil vorgefertigter Bauweisen gegenüber der traditionellen, liegt in der Reduktion der benötigten Entscheidungsmöglichkeiten und Anzahl selbiger. Durch die Vorgabe unterschiedlicher Modul- oder Elementvarianten kann der Entscheidungsprozess der Bauherren des grundlegenden konstruktiven, nicht auf die Ästhetik und das äußere Erscheinungsbild auswirkenden Bauelements, deutlich vereinfacht werden. Hier bieten vorgefertigte Module den Vorteil, Bemusterungsmöglichkeiten der Gestaltung und Objektqualität im Maßstab 1:1 vorab anbieten zu können.<sup>633</sup>

Neben der Vereinfachung des Planungs- und Produktionsprozesses kann vor allem durch die Gewährleistung einer Termin- und Kostensicherheit, großer Nutzen für einen Bauherren erwirkt werden. Durch eine automatisierte Werksfertigung und sehr kurze Montagezeiten wird nicht nur die gesamte Bauzeit in Summe gesenkt, sondern auch der Fertigstellungstermin präzise vorausgesagt. Dadurch kann der Zeitpunkt des Umzugs sehr genau bestimmt werden und somit auch eine

<sup>632</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 31.

<sup>633</sup> Vgl. Ebd. S. 31.

übermäßige finanzielle Belastung durch doppelte Mietzahlungen vermieden, bzw. ausgeschlossen werden.<sup>634</sup>

#### 4.6.2 Vorteile industrieller Bauvorhaben

Diese, aus der fachlichen Literatur gewonnenen Ansätze decken sich auch mit den aus der Expertenbefragung erlangten Erkenntnissen. Vor allem die witterungsunabhängige Produktion und die verkürzte Montagezeit werden von den befragten Fachleuten als sehr großer Vorteil gegenüber einer traditionellen Bauweise angesehen. Darüber hinaus ist laut Ansicht selbiger auch durch die hohe Produktqualität und die laufenden Qualitätskontrollen im Werk, sowie durch die insgesamt schnellere Fertigung, ein deutlich höherer Kundennutzen als bei traditionellen Bauweisen erzielbar.

---

<sup>634</sup> Vgl. Ebd. S.31.

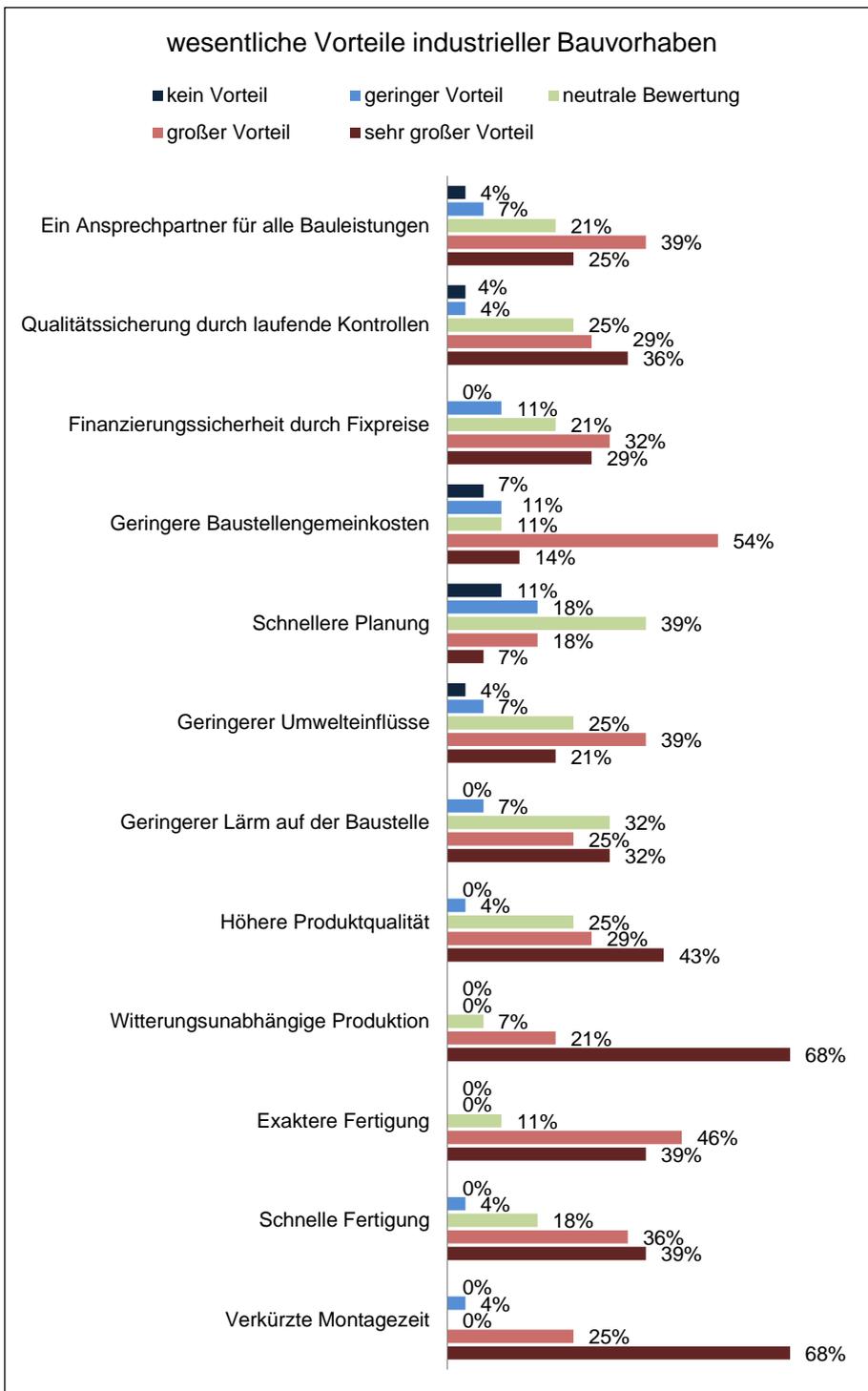


Abbildung 86 wesentliche Vorteile industrieller Bauvorhaben

Die Vorteile in der Abwicklung industrieller Bauvorhaben sind demnach sehr vielfältig und reichen von einer verkürzten Montagezeit, bis hin zur Vereinfachung des Bauablaufs. Den aufgeschlüsselten Stärken einer werkseitigen Produktion stehen allerdings eine Reihe von

Schwierigkeiten und Risiken gegenüber, welche auch von den befragten Experten genannt wurden.

#### 4.6.3 Experteninterviews: Schwierigkeiten/Risiken bei industriellen Bauvorhaben

Die größten Risiken bzw. Schwierigkeiten in der Abwicklung industrieller Bauvorhaben werden hgegen insbesondere in der vermeintlich mangelhaften Individualisierbarkeit für den Kunden und Planer, sowie im erhöhten Planungs- und Koordinationsaufwand für die Logistik gesehen.

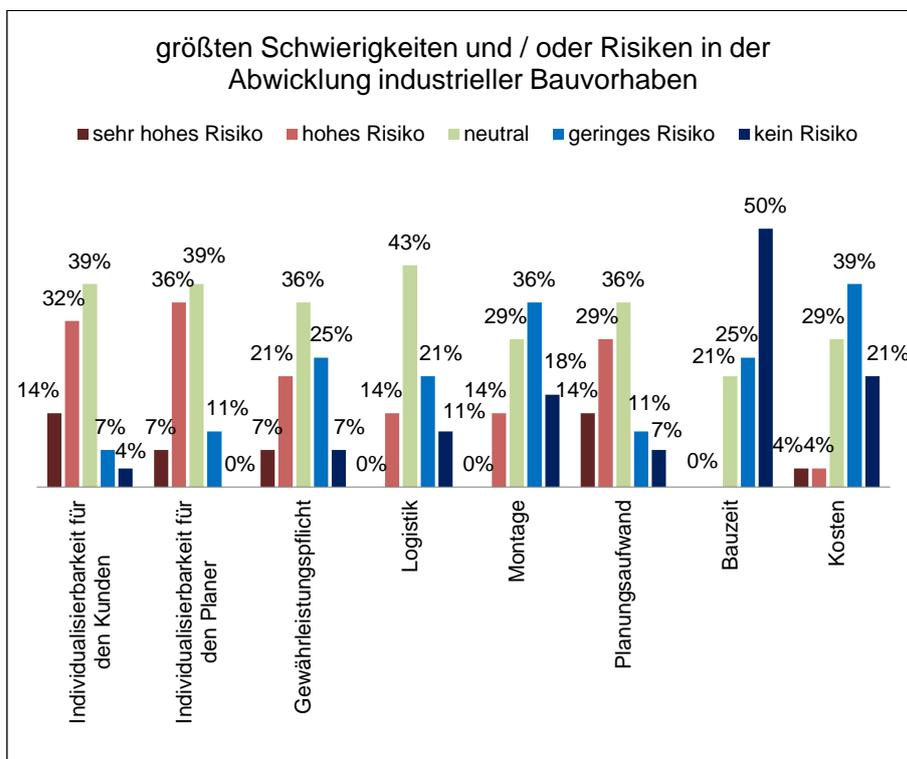


Abbildung 87 Expertenbefragung: Schwierigkeiten und Risiken in der Abwicklung industrieller Bauvorhaben

46% der befragten Experten geben an, dass die Möglichkeiten der Individualisierung im industriellen Bauen bis dato noch nicht vollständig ausgeschöpft werden, wodurch es zu Nachteilen für den Bauherren und auch für den Planer kommen kann. Aufgrund der mangelnden Individualisierbarkeit und den gesteigerten Anforderungen an die Maßgenauigkeit der einzelnen Elemente bzw. Module erhöht sich darüber hinaus auch der Aufwand während der Planungsphase. Insgesamt geben 43% der befragten Fachleute an, dass daraus Schwierigkeiten in der Abwicklung industrieller Bauvorhaben entstehen. Hierbei muss allerdings angemerkt werden, dass weder die beteiligten Architekten, noch die Fachplaner, eine große Einschränkung in der Individualisierbarkeit industrieller Bauweisen sehen. Lediglich 25% der

befragten Architekten sehen in der Abwicklung industriell gefertigter Bauweisen, wenn auch nur geringe Einschränkungen in ihrer Gestaltungsfreiheit.

Die genaue Aufschlüsselung der Ergebnisse ist im Anhang 1.2 angefügt.

#### 4.6.4 Experteninterviews: Möglichkeiten zur Imageverbesserung des industriellen Bauens

Um das teilweise negative Image einer monotonen Bauweise, welches der industriellen Vorfertigung immer noch anhaftet, aufzubessern, werden von den befragten Experten einige Lösungsvorschläge, wie die gezielte Bewerbung industrieller Bauweisen oder die Realisierung von einzelnen Leuchtturmprojekten genannt.

Diese und weitere Möglichkeiten sind in der nachfolgenden Grafik zusammengefasst.

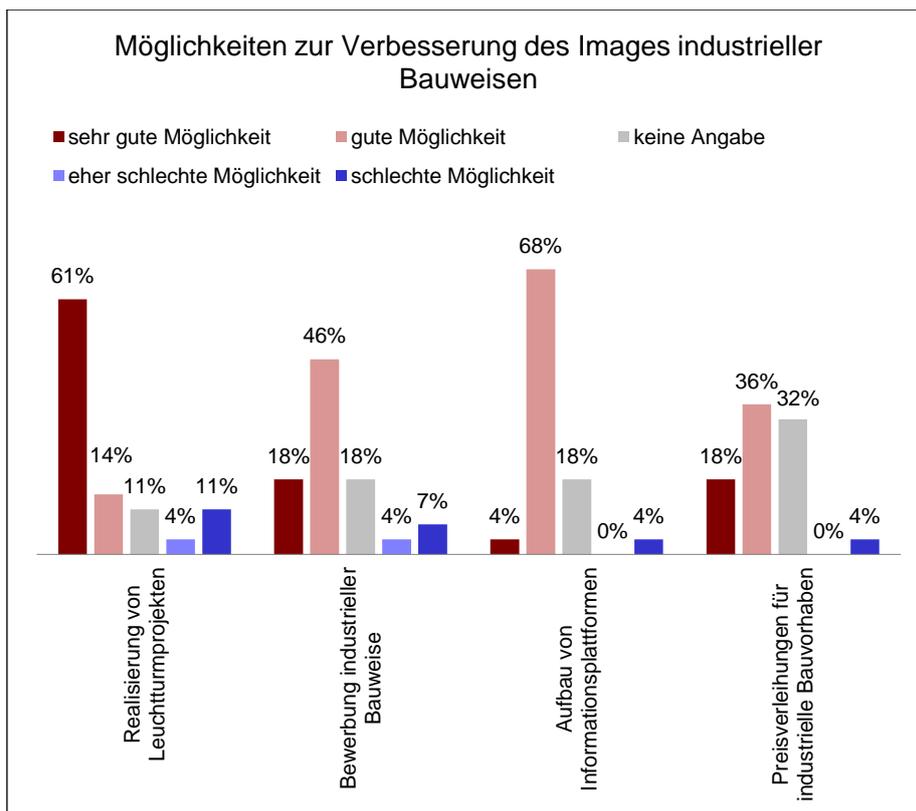


Abbildung 88 Möglichkeiten zur Imageverbesserung industrieller Bauweisen

#### 4.6.5 Anforderungen an industrialisiertes Bauen

Der Holzbau bietet sowohl in der Rahmen-, als auch in der Massivbauweise, sehr umfangreiche Möglichkeiten der Vorfertigung. Für

die erfolgreiche Umsetzung von industrialisierten Bauaufgaben müssen allerdings bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden.<sup>635</sup>

Die überwiegende Zahl industriell erstellter Bauvorhaben wird derzeit nach dem Schema eines eher klassischen und traditionellen Bauablaufs abgewickelt. Der Auftraggeber bestellt einen Architekten oder Planer für die Entwicklung eines, nach seinen individuellen Wünschen zugeschnittenen Gebäudes. Danach wird unter Einhaltung der projektspezifischen Rahmenbedingungen ein modulares oder elementiertes Bausystem entwickelt. Diese Systeme sind dabei stets kundenindividuelle Anfertigungen und meist ausschließlich auf ein konkretes Projekt zugeschnitten. Die dafür notwendigen Module bzw. Elemente werden meist in kleinen bis mittelständischen Holzbaufirmen angefertigt, welche in weiterer Folge des öfteren bereits als Generalunternehmer auftreten und so alle bei der Erstellung der Module beteiligten Gewerke koordinieren.<sup>636</sup>

Für eine ordnungsgemäße Umsetzung der Module müssen allerdings unterschiedliche Randbedingungen innerhalb eines Bauvorhabens und unterschiedliche Voraussetzungen bei der Industrialisierung gegeben sein.

Eine sehr wesentliche Anforderung wird dabei an den Architekten des Bauvorhabens gestellt. Nur wenn die Bereitschaft einer engen Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Disziplinen besteht und eine eindeutige Entscheidung für die Abwicklung des Projekts in modularer Bauweise frühzeitig getroffen wird, kann die Bauaufgabe zufriedenstellend gelöst werden. Voraussetzung dabei ist jedoch, dass ein ausreichender Planvorlauf gewährleistet ist.

Ein weiterer Anspruch an das industrialisierte Bauen muss bereits von der Bauaufgabe selbst erfüllt werden. Denn, je größer die Regelmäßigkeit der abzuwickelnden Projekte einerseits in den Räumlichkeiten, andererseits in den Details ist, desto eher wird sich ein modulares Bausystem daraus entwickeln lassen. Dabei sind besonders Systeme, welche aus vielen kleineren Einheiten mit hohem Wiederholungsfaktor bestehen, wie etwa Hotels, Wohnheime oder Schulen für eine Industrialisierung geeignet.<sup>637</sup>

Bei der Abwicklung von Bauvorhaben mittels vorgefertigter Elemente bzw. Module ist jedoch stets auch auf die, aufgrund des Transports vorgegebenen Rahmenbedingungen, zu achten.<sup>638</sup> Diese beeinflussen nicht nur die maximalen Abmessungen der einzelnen Einheiten, sondern auch deren Grundstruktur. Obwohl ein Modul prinzipiell nicht als

<sup>635</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 24.

<sup>636</sup> Vgl. MERZ, K.: Raumzellenbauweise. Bericht. S. 3.

<sup>637</sup> Vgl. Ebd. S. 3.

<sup>638</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.2.5.

geschlossener Quader hergestellt werden muss, ist dies aus konstruktiver Sicht ratsam. Zwar können beliebig viele Begrenzungsflächen weggelassen werden, was jedoch zusätzliche Aussteifungsmaßnahmen für den Transport und die Montage erfordert, welche im Nachhinein wieder entfernt werden können.

Gleichzeitig werden bei der Aneinanderreihung von Raumzellen aus geschlossenen Quadern erhöhte Kosten durch die doppelte Anzahl an Außenwänden auftreten. Dieser Nachteil wird allerdings durch eine Verbesserung der Bauphysik und des Schallschutzes kompensiert, was vor allem bei Hotels, Pflege- und Studentenheimen aufgrund der Schallschutzanforderungen an Wohnungstrennwänden auch erhebliche Vorteile bringen kann.<sup>639</sup>

Hierfür muss allerdings ein geeignetes Montagesystem vor Ort entwickelt werden. Meistens wird die Querkraftübertragung der Raumzellen durch einen geometrischen Formschluss wie Nocken oder Nuten abgeleitet. Die Aussteifung des gesamten Bauwerks erfolgt dabei über ein Scheiben-Plattensystem oder auch in Verbindung mit Stahlbetonkernen, für Stiegehäuser und dergleichen.<sup>640</sup>

#### 4.6.6 Experteninterviews: Kostenvergleich industrielle und traditionelle Bauweisen

Laut Fachliteratur beläuft sich der Anteil der reinen Baukosten im Wohnbau auf rund 50% der Gesamtinvestition. Dieser Prozentsatz kann, je nach Höhe der örtlichen Grundstückspreise variieren, er wird jedoch weitaus erheblicher vom Grad der Industrialisierung beeinflusst.<sup>641</sup>

Ein Vorteil des industrialisierten Bauens ist die hohe Terminalsicherheit, die durch festgeschriebene Planungs- und Produktionsabläufe erzielt werden kann. Zudem reduziert sich die Gesamtbauzeit erheblich. Aufgrund einer automatisierten Werksfertigung und der üblicherweise sehr kurzen Montagezeit kann somit auch die Dauer der Zwischenfinanzierung gesenkt werden.<sup>642</sup>

Durch die sehr kurze Montagedauer auf der Baustelle selbst ist es möglich, die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten deutlich zu senken. Dies hat eine Auswirkung auf die Gesamthöhe der Baukosten innerhalb einer industrialisierten Herstellung. Insgesamt werden die Herstellkosten bei werkseitiger Vorfertigung günstiger ausfallen, als bei einem mittels traditioneller Bauverfahren hergestellten Gebäude.

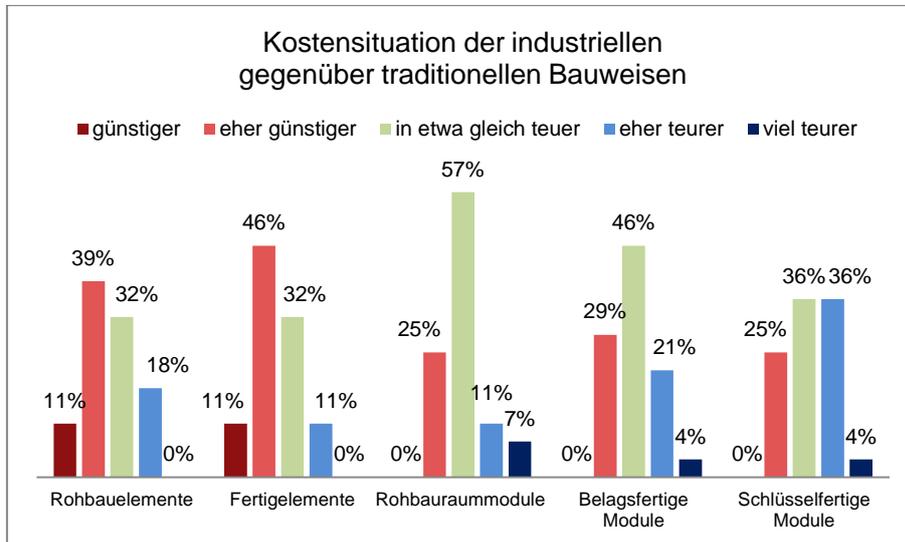
<sup>639</sup> Vgl. MERZ, K.: Raumzellenbauweise. Bericht. S. 4f.

<sup>640</sup> Vgl. Ebd. S. 5f.

<sup>641</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 525.

<sup>642</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 31.

Diese Aussage deckt sich auch mit den von der Verfasserin erfragten Prognosen unterschiedlicher Experten.



**Abbildung 89 Expertenbefragung: Kostensituation der industriellen gegenüber traditionellen Bauweise**

Insbesondere die Rohbauelemente, aber auch die Fertigelemente und belagsfertigen Module, sind laut Ansicht der Experten in der Herstellung in Summe günstiger, als ein vergleichbares System in manueller Bauweise. Knapp ein Drittel der Befragten geben an, dass belagsfertige Module insgesamt eher günstiger ausfallen werden, als konventionelle, meist händisch dominierte Bauweisen.

Noch deutlicher fällt diese Einschätzung bei den Fertigelementen aus. Mehr als die Hälfte der befragten Experten, also insgesamt 57%, geben an, dass dieses Bausystem in Summe günstiger oder eher günstiger ausfallen wird, als eine vornehmlich vor Ort durchgeführte Bauweise.

In diesem Zusammenhang fällt auf, dass vor allem die Vorfertigung in unterschiedlichen Holzbauweisen, also unabhängig ob Holz-Leichtbau und Holz-Massivbau, insgesamt als günstiger eingeschätzt werden, als bauseits realisierte Holzbauweisen. 60% der befragten Experten geben an, dass der Holzrahmenbau günstiger oder eher günstiger als traditionelle Holzbauweisen ist.

#### 4.6.7 Experteninterviews: Kostenvergleich unterschiedlicher industrieller und traditioneller Bauweisen

Demgegenüber liefert die Auswertung der Expertenbefragung hinsichtlich der Kostensituation der vorgefertigten Holz-Massivbauweise kontroverse Ergebnisse. Zwar geben 43% an, dass der vorgefertigte Holzbau günstiger oder eher günstiger ist, als ein zimmermannsmäßiger, jedoch schätzen 21%, dass dieser in Summe teurer ausfallen wird.

Um diese Diskrepanz in den Aussagen der Experten erklären zu können, erfordert es weitere Studien und neutrale Kostenvergleiche zwischen bauseits und werkseitig realisierten Projekten aus Massivholz.

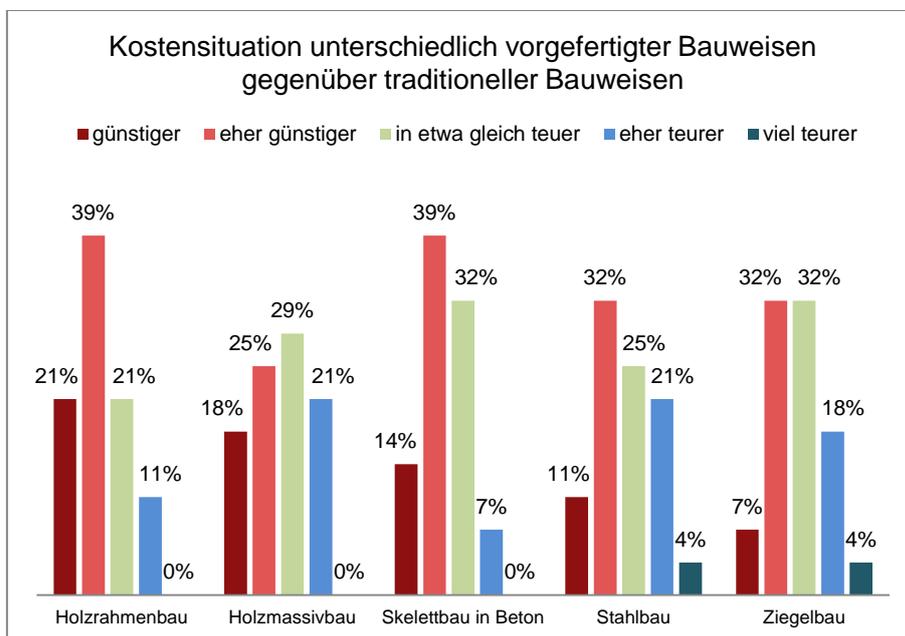


Abbildung 90 Expertenbefragung: Kostensituation unterschiedlich vorgefertigter Bauweisen gegenüber traditioneller Bauweisen

Die teilweise sogar komplett gegensätzliche Einschätzung der Kostensituation im industriellen Holzbau wird vor allem bei der detaillierten Analyse der Interviewergebnisse, aufgesplittet in die unterschiedlichen Fachgruppen, deutlich.

#### 4.6.8 Experteninterviews: Kostenvergleich unterschiedlicher industrieller und traditioneller Bauweisen aus Planersicht

Die genaue Auswertung der erhobenen Daten zeigt, dass vor allem die Gruppe der befragten Fachplaner und Architekten die vorgefertigten Bausysteme aus Holz insgesamt teurer einschätzen, als vor Ort durchgeführte Bauverfahren. Rund ein Viertel der interviewten Planer gibt an, dass der vorgefertigte Holzrahmen- bzw. Holzmassivbau insgesamt günstiger oder eher günstiger ist, als ein bauseitig gefertigter

Holzbau. Dagegen vermuten 50%, dass der vorgefertigte Holzmassivbau in Summe eher teurer ausfallen wird.

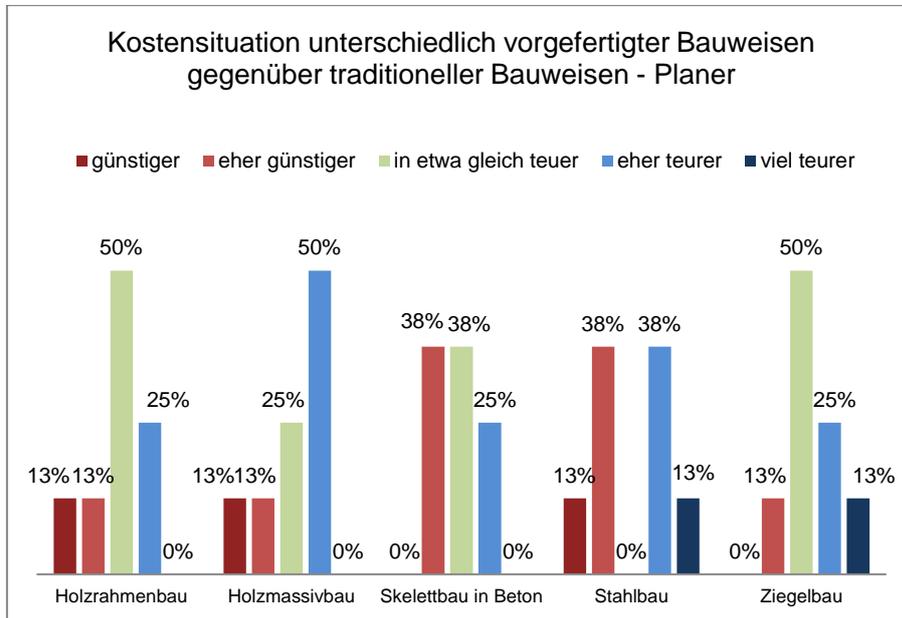


Abbildung 91 Expertenbefragung: Kostensituation unterschiedlich vorgefertigter Bauweisen gegenüber traditioneller Bauweisen - Auswertung der befragten Planer

Während die befragten Planer den vorgefertigten Holzbau eher teurer als bauseits realisierte Holzbauweisen einschätzen, wird von der befragten Bauherrenschaft von einer komplett gegenteiligen Kostensituation ausgegangen.

#### 4.6.9 Experteninterviews: Kostenvergleich unterschiedlicher industrieller und traditioneller Bauweisen aus Auftraggebersicht

Ein eher entgegengesetztes Bild liefert die Auswertung der erhobenen Daten der Bauherrenschaft. Alle befragten Vertreter dieser Gruppe gaben an, dass der vorgefertigte Holzrahmenbau in Summe günstiger oder eher günstiger ist als eine vergleichbare, bauseitig realisierte Bauweise. Beim Holzmassivbau meinen das immerhin noch drei Viertel der Befragten.

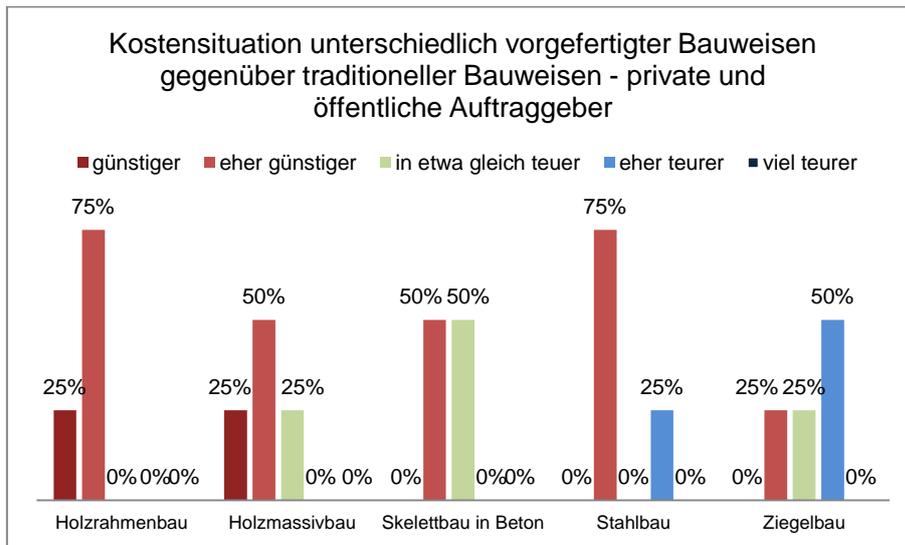


Abbildung 92 Expertenbefragung: Kostensituation unterschiedlich vorgefertigter Bauweisen gegenüber traditioneller Bauweisen - Auswertung der befragten öffentlichen und privaten Auftraggeber

Gleichzeitig erlaubt der durch die Vorfertigung äußerst exakt planbare Produktionsablauf die Generierung von Fixpreisangeboten auf den ausgeschriebenen Leistungen. Diese Fixpreisangebote bergen jedoch immer das Risiko von erhöhten Kosten und auch Mehrkosten bei geänderten Grundlagen der Leistungserbringung, etwa aufgrund unvorhergesehener Kosten für die Gründungsarbeiten oder auch andere Arten der Leistungsänderung.<sup>643</sup>

Für die wirtschaftliche Bewertung unterschiedlicher Fertigungsverfahren müssen neben den technischen, auch ökonomische Faktoren berücksichtigt werden. Technische Anforderungen, wie beispielsweise die Werkstoffmerkmale oder Bauteilgestaltung, können besonders bei einer automatisierten Produktion von Holzelementen oder Holzmodulen durch die sehr leichte Bearbeitbarkeit des Baustoffs Holz als wesentlicher Vorteil angesehen werden.

Die wirtschaftlichen Aspekte, wie grundsätzliche Investitionen in die Abbundanlagen und EDV-Systeme, müssen zuvor im Hinblick auf die Auslastung und Größe des jeweiligen Unternehmens, abgestimmt und zugunsten der Investition abgezogen werden.<sup>644</sup>

Der Faktor der Lohnkosten wird, bedingt durch die verkürzten Durchlaufzeiten in der Herstellung, insgesamt gesenkt. Demgegenüber stehen jedoch höhere Maschinenkosten. Um der erhöhten Automation gerecht zu werden, müssen insgesamt mehr und leistungsstärkere Anlagen eingesetzt werden. Je nach Grad der Automation werden sich folglich die Faktoren der Lohnkosten senken bzw. wird der Anteil der

<sup>643</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 31.

<sup>644</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.5.1.

Maschinenkosten steigen. Aufgrund der insgesamt kürzeren Taktzeiten werden allerdings die anfallenden Herstellkosten der unterschiedlichen Bauvorhaben generell gesenkt.<sup>645, 646</sup>

#### 4.6.10 Effizienzvorteil durch Systematisierung der Arbeitszeit

Ein wesentliches Einsparungspotential der produktionstechnisch bedingten Kosten<sup>647</sup>, die immerhin rund die Hälfte der eigentlichen Baukosten ausmachen, liegt in der Effizienzsteigerung der Herstellverfahren und eines klar strukturierten sog. Workflows. Durch die Reduktion von wetterbedingten Leistungsschwankungen und Verlustzeiten, etwa durch das Suchen von Materialien oder das Umstapeln und Umordnen von Bau- und Hilfsstoffen können nicht wertschöpfende Tätigkeiten auf einer Baustelle größtenteils eliminiert werden.<sup>648</sup>

Die nachstehende Grafik zeigt das weite Spektrum nicht wertschöpfender Arbeitszeit innerhalb einer Baustelle.

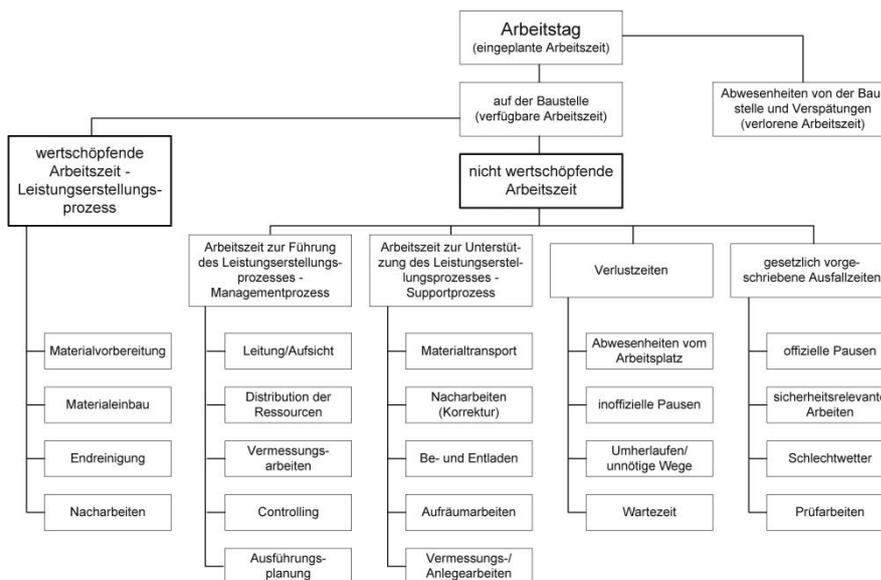


Abbildung 93 Systematisierte Arbeitszeit auf einer Baustelle<sup>649</sup>

Neben gesetzlich vorgeschriebenen Ausfallzeiten werden in dieser vor allem die Zeiten für Managementtätigkeiten, für Supportprozesse und den eigentlichen Verlustzeiten zusammengefasst.

Mehrere Zeiterfassungsstudien auf allgemeinen Hochbau-Baustellen zeigen, dass rund ein Drittel der gesamten Arbeitszeit für diese nicht

<sup>645</sup> Vgl. ERMANNI, P.: Composites Technologien. Skriptum. S. 205.

<sup>646</sup> Vgl. Ebd. S.206.

<sup>647</sup> Das sind vor allem die Kosten für den Geräteeinsatz und die Lohnkosten.

<sup>648</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 526.

<sup>649</sup> GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 526.

wertschöpfenden Tätigkeiten, wie etwa das Suchen und Umstapeln von Baumaterial, aufgewendet wird.<sup>650</sup>

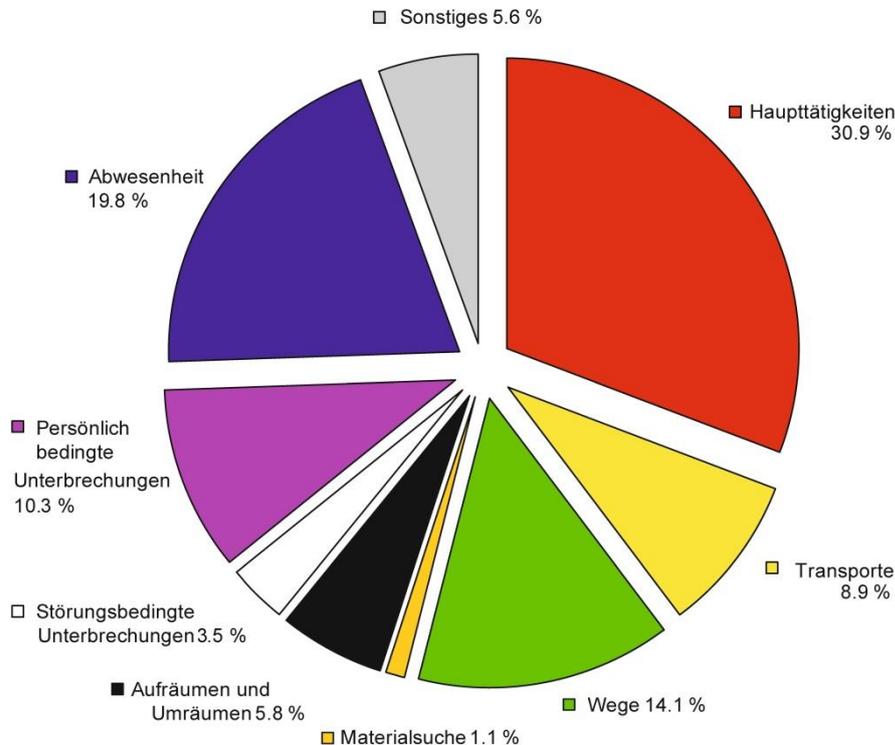


Abbildung 94 prozentuelle Verteilung der Tätigkeiten gemessen an der Gesamtarbeitszeit beim Ausbau<sup>651</sup>

Insgesamt entfallen nur knapp 31% der Arbeitszeit auf die eigentliche Verrichtung der Haupttätigkeit. Die verbleibende Zeit wird mit unterschiedlichen Support- oder störungsbedingten Arbeiten verbracht. Hier bietet eine werkseitige Vorfertigung besonders durch eine Optimierung der Arbeitsabläufe einen erheblichen Vorteil gegenüber der traditionellen Baustellenfertigung<sup>652</sup>. Studien zeigen, dass durch optimierte Produktionsbedingungen in separaten Werkshallen eine deutliche Zeitersparnis erzielt werden kann. Im industriellen Holzbau kann, je nach Bauweise, beispielsweise eine Verkürzung der gesamten Arbeitszeit um etwa 20 Prozent erreicht werden.<sup>653</sup>

Nicht nur die eigentliche Leistungserstellung, sondern auch die zusätzlichen Supportprozesse der Unternehmen, wie etwa die Kommunikation mit den Zulieferfirmen und Subunternehmern, können durch die Einführung industrieller Methoden weitaus wertschöpfender gestaltet werden. Vor allem bei der Beschaffung und Weiterverarbeitung innerhalb des Wissensmanagements und bei der Produktionsplanung an

<sup>650</sup> Vgl. hierzu etwa Boenert, L.; Bloemeke, M.: Logistikkonzepte im Schlüsselfertigbau zur Erhöhung der ostenführerschaft. In: Bauingenieur 80, H. 6/2003, S. 227–283

<sup>651</sup> GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 527.

<sup>652</sup> Vgl. Ebd. S.527.

<sup>653</sup> ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 68.

sich kann durch die Einführung neuer Kommunikations- und Informationstechnologien eine nicht unerhebliche Effizienzsteigerung und somit auch Arbeitszeitverkürzung erreicht werden.<sup>654</sup> Zwar ist bis dato eine Vielzahl der Baustellen, bedingt durch die teilweise nach wie vor eher niedrigen Lohnkosten vor allem in Billiglohnländern, durch manuelle Arbeiten geprägt. Dies wird sich jedoch nach Ansicht von Fachleuten innerhalb weniger Jahren ändern. Durch eine kontinuierliche Anpassung der Löhne wird die Industrialisierung in Bezug auf die Effizienzsteigerung und Arbeitszeitverkürzung immer weiter an Bedeutung gewinnen.<sup>655</sup>

#### 4.6.11 Effizienzsteigerung der begleitenden Prozesse

Das gesamte Einsparungspotential der Arbeitszeit ist bei einer industriellen Vorfertigung direkt von einer Effizienzsteigerung der begleitenden Prozesse und dazugehörigen Dienstleistungen abhängig. Wie bereits im Kapitel zum Thema Informationsgesellschaft und Informationsrevolution<sup>656</sup> beschrieben, nimmt der Anteil der Dienstleistungen und produzierten Hochtechnologien seit rund zwei Jahrzehnten eine immer entscheidendere Rolle ein. Sowohl in Mitteleuropa, als auch in Nordamerika, ist in den letzten Jahrzehnten ein konstanter Abfall der Bruttowertschöpfung des primären und sekundären Wirtschaft Sektors zu verzeichnen. Derzeit nimmt der tertiäre Dienstleistungssektor rund zwei Drittel der gesamten Wertschöpfung ein.<sup>657</sup> Auch in der Produktion, sowie in der gesamten Bauwirtschaft, nimmt der Faktor der begleitenden Dienstleistungsangebote eine immer entscheidendere Rolle ein. Besonders durch die Entwicklung leistungsstarker KIT gelingt es, die Produktivität einzelner, die Fertigung begleitender Prozesse, erheblich zu steigern. Die letztendliche Wirkung des Einsatz dieser KIT-Methoden auf die Effizienzsteigerung unterschiedlicher Prozesse wird aus einzelwirtschaftlicher Sicht jedoch häufig hinterfragt. Theoretisch gesehen würde ein Unternehmer solange in die für die Installation der KIT erforderlichen Anlagen investieren, bis der erzielte Ertrag höher als die erzielten Kosten sind. In der Praxis wird dieser Punkt aufgrund der Höhe der Grundinvestition und der vorherrschenden Unternehmensstruktur jedoch vielfach nicht erreicht.<sup>658, 659</sup>

Dennoch kann durch eine Verbesserung der begleitenden Produktionsprozesse, mithilfe einer Adaption neuer Technologien oder der

<sup>654</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.3.1 und 3.3.3.

<sup>655</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 527.

<sup>656</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.1.1

<sup>657</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 86f.

<sup>658</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 65 ff.

<sup>659</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.5.

Einführung von Prozessinnovationen eine deutlich bessere Arbeitsproduktivität erreicht werden. Ein Beispiel hierfür ist die Einführung neuer Produktionsplanungssysteme, welche durch unterschiedliche Simulationen nicht nur eine optimierte Auslastung der Fertigungsanlagen ermöglicht, sondern auch einen hohen Grad an Flexibilität zulässt.<sup>660</sup>

Weiteres Potential zur Effizienzsteigerung der begleitenden Produktionsprozesse liegt in der derzeit gängigen, elektronischen Abwicklung von Zahlungen. Durch die Automatisierung elektronischer Zahlungssysteme konnte der administrative Aufwand und die koordinativen Funktionen innerhalb eines Unternehmens erheblich gesenkt werden.<sup>661</sup> Zusätzlich kann, wie schon im Kapitel Datenerstellung und Datenpflege beschrieben, durch die Wahl geeigneter KIT der Aufwand für die Datenerhebung- und Datenpflege erheblich reduziert werden.

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten dieser Informationssysteme führten dazu, dass die Investitionen in KIT für zahlreiche Manager als Garant für hohe Effizienzsteigerungen galten. Und obwohl einige in den USA durchgeführte Studien keinen direkten Zusammenhang zwischen dem Einsatz moderner Informationstechnik und einer gesteigerten Arbeitsproduktivität feststellen konnten, wird deren Wirkung von einem Großteil der Forscher anerkannt.<sup>662</sup> Allerdings wird immer wieder betont, dass für eine eindeutige Zunahme der Produktivität die Installation einer Technik aus komplementären Subsystemen und die Überarbeitung der gesamten Infrastruktur des Unternehmens notwendig sein werden.

Zudem werden durch die Verwendung geeigneter CAD-Programme große Produktionsfortschritte, etwa durch eine Automation von Routinefunktionen und integrierten Objektbibliotheken, sowie automatisch durchführbare Plausibilitätsprüfungen, erreicht.<sup>663</sup>

#### 4.6.12 Reduktion der Rüstkosten

Die Rüstkosten einer Anlage beeinflussen deutlich die Höhe des gesamten Inventars eines Fertigungssystems und tragen somit letztendlich auch zur Rentabilität eines Vorfertigungssystems bei. In Abhängigkeit einer prognostizierten Einsatzzeit kann unter der Berücksichtigung sämtlicher Ausgaben für die Vor- und Demontage der Anlagen ein Mittelwert der jährlich zu erwartenden Rüstkosten berechnet werden. Über diesen Wert kann schließlich eine Aussage über die

<sup>660</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.2.1.

<sup>661</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 66.

<sup>662</sup> Vgl. Ebd. S. 68.

<sup>663</sup> Vgl. Ebd. S. 69ff.

jährliche Kapitalrentabilität eines entwickelten Bausystems getroffen werden.<sup>664</sup>

Die Höhe der Rüstkosten wird dabei maßgeblich von den entwickelten Verfahren und den dafür notwendigen Werkzeugen beeinflusst. Grundsätzlich wird hier zwischen sog. starren und weichen Werkzeugen unterschieden. Starre Arbeitsmittel verursachen in diesem Zusammenhang besonders bei individuellen Bauteilerstellungen hohe Rüstkosten. Im Gegensatz dazu sind moderne, sog. weiche Werkzeuge<sup>665</sup> in der Lage, unterbrechungsfrei mehrere Arbeitsschritte hintereinander durchzuführen. Eine wichtige Komponente dieser Werkzeugsysteme ist die Lasertechnologie, durch die eine Reihe von Bearbeitungsschritten erst ermöglicht wird und diese miteinander verbunden werden können. Durch die zunehmende Leistungsfähigkeit dieser Technologie wird sie nicht nur, wie bislang üblich, in einer Kleinserienfertigung, sondern nach und nach auch für die Fertigung größerer Stückzahlen eingesetzt.<sup>666</sup>

Ein weiteres Verfahrensmodell ist die vollautomatische Produktion eines Elements oder Moduls durch eine sog. Automated Fabrication. In diesem Ausdruck wird eine Vielzahl moderner Technologien zusammengefasst, welche durch die Koppelung von CAD-Modellen sämtliche, für die Produktion notwendigen Arbeitsschritte, abwickelt. Prinzipiell können mit dieser Technik alle Bauteile entwickelt werden, die aus einem einzelnen massiven Material hergestellt werden. Aufgrund der hohen Investitionskosten ist diese Methodik allerdings noch nicht weit verbreitet. In Zukunft, wenn die Ausgaben zur Beschaffung solcher Anlagen erheblich gesenkt werden, wird die Technologie, nach Ansicht von Experten, jedoch zu einem der wesentlichen Träger einer Mass Customization sein.<sup>667</sup>

All diese modernen Fertigungssysteme zielen mithilfe durchgängiger Produktionsprozesse auf eine unterbrechungs- und somit auch umrüstungs freie Bearbeitung von unterschiedlichen Werkstücken ab. Durch eine automatisierte Fertigungskette können nicht nur unproduktive Stehzeiten, sondern auch hohe Rüstkosten reduziert werden.<sup>668, 669</sup>

Ausgangspunkt dieser Entwicklung ist die seit den 1950er Jahren eingesetzte CNC-Universalmaschine. Die noch unverkettete Einzelmaschine konnte mit einem Bearbeitungsschritt mittels computer-technischer Steuerung einen Auftrag vollautomatisch abwickeln. Die Umrüstung der Anlage erfolgte dabei entweder manuell oder

<sup>664</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 914.

<sup>665</sup> Zu den sog. weichen Werkzeugen zählen unter anderem diverse Softwareprogramme. Harte Werkzeuge sind dagegen bspw. Bohrer oder Fräsanlagen.

<sup>666</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 276.

<sup>667</sup> Vgl. Ebd. S. 277.

<sup>668</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.5.2.

<sup>669</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 276.

automatisch. Änderungen während einer Produktion konnten hier jedoch nur durch eine Werkstatt-programmierung an der Maschine selbst vorgenommen werden. Mittlerweile werden diese Anlagen jedoch durch einen zentralen Rechner gesteuert, wodurch eine Umprogrammierung der Leistungs-anforderung meist bereits online erfolgen kann.<sup>670</sup>

---

<sup>670</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 276.

#### 4.7 Einsatz industriell gefertigter Holzelemente im Wohnbau

Der Holzbau bietet, nicht zuletzt aufgrund der Möglichkeit einer sehr umfangreichen Vorfertigung, eine immer beliebter werdende Alternative zu den klassischen Bauprozessen und Baustoffen. Besonders im kleinvolumigen Wohnbau, aber vermehrt auch bei mehrgeschossigen Gebäuden, kommt der Baustoff Holz als tragende Struktur vermehrt zum Einsatz. Durch die vor allem in den letzten Jahrzehnten vorangetriebene Entwicklung neuer Holzwerkstoffe werden dabei nicht nur neue Einsatzmöglichkeiten erschlossen, sondern auch individuelle und teils komplexe Holzbauten mithilfe des Einsatzes flexibler Fertigungsanlagen realisiert. Für diese Art der Ausführung sind allerdings einige Eingangsinvestitionen und Umstrukturierungen traditionell geführter Holzbaubetriebe notwendig, die im Hinblick auf die vielfach vorherrschenden Unternehmensgrößen und -strukturen meist hohe Schwierigkeiten aufweisen.<sup>671, 672</sup>

Neben der Weiterentwicklung der industriellen Vorfertigung im Holzbau, wurde das mögliche Einsatzfeld vofabrizierter Holzelemente auch durch die Erarbeitung technischer Neuerungen auf der Entwurfs- und Produktionsebene kontinuierlich erweitert.<sup>673</sup> Nicht mehr das geometrisch gleiche Modul, sondern eine Reihe verschiedener Faktorkombinationen ist für die Wirtschaftlichkeit eines entwickelten Systems verantwortlich.<sup>674</sup> Eine detaillierte und durchdachte Systematik der Produktionsprozesse sowie der Bauteilfügung werden in diesem Zusammenhang immer wichtiger. Dafür muss nicht nur in der Phase der Arbeitsvorbereitung, sondern bereits in der Planungsphase ein besonderes Augenmerk auf eine einheitliche und wohlüberlegte Gebäudekomposition gelegt werden.<sup>675</sup>

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Anforderungen und Auswirkungen einer industriellen Vorfertigung auf die Integration der Versorgungstechnik im Bauteil näher betrachtet. Da die Gebäudetechnik und der Ausbau, besonders im Holzbau, einen sehr wesentlichen Kostenpunkt darstellen, werden ebenso einige Möglichkeiten aufgezeigt, diese Integration wirtschaftlich zu optimieren.

Anschließend wird ein Beispiel eines modular gefertigten Wohn- und Feriengebäudes, welches sich durch einen hohen Grad an Vorfertigung auszeichnet, beschrieben.

Zuletzt werden einige mögliche Auswirkungen des industriellen Holzbaus auf die zu erwartenden Lebenszykluskosten eines Gebäudes analysiert.

<sup>671</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 88.

<sup>672</sup> Vgl. Ebd. S.24.

<sup>673</sup> Vgl. Ebd. S.56.

<sup>674</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.5.

<sup>675</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 24.

#### 4.7.1 Integration der Versorgungstechnik im vorgefertigten Bauteil

Die zunehmende Wechselwirkung zwischen der technischen Gebäudeausstattung und den stets komplexer werdenden Anforderungen der geplanten und realisierten Bauvorhaben im Hinblick auf die Gestaltung und Ausstattung, machen einen interdisziplinären Planungsprozess zwingend notwendig. Insbesondere durch die teilweise sogar entgegengesetzten Anforderungen aus Technik und Planung, wird ein Paradigmenwechsel in der Konzeption der Gebäudetechnik erforderlich. Diese fächerübergreifende Planung ist dabei nicht nur bei Großprojekten, sondern bereits bei der Entwicklung von Ein- und Mehrfamilienhäusern sinnvoll. Denn ein isoliertes Abarbeiten einzelner Planungsaufgaben führt meist zu Verzögerungen aufgrund nachträglicher Planänderungen und dadurch auch zu unerwarteten Folgekosten.<sup>676</sup>

Ziel einer sog. integralen Planung<sup>677</sup> ist folglich die Entwicklung einer sowohl technisch funktionierenden, als auch wirtschaftlich nachhaltigen Anlage der technischen Gebäudeausrüstung (kurz: TGA).<sup>678</sup> Um das zu erreichen, muss allerdings zuvor eine weitgehende Standardisierung der einzelnen Komponenten entwickelt werden. Diese Standardisierung bietet durch die immergleichen Anforderungen eine optimale Voraussetzung zur industriellen Herstellung. Vor allem bei der Integration der Versorgungstechnik können in diesem Zusammenhang mithilfe einer durchdachten Vorproduktion im Werk deutlich niedrigere Investitionskosten erzielt werden.<sup>679</sup> Hierbei muss jedoch besonders auf eine präzise Planung der Leitungsführungen geachtet werden. Vor allem beim Holzbau führen, laut der Ansicht von Fachleuten, Planungs- und Ausführungsfehler im Bereich der Versorgungstechnik teil zu erheblichen Baumängeln und Folgeschäden, wie bspw. aufgrund eines nicht rechtzeitig erkanntem Wassereintritts. Der Lage der Leitungen im Bauteil kommt unter diesem Gesichtspunkt folglich eine besondere Bedeutung zu. Aufgrund der meist relativ großen Dimensionen der wasserführenden Leitungsrohre müssen, je nach Ebene der Trassenführung, auch unterschiedliche Auswirkungen auf andere Themenbereiche wie Statik oder Bauphysik geachtet werden. Dabei ist die bislang vorherrschende Methode, die Leitungen in der Schüttung im Fußbodenaufbau zu verlegen, im Hinblick auf Dauerhaftigkeit und Flexibilität der Systeme, als nicht optimal anzusehen. Hiergegen sind freiliegende Leitungen zwar hinsichtlich der Sanier- und Kontrollierbarkeit sehr positiv zu bewerten, sie werden jedoch aus optischen und schallschutztechnischen Gründen,

<sup>676</sup> Vgl. HEIDEMANN, A. et al.: Integrale Planung der Gebäudetechnik. S. 2.

<sup>677</sup> Die integrale Planung zeichnet sich durch eine frühzeitige, interdisziplinäre Zusammenarbeit unterschiedlicher Spezialisten aus. Dabei werden bereits in einer sehr frühen Planungsphase Faktoren wie die statischen Anforderungen, TGA und die speziellen Voraussetzungen für den späteren Rückbau berücksichtigt.

<sup>678</sup> Vgl. HEIDEMANN, A. et al.: Integrale Planung der Gebäudetechnik. S. 14.

<sup>679</sup> Vgl. Ebd. S. 70.

vor allem im Wohnbau, derzeit kaum eingesetzt. Bei Massivholzbauten, aber auch im Holzrahmenbau, kommen zunehmend Installationen hinter Vorsatzschalen zum Einsatz. Dieses System bietet durch eine klare Trennung zwischen der Tragstruktur und der Installationsebene eine möglichst flexible Gestaltung der Leitungsführung. Bei vertikalen Trassen kommen meist zusätzliche, zentrale Verteilerschächte zur Anwendung, welche ebenfalls nach dem Prinzip einer vorgesetzten Verschalung funktionieren.

Kommt es zum Einsatz einer industriellen Vorfertigung, werden alle notwendigen Installationseinheiten bereits im Werk montiert. Dabei werden nicht nur unterschiedliche Fall- und Steigleitungen, sondern auch sämtliche Anschlussleitungen und Anlageteile vorgefertigt. Bedingt durch die große Vielfalt unterschiedlicher Leitungssysteme, müssen diese für jedes Holzbauprojekt jedoch individuell betrachtet, detailliert geplant und angefertigt werden.<sup>680</sup> Dabei gilt, dass vor allem bei einer flächigen Ausbreitung der Leitungsführung, wie bspw. bei einer Fußbodenheizung oder einem Sprinklersystem, ein zusätzlicher Feuchteschutz der Holztragstruktur aufgebracht werden muss.<sup>681</sup>

Darüber hinaus wird nach Meinung von Fachleuten betont<sup>682</sup>, dass zur Minimierung des Risikos eines unbemerkten Feuchteintritts in einem Holzbau vor allem eine Systemtrennung der Bauteile in die tragende und ausbautechnische Ebene notwendig ist. Durch diese räumliche Trennung wird gleichzeitig eine nachträgliche Adaptierung der Versorgungstechnik vereinfacht. Mithilfe der baulichen Aufteilung der Komponenten mit unterschiedlicher Nutzungsdauer wird zudem der Austausch einzelner Bauteile ohne Beschädigung noch funktionierender Teile auch im Nachhinein während der Nutzung ermöglicht.<sup>683</sup>

Neben der baulichen Trennung der leitungsführenden Schicht kommt auch den Möglichkeiten der Vorfertigung eine entscheidende Rolle im Falle einer Schadensminimierung durch Feuchteintritt zu. Besonders die gesteigerte Ausführungsqualität und präzise Fertigung im Werk kann in diesem Zusammenhang zu einer deutlichen Reduktion des Schadensrisikos in der haustechnischen Gebäudeausrüstung führen.<sup>684</sup>

Zudem bietet der vorgefertigte Holzbau die Möglichkeit, den gesamten Installationsschacht im Werk als eine Einheit zu erstellen. Durch diese Bündelung der Versorgungstechnik kann der Bauablauf weiter optimiert und zugleich die Ausführungsqualität erhöht werden. Allerdings müssen hierbei auch die logistischen Verarbeitungsmöglichkeiten auf der Baustelle beachtet werden. Aufgrund der erhöhten Beschädigungsgefahr

<sup>680</sup> Vgl. HEIDEMANN, A. et al.: Integrale Planung der Gebäudetechnik. S. 11f.

<sup>681</sup> Vgl. Ebd. S. 18.

<sup>682</sup> Vgl. KAUFMANN, H.: Gebäudetechnik im seriellen Holzbau. Bericht. S. 1ff.

<sup>683</sup> Vgl. KAUFMANN, H.: Gebäudetechnik im seriellen Holzbau. Bericht. S. 57.

<sup>684</sup> Vgl. Ebd. S. 57.

der meist eher filigranen Haustechnikkomponenten, wie bspw. der Heizungs- und Kühlungsanlagen und zugehörigen Versorgungsleitungen, während des Transports, und der Lagerung, bzw. der Versetzung der Module, kann eine zu tiefgreifende Vorfertigung im Werk schlussendlich zu höheren Kosten führen, als durch eine herkömmliche Vorortmontage.<sup>685</sup>

Durch die höhere Qualität einer witterungsunabhängigen Ausführung im Werk kann demzufolge die Nutzungsdauer eines Gebäudes jedoch positiv beeinflusst werden. Allerdings ist die Integration und Vorfertigung der Versorgungstechnik bis heute nicht sehr weit entwickelt und kommt nur in Einzelfällen in Form von Prototypen zur Anwendung. Besonders in diesem Fachgebiet existiert laut Expertenmeinung ein hohes Forschungspotential.<sup>686</sup>

#### 4.7.2 Raummodule aus Holz im mehrgeschossigen Wohnungsbau

Bedingt durch die kontinuierlichen Weiterentwicklungen der technischen und bauphysikalischen Eigenschaften des Baustoffs Holz gewinnt dieser auch bei mehrgeschossigen Bauvorhaben immer mehr an Bedeutung. Die schnelle Montagezeit bei einem gleichzeitig hohen Grad an Vorfertigung, sowie das geringe Eigengewicht, stellen besonders im Bereich der städtischen Nachverdichtung ein wesentliches Argument, gegenüber einem vor Ort System dar. Im städtebaulichen Kontext muss jedoch zu einem sehr frühen Zeitpunkt geklärt werden, ob und in welchem Ausmaß diese Art der Vorfertigung die Möglichkeiten der Gestaltung beeinflussen. Die grundlegenden Entwurfsparameter werden dabei sowohl von den bautechnischen Eigenschaften des verwendeten Baustoffs, als auch von den Möglichkeiten der Logistik wesentlich beeinflusst. Das Material selbst gibt etwa die Grenze einer wirtschaftlich sinnvollen Spannweite der einzelnen Module vor. Und auch durch den Transport sowie oftmals der Zufahrtsmöglichkeit werden die maximalen Abmessungen der Raumzellen begrenzt. Hiergegen kann die Länge dieser Einheiten meist beliebig erweitert werden.<sup>687</sup> Diese grundlegenden Rahmenbedingungen werden im Entwurf meist durch eine Rasterung der Raumeinteilung sichtbar, setzen allerdings eine interdisziplinäre Planung voraus. Vor allem der Einsatz von Raummodulen im mehrgeschossigen Wohnungsbau intensiviert die Planungsphase, in der alle individuellen Wünsche der Nutzer und Bauherren berücksichtigt werden müssen. Aufgrund dieses hohen kundenindividuellen Faktors konzentriert sich die modulare Bauweise derzeit vor allem auf die Errichtung von Hotelbauten oder Wohnheimen

<sup>685</sup> Vgl. KAUFMANN, H.: Gebäudetechnik im seriellen Holzbau. Bericht. S. 63.

<sup>686</sup> Vgl. Ebd. S. 64.

<sup>687</sup> Vgl. MIKKOLA, M.: Industrial approach to wood based multistory construction - case Stora Enso modular construction. Bericht. S. 3ff.

für Pflegebedürftige oder Studierende.<sup>688</sup> Darüber hinaus ist der Modulbau in Holz auch eine preiswerte Methode in der Aufstockung bestehender Wohnbauten. Durch die umfangreiche Vorfertigung im Werk beschränken sich hierbei die Arbeiten vor Ort auf reine Montagearbeiten und arbeiten am Bestand, wodurch die Dauer der Bauzeit erheblich verkürzt werden kann.<sup>689</sup>

Diese Vorteile und Charakteristika einer industriellen Bauweise wurden bereits in Kapitel: Aktuelle Beispielprojekte modularer Systeme anhand einiger bereits umgesetzter Bauvorhaben beschrieben. Neben dem 2013 realisierten Seniorenwohnheim in Hallein wurden dabei das 2014 umgesetzte Kurhotel Weissenbach, das Sportbildungszentrum Mülimatt, ein Studentenwohnheim in Delft, die thermische Sanierung der Wohnhausanlage Johann-Böhm-Straße, ein Gästehaus am Umweltcampus-Birkenfels sowie diverse Wiener Schulerweiterungen und Umbauten behandelt.

Nachdem in dem vorangegangenen Kapitel die allgemeinen Aspekte und zeitlichen Vorteile einer vorgefertigten, baustoffunabhängigen Bauweise analysiert wurden, wird nun eingehender auf das Potential des industriellen Holzbaus eingegangen und dieses anhand eines konkreten Projekts analysiert:

Ein Beispiel für den modular entwickelten Wohnungsbau ist die 2013 realisierte Ferienparkanlage am Bostalsee im Saarland in Deutschland. Bei diesem Projekt wurden auf einer Grundstücksfläche von insgesamt 95 Hektar 500 einzelne Ferienhäuser errichtet. Um einen reibungslosen Bauablauf und eine bestmögliche Abstimmung der einzelnen Gewerke untereinander sicherzustellen, wurden die unterschiedlichen Möglichkeiten der Ausführung mit dem Baustoff Holz bereits in der Entwurfsplanung berücksichtigt. Der enge Terminplan und die terminliche Abhängigkeit der einzelnen Generalunternehmer führten schließlich zu einer erheblichen Steigerung des Vorfertigungsgrades bei gleichzeitiger Reduktion der Variantenvielfalt der Ferienhäuser.

Beispielsweise musste zur Vermeidung von Kollisionen während der Montagearbeiten vor Ort mit den Arbeiten für die Errichtung der notwendigen Infrastruktur, die Fertigstellung von insgesamt zwei Gebäuden pro Tag sichergestellt werden. Eine Verzögerung bei der Errichtung der Ferienhäuser hätte sich gleichzeitig auf die umfangreichen Arbeiten des Landschaftsbaus und der Nachunternehmer, sowie auf den Endfertigstellungstermin ausgewirkt. Immerhin musste ein rund 6km langes Straßennetz errichtet, sowie 7,5km Wasserleitungen und 40km Elektrizitätsleitungen verlegt werden.

Um dennoch eine zeitgerechte Realisierung des gesamten Projekts zu ermöglichen, wurde unmittelbar nach der Auftragserteilung innerhalb

<sup>688</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.3.4.

<sup>689</sup> Vgl. JUSSEL, R.: Modulares Denken - von Bildungsbauten bis zu Hotelbauten. Bericht. S. 3ff.

eines interdisziplinären Planungsteams die Festlegung auf eine Ausführung der Ferienanlage in modularer Holz-Bauweise getroffen. Die einzelnen Raumzellen, welche nicht nur die technischen Installationen, sondern auch einige Ausbauegegenstände, wie bspw. Sanitäreinheiten und Treppenläufe beinhalteten, wurden dabei in zwei verschiedenen Holzbaubetrieben<sup>690</sup> vorgefertigt. Durch die werkseitige Ausführung des Innenausbaus konnte ein wesentlicher Arbeitsaufwand von der Baustelle ins Werk verlagert werden, wodurch sich die Bauzeit vor Ort erheblich verkürzte. Die Montage und Anlieferung der Elemente erfolgte nach dem just-in-time Prinzip mit einer begrenzten Zwischenlagerung von Modulen für rund eine halbe Woche Arbeitsleistung. Durch diese Maßnahmen konnte schließlich der vorgegebene, strenge Terminplan eingehalten werden. Die gesamte Parkanlage mit 500 Ferienhäusern wurde durch die Ausschöpfung der Möglichkeiten einer parallelen Vorfertigung innerhalb von 18 Monaten errichtet.<sup>691</sup>



Abbildung 95 Modulgestaltung der Wohneinheiten<sup>692</sup>



Abbildung 96 Montage der Module<sup>693</sup>

<sup>690</sup> Das waren die Holzbaubetriebe Schmees & Lühn in Fresenburg und der Betrieb Kathe – Holzbau in Vechta.

<sup>691</sup> Vgl. TEBBEL, T.: Ein Ferienpark in Modulbauweise: 500 Häuser in 18 Monaten . Bericht, S. 3ff

<sup>692</sup> JACOB-FREITAG, S.: Modulbauweise: schnell mal 500 Ferienhäuser. <http://www.schmees-luehn.de/wp-content/uploads/2014/11/Ferienpark-Bostalsee-mikado-11-2014.pdf>. Datum des Zugriffs: 21.Jänner.2015

Die vorigen Abbildungen zeigen einerseits die schematische und andererseits die reale Ausbildung der fertigen Raummodule. Durch den hohen Vorfertigungsgrad konnte die jeweilige Baustellenarbeit innerhalb weniger Tage abgeschlossen werden. Die einzelnen Raumzellen wurden mittels Autokranen in Position gehoben und untereinander verbunden. Zur Versetzung der Raumzellen wurden dabei eigens angefertigte Stahlrahmen verwendet.<sup>694</sup>

#### Ferienparkanlage am Bostalsee

<b>Architekt</b>	IETC GmbH
<b>Errichtung</b>	2013
<b>Volumen</b>	500 Ferienhäuser
<b>Montagezeit</b>	Rund 8 Monate
<b>Unternehmen</b>	Schmees & Lühn / Kathe-Holzbau

Tabelle 11 Basisdaten Ferienparkanlage am Bostalsee

#### 4.7.3 Mögliche Auswirkung des industriellen Holzbaus auf die Lebenszykluskosten

Eine große Herausforderung der gesamten Baubranche ist es, effiziente Gebäude zu entwickeln, welche die kundenindividuellen Bedürfnisse über die gesamte Nutzungsdauer eines Bauwerks befriedigen. Um diese Anforderungen auch wirtschaftlich umsetzen zu können, muss laut der Ansicht von Experten, insbesondere auch der Planungs- und Bauprozess systematisiert werden.<sup>695</sup> Der in viele, meist voneinander unabhängigen, Einzelschritte zerteilte Entwicklungsprozess, welcher bis dato von einigen Unternehmern verfolgt wird, kann dabei augenscheinlich nicht zum gewünschten Erfolg führen.

Neben der Systematisierung der Planung, ist auch die Entwicklung einer industriellen und vor allem flexiblen Produktionsweise unabdingbar und wird als Schlüsselfaktor für die wirtschaftliche Realisierung von flexibel anpassbaren, kundenindividuellen Projekten angesehen.<sup>696</sup> Zudem verlangt der langsam stattfindende Wechsel der wirtschaftlichen Analyse eines Gebäudes, weg von der reinen Berücksichtigung der Investitionsausgaben, und hin zu einer komplexeren, lebenszyklus-orientierten Bedürfnisbetrachtung über die gesamte Nutzungsdauer, eine Adaption des Leistungsangebots. Dieser sollte laut Meinung von Fachleuten über die einfache Ressourcenbereitstellung hinausgehen und zukünftig

<sup>693</sup> Vgl. JACOB-FREITAG, S.: Modulbauweise: schnell mal 500 Ferienhäuser. <http://www.schmees-luehn.de/wp-content/uploads/2014/11/Ferienpark-Bostalsee-mikado-11-2014.pdf>. Datum des Zugriffs: 21.Jänner.2015

<sup>694</sup> Vgl. TEBBEL, T.: Ein Ferienpark in Modulbauweise: 500 Häuser in 18 Monaten . Bericht. S. 3ff

<sup>695</sup> Vgl. RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilbau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. S. XXIV

<sup>696</sup> Vgl. RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilbau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. S. XXIV

individuelle Lösungen mithilfe ganzheitlicher Systemleistungen anbieten.<sup>697</sup>

Dadurch soll der Nutzen einer Immobilie über die gesamte Lebenszyklusphase, welche sich im Allgemeinen in die Phase der Konzeptfindung, der Planung, Realisierung, Inbetriebnahme, der Nutzung und schließlich der Revitalisierung gliedert, gesteigert werden.<sup>698</sup> Die Höhe der Lebenszykluskosten ist dabei vor allem in der Phase der Nutzung stark von den kundenindividuellen Anforderungen geprägt und kann über den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie hinweg deutlich variieren.<sup>699</sup>

Die Nutzungsphase ist dabei durch Vermietung oder Eigennutzung geprägt und kann vor, während oder nach dieser Phase sowohl von institutionellen, privaten oder öffentlichen Käufern erworben und später wieder veräußert werden. Der primäre Nutzen einer Immobilie wird demnach während der Nutzungsphase vor allem durch die Erwirtschaftung von Mieterträgen, die wohnliche Nutzung durch den Eigentümer selbst oder durch die Erzielung von Gewinn durch die Veräußerung erreicht.

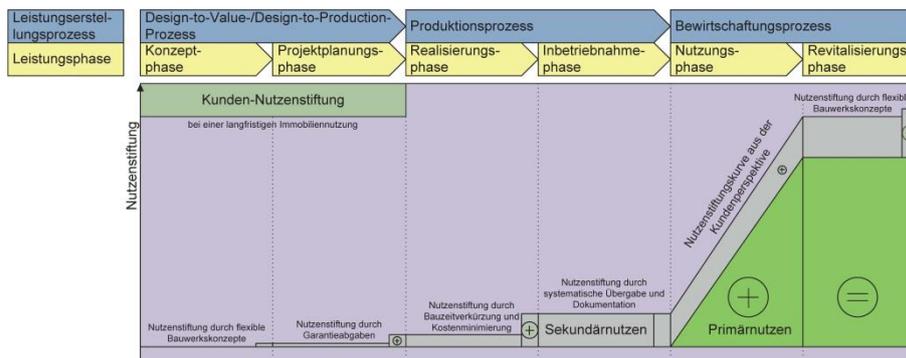


Abbildung 97 Verlauf des Kundennutzens über den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie<sup>700</sup>

Der generierbare Kundennutzen ist in den vorausgegangenen Phasen im Vergleich zum Primärnutzen, welcher während dem Bewirtschaftungsprozess erzielt wird, eher gering.

Dieses Verhältnis ist in voriger Abbildung schematisch dargestellt.

Folglich kann der Kundennutzen während des Produktionsprozesses, insbesondere durch eine Verkürzung der Bauzeit und der damit verbundenen Reduzierung der Zwischenfinanzierungskosten, oder der

<sup>697</sup> Vgl. RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilbau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. S. XXIV

<sup>698</sup> Vgl. Ebd. S. 140.

<sup>699</sup> Vgl. Ebd. S. 141.

<sup>700</sup> RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilbau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. S. 142.

Optimierung der Baukosten, gesteigert werden. Die Möglichkeiten zur Erhöhung des Kundennutzens während des Produktionsprozesses nehmen allerdings im Vergleich zu jenen des Bewirtschaftungsprozesses einen eher untergeordneten Wert ein. Um den Kundennutzen zu optimieren, ist es daher zielführend, Ansätze zu erarbeiten, welche beispielsweise durch flexible Bauwerkskonzepte eine Erhöhung des Kundennutzens über den gesamten Bewirtschaftungsprozess hinweg sicherstellen.<sup>701</sup>

Die größte Herausforderung in der Optimierung des Kundennutzens liegt in diesem Zusammenhang in der meist sehr hohen Zeitspanne zwischen der Investition in die Immobilie und der eigentlichen Nutzung dieser. Zwischen diesen beiden Punkten kann, vor allem im Immobilienbereich, ein Zeitraum von mehreren Jahren liegen. Die Basis für die Optimierung des Kundennutzens wird dabei jedoch bereits in der Phase der Konzeptfindung gelegt. Die Potentiale der Optimierung des Kundennutzens, bspw. durch die Entwicklung flexibler Baukonzepte dürfen besonders während der Konzept- und Planungsphase nicht vernachlässigt werden.<sup>702</sup>

Der Erhöhung des Nutzens, welcher durch die Differenz der getätigten Investitionen und dem generierbaren Nutzen gebildet wird, steht eine frühe Wertschöpfungssteigerung der Anbieter gegenüber. Die Wertschöpfung der Unternehmer ist hiergegen meist mit dem Beginn der Nutzung abgeschlossen.<sup>703</sup>

Grundsätzlich können die Kundenbedürfnisse in der Bau- und Immobilienbranche in drei Kernbereiche gegliedert werden, welche vor allem die Erhöhung der Sicherheiten und des Lebenszyklusnutzens bei gleichzeitiger Reduktion der Lebenszykluskosten zum Ziel haben.<sup>704</sup>

Die Kategorie der Sicherheiten kann dabei aus Sicht der Kunden in eine Nutzwertsicherheit und eine Leistungssicherheit unterteilt werden. Die Nutzwertsicherheit wird beispielsweise durch die Gewährleistung der gewünschten Nutzungseigenschaften erreicht, welche vor allem durch die Umsetzung eines flexiblen Gebäudekonzepts erhöht werden kann.

Die Leistungssicherheit wird hiergegen durch die termingerechte Fertigstellung der Bauleistung ermöglicht. Hier kann innerhalb der industriellen Vorfertigung vor allem durch den Faktor der hohen Terminalsicherheit gegenüber einer traditionellen, handwerklich geprägten Bauleistung ein deutlicher Vorteil erreicht werden.<sup>705</sup>

<sup>701</sup> Vgl. RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilebau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. S. 142.

<sup>702</sup> Vgl. Ebd. S. 143.

<sup>703</sup> Ausnahmen davon bilden die sogenannten Public-Privat Partnership (kurz: PPP) Modelle, bei denen eine Kooperation zwischen öffentlicher Hand und Privatwirtschaft eingegangen wird. Der private Unternehmer übernimmt dabei die Verantwortung einer effizienten Leistungserstellung, während die öffentliche Hand als zumeist als Bauherr auftritt.

<sup>704</sup> Vgl. RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilebau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. S. 144.

<sup>705</sup> Vgl. Ebd. S. 144f.

In die Kategorie der Leistungssicherheit werden zudem auch vorab bestimmbare Kosten, sowie ein hoher Qualitätsstandard gezählt. Beide Faktoren können durch eine Vorfertigung im Werk optimiert werden.

Beispielsweise lassen sich die zu erwartenden Kosten, wie im Kapitel: Einzelfertigung versus Variantenfertigung beschrieben, durch bereits fertig produzierte Module meist exakter ermitteln, als bei individuell erstellten, überwiegend vor Ort gefertigten Bauwerken. Auch die erzielbare Qualität kann, wie mehrfach genannt, bei der Produktion von Modulen oder Elementen im Werk, durch die witterungsunabhängigen Verhältnisse deutlich erhöht werden. Die Forderung nach Leistungssicherheiten kann darüber hinaus auf ein Bedürfnis nach der Leistungserstellung aus einer Hand oder der Optimierung der gesamten Prozessorganisation umgelegt werden.<sup>706</sup>

Neben der Erhöhung der Kundensicherheit ist auch die Ausweitung des sog. Lebenszyklusnutzens eine grundlegende Voraussetzung zur Erfüllung der bestehenden Kundenbedürfnisse. Unter dem Begriff des Lebenszyklusnutzens wird dabei die Summe des über die gesamte Lebensspanne eines Gebäudes durch die Bauherren generierten Nutzens verstanden. Dieser Wert ist allerdings sehr kundenabhängig und wird äußerst subjektiv wahrgenommen. Grundsätzlich kann die Nutzenstiftung durch einige grundsätzliche Faktoren, wie etwa die Anpassbarkeit der Immobilie an zukünftige Kundenbedürfnisse, festgemacht werden. Dieser Punkt kann, je nach Gestaltung und Detailausformung, sowohl von der traditionellen, als auch von der industriellen Bauweise realisiert werden.<sup>707</sup>

Weitere Punkte, welche zur Erhöhung des Lebenszyklusnutzens beitragen, sind die Optimierung der Energieerzeugung eines Gebäudes, sowie die Erhöhung der Nachhaltigkeit zur Sicherstellung einer langfristigen Leistungsfähigkeit. Auch diese beiden Faktoren können, sowohl in einer Baustellen-, als auch in einer Werksfertigung, umgesetzt werden. Ein gelungenes Beispiel einer nachhaltigen Optimierung der Gebäudehülle und Steigerung der Energiebilanz ist die im Kapitel 2 vorgestellte Thermische Sanierung einer Wohnhausanlage mit vorgefertigten Wandelementen.

Zudem soll laut der Ansicht von Fachleuten durch eine schnelle Virtualisierung des Projekts, etwa mithilfe eines BIM-Systems, sowohl die Bedürfnisfindung, als auch die Überprüfung der Zieleinhaltungen erleichtert werden.

Einen wesentlichen Vorteil der industriellen Bauweise in Bezug auf die Optimierung des Lebenszyklusnutzens stellen die raschere Fertigstellung der Immobilien und der damit verbundene frühere Start der

<sup>706</sup> Vgl. RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilbau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. S. 144f.

<sup>707</sup> Vgl. Ebd. S. 146.

Nutzungsphase dar. Durch die Verkürzung der Fertigungsdauer, aufgrund parallel ablaufender Produktionsschritte, können insgesamt rascher Miet- oder Veräußerungserträge erwirtschaftet werden.<sup>708</sup>

Der letzte der oben angeführten Faktoren, welcher zur Steigerung des Kundennutzens einer Immobilie beiträgt, ist die Reduktion der tatsächlichen Lebenszykluskosten. Diese lassen sich im Allgemeinen in Investitions-, Erhaltungs- und Betriebskosten unterteilen. Strategien zur Optimierung der Planungsphase sind mittlerweile bereits in der Planungsphase zwingend vorausgesetzt, um eine Kostenreduktion während der gesamten Nutzungsdauer eines Bauwerks sicherzustellen.<sup>709</sup>

Der Faktor der Lebenszykluskosten lässt sich nur durch eine ganzheitliche Planung unter der Beteiligung aller Gewerke senken. Mithilfe eines in einem früheren Kapitel beschriebenen Design-to-Production Konzeptes kann beispielsweise durch die Vermeidung von Verschnitt eine Minimierung der Investitionskosten erreicht werden.

Gleichzeitig kann mithilfe einer industriellen Werkstattfertigung nicht nur die Qualität der entwickelten Gebäude erhöht, sondern auch die Projektlaufzeit erheblich verkürzt werden. Diese Reduktion der Projektdauer wirkt sich auf die Höhe der Finanzierungskosten aus. Darüber hinaus hat auch die Integration des Wissenstransfers von bereits ausgeführten Projekten positiven Einfluss auf die Höhe der Lebenszykluskosten. Die Möglichkeiten einer technologisierten Kommunikation wurden bereits im Kapitel: Auswirkung neuer Kommunikationstechnologien auf die Produktion genauer beschrieben.<sup>710</sup>

Der Holzbau erscheint demnach aufgrund einiger, werkstoffeigener Charakteristika wie zur Vorfertigung geschaffen und bietet durch die Möglichkeit einer umfassenden Vorfertigung im Werk eine, laut dem Ergebnis mehrerer Studien, immer beliebter werdende Alternative zu herkömmlichen Bauprozessen. Dabei kann vor allem durch die Automatisierung der Arbeitsprozesse, sowie der Systematisierung der begleitenden Produktionsprozesse eine Effizienzsteigerung gegenüber einer handwerklichen Produktion erarbeitet und teilweise sogar positive Auswirkungen auf den Lebenszyklusnutzen erreicht werden.

<sup>708</sup> Vgl. RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilbau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit, S. 147.

<sup>709</sup> Vgl. Ebd. S. 147.

<sup>710</sup> Vgl. Ebd. S. 147.

## 5 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Entstehung einer gezielten Vorfertigung einzelner Elemente reicht bis zu den Anfängen des menschlichen Bauens selbst zurück.<sup>711</sup> Die Akzeptanz und Weiterentwicklung der technischen Möglichkeiten ist allerdings im Lauf der Zeit einem stetigen Wandel unterworfen. Einen ersten Aufschwung erlangte die industrielle Vorfertigung durch die britische Kolonialisierung und der damit verbundenen Besiedlung des nordamerikanischen Kontinents. Bedingt durch den steigenden Bedarf an flexiblen und leicht transportierbaren Eigenheimen wurde im 18. Jahrhundert in Großbritannien ein Gebäudekonzept entwickelt, welches seriell in Fabrikhallen angefertigt werden konnte. Die Konstruktion dieser Gebäude basierte dabei auf einer mit der heutigen Holz-Skelettbauweise vergleichbaren Struktur. Ein bekanntes Beispiel dieser Bauweise ist das sog. Manning-Cottage, welches als Prototyp des industriell vorgefertigten Hauses gilt und aus einer wiederholt demontier- und transportierbaren Konstruktion bestand.<sup>712</sup>

Einen zweiten, sehr bedeutenden Aufschwung erlebt das Paradigma der industrialisierten Bauweise in Mitteleuropa durch die technischen Neuerungen während des Zeitalters der industriellen Revolution und der, nach dem Ersten Weltkrieg einsetzenden Wohnungsnot. Führende Architekten der frühen Moderne forderten auch im Hinblick auf den Mangel an Unterkünften eine gänzliche Umstrukturierung der Baubranche zugunsten einer seriellen Vorfertigung, welche als Lösungsansatz der damaligen wirtschaftlichen Probleme angesehen wurde.

In etwa zeitgleich wurde von den amerikanischen Ingenieuren Henry Ford und Frederick Winslow Taylor durch die Verfeinerung der Fließbandtechnik eine leistungsstarke Ausgangsbasis für eine systematische Fertigung von Industrieprodukten geschaffen. Diese Fertigungsprinzipien dienten der damaligen Baubranche als Vorbild um komplette Raumeinheiten im Werk nach dem Fließbandprinzip vorzufertigen.<sup>713, 714</sup>

Danach ebte die Euphorie für die industrielle Vorfertigung innerhalb der Baubranche merkbar ab. Während sich zwischenzeitlich in der Industrieproduktion, wie beispielsweise der Automobilbranche oder der Unterhaltungsindustrie, voll automatisierte Fertigungssysteme nach dem Prinzip einer Mass Customization<sup>715</sup> etablieren konnte, erscheint die Vorfertigung innerhalb der Baubranche bis heute nach wie vor nicht

<sup>711</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Editorial. In: Detail Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Vorfertigung, 6/2012. S. , S.586

<sup>712</sup> Vgl. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 29.

<sup>713</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. , S.594f

<sup>714</sup> Vgl. <http://www.tu-cottbus.de/theoriederarchitektur/Archiv/Autoren/Mies/Mies1924a.htm>. Datum des Zugriffs: 3.August.2014

<sup>715</sup> Das Thema der Mass Customization ist in Kapitel 2.2.4 beschrieben.

akzeptiert zu sein. Obwohl die ersten Versuche einer seriellen Vorfertigung bereits in der frühen Moderne in den 1920er Jahren realisiert wurden, konnten sich bis dato automatisierte Bauprozesse in Europa auf den ersten Blick kaum durchsetzen. Vor allem bei kleineren Bauvorhaben hat sich die serielle und modulare Bauweise bis heute nur kaum etabliert, obwohl zwischenzeitlich hoch technologisierte Roboter im Bauwesen eingesetzt werden, welche einen vollautomatisierten Ablauf gewisser Arbeitsschritte zulassen. Die sog. On-Site Industrialisierung stellen in diesem Zusammenhang einen wesentlichen Begriff dar.

Gleichzeitig haben sich die computergestützten Planungs- und Fertigungsprozesse im Bauwesen konstant verfeinert. Durch neue Kommunikations- und Informationstechnologien werden nicht nur flexible Produktionsweisen im Werk ermöglicht, sondern auch Effizienzvorteile durch die Systematisierung der Arbeitsprozesse erreicht. Mithilfe eines durchgängigen Datenflusses von der Planung bis zur endgültigen Fertigung kann zusätzlich eine deutliche Verkürzung der gesamten Durchlaufzeit eines Produktionsvorgangs erzielt werden. Die Verkürzung der Produktionsdauer im Werk führt in diesem Zusammenhang zu einer Reduktion der Lagerbestände und damit auch zu einer Minimierung der anfallenden Rüstkosten.<sup>716</sup>

Trotz der technischen Errungenschaften ist der Anteil menschlicher Arbeitskraft auf westeuropäischen Baustellen derzeit nach wie vor sehr hoch und einer der wesentlichsten Kostenfaktoren in der Realisierung von Gebäuden. Allerdings wird mittlerweile annähernd jedes Bauwerk zumindest zu einem gewissen Grad aus industriell vorgefertigten Bauteilen errichtet. Das Verhältnis zwischen industriell angefertigten Komponenten und vor Ort errichteten Bauteilen variiert dabei je nach Konstruktion sehr stark.<sup>717</sup>

Das große Potential und die vielfältige Einsetzbarkeit der Vorfabrikation im Bauwesen werden durch eine Reihe gelungener Projektbeispiele, wie etwa der vom britischen Architekten Joseph Paxton 1850 errichtete Kristallpalast oder das System der thermischen Fassadensanierungen aus gebäudehohen, vorgefertigten Elementen in jüngster Vergangenheit in Österreich realisiert, veranschaulicht.

Das wesentliche Ziel dieser Masterarbeit ist die Aufarbeitung der Grundlagen und Aspekte des industriellen Bauens anhand einer umfangreichen Literaturstudie. Zusätzlich wurde mithilfe einer gezielten Expertenbefragung und der Analyse mehrerer Studien das gegenwärtige und zukünftige Potential der industriellen Vorfertigung vor allem in Bezug auf den Holzbau erhoben. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden nachfolgend noch einmal kurz zusammengefasst.

<sup>716</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 94.

<sup>717</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. , S.594f

Der Kernpunkt der Abhandlung liegt dabei auf der Vorfabrikation im Holzbau, der, bedingt durch die umfassenden Möglichkeiten einer weitreichenden Vorfertigung, eine echte Alternative zur traditionellen Bauweise bietet.<sup>718</sup> Für die erfolgreiche Umsetzung eines industriellen Holzbaus sind laut der Ansicht von Experten allerdings entsprechende Voraussetzungen oder Adaptierungen der Unternehmensstruktur, sowie der Holzbaubetriebe erforderlich. Dieser Wandel scheint sich jedoch nur sehr langsam zu vollziehen.<sup>719</sup>

Ein wesentliches Resultat der zunehmenden Technologisierung ist die Flexibilisierung der Produktionsprozesse. Die Wirtschaftlichkeit eines Produktionssystems ist dabei nicht länger von der Seriengröße abhängig, sondern vielmehr von der Erarbeitung eines intelligenten Konzepts von Bauteilfügungen und Materialzusammenstellungen.

Allerdings ist bis dato fast jede vor allem mehrgeschossige Holzkonstruktion als Prototyp anzusehen. Besonders für die Erzielung einer höheren Planungssicherheit wird eine Standardisierung gängiger Bauteil-aufbauten und Planungsabläufe von mehreren Fachleuten als für wichtig angesehen. Zudem macht die steigende Nachfrage nach industriell gefertigten Holzbauprojekten die Ausarbeitung eines umfassenden und detaillierten Bausystems, welches einzelne Bautypen berücksichtigt, zwingend erforderlich.

Diese Erarbeitung einer allgemein gültigen Planungs- und Produktionsbasis des industriellen Holzbaus wird, laut der gängigen Meinung in der einschlägigen Literatur, nur durch eine enge Zusammenarbeit aller am Bau beteiligten Akteure ermöglicht werden. Dies schließt Architekten und Ingenieure genauso ein, wie diverse Fachplaner und ausführende Unternehmer sowie letztendlich den Bauherren und Nutzer.

In den weiteren Kapiteln werden die Kernaussagen der Masterarbeit zusammengefasst dargestellt, sowie die wesentlichen Erkenntnisse des industriellen Bauens analysiert und dessen Potential für den österreichischen Baumarkt eingehend erörtert.

<sup>718</sup> Vgl. LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 3.

<sup>719</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 24.

## 5.1 Zusammenfassung

Die geschichtliche Entwicklung der Vorfertigung reicht bis zu den Ursprüngen des Bauens zurück und ist seit damals einem ständigen Wandel unterworfen. Einer der letzten bedeutsamen Aufschwünge der Industrialisierung geschah zu Beginn der Architekturmoderne, als führende Experten, wie beispielsweise Walter Gropius, einen umfassenden Wandel der Bauwirtschaft forderten. Berühmt in diesem Zusammenhang wurde auch die von ihm geprägte Aussage, dass:

„die menschliche Behausung eine Angelegenheit des Massenbedarfs (sei). Genauso, wie es heute 90 Prozent der Bevölkerung nicht mehr einfällt, sich ihre Beschuhung nach Maß anfertigen zu lassen, sondern Vorratsprodukte beziehen, die infolge verfeinerter Fließbandmethoden die meisten individuellen Bedürfnisse befriedigen, so wird sich in Zukunft der einzelne auch die ihm gemäße Behausung von Lager bestellen können [...]“<sup>720</sup>

Um dies zu erreichen sei allerdings eine grundlegende Veränderung der Bauwirtschaft und des Bauablaufs notwendig. Nach dem damals großen Vorbild der Automobilindustrie wurde versucht, die methodischen Fertigungsprinzipien der industriellen Fließbandproduktion auf die Baubranche umzulegen. Das wesentliche Ziel war in diesem Zusammenhang nicht nur fertige Wand- und Deckenelemente herzustellen, sondern komplette Einheiten für alle Standardbauvorhaben, wie beispielsweise für den Wohnungs-, Bildungs- und Gewerbebau, umzusetzen.<sup>721</sup>

Obwohl seit den anfänglichen Überlegungen zur Industrialisierung des Bauwesens fast ein komplettes Jahrhundert vergangen ist, hat sich das Prinzip der maschinellen Vorfertigung in Mitteleuropa bis heute kaum durchsetzen können. Während sich zwischenzeitlich in Japan vollständig automatisierte Baustellen oder komplette Fertigungssysteme im Werk etablierten<sup>722</sup>, bleibt der genutzte Anteil industrieller Vorfertigung und automatisierter Bauprozesse im deutschsprachigen Raum augenscheinlich für den Betrachter eher gering. Nach wie vor bildet der sehr hohe Anteil menschlicher Arbeitskraft in der Abwicklung von unterschiedlichen Bauvorhaben in westlichen Industriestaaten den maßgebenden Kostenfaktor. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Zum einen sind die denkbaren Gestaltungs- und Ausführungsmöglichkeiten eines Bauwerks sehr viel komplexer, als jene der meisten Konsumgüter. Zusätzlich haben sich in ihrer Komplexität im Lauf der Zeit stark gewandelt. Zum anderen müssen auch aufgrund der statischen Eigenschaften eines Gebäudes diverse Basisanforderungen und baurechtliche Besonderheiten beachtet werden.<sup>723</sup>

<sup>720</sup> SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 588.

<sup>721</sup> Vgl. Ebd. S.588.

<sup>722</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.2.5.

<sup>723</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 590.

Oftmals wird in der Literatur und auch von einigen Fachleuten der im Vergleich zur Produktindustrie rückständig erscheinende Bauprozess teils stark kritisiert. Dieser Vergleich darf jedoch nur unter der Berücksichtigung mehrerer Rahmenbedingungen gezogen werden und erweist sich bei genauerer Analyse nur als teilweise richtig. Experten haben in einschlägigen Unterlagen bereits dargelegt, dass sich die Industrie- und Bauproduktion in weiten Teilen stark ähneln.

Ein wichtiges Charakteristikum ist in diesem Zusammenhang bspw. die zentralisierte Fertigung der Konsumgüter. Dadurch wird nicht nur eine wettergeschützte Produktion sichergestellt, sondern auch eine deutliche Effizienzsteigerung des Produktionsablaufs erreicht. Dieser Aspekt kann direkt auf die industrielle Bauproduktion umgelegt werden und auf diese Weise, zusammen mit der Erarbeitung einer klaren Strukturierung der Produktionsabläufe, zu einer erheblichen Zeitersparnis führen.<sup>724</sup>

Durch die stetige Verbesserung der technischen Voraussetzungen und die Weiterentwicklung der computerbezogenen Möglichkeiten, konnten schließlich die immer wichtiger werdenden Anforderungen an eine Flexibilisierung der Produktion und Individualisierung der erstellten Module erfüllt werden. Mithilfe der Entwicklung der sog. Mass Customization gelang es unter anderem durch die Integration neuer Informationstechnologien die bislang entgegengesetzten Vorteile einer klassischen Massenproduktion mit jenen einer kundenindividuellen Einzelfertigung zu verbinden.<sup>725</sup> Dadurch konnte auch das Bild der industriellen Bauweise während der vergangenen Jahre deutlich abgeändert und positiver entwickelt werden. Denn anders als noch vor rund einem halben Jahrhundert gelten heute nicht mehr die Möglichkeiten der maschinellen Vorfertigung als entwurfsbestimmend. Viel mehr werden durch eine digitale Verkettung des Planungs- und Bauprozesses viele ausgefallene Entwürfe und Vorstellungen überhaupt erst realisierbar.<sup>726</sup> In wie weit sich durch diese Koppelung der Planungs- und Produktionsprozesse auch die Baukosten senken lassen, bleibt bis dato in der einschlägigen Literatur jedoch unbeantwortet und bietet somit Raum für weiterführende Forschungsarbeiten.<sup>727</sup>

Ein weiterer entscheidender Aspekt der industriellen Vorfertigung, welcher von Fachleuten wiederholt aufgegriffen wird, ist die Möglichkeit einer Integration der Prinzipien von Lean Construction<sup>728</sup> innerhalb eines Produktionssystems. Diese ermöglichten durch die Verfeinerung der Produktionsabläufe eine Reduktion des Materialaufwandes und der

<sup>724</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 525ff..

<sup>725</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.2.4.

<sup>726</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.3.1 und Kapitel 4.5.2.

<sup>727</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 590.

<sup>728</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.4.

Entwicklung eines Just-in-Time Managements.<sup>729</sup> Die gesamte Nachahmung des Arbeitsablaufs und dessen Einflussfaktoren lässt dabei eine deutliche Verbesserung der Logistikprozesse und des Lieferservices zu.<sup>730</sup> Durch den Grundsatz einer spätest möglichen Lieferung kann dabei nicht nur der Lagerbestand, sondern auch die Höhe der Lagerkosten deutlich reduziert werden.

Aus bauwirtschaftlicher Sicht soll das Bauen mit vorproduzierten Modulen zu einer Vereinfachung und Optimierung des Bauablaufs führen. Durch den wiederholten Einsatz bestimmter Elemente und Arbeitsschritte wird in diesem Zusammenhang, laut der Meinung von Experten, ein hoher technischer Standard und eine deutliche Kostenreduktion erreicht werden.<sup>731</sup> Zudem sind vor allem sehr große und oftmals komplexe Bauvorhaben mit einer stark begrenzten Bauzeit erst durch die Entwicklung geeigneter, vorgefertigter Bausysteme realisierbar.<sup>732</sup>

Der Einsatz von unterschiedlichen, industrialisierten Systemen beschränkt sich allerdings nicht nur auf die ausführenden Aktivitäten, sondern wird bereits in den Entwicklungsprozessen angewandt. Mithilfe einer Systematisierung der einzelnen Planungstätigkeiten kann unter anderem die Dauer der eigentlichen Planvorlaufzeit gesenkt werden. Eine zunehmende Komplexität dieser Systematisierung führt allerdings meist zu einem Mehraufwand während der Planungsphase. Dabei muss der Planer nicht nur die persönlichen Wünsche des Bauherrn und der jeweiligen Nutzer, sondern auch diverse Ansprüche an eine kostenoptimierte Architektur berücksichtigen.

Während die Forderung nach der Realisierung eines kostengünstigen Wohn- oder Arbeitsraums vor einigen Jahren nur durch eine strenge Rasterung der Grundrisse umgesetzt werden konnte, wird dies derzeit vor allem durch eine Standardisierung auf Bauteilebene erreicht. Allerdings bleibt auch in diesem Fall einer seriellen Wiederholung der sehr hohe Anspruch an die individuelle Gestaltungsmöglichkeit während der Entwurfsphase bestehen.<sup>733</sup>

Der mögliche Automatisierungsgrad in der Produktion kann grundsätzlich sehr unterschiedlich ausfallen und reicht vom Einsatz von einfachen Versetzgeräten, welche großformatige Mauerwerkstafeln in Position heben, bis hin zu kompletten Montageplattformen, die mithilfe einer leistungsstarken, computergestützten Technologie eine voll-automatisierte Errichtung von Gebäuden ermöglichen.<sup>734</sup> Seit dem

<sup>729</sup> Vgl. LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 3.

<sup>730</sup> Vgl. Ebd. S.V.

<sup>731</sup> Vgl. KNAACK, U.; CHUNG-KLATTE, S.; HASSELBACH, R.: Systembau: Prinzipien der Konstruktion. S. 7.

<sup>732</sup> Vgl. Ebd. S:8.

<sup>733</sup> Vgl. KNAACK, U.; CHUNG-KLATTE, S.; HASSELBACH, R.: Systembau: Prinzipien der Konstruktion. S. 7f.

<sup>734</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 537f.

Beginn der 1980er Jahre ist die Verwendung von digital gesteuerten Maschinen vor allem in Japan weit verbreitet. Durch deren Einsatz wird zwar eine merkliche Effizienzsteigerung der Produktionsleistung vor Ort sichergestellt, gleichzeitig wird dadurch eine erheblich umfangreichere Arbeitsvorbereitung notwendig.<sup>735, 736</sup>

Aufgrund der steigenden Anzahl an sich wechselseitig beeinflussenden Faktoren, wie die stets umfassender werdende Projektumwelt, oder die hohe konstruktive Komplexität der entwickelten Projekte, kommt auch der Ausarbeitung einer Strategie zur Komplexitätsreduktion große Bedeutung zu.<sup>737</sup> Eine wesentliche Rolle spielt in diesem Zusammenhang die Lösung der sog. Schnittstellenproblematik. Um die geforderten Bauleistungen zu erbringen, müssen vor allem im Schlüsselfertigbau mehrere Teilleistungen gewerkeübergreifend aufeinander abgestimmt und koordiniert werden.

Dieser Organisationsaufwand stellt zugleich hohe Anforderungen an die verwendeten Informationsverarbeitungsprogramme. Dabei muss nicht nur die funktionale Verknüpfung aller Teilleistungen, sondern auch deren gegenseitige Abhängigkeit erfasst und abgebildet werden.<sup>738, 739</sup>

Darüber hinaus stellt auch der immer wichtiger werdende Anspruch an die Individualisierbarkeit der produzierten Komponenten und Module wesentliche Anforderungen an die Flexibilisierung der Fertigungstechnologie. Durch den Einsatz moderner und leistungsstarker Informationssysteme kann ein hoher Automatisierungsgrad der Fertigung erreicht und dadurch eine kostengünstige Produktion von Kleinserien ermöglicht werden.

Diese Erhöhung des möglichen Flexibilisierungsgrades eines Produktionsablaufs ist allerdings in den meisten Fällen mit einem Kostenanstieg verbunden. Je nach Art des Fertigungsprinzips, ob kundenindividuelle Einzel- oder Variantenfertigung<sup>740</sup>, steigt die Komplexität der begleitenden Unternehmensprozesse zum Teil erheblich an. Gleichzeitig wird bei einer abnehmenden Seriengröße auch die Intensität der erforderlichen Kommunikation mit dem Bauherrn oder Nutzer erhöht. Dies stellt wiederum hohe Anforderungen an die Möglichkeiten des Datenaustauschs und der Datenpflege.<sup>741</sup>

Die Installation neuer Kommunikationstechnologien wirkt sich außerdem auf die Kapazität der Planungsleistung aus. Sowohl die Entwurfs-, als auch die Werks- und Fertigungsplanung können durch die erweiterten

<sup>735</sup> GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 119.

<sup>736</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.6.

<sup>737</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.1.

<sup>738</sup> Vgl. SCHLEICHER, M.: Komplexitätsmanagement von Geschäftsprozessen dargestellt am Beispiel der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau. Forschungsbericht. S. 198f.

<sup>739</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.1.

<sup>740</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.1.6.

<sup>741</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.3.3.

Möglichkeiten neuer Kommunikationstechnologien optimiert werden. Das primäre Ziel ist dabei die Verbesserung eines durchgängigen Datenaustausches zwischen der Planungsleistung und Fertigungsarbeit. Dadurch gelingt, es die einzelnen Arbeitsschritte der Fertigung besser aufeinander abzustimmen und so beispielsweise organisationsbedingte Liegezeiten zu vermeiden.<sup>742, 743</sup>

Neben der Optimierung der computerbasierten Möglichkeiten auf Entwurfs- und Produktionsebene führte auch die stetige Verbesserung der verwendeten Baustoffe zu einem immer breiter werdenden Einsatzfeld der industriellen Vorfertigung.<sup>744</sup> Dabei durchlief insbesondere der Holzbau während der vergangenen 20 Jahre einen so bedeutenden technologischen Wandel wie kaum ein anderer Baustoff.<sup>745</sup> Vor allem durch die Entwicklung des flächenförmig wirksamen Produkts Brettsperrholzes wurde ein Baustoff geschaffen, welcher aufgrund des relativ geringen Eigengewichts und der leichten Bearbeitungsmöglichkeiten gute Voraussetzungen zur industriellen Vorfertigung bietet.<sup>746</sup>

Mithilfe der stetigen Verbesserung der Gestaltungsmöglichkeiten können auch im industriellen Holzbau immer komplexer werdende Raumstrukturen ausgeführt werden. Die Verbindung der Entwurfs- und Fertigungstechnologie ermöglicht besonders im industriellen Holzbau die Realisierung von komplexen Strukturen, die in einer handwerklichen Bauweise nur schwer bis gar nicht ausführbar wären.

Durch die Koppelung des Informationsflusses wird zudem ein möglichst rasches Herstellen von Elementen, etwa durch die Minimierung von zeitintensiven Stillständen, ermöglicht.<sup>747, 748</sup>

In wie fern sich ein Gebäude zur Vorfertigung eignet, ist in diesem Zusammenhang auch vom gewählten Bausystem abhängig. Dabei gilt, je einheitlicher der Fertigungsablauf der notwendigen Bauteile ist, desto wirtschaftlicher kann das entwickelte Bausystem produziert werden.<sup>749</sup> Eine hohe Fertigungstiefe ist jedoch meist mit einem größeren Planungsaufwand und einer umfangreicheren Arbeitsvorbereitung verbunden.<sup>750</sup>

In diesem Zusammenhang spielt besonders die Einbindung der Gebäudetechnik in die Entwurfs- und Ausführungsüberlegungen eine

<sup>742</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 93f.

<sup>743</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.2ff.

<sup>744</sup> Vgl. HERMANN KAUFMANN, W. N.: Bauen mit Holz, Wege in die Zukunft. S. 56.

<sup>745</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.

<sup>746</sup> Vgl. unter anderem: LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 3.

<sup>747</sup> Vgl. HERMANN KAUFMANN, W. N.: Bauen mit Holz, Wege in die Zukunft. S. 58f.

<sup>748</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.1.

<sup>749</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 41f.

<sup>750</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.1.2.

entscheidende Rolle. Dabei werden nicht nur die Anordnung der einzelnen Komponenten der Gebäudetechnik und die dafür notwendigen Installationen und Leitungsführungen, sondern auch die Möglichkeiten der tatsächlichen Ausführung berücksichtigt.<sup>751</sup>

Gleichzeitig machen die zum Teil sogar entgegengesetzten Anforderungen von TGA und Planung eine fächerübergreifende Konzeption der Gebäudetechnik nicht nur bei Großprojekten, sondern auch bei Ein- und Mehrfamilienhäusern erforderlich. Denn eine isolierte Betrachtung und Ausarbeitung der Planungsaufgaben kann aufgrund nachträglicher Änderungswünsche zu erheblichen Bauzeitverzögerungen und unerwarteten Folgekosten führen.<sup>752</sup>

Nach der Komplettierung der vorgefertigten Module im Werk werden die einzelnen Raumzellen wetterfest verpackt und mithilfe eines umfangreichen logistischen Systems unter der Zuhilfenahme verschiedener Hebezeuge für den Transport verladen.<sup>753</sup> Dabei muss bereits bei der Verfrachtung auf die spätere Montagereihenfolge vor Ort geachtet und eine exakte Koordination der Logistikkbewegung erarbeitet werden.<sup>754</sup>

<sup>751</sup> Vgl. HERMANN, K.: Gebäudetechnik im seriellen Holzbau. Bericht. S. 64.

<sup>752</sup> Vgl. HEIDEMANN, A. et al.: Integrale Planung der Gebäudetechnik. S. 2.

<sup>753</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 46.

<sup>754</sup> Vgl. Ebd. S. 46.

## 5.2 Erkenntnisse im industriellen Bauen

Dieser kurze Überblick über das sehr komplexe Thema des industriellen Bauens kann im Rahmen der Masterarbeit nur unvollständig bleiben und bietet Raum für weitere Forschungsarbeiten. Es konnte allerdings dargelegt werden, dass der Vorfertigungsgrad auch auf mitteleuropäischen Baustellen mittlerweile sehr viel weiter fortgeschritten ist, als es der erste Eindruck, besonders bei kleineren Bauvorhaben, vermuten lässt. Obwohl das Verhältnis zwischen vorgefertigten und auf der Baustelle angefertigten Komponenten, je nach Bauwerk, Baustoff und zu errichtenden Bauteilen, teils stark variiert, wird mittlerweile annähernd jedes Gebäude zumindest zu einem gewissen Grad aus industriell hergestellten Komponenten errichtet.<sup>755</sup>

Als eines der wohl größten Hindernisse des industriellen Bauens mit seriell gefertigten Modulen wird auch heute noch in der vermeintlichen Schmälerung der individuellen Gestaltungsfreiheit während der Planungsphase gesehen. Wie bereits dargelegt, lässt allerdings auch ein Bausystem, welches auf dem Prinzip einer seriellen Fertigung beruht, einen hohen Gestaltungsfreiraum zu.<sup>756</sup> Insbesondere infolge der Entwicklung neuer Informationstechnologien haben sich die Möglichkeiten der industriellen Vorfertigung deutlich erweitert.<sup>757</sup> Die entwickelten Gebäude sind nicht länger durch die technischen Einschränkungen einer Produktion gekennzeichnet. Viel mehr werden einige, sehr ausgefallene Gebäude erst mithilfe der Einführung von leistungsstarken computergestützten Entwurfskonzepten realisierbar.<sup>758</sup>

Trotz der Erkenntnis, dass die industrielle Vorfertigung auch in der Baubranche bereits weiter fortgeschritten ist, als es im ersten Eindruck scheint, wird von einigen Fachleuten kritisiert, dass das Bauen mit vorgefertigten Systemen noch lange nicht so weit entwickelt ist, wie es technisch möglich wäre und die Industrialisierung anderer Branchen bereits erfolgt.<sup>759</sup> Dieser Umstand ist auf eine Reihe branchenspezifischer Basisanforderungen zurückzuführen. Ein Bauwerk ist stets ein sehr vielschichtiges und komplexes Gebilde, welches über den gesamten Lebenszyklus auf mehrere, teilweise sehr unterschiedliche Nutzungsanforderungen reagieren muss.<sup>760</sup> Zudem besteht auch in der Nachfrage nach Industrieprodukten und industriell produzierten Bauelementen, zumindest im deutschsprachigen Raum, eine deutliche Diskrepanz. Die Gründe, warum Industrieprodukte, wie bspw. Autos oder Medien der Unterhaltungsbranche, eher angenommen werden, als

<sup>755</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. , S.594f

<sup>756</sup> Vgl. KAUFMANN, H.: Der andere Bauprozess. In: Zuschnitt, Juni/2013. S. 4f.

<sup>757</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 1.

<sup>758</sup> Ebd. S. 590.

<sup>759</sup> Vgl. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 589.

<sup>760</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529.

vorgefertigte Bauwerke, sind sehr vielfältig. Zum einen sind die Höhe der Anschaffungskosten größer und die Nutzungsdauer der Gebäude um einiges länger, als jene anderer Gebrauchsgegenstände. Zum andern wird der Begriff des systematisierten Bauens, aufgrund der geschichtlichen Entwicklung, oft mit negativ behafteten Gebäuden wie bspw. die aus Betonfertigteilen hergestellten, laut Ansicht von Architekturkritikern eher monoton anmutenden Plattenbauwerke der 1950er, 60er und 70er Jahre assoziiert.<sup>761, 762</sup>

### Erkenntnisse der bauwirtschaftlichen Aspekte des industriellen Bauens

Die werkseitige Vorfertigung hat sich bereits in unterschiedlichen Industriebranchen erfolgreich etabliert. Aufgrund einiger Aspekte, wie bspw. die Reduktion von Ausfallzeiten, wetterbedingten Leistungsschwankungen und der Verkürzung der Montagezeit vor Ort wird das Prinzip der industriellen Vorfabrikation auch in der Bauwirtschaft immer häufiger umgesetzt.<sup>763</sup> Durch die Systematisierung des Bauens soll dabei der gesamte Bauprozess vereinfacht und um einiges effizienter gestaltet werden. Mithilfe des wiederholten Einsatzes von immer gleichen Modulen, Materialien und Komponenten kann gleichzeitig ein hoher technischer Standard und eine erhebliche Kostenreduktion erreicht werden.<sup>764, 765</sup>

Die Umlegung der industriellen Methoden beschränkt sich in der Bauwirtschaft allerdings nicht ausschließlich auf die ausführenden Tätigkeiten im Werk, sondern wird seit rund einem halben Jahrhundert immer öfter bereits bei den vorgeschalteten Planungs- und Entwicklungsprozessen angewandt. Mit steigender Komplexität der Systematisierung der Produktions- und Planungsprozesse muss allerdings mit einem gewissen Mehraufwand während der Planungsphase gerechnet werden. Nicht mehr die individuellen Vorstellungen der Bauherren und Nutzer, sondern die Anforderungen an eine kosteneffiziente Produktion müssen dabei Berücksichtigung finden.<sup>766</sup>

Während der Anspruch nach der Realisierung eines günstigen Wohnraums bis vor einigen Jahren nur durch eine möglichst einheitliche Rasterung der Entwürfe erreicht werden konnte, gelingt es nach und nach mithilfe moderner Fertigungstechnologien den Zwang zur Serie

<sup>761</sup> Vgl. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 5.

<sup>762</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1

<sup>763</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 525f.

<sup>764</sup> Vgl. KNAACK, U.; CHUNG-KLATTE, S.; HASSELBACH, R.: Systembau: Prinzipien der Konstruktion. S. 7.

<sup>765</sup> Vgl. hierzu Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..

<sup>766</sup> Vgl. hierzu Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..

abzuschwächen.<sup>767</sup> Die für eine wirtschaftliche Fertigung der Bauelemente erforderliche Standardisierung wird derzeit vor allem auf der Bauteil- und Materialebene erreicht.<sup>768</sup> Je höher der Vorfertigungsgrad der produzierten Bauteile ist, desto geringer ist dabei die Montagedauer auf der Baustelle. Dadurch können unter anderem die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten und somit die Gesamthöhe der Baukosten gegenüber jenen eines traditionellen Bauverfahrens deutlich gesenkt werden.

Die Systematisierung des Produktions- oder Bauablaufs beschränkt sich in diesem Zusammenhang nicht nur auf die Methoden der Off-Site Industrialisierung. Einige Bauweisen, welche baustellenseitig ausgeführt werden, können mithilfe computergesteuerter Technologien einen annähernd gleich hohen Automatisierungsgrad, wie bspw. hocheffiziente Fabrikfertigungen, erreichen.<sup>769, 770</sup>

Sowohl die Standardisierung der Bauelemente, als auch die Systematisierung der begleitenden Arbeitsschritte, sind laut Fachliteratur die zentralsten Kennzeichen einer Vorfertigung.<sup>771</sup>

Durch die Automatisierung einiger Arbeitsschritte wird dabei auch nach Ansicht von Fachleuten, nicht nur ein ressourcensparender Umgang mit Baumaterialien, sondern auch eine mögliche Optimierung und effizientere Gestaltung des Bauablaufs erreicht. Der denkbare Automatisierungsgrad ist dabei von der gewählten Bauweise abhängig und reicht prinzipiell vom automatisierten Aufbringen der Putzschichte, bis hin zu vollautomatisierten Montageplattformen, welche seit rund einem halben Jahrhundert vor allem in Japan zum Einsatz kommen.<sup>772</sup>

Mithilfe des computergestützten Ablaufs einzelner Arbeitsschritte kann, unter der Beachtung einiger Voraussetzungen, eine deutliche Effizienzsteigerung und Erhöhung der Produktionsleistung erreicht werden. Gleichzeitig ist eine Steigerung des Automatisierungsgrades einer Baustelle oder Produktionsstätte immer auch mit einer Erhöhung der vorbereitenden Arbeitsmaßnahmen verbunden.<sup>773, 774</sup>

Darüber hinaus werden durch die steigende Komplexität der Bauaufgaben auch die Anforderungen an das Komplexitätsmanagement erhöht.<sup>775</sup> Um die geplanten Gebäude umsetzen zu können, muss der gesamte Arbeitsaufwand zuerst in mehrere Teilleistungen unterteilt und

<sup>767</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.3.2 und Kapitel 3.3.1.

<sup>768</sup> Vgl. KNAACK, U.; CHUNG-KLATTE, S.; HASSELBACH, R.: Systembau: Prinzipien der Konstruktion. S. 7f.

<sup>769</sup> Vgl. Ebd. S.9.

<sup>770</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.1.

<sup>771</sup> Vgl. hierzu eingehender Kapitel 2.1.5.

<sup>772</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 537f.

<sup>773</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 119.

<sup>774</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.1.6.

<sup>775</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.1.

später gewerkeübergreifend organisiert werden. Die Beteiligung mehrerer Fachplaner und Unternehmer an einem Projekt erhöht vor allem im Schlüsselfertigbau den erforderlichen Organisationsaufwand erheblich. Mithilfe der gewählten Informationsverarbeitungsprogramme müssen sowohl die Verknüpfungen der einzelnen Teilleistungen, als auch deren gegenseitige terminliche und funktionale Abhängigkeit abgebildet werden.<sup>776, 777</sup>

Dafür sind meist sehr leistungsstarke Computerprogramme mit komplexen, im Hintergrund ablaufenden Algorithmen, erforderlich, welche nicht nur einen hohen Grad an Automatisierung ermöglichen, sondern auch, je nach gewähltem Fertigungsprinzip, eine Flexibilisierung des Produktionsablaufs sicherstellen sollen.

Allerdings ist auch die Steigerung des Flexibilisierungsgrades einer Fertigung mit zusätzlichen Kosten verbunden. Je nach Variabilität der Fertigung<sup>778</sup> und der geplanten Seriengröße, steigt auch die Intensität des erforderlichen Kundenkontakts und damit die Komplexität der internen und externen Unternehmensprozesse an. Um den enormen Datenaustausch zwischen Kunden, Unternehmer und diversen Fachplanern zu bewältigen, wird eine leistungsstarke Kommunikationstechnologie und ein klares System des Datenaustauschs und der Datenpflege erforderlich.<sup>779</sup>

Die derzeitigen Möglichkeiten der aktuellen Kommunikationstechnologien wirken sich zudem positiv auf die Effizienz und Kapazität der eigentlichen Planungsleistung aus. Mithilfe eines durchgängigen Datenflusses und der Koppelung der Planungs- und Fertigungsarbeiten können die einzelnen Fertigungsschritte besser aufeinander abgestimmt und organisiert werden. Dadurch kann, laut der Ansicht von Experten, sowohl die Dauer der Liege- und Wartezeiten, als auch die Höhe des Lagerbestandes, beispielsweise durch die Integration eines JIT-Managements, reduziert werden.<sup>780, 781</sup>

### Erkenntnisse im industriellen Holzbau

Die gesamte Bauwirtschaft und insbesondere der industrielle Holzbau, ist durch eine konstante Weiterentwicklung der technischen und computerbasierten Verarbeitungsmethoden stark geprägt. Dabei eröffnen nicht nur die sich rapide weiterentwickelnden Informations-

<sup>776</sup> Vgl. SCHLEICHER, M.: Komplexitätsmanagement von Geschäftsprozessen dargestellt am Beispiel der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau. Forschungsbericht. S. 198f.

<sup>777</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.1.

<sup>778</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.1.6.

<sup>779</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.3.3.

<sup>780</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 93f.

<sup>781</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.2ff. und Kapitel 3.1.2.

programme, sondern auch neuentwickelte Holzwerkstoffe, zukunftsweisende Optionen für die werkseitige Vorfertigung.<sup>782</sup>

Vor allem der moderne Holzbau ist sehr eng mit der Arbeitsweise einer industriellen Vorfertigung verbunden. Bereits vor mehreren Jahrhunderten wurden Teile einer Holzkonstruktion in externen Werkhallen zugeschnitten und somit bis zu einem gewissen Grad vorgefertigt. Mittlerweile reicht diese Vorfertigung bis hin zu kompletten Wand- und Deckensystemen, welche vor Ort nur noch zu fertigen Strukturen zusammengeschlossen werden.<sup>783, 784</sup>

Diese bedeutende Entwicklung ist nicht nur auf die stetige Verbesserung der Datensysteme und anlagentechnische Lösungen, sondern vor allem auch auf die optimierten Möglichkeiten der Transportlogistik und der Montageleistung zurückzuführen.<sup>785</sup>

Darüber hinaus können die Gesamtkosten eines industriellen Bausystems aus Holz auch durch eine Erhöhung des Automatisierungsgrades des Fertigungssystems an sich gesenkt werden. Das Potential einer automatisierten Fertigung hängt allerdings von der Größe und den Kapazitäten des Bauunternehmens ab. Je kleiner das Unternehmen ist, desto größer ist dabei das Risiko, die notwendigen Anschaffungskosten der automatisierten Fertigungsanlagen nicht ausgleichen zu können.<sup>786, 787</sup>

Mithilfe einer erfolgreichen Mechanisierung der Produktionsprozesse kann hingegen der Arbeitsablauf effizienter gestaltet werden. Gleichzeitig wird auch die Dauer der Durchlaufzeit und die benötigte Anzahl an produktiven Arbeitskräften gesenkt.<sup>788</sup> Allerdings konnte bis dato eine durchgängige Automatisierung des Bauablaufs, weder in der Industrieproduktion, noch im industriellen Bauen, realisiert werden. Trotz der dargelegten möglichen Kosten- und Zeitoptimierung, wird von mehreren Experten bezweifelt, ob eine vollständige CAD-CAM-Koppelung tatsächlich technisch machbar und auch erstrebenswert ist. Insbesondere der enorme Komplexitätsanstieg, welcher mit einer gänzlichen Digitalisierung des gesamten Informationsflusses vom Lieferanten bis zum Endkunden verbunden ist, lässt diese Methode letztendlich laut Expertenmeinung unwirtschaftlich erscheinen.<sup>789</sup>

Ein weiteres Einsparungspotential bei den Produktionskosten ist in einer industriellen Bauweise durch eine Effizienzsteigerung der

<sup>782</sup> Vgl. LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 3ff.

<sup>783</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.2.1.

<sup>784</sup> Vgl. ISOPP, A.: Editorial. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 3.

<sup>785</sup> Vgl. hierzu Kapitel 3.3ff.

<sup>786</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 25.

<sup>787</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.5ff.

<sup>788</sup> Vgl. ERMANNI, P.: Composites Technologien. Skriptum. S. 206.

<sup>789</sup> Vgl. Ebd. S. 95.

Produktionsverfahren mithilfe einer klaren Strukturierung der einzelnen Workflowprozesse gegeben. Durch die Vermeidung von Verlustzeiten, beispielsweise infolge der Zusammenstellung und Komplettierung von Materialien nach zuvor erstellten Stücklisten, können die nicht wertschöpfenden Aktivitäten im Werk zum größten Teil eliminiert werden.<sup>790</sup>

Mehrere Zeiterfassungsstudien<sup>791</sup> zeigen, dass insgesamt nur rund ein Drittel der gesamten Arbeitszeit auf das eigentliche Verrichten der Haupttätigkeit entfällt. Die verbliebene Dauer wird mit verschiedenen Supportprozessen oder störungsbedingten Aufgaben verbracht. Mithilfe einer Optimierung der Arbeitsabläufe kann dabei eine deutliche Verkürzung der Fertigungsdauer erzielt werden.<sup>792</sup>

Das umfassende Einsparungspotential der Produktionsdauer ist allerdings vor allem im Falle einer industriellen Fertigung von der Produktivitätssteigerung der begleitenden Supportprozesse abhängig. Dies wird derzeit meist durch die Entwicklung und Integration leistungsstarker KIT erreicht. In der Praxis ist diese Einführung neuer Informationstechnologien allerdings meist mit hohen Grundinvestitionskosten verbunden, welche in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dieser Systeme berücksichtigt werden müssen.<sup>793, 794</sup>

Ein zusätzlicher Punkt, welcher die Wirtschaftlichkeit eines Vorfertigungssystems wesentlich beeinflusst, ist die Höhe der anfallenden Rüstkosten. Diese beinhalten alle für die Bereitstellung und Vorbereitung der Maschinen notwendigen Ausgaben.

Mithilfe durchgängiger Produktionsprozesse kann eine unterbrechungs- und dadurch auch umrüstungsfree Bearbeitung unterschiedlicher Werkstücke ermöglicht werden. Dadurch wird nicht nur die Dauer unproduktiver Stehzeiten gesenkt, sondern auch die Höhe aller anfallenden Rüstkosten reduziert.<sup>795, 796</sup>

Neben der Reduktion der Bauzeit und somit der Gesamtkosten wirkt sich die Erhöhung des Automatisierungs- und Vorfertigungsgrades aufgrund der geänderten Produktionsbedingungen in wettergeschützten Werkshallen auch auf die Qualität der erstellten Holzbaulemente aus. Die computergesteuerte Fertigung ermöglicht dabei die Produktion von sehr komplexen Strukturen mit hoher Genauigkeit, welche im Falle einer manuellen Fertigung nicht denkbar bzw. umsetzbar wäre.

<sup>790</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 526.

<sup>791</sup> Vgl. hierzu etwa Boenert, L.; Bloemke, M.: Logistikkonzepte im Schlüsselfertigbau zur Erhöhung der Kostenführerschaft. In: Bauingenieur 80, H. 6/2003, S. 227–283

<sup>792</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 527.

<sup>793</sup> Vgl. Ebd. S. 65ff.

<sup>794</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.5.

<sup>795</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.5.2.

<sup>796</sup> Vgl. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 276.

Dennoch wird die überwiegende Anzahl industriell abgewickelter Bauvorhaben nach dem Schema eines klassischen Bauablaufs abgewickelt. Der vom Auftraggeber bestellte Architekt oder Planer entwickelt üblicherweise nach dessen individuellen Wünschen und den projektspezifischen Rahmenbedingungen ein modulares Bausystem, welches meist in kleinen bis mittelständigen Unternehmen realisiert wird.<sup>797</sup>

Wichtige Voraussetzungen für die positive Abwicklung von industriellen Bauvorhaben sind dabei die enge Kooperation zwischen den einzelnen Disziplinen und die Entwicklung einer gewissen Regelmäßigkeit im Entwurf. In dieser Hinsicht sind vor allem Gebäude, welche aus vielen gleichen oder ähnlichen Einheiten bestehen, wie bspw. Hotels, Wohnheime oder Schulen für eine Industrialisierung geeignet.<sup>798, 799</sup>

Daneben kann sich die Industrialisierung einer Bauweise auch auf die Höhe des Lebenszyklusnutzens auswirken. Grundsätzlich kann dieser dabei durch die Erhöhung der Nutzwert- oder Leistungssicherheit ausgebaut werden.<sup>800</sup>

Die Nutzwertsicherheit umfasst in diesem Zusammenhang bspw. die Gewährleistung der gewünschten Nutzungseigenschaften einer Immobilie. Da sich diese im Lauf der gesamten Nutzungsdauer eines Gebäudes zum Teil sehr grundlegend verändern können, wird bereits während der Planungsphase die Entwicklung eines flexiblen Gebäudekonzepts erforderlich. Die Leistungssicherheit wird hiergegen bspw. durch eine termingerechte Fertigstellung von Bauaufgaben erreicht. In diesem Punkt kann die industrielle Vorfertigung, insbesondere durch die Bestimmung eines exakten Fertigstellungstermins, erhebliche Vorteile erzielen.<sup>801</sup>

Neben dem Faktor der Terminsicherheit werden auch die im Voraus exakt bestimmbareren Kosten und die Erhöhung des Qualitätsstandards als wesentlicher Vorteil der industriellen Bauweise in Bezug auf die Leistungssicherheit angesehen.

Einige Studien über die Verteilung des Marktanteils vorgefertigter Bauweisen zeigen, dass vor allem der industrielle Holzbau auch zukünftig Marktanteile gewinnen wird.<sup>802, 803</sup> Dabei wird die Vorfertigung vor allem bei mehrgeschossigen Gebäuden an Bedeutung zunehmen.<sup>804</sup>

<sup>797</sup> Vgl. MERZ, K.: Raumzellenbauweise. Bericht. S. 3.

<sup>798</sup> Vgl. Ebd. S.3.

<sup>799</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4.7ff.

<sup>800</sup> Vgl. RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilebau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. S. 144.

<sup>801</sup> Vgl. RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilebau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. S. 144.

<sup>802</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.4

<sup>803</sup> Vgl. VOLLMANN, K.: Wohnbautätigkeit Bewilligungen und Fertigstellungen 2002 Wohnbaukosten 2001. Statistik. S. 52ff.

<sup>804</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 64.

### 5.3 Potential des industriellen Holzbaus in Österreich

Nicht nur in der häufig zitierten Automobilbranche, sondern mittlerweile in fast allen Industriezweigen, werden Produkte, bei welchen es die Randbedingungen zulassen, unter den kontrollierten Verhältnissen einer Produktion auf automatisierten Produktionsanlagen angefertigt. Mit dem immer wesentlicher werdenden Faktor des individuellen Kundenwunsches, hat sich auch die ursprünglich, auf einer klassischen Massenproduktion basierende Fertigungsweise auf andere Produktionsmethoden, wie etwa jene einer Mass Customization, spezialisiert. Dass auch in der Baubranche deutliches Potential in der industriellen Vorfertigung gegeben ist, zeigen zahlreiche realisierte Beispielprojekte und einige Beiträge in der einschlägigen Fachliteratur.<sup>805</sup>

So werden in dieser auch mögliche Parallelen zwischen der industriellen Produktfertigung und dem industrialisierten Bauen aufgezeigt.<sup>806</sup>

Mehrere auch im Rahmen dieser Ausarbeitung beschriebenen Projekte veranschaulichen die im Vergleich zur Produktion vor Ort sehr kurze Montagezeit. Weitere Vorteile, wie beispielsweise die Erhöhung der Qualität und Verkürzung der Produktionszeit im Werk, lassen sich durch eine Steigerung des Automatisierungsgrads der eigentlichen Produktion erreichen. Dieser übt darüber hinaus einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der gesamten Fertigungskosten aus. Wie eine im Jahr 2005 durchgeführte Studie<sup>807</sup> zeigt, lassen sich die gesamten Baukosten einer Immobilie durch eine Ausweitung der automatisch ablaufenden Fertigungsprozesse im Werk erheblich reduzieren. Gleichzeitig wird auf das sehr umfangreiche Automatisierungspotential, welches speziell im Falle von Holzkonstruktionen gegeben ist, hingewiesen. Dabei betonen die Autoren, dass sich der Anteil jener Tätigkeiten, welche sich nicht für eine Automatisierung des Produktionsprozesses eignen, auf lediglich 17% beläuft. Diese Tätigkeiten sind speziell im Holzbau unter anderem das Befestigen der Gurtschlaufen und einbringen der Dämmmaterialien. Dabei eignen sich diese Arbeiten vor allem aufgrund der geringen Biegefestigkeit der Werkstoffe kaum zur maschinellen Vorfertigung. Auch das Anbringen der bauphysikalisch notwendigen Folien ist aufgrund der schwierigen Manipulation biegeweicher Materialien kaum bis gar nicht zur vollautomatisierten Fertigung geeignet.<sup>808</sup>

Demgegenüber ist der Baustoff Holz, aufgrund mehrerer werkstoffspezifischer Eigenheiten, wie kaum ein anderes Material zur Vorfertigung geschaffen. Diese Charakteristika sind, neben dem eher geringen Eigengewicht, auch die statisch hervorragenden Werte des Werkstoffs,

<sup>805</sup> Vgl. RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilbau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. S. 1.

<sup>806</sup> Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529.

<sup>807</sup> Vgl. KESSEL, M. et al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht. S. 1ff.

<sup>808</sup> Vgl. Ebd. S. 20.

welche eine leichte Verarbeitbarkeit auch während der automatisierten Vorfertigung sicherstellt.<sup>809</sup>

Vor kurzem durchgeführte Studien zeigen, tendenziell dass in der Entwicklung des Marktanteils industrieller Bausysteme in Österreich vor allem der Sektor des Holzbaus künftig ein stetiges Wachstum vorweisen wird.<sup>810, 811</sup>

Dabei wird der industrielle Holzbau laut Meinung mehrerer Fachleute besonders in der Entwicklung von mehrgeschossigen Gebäuden konstant an Bedeutung gewinnen.<sup>812</sup> Dieser Trend ist, bezogen auf die allgemeine Vorfertigung in der Baubranche, unabhängig vom gewählten Baustoff, auch durch eine im Jahr 2014 veröffentlichte Marktstudie<sup>813</sup> der Mitglieder des Österreichischen Fertighausverbandes abzulesen.

Während die Vorfertigung im industrialisierten Einfamilienhausbau insgesamt über die letzten Jahre rückläufig ist, konnte der Marktsektor industriell gefertigter großvolumiger Bauten deutlich gesteigert werden.

Ein sehr ähnlicher Trend ist außerdem bei den von der Verfasserin der Masterarbeit durchgeführten Experteninterviews ableitbar. Nicht nur Unternehmer unterschiedlicher Holzbaufirmen, sondern auch die befragten Architekten und Bauherrenvertreter sehen in der industriell angefertigten Modul- und Elementbauweise künftig großes Potential.

Dabei wird laut der Meinung der Experten vor allem der Sektor der Fertigelemente und schlüsselfertigen Module in den nächsten Jahren an Marktwert gewinnen.

Auch wird laut der Meinung der Experten und der allgemeinen Einschätzung in der fachlichen Literatur das künftige Potential in der industriellen Holzbauweise nicht nur bei Einfamilienhäusern, sondern insbesondere auch bei großvolumigen Projekten angesiedelt sein.

Diese Entwicklung ist auf eine Vielzahl von Vorteilen zurückzuführen, welche abschließend noch einmal kurz zusammengefasst werden.

Die notwendigen Prozesse in der Planung- und Bauphase sind meist sehr komplex und werden von zahlreichen unterschiedlichen Faktoren beeinflusst. Das Zusammenspiel der mitwirkenden Einflussgrößen wird dabei von Laien meist nur schwer erfasst. Gleichzeitig ist die finanzielle Belastung, welche durch den Erwerb einer Immobilie entsteht, so groß, dass diese Investition meist nur einmal getätigt wird. Daraus resultiert der Bauherrenwunsch nach einer sehr umfassenden Vereinfachung des gesamten Produktionsablaufs. Durch die Optimierung der Planungs- und

<sup>809</sup> Vgl. LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 3.

<sup>810</sup> Vgl. hierzu Kapitel 2.4

<sup>811</sup> Vgl. VOLLMANN, K.: Wohnbautätigkeit Bewilligungen und Fertigstellungen 2002 Wohnbaukosten 2001. Statistik. S. 52ff.

<sup>812</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 64.

<sup>813</sup> Vgl. MURHAMMER, C.: Pressegespräch des Österreichischen Fertighausverbandes. Pressemitteilung. S. 1ff.

Bauprozesse kann laut der Ansicht von Experten in unterschiedlicher Fachliteratur zudem eine Erhöhung der Qualität, sowie der terminlichen und kostenbezogenen Sicherheit im Bauwesen erreicht werden.<sup>814</sup>

In diesem Punkt unterscheidet sich das Bauen mit vorgefertigten Elementen oder Modulen grundlegend von dem einer herkömmlichen Bauweise. Durch einen hohen Vorfertigungsgrad kann die Komplexität der organisatorischen und produzierenden Prozesse deutlich gesenkt werden.

Beispielsweise ist der Bauherr oder dessen Vertreter bei einer Umsetzung des Bauvorhabens in einer überwiegend handwerklichen Bauweise erfahrungsgemäß mit der Anordnung und Koordinierung vieler, voneinander unabhängiger Gewerke konfrontiert. Bei der Abwicklung eines industriell vorproduzierten Projekts werden hingegen meist alle Bauleistungen sämtlicher beteiligter Subunternehmer als Gesamtleistung von einer Art Generalunternehmer angeboten.

Ein zusätzliches Potential des industriellen Holzbaus liegt in der Minimierung der erforderlichen Entscheidungsmöglichkeiten auf der Seite der Bauherren. Mithilfe einer im Vorhinein definierten Anzahl unterschiedlicher Modul- oder Elementvarianten gelingt es, den Entscheidungsprozess für den Kunden deutlich zu vereinfachen und trotzdem die Variantenvielfalt beizubehalten.

Zusätzlich kann durch die Produktion von Prototypen eine Bemusterungsmöglichkeit hinsichtlich der Gestaltung und Objektqualität in tatsächlicher Größe angeboten werden.<sup>815</sup>

Neben dem beschriebenen Potential eines einheitlicher strukturierter Planungs- und Produktionsprozesses wird durch die Verlegung der Produktion ins Werk und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Kosten- und Terminplanung besonders mithilfe einer Sicherstellung einer Termin- und Kostensicherheit einer der grundlegendsten Vorteil erzielt.

Mithilfe eines sehr hohen Automatisierungsgrades innerhalb der Werksfertigung und einer optimierten Montagezeit vor Ort kann, wie anhand einiger Beispielprojekte veranschaulicht, nicht nur die gesamte Bauzeit reduziert, sondern viel mehr auch der schlussendliche Realisierungszeitpunkt genau vorherbestimmt werden. Dies ermöglicht eine präzise Planung der künftigen Vermietung, wodurch Vorteile in Bezug auf die Vorherbestimmung des Cash-ins erzielt werden können.<sup>816</sup>

<sup>814</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit, S. 31.

<sup>815</sup> Vgl. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit, S. 31.

<sup>816</sup> Vgl. Ebd. S. 31.

## 5.4 Ausblick

Die Methoden des industriellen Bauens haben sich in den letzten Jahren konstant weiterentwickelt. Aus der ursprünglichen, auf einer klassischen Fertigungstechnologie basierenden Produktionsweise, haben sich weitere Methoden entwickelt, welche die immer wichtiger werdenden Anforderungen nach einer individuellen Gestaltung der werkseitig produzierten Bauelemente und Module ermöglichen. Insbesondere durch die Erarbeitung neuer Holzbauweisen und die Entwicklung des scheibenförmigen Baustoffs Brettsperrholz wurde das denkbare Einsatzgebiet der Holz-Massivbauweise erheblich erweitert. Beispielsweise ist der industrielle Holzbau durch die Verwendung des Baustoffs Brettsperrholz für die grundsätzliche Tragwerkskonstruktion nicht länger auf die Verwendung bei Gebäuden mit geringer Geschoßanzahl beschränkt, sondern kann auch bei vielgeschossigen Projekten zum Einsatz kommen.

Aufgrund dieser weit fortgeschrittenen technischen Möglichkeiten der industriellen Vorfertigung wird zudem nicht nur eine rasche Montage der produzierten Module vor Ort ermöglicht, sondern auch eine schnelle Verfügbarkeit der angeforderten Elemente sichergestellt. Dies wirkt sich positiv auf die Höhe der Lagerbestände aus. Mithilfe eines durchgängigen Produktions- und Workflow-Prozesses kann der Materialbedarf nach einem JIT-Prinzip angeliefert und weiterverarbeitet werden. Diese Möglichkeit bietet eine effiziente Methode zur Senkung der Lagerkosten.

Gleichzeitig hat sich der Bedarf an vorgefertigten Gebäuden über die letzten Jahre stark erweitert. Diese Entwicklung ist unter anderem aus einigen Studien der Statistik Austria und der Mitglieder des Österreichischen Fertighausverbands eindeutig ablesbar. Dabei ist besonders im mehrgeschossigen Holzbau eine positive Entwicklung des Marktanteils vorgefertigter Bauvorhaben bemerkbar. Die positive Tendenz wird sich auch laut der Meinung von Experten in den nächsten Jahren fortsetzen. Diese Annahme geht auch aus der Analyse von den von der Verfasserin durchgeführten Interviews hervor.

Für eine weitreichendere Steigerung des Marktanteils mehrgeschossiger Wohnbauten in industrieller Holzbauweise sind jedoch zusätzliche Forschungs- und technische und baubetriebliche Standardisierungsmaßnahmen notwendig. Durch die strengen Reglementierungen der gesetzlichen Bauvorschriften nicht nur in Österreich, sondern in ganz Europa und teilweise auch weltweit, kann vor allem der Holzbau bis dato nicht die technischen Möglichkeiten und das eigentliche Potential ausschöpfen. Dies wird erst durch eine Berücksichtigung der neuen technischen Möglichkeiten und weiter entwickelten Rahmenbedingungen in den jeweiligen Gesetzgebungen und bautechnischen Vorschriften zugelassen werden.

Darüber hinaus müssen, um dem wachsenden Bedarf an industriell angefertigten Modulen nachzukommen, umfangreiche Bausysteme von industriell organisierten Betrieben entwickelt werden, welche als Basis für weitere zukünftige Bauvorhaben herangezogen werden können. Für die erfolgreiche Konzipierung und Entwicklung dieser Bausysteme wird allerdings eine enge Kooperation zwischen Architekten, Ingenieuren und Unternehmern nötig sein. Zudem müssen sich weitere Unternehmen für die Umsetzung modularer Bauweisen herausbilden.

Prinzipiell wird der industrielle Holzbau laut Fachliteratur<sup>817</sup> allerdings nur dann an Geltung gewinnen, wenn der bis dato noch sehr durch traditionelle und handwerkliche Arbeitsschritte geprägte Produktionsprozess mithilfe einer grundlegenden Umstrukturierung der Fertigungsmethoden und der Einführung einer umfangreichen und professionellen Vorfertigung verändert wird. Diese Voraussetzungen sind jedoch derzeit zum größten Teil noch nicht gegeben.

Gleichzeitig erfordert die industrielle Vorfertigung eine präzise Vorausplanung und Arbeitsvorbereitung. Dadurch kann sowohl eine schnelle Montage auf der Baustelle, als auch eine deutliche Verbesserung der Bauqualität erreicht werden.

Die exakte Vorausplanung des Bauablaufs muss allerdings nicht nur die Komponenten der Baukonstruktion und Fassade beachten, sondern im besonderen Maße auch sämtliche Elemente der Gebäudetechnik in allen Details berücksichtigen. Vor allem im Bereich der haustechnischen Anlagen kann mithilfe einer gezielten Vorfertigung die notwendige Qualität erreicht und sogar verbessert werden. Dies wird besonders im Holzbau zu einer deutlichen Verbesserung der Gebrauchssicherheit führen und schließlich die Nutzungsdauer und den Lebenszyklusnutzen eines Gebäudes positiv beeinflussen. Dieser Umstand ist bis dato in der industriellen Vorproduktion jedoch noch nicht ausreichend berücksichtigt, bietet allerdings aufgrund der großen Einflüsse auf die Betriebs- und Wartungskosten erhebliches Optimierungs- und Forschungspotential.<sup>818</sup>

Diese vertiefte Betrachtung und Analyse des industriellen Holzbaus verdeutlicht, dass die Vorfertigung im Bauwesen bereits weiter fortgeschritten ist, als es der erste Eindruck vermuten lässt. Darüber hinaus legen einige Studien und die gezielte Befragung mehrerer Fachleute nahe, dass der Trend und die künftige Marktentwicklung industrieller Bauweisen durchwegs positiv gesehen werden. Um das ermittelte Potential eines industriellen Holzbaus künftig voll auszuschöpfen und die bereits erreichten, teilweise sehr bemerkenswerten Fortschritte auch in Zukunft halten und weiter ausbauen zu können, müssen allerdings eine Reihe weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durchgeführt werden. Dadurch

<sup>817</sup> Vgl. HERMANN, K.: Gebäudetechnik im seriellen Holzbau. Bericht. S. 54ff.

<sup>818</sup> Vgl. HERMANN, K.: Gebäudetechnik im seriellen Holzbau. Bericht. S. 64.

würden dem Bauen mit Holz weitere Möglichkeiten einer bereits positiven Entwicklung geben.

## Literaturverzeichnis

[HRSG.], P. D.: Schlanker Materialfluss mit LEan Production, Kanban und Innovationen. Berlin. Springer Verlag Berlin- Heidelberg, 2009.

57, C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. Zürich. Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, 2012.

ARNOLD, M.; JAHNKE, K.; HOFFMANN, E.: ZUFO – Zukunftsmärkte der Forst Holz Kette. Arbeitsericht. Berlin. ZUFO, Institut für ökologische Wirtschaftsförderung GmbH, 2007.

BAUER, G.: Lebenszyklusoptimierte Systemlösung für verdichteten Wohnungsbau mit Massivholztechnologie. Tübingen. Joachim Eble Architektur, 2002.

BAUERNHANSL, T.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, 2014.

BAUTECHNIK, Ö. I.: Checkliste, vorgefertigte Wand- und Deckenbauteile mit hölzerner Tragkonstruktion. Checkliste. Wien. Österreichisches Institut für Bautechnik, 2008.

BERGDOLL, B.: Home Delivery, Entwicklungsstadien eines Modernen Traums: von der Taylorisierten Serienproduktion zur Digitalen Mass Customization. In: Arch+, Mai/2010.

BOCK, T.; LAUER, W. V.; LINNEN, T.: Automatisierung und Robotik im Bauen. In: Arch+, Mai/2010.

BRONNER, A.: Angebots- und Projektkalkulation. Stuttgart. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.

CAROLINE LEOPOLD, G. V.: Über Form und Struktur- Geometrie in Gestaltungsprozessen. Wiesbaden. Springer Vieweg, 2014.

CARSTEN ROTH, C. R.: fertighauscity5+, Typologische und technische Untersuchung zu mehrgeschssigen Holzbauweisen. Forschungsbericht. Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag , 2007.

DIEDERICHS, C. J.: Immobilienmanagement im Lebenszyklus. Wuppertal. Springer Berlin Heidelberg, 2006.

ELIASSON, L.: Components at the right time with right properities in the exact amount. Bericht. Växjö. International Holzbau-Forum Nordic, 2012.

Erich, M. (20. September 2014). Ing.. (K. Hintersteiner, ).

ERMANNI, P.: Composites Technologien. Skriptum. Zürich . ETH Zürich, 2007.

FISCHER, J. O.: Kostenbewusstes Konstruieren. Berlin - Heidelberg. Springer Verlag, 2008.

- FOCKENBERG, K.: Lean Construction auf der Baustelle. In: Connect It, 10/2013.
- FREITAG, M.: (IT-) Projekt-Kommunikation – Kommunikation in Prozessen sozialer Strukturierung, soziotechnischen und multiplexen Systemen.. Springer, 2011.
- GEHBAUER, F.: Was bedeutet Lean Construction?. [http://www.lean-management-institut.de/fileadmin/downloads/Lean\\_Construction/Was\\_bedeutet\\_Lean\\_Construction\\_Gehbauer.pdf](http://www.lean-management-institut.de/fileadmin/downloads/Lean_Construction/Was_bedeutet_Lean_Construction_Gehbauer.pdf). Datum des Zugriffs: 10.August.2014.
- GIRMSCHEID, G.: Industrielles Bauen. Skriptum. Zürich. Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, 2007.
- GIRMSCHEID, G : Innovative Sales Concept and Knowledge Platform for Prefabricated Building Construction. Zürich. CIB World Building Congress, 2007.
- GIRMSCHEID, G : Strategisches Bauunternehmensmanagement. Berlin. Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 2010.
- GIRMSCHEID, G.; HOFMANN, E.: Industrielles Bauen – Fertigungstechnologie oder Managementkonzept?. In: Bauingenieur, 75/2000.
- GREEN, M.: The Case for Tall Wood Buildings. Vancouver. mgb, ARCHITECTURE + DESIGN, 2012.
- GRUBER, M.; BRUCKNER, E.: Fertighaus und Recht. Wien. Verein für Konsumenteninformation, 2012.
- HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. Berlin. Hans Schiler, 2005.
- HANS-PETER WIENDAHL, J. R.: Handbuch Fabrikplanung, Konzept Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München, Wien. Carl Hanser Verlag, 2014.
- HAUSLADEN, G.; HUBER, C.; HILGER, M.: Holzbau der Zukunft Teilprojekt 12. Modulare, vorgefertigte Installationen in mehrgeschossigen Holzbauwerken. Forschungsbericht. Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag, 2008.
- HEIDEMANN, A. et al.: Integrale Planung der Gebäudetechnik. Berlin. Springer Verlag, 2014.
- HELMUT DIETRICH, P. K.: Holzbau mehrgeschossig. Zürich. Faktor, 2012.
- HERMANN, K.: Gebäudetechnik im seriellen Holzbau. Bericht. Klagenfurt. Klagenfurter Holzbau-Fachtagung, 2014.
- HERMANN KAUFMANN, W. N.: Bauen mit Holz, Wege in die Zukunft. München. Prestel, 2012.

HIEBIG, T.; JUNGJOHANN, H.; OPPE, M.: Wiederkehr des Elementierten - die Adaption von Modulgerüsten als Gebäudeträgerwerk. In: Detail, 10/2013.

HÖFERL, K.; GUTTMANN, E.: Gesamtheitlicher Ansatz der Sanierung . In: att. zuschnitt, 6/2013.

HOLZBAUFORSCHUNG, D. G.: Innovativer Holzsystembau - Rationalisierungspotential im Holzbau - Planung, Fertigung, Auf- und Ausbau. München. Bundesministerium für Bildung und Forschung Selbstverlag, 2005.

HUTH, S.: Bauen mit Raumzellen: Analyse e. Baumethode. Stuttgart. Bauverlag, 1982.

ISOPP, A.: Editorial. In: Zuschnitt, 50/2013.

JACOB-FREITAG, S.: Modulbauweise: schnell mal 500 Ferienhäuser. <http://www.schmees-luehn.de/wp-content/uploads/2014/11/Ferienpark-Bostalsee-mikado-11-2014.pdf>. Datum des Zugriffs: 21.Jänner.2015.

JUSSEL, R.: Modulares Denken - von Bildungsbauten bis zu Hotelbauten. Bericht. Garmisch. Internationales Holzbau-Forum, 2014.

KALTENBACH, F.: Von der Tradition zur Touristenattraktion – Vorfertigung im Holzbau der Dong. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Baudetail, 6/2012.

— : Hotel bei Reutte. In: Detail, 6/2012.

KAUFMANN, H.: Der andere Bauprozess. In: Zuschnitt, Juni/2013.

KAUFMANN, H. : Gebäudetechnik im seriellen Holzbau. Bericht. Klagenfurt. Klagenfurter Holzfachtagung, 2014.

— : Hotel bei Reutte. In: Detail, 6/2012.

— : Fit machen für systematisches Bauen. In: Mikado, 9/2014.

KESSEL, M. et al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht. Braunschweig. IWF- Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, 2005.

KF: Modulbau "unkomplex". In: bauen mit holz , 6/2006.

KNAACK, U.; CHUNG-KLATTE, S.; HASSELBACH, R.: Systembau: Prinzipien der Konstruktion. Basel. Birkhäuser, 2012.

KOCH, V.; KINDSVATER, A.: BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. Karlsruhe. Fraunhofer IRB Verlag, 2013.

KONRAD ZILCH, C. J.: Handbuch für Bauingenieure, Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit. London, New York. Springer Verlag Heidelberg, 2012.

KOPRA, P.: Industrial prefabrication improving competitiveness of wooden bridges. Garmisch Partenkirchen. Internationales Holzbau-Forum, 2005.

KUMMERT, K.; MAY, M.: Nachhaltiges Facility Management. Berlin. Springer, 2013.

LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Oberösterreich. Linz. proHolz Oberösterreich, 2011.

LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. Luleå. Universitetstryckeriet, Luleå, 2009.

LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.: Individualisierte Produkte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion . Berlin Heidelberg. Springer, 2006.

LINNER, T.: Mass Customization im Bauwesen. In: ibr, September/2011.

M.H. KESSEL, H. H.: ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Braunschweig. Technische Universität Braunschweig, 2004.

MARTIN LENNARTSSON, A. B.: Step by Step Modularity - A Roadmap for Building Service Development. In: Development Lean Construction Journal, 2010.

MAXIMILIAN BODE, F. B.: Rechenbuch der Lebenszykluskosten. Frankfurt am Main. VDMA Verlag, 2011.

MAY, M.: CAFM-Handbuch IT im Facility Management erfolgreich einsetzen. Berlin Heidelberg. Springer, 2013.

MAYERHOFER, S.: Holzbauweisen im verdichteten Wohnungsbau. In: Detail, Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Bauen mit Holz, 10/2012.

MERZ, K.: Raumzellenbauweise. Bericht. Garmisch. Internationales Holzbauforum, 2014.

MIKKOLA, M.: Industrial approach to wood based multistory construction - case Stora Enso modular construction. Bericht. Garmisch. Internationales Holzbauforum, 2014.

MORO, J. L.: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail. Stuttgart. Springer berlin Heidelberg, 2009.

MURHAMMER, C.: Pressegespräch des Österreichischen Fertighausverbandes. Pressemitteilung. Wien. Österreichischer Fertighausverband, 2014.

NEUFERT, E.: Bauentwurfslehre. Wiesbaden. Vieweg + Teubner, GWV Fachverl, 2009.

- PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. Wiesbaden. Deutscher Universitätsverlag, 2006.
- PILLER, F. T.; SCHODER, D.: Mass Customization und Electronic Commerce. Studie. Würzburg. ZfB - Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 1999.
- PIRCHNER, E.: In dreifacher Ausführung: Bürogebäude für Österreich, Rumänien und Deutschland. In: Zuschnitt, 50/2013.
- PLACKNER, H.: Modulbauweise zeigt Stärke. In: Holzkurier, 03/2013.
- PLACKNER, H.: das hölzerne Klassenzimmer. timber-online.net. Datum des Zugriffs: 5.Februar.2015.
- PROCHINER, F.: Zukunftsorientierte Fertigungs- und Montagekonzepte im industriellen Wohnungsbau. München . TU München, 2006.
- RÍOS-MERCADO, R. Z.; RÍOS-SOLÍS, Y.: Just-in-Time Systems. New York. Springer Verlag, 2012.
- RASCHPICHLER, D.: Industrielles Bauen in Holz. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, 41/1997.
- RINAS, T.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilbau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. Zürich. ETH Zürich, 2011.
- ROESLER, S.: Wegweisendes Forschungsprojekt, industrielles Bauen kann für KMU eine echte Innovationschance sein. In: Haus Tech, 16/2003.
- ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. Stuttgart. Frauenhofer IRB Verlag, 2008.
- RUSCH, G.: (IT-) Projekt-Kommunikation – Kommunikation in Prozessen sozialer Strukturierung, soziotechnischen und multiplexen Systemen. In: Projektkommunikation. Hrsg.: SPREITZER, T.: Wiesbaden. Springer, 2011.
- SCHEURER, F.: Sportausbildungszentrum Mülimatt in Brugg/Windisch. In: Detail, 6/2012.
- SCHNITTICH, C : Studentenwohnheim in Delft. In: Detail, 6/2012.
- SCHLEICHER, M.: Komplexitätsmanagement von Geschäftsprozessen dargestellt am Beispiel der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau. Forschungsbericht. Kassel. Institut für Bauwirtschaft, 2009.
- SCHMID, G.; SCHICKHOFER, G.: Gebäudetechnik für Geschoßbauten im Holzmassivbau. Bericht. Klagenfurt. Klagenfurter Holzbau-Fachtagung , 2014.

SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012.

SCHNITTICH, C : Editorial. In: Detail Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Vorfertigung, 6/2012.

SCHOBER, K. P.: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich, Holzskelett- und Holzmassivbauweise. Wien . ProHolz Austria, 2002.

— : Die Logistik der Vorfertigung. In: Zuschnitt, 50/2013.

SCHOENEBERG, K.-P.: Komplexitätsmanagement in Unternehmen. Wiesbaden. Springer, 2014.

SCHUH, G.: Lean Innovation. Berlin. Springer Verlag Berlin Heidelberg , 2013.

SCHUH, G.; MÜLLER, S.: Verbundprojekte im Automobilbau stoppen die Variantenvielfalt. In: VDI-Z, 140, 3/4/1998.

SEYFFERT, S.: Optimierungspotentiale im Lebenszyklus eines Gebäudes. Wiesbaden. Vieweg + Teubner, 2011.

SMITH, R.; HAWKINS, B.: Lean Maintenance. Elsevier. Elsevier InC, 2004.

STAHR, J.: Industrielles oder handwerkliches Bauen. In: Bauhaus-Kolloquium Weimar, 4/1987.

STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. München. Institut für internationale Architektur Dokumentation, 2008.

Steiermark, p. (17. Mai 2014). Steiermark: Bauen mit Holz im Bestand. *Architekturtag 16-17 Mai* , Kapfenberg, Steiermark, Österreich.

STEINKELLER, H.: Salzburger Nachrichten. <http://www.salzburg.com/nachrichten/rubriken/besteimmobilien/immobilien-nachrichten/sn/artikel/vom-shop-bis-zur-schule-loesungen-nach-mass-106671/>. Datum des Zugriffs: 5.Oktober.2014.

STEURER, A.: Entwicklung im Ingenieurholzbau. Basel. Birkhäuser GmbH, 2006.

Stingl, H.; Maier, K. (9. September 2014). Modulbau Trofaiach. (J. Koppelhuber, ).

TEBBEL, T.: Ein Ferienpark in Modulbauweise: 500 Häuser in 18 Monaten . Bericht. Garmisch . Internationales Holzbau Forum, 2014.

TEIBINGER, M.; MATZINGER, I.: Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau. Wien. Holzforschung Austria, 2013.

THOMAS RINAS, G. G.: Kooperationen und innovative Vertriebskonzepte Geschäftsmodell für den individuellen Fertigteilbau. Zürich. Eigenverlag des IBI an der ETH Zürich, 2010.

— : Branchenplattform und Vorfertigungsplanungsgesellschaft für den individuellen Fertigteilbau. Zürich. Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, 2008.

THOMAS; PETER: Mass Customization als Wettbewerbsstrategie in der Finanzdienstleistungsbranche. Wiesbaden. Gabler, 2008.

TICHELMANN, K.: Schwerpunkt Bauphysikalische Eigenschaften von Leichtbauweisen. Eigenschaften und Potentiale des Leichtbaus. Wien . BAU.GENIAL, 2007.

VITRUVIUS, M.: De architectura libri decem. Rom. WGB, 1.Jahrhunder v.Chr..

VOLLMANN, K.: Wohnbautätigkeit Bewilligungen und Fertigstellungen 2002 Wohnbaukosten 2001. Statistik. Wien . Statistik Austria, 2004.

WEBSTER, F.: Theories of the information society. London, New York. Routledge, 1995.

WELLER, K.: Industrielles Bauen 1. Grundlagen und Entwicklung des industriellen, energie- und rohstoffsparenden Bauens. Stuttgart. Kohlhammer, 1985.

WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. Berlin. Springer, 2013.

WOLFGANG WINTER, H. S.: Holzbauweisen im verdichteten Wohnungsbau. Stuttgart. Fraunhofer IRB , 2005.

WOLFGANG WINTER, J. D.: Holzbauweisen für den verdichteten Wohnungsbau. Wien. Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, 2001.

## Normenverzeichnis

ÖNORM B 2310, 2009-05-01: Fertighäuser – Benennungen und Definition sowie Mindestleistungsumfang.

ÖNORM EN 13369, 2013-06-01: Allgemeine Regeln für Betonfertigteile.

ÖNORM B 3328, 2012-04-01: Vorgefertigte Betonerzeugnisse – Anforderungen, Prüfungen und Verfahren für den Nachweis der Normkonformität von Fertigteilen aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton.

ÖNORM EN 14992, 2012-09-01: Betonfertigteile - Wandelemente.

ÖNORM EN 14843, 2007-08-01: Betonfertigteile - Treppen.

ÖNORM EN 14991, 2007-08-01: Betonfertigteile - Gründungselemente.

ÖNORM B 3260, 2009-09-01: Betonfertigteile – Betonfertiggaragen – Anforderungen an monolithische oder aus raumgroßen Einzelteilen bestehende Stahlbetongaragen.

ÖNORM EN 13978-1, 2005-08-01: Betonfertigteile – Betonfertiggaragen – Teil 1: Anforderungen an monolithische oder aus raumgroßen Einzelteilen bestehende Stahlbetongaragen.

ÖNORM B 3804, 2003-03-01: Holzschutz im Hochbau – Gebäude errichtet aus vorgefertigten Holzbauteilen – Voraussetzung für die Reduktion von chemischen Holzschutzmaßnahmen.

ÖNORM B 2320, 2005-11-01: Wohnhäuser aus Holz - Technische Anforderungen.

ÖNORM B 2310, 2009-05-01: Fertighäuser – Benennungen und Definition sowie Mindestleistungsumfang.

ÖNORM B 8110-7, 2013-03-15: Wärmeschutz im Hochbau - Teil7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte.

ÖNORM B 8115, 2003-09-01: Schallschutz und Raumakustik.

OIB-RL 1, Mechanische Festigkeit und Standsicherheit, 2011

OIB-RL 5, Schallschutz, 2011

OIB-RL 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz, 2011

## Linkverzeichnis

- <http://www.tu-cottbus.de/theoriederarchitektur/Archiv/Autoren/Mies/Mies1924a.htm>.  
Datum des Zugriffs: 3.August.2014.
- <http://www.sps-architekten.com/projekte.php?detail=seniorenwohnhaus&id=1&return=p>.  
Datum des Zugriffs: 30.September.2014.
- <http://www.amiryatziv.com/hausbaumaschine.html>. Datum des Zugriffs: 6.Oktober.2014.
- [http://wko.at/unternehmensservice/ce\\_kennzeichnung/grundlagen.asp](http://wko.at/unternehmensservice/ce_kennzeichnung/grundlagen.asp).  
Datum des Zugriffs: 07.Oktober.2014.
- <http://www.oib.or.at/oib-richtlinien/richtlinien/2007>. Datum des Zugriffs: 11.November.2014.
- <http://www.duden.de/suchen/dudenonline/Bauelement>. Datum des Zugriffs: 20.11.2014.
- <http://www.duden.de/rechtschreibung/Raumzelle>. Datum des Zugriffs: 20.11.2014.
- <http://www.wissensgesellschaft.org/themen/bildung/arbeitundlernen.html>.  
Datum des Zugriffs: 24.Jänner.2015.
- <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/>. Datum des Zugriffs: 31.Jänner.2015.
- <http://www.detail.de/architektur/themen/kristallpalast-revived-architektenwettbewerb-in-london-022792.html>. Datum des Zugriffs: 1.Februar.2015.
- <http://jeanneret.blogspot.co.at/2013/09/open-floor-plan-system-domino-frame.html>. Datum des Zugriffs: 1.Februar.2015.
- [www.rkw-kompetenzzentrum.de/.../IBR\\_2011-4.pdf](http://www.rkw-kompetenzzentrum.de/.../IBR_2011-4.pdf). Datum des Zugriffs: 1.Februar.2015.
- <http://www.weinmann-partner.com/de-de/products/productdatabase/weinmann/Seiten/Schmetterlingswender.aspx>. Datum des Zugriffs: 3.Februar.2015.
- <http://graubuendenholz.ch/>. Datum des Zugriffs: 4.Februar.2015.
- <http://www.hausinterieurs.com/496-aufbau-holzrahmenbau/>. Datum des Zugriffs: 4.Februar.2015.
- [http://www.klempnerhandwerk.de/files/smthumbnaildata/800x600/1/8/6/8/4/2/ZDM\\_2013\\_06\\_102\\_BU\\_04\\_Container\\_NEU\\_preview.jpg](http://www.klempnerhandwerk.de/files/smthumbnaildata/800x600/1/8/6/8/4/2/ZDM_2013_06_102_BU_04_Container_NEU_preview.jpg). Datum des Zugriffs: 4.Februar.2015.

[http://www.swiss-architects.com/de/projekte/bau-der-woche-detail/32608\\_sportausbildungszentrum\\_muelimatt](http://www.swiss-architects.com/de/projekte/bau-der-woche-detail/32608_sportausbildungszentrum_muelimatt). Datum des Zugriffs: 5.Februar.2015.

[http://www.hausderzukunft.at/imgcache/hdz\\_img/20120328\\_rendering\\_west\\_large\\_900.jpg](http://www.hausderzukunft.at/imgcache/hdz_img/20120328_rendering_west_large_900.jpg). Datum des Zugriffs: 5.Februar.2015.

<https://ssl.panoramio.com/photo/68542387>. Datum des Zugriffs: 5.Februar.2015.

<http://www.wir-bauen-leben.de/home/>. Datum des Zugriffs: 25.Februar.2015.

<http://www.tu-cottbus.de/theoriederarchitektur/Archiv/Autoren/Mies/Mies1924a.htm>. Datum des Zugriffs: 02.August.2014.

## Konsultationsverzeichnis

### Fachplaner:

Helmut Stingl  
Johannes Heissenberger  
Sebastian Gruber  
Franz Trost

### Architekten / Planer:

Michael Schluder  
Simon Speigner  
Werner Nussmüller  
Mülitzer Matthias

### Holzbauunternehmen:

Helmut Spiehs  
Johann Saurer  
Thoma Erwin  
Gernot Weiß

### Ausführende Unternehmen mineralische Massivbauten:

Helfried Gugel  
Josef Prommegger  
Martha Holzleitner  
Franz Heinrich

### Auftraggeber privat / öffentlich:

Klemens Weiss  
Hans Mayr  
Christof Unterkofler  
Bauausschuss Goldegg

Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger:

Willi Ehrenhöfer

Josef Bernhofer

Josef Kaiser

Gottfried Steinacher

Forschung (Prof., Wissenschaftler, F&E in Betrieben):

Herrmann Kaufmann

Manfred Augustin

Martin Teibinger

Peter Schober

## Glossar

- Integrale Planung** Die integrale Planung zeichnet sich durch eine frühzeitige, interdisziplinäre Zusammenarbeit unterschiedlicher Spezialisten aus. Dabei werden bereits in einer sehr frühen Planungsphase Faktoren wie die statischen Anforderungen, TGA und die speziellen Voraussetzungen für den späteren Rückbau berücksichtigt.
- Lean Production** Die Lean Production ist ein ökonomischer Denkansatz, der durch eine Optimierung der Arbeitsabläufe zu einer Vermeidung von unnötigem Mehraufwand und Verschwendung führen soll.
- Modern Manufacturing** Modern Manufacturing bezeichnet eine Produktionsstrategie, bei der durch den Einsatz modernster Produktions- und Informationsverarbeitungssysteme eine weitest gehende Individualisierung der Endprodukte ermöglicht wird. Gleichzeitig soll dabei das Kostenniveau einer klassischen Massenproduktion gehalten werden.
- Rüstkosten** Die Rüstkosten sind jene Kosten, die beim Bereitstellen oder Umrüsten der Produktionsmaschinen anfallen. Darunter fallen laut dem Wirtschaftslexikon Gabler sowohl die Personalkosten als auch die Kosten für die Reinigung der Maschine und dem rüstbedingten Verschleiß.
- Workflow** Unter Workflow werden der Arbeitsablauf und eine klar definierte Folge von unterschiedlichen Arbeitsschritten innerhalb eines Systems verstanden.

## Anhang 1 Interviewleitfaden

Sehr geehrte Damen und Herren,  
 ich beschäftige mich in meiner Masterarbeit mit dem Thema der „Kennzeichen und Aspekte des industriellen Bauens – Anwendbarkeit im Holzbau“ mit Schwerpunkt auf der Anwendbarkeit der industriellen Vorfertigung im Holzbau. Da mir die Einbeziehung der Praxis in dieses Thema sehr wichtig ist, würde ich mich freuen, Ihnen als Experten einige Fragen zu diesem Thema stellen zu dürfen.

Katharina Hintersteiner

---

## 1 Allgemeine Fragen zum Unternehmen

### 1.1 Wie viele Mitarbeiter beschäftigt Ihr Unternehmen / Ihr Büro?

---

### 1.2 Welche Bauweisen oder Dienstleistungen werden in Ihrem Unternehmen angeboten?

<i>Bauweise</i>	<i>Elementbauweise</i>	<i>Modulbauweis</i>	<i>industrielle Bauweise</i>
Holzleichtbauweise (Holzrahmenbau)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Holzmassivbauweise (Brettsperrholz, Brettstapelholz)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Skelettbauweise aus Beton	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Massivbauweise aus Beton	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stahlbauweise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ziegelbauweise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 1.3 Wie viele Jahre beschäftigt sich Ihr Unternehmen mit

- Holzbau \_\_\_\_\_
- industriellem Holzbau \_\_\_\_\_
- vorgefertigtem Holzbau \_\_\_\_\_

Anmerkung: Hier wird der **industrielle Holzbau** als ein in Industriebetrieben produzierter Werkstoff, der **vorgefertigte Holzbau** als Bauweise mit hohem Vorfertigungsgrad verstanden.

Kennzeichen und Aspekte des industriellen Bauens - Anwendbarkeit im Holzbau

1.4 Warum haben Sie sich dazu entschlossen, industrielle Bauvorhaben zu realisieren?

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Effizienzsteigerung            | <input type="checkbox"/> Interesse an neuen Bausystemen           |
| <input type="checkbox"/> Umsatzsteigerung               | <input type="checkbox"/> technische Weiterentwicklung             |
| <input type="checkbox"/> Markterweiterung               | <input type="checkbox"/> Generationenwechsel in der Führungsebene |
| <input type="checkbox"/> Ausweitung des Produktangebots |   |
| <input type="checkbox"/> Sonstiges                      |   |

1.5 Wollen Sie Ihre Tätigkeit im industriellen Bauen, unabhängig vom Baustoff, in den nächsten 5 Jahren erweitern? (1 =stark erweitern; 2= erweitern; 3 = gleich belassen; 4 = reduzieren; 5= vollständig aufhören)

	1	2	3	4	5
Rohbauelemente (wie Treppenläufe oder Stützen)	<input type="checkbox"/>				
Fertigelemente (funktionsfertige Elemente)	<input type="checkbox"/>				
schlüsselfertige Raummodule					
Vorfertigungsgrad <60%	<input type="checkbox"/>				
Vorfertigungsgrad >60%	<input type="checkbox"/>				
belagsfertige Raummodule	<input type="checkbox"/>				
Rohbauraummodule	<input type="checkbox"/>				
parametrisch entwickelte Tragwerksstrukturen (automatisch abgebundene Tragwerkselemente)	<input type="checkbox"/>				

2 Fragen zum Absatzmarkt der Vorfertigung

2.1 Wie sehen Sie das Potential der industriellen Vorfertigung unabhängig vom Baustoff?

(1 =sehr positive Entwicklung; 2= eher positive Entwicklung; 3 = gleichbleibende Entwicklung; 4 = eher negative Entwicklung; 5= sehr negative Entwicklung)

	In der Elementbauweise					In der Modulbauweise				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Vor 10 Jahren	<input type="checkbox"/>									
Vor 5 Jahren	<input type="checkbox"/>									
Heute	<input type="checkbox"/>									
In 5 Jahren	<input type="checkbox"/>									
In 10 Jahren	<input type="checkbox"/>									

Kennzeichen und Aspekte des industriellen Bauens - Anwendbarkeit im Holzbau

2.2 Um wie viel Prozent wird sich Ihrer Meinung nach der Anteil der industriellen Vorfertigung in den nächsten Jahren steigern?

	<2,5%	<5,0%	<10,0%	>10,0%	sinken
Rohbauelemente	<input type="checkbox"/>				
Fertigelemente	<input type="checkbox"/>				
Rohbauraummodule	<input type="checkbox"/>				
Belagsfertige Module	<input type="checkbox"/>				
Schlüsselfertige Module					
Vorfertigungsgrad <60%	<input type="checkbox"/>				
Vorfertigungsgrad >60%	<input type="checkbox"/>				

2.3 Worin liegen Ihrer Meinung nach die größten Schwierigkeiten und / oder Risiken in der Abwicklung industrieller Bauvorhaben

(1 =sehr hohes Risiko; 2= hohes Risiko; 3= neutral; 4= geringes Risiko; 5= kein Risiko)

	1	2	3	4	5
Individualisierbarkeit für den Kunden	<input type="checkbox"/>				
Individualisierbarkeit für den Planer	<input type="checkbox"/>				
Gewährleistungspflicht	<input type="checkbox"/>				
Logistik	<input type="checkbox"/>				
Montage	<input type="checkbox"/>				
Planungsaufwand	<input type="checkbox"/>				
Bauzeit	<input type="checkbox"/>				
Kosten	<input type="checkbox"/>				

2.4 Industrielles Bauen wird vom Kunden oftmals mit monotonen Plattenbauweisen assoziiert. Durch welche Maßnahmen lässt sich Ihrer Meinung nach das Image des industriellen Bauens am effizientesten verbessern? (1 =sehr gute Möglichkeit; 2= gute Möglichkeit; 3= keine Angaben; 4 = eher schlechte Möglichkeit; 5 = schlechte Möglichkeit)

	1	2	3	4	5
Realisierung von Leuchtturmprojekten	<input type="checkbox"/>				
Bewerbung von industrieller Bauweise (Baustoffunabhängig)	<input type="checkbox"/>				
Aufbau von Informationsplattformen	<input type="checkbox"/>				
Preisverleihungen für industrielle Bauvorhaben	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Sonstiges					

2.5 Warum werden industriell gefertigte Produkte (Autos, Elektronik, etc.) eher angenommen als industriell vorgefertigte Bauwerke?

- Aufgrund der Höhe der Anschaffungskosten
- Durch die längere Nutzungsdauer der Bauwerke gegenüber anderen Gebrauchsgegenständen
- Wegen der Einmaligkeit der Anschaffung
- Durch die emotionale Bindung an das Eigenheim
- Infolge des mangelhaften Angebots seitens der ausführenden Betriebe
- Aufgrund geschichtlich bedingter Vorurteile gegenüber dem industriellen Bauen
- Wegen der unterschiedlich hohen Nutzungsfrequenz (tägliche Nutzung des Eigenheims, sporadische Nutzung von anderen Gebrauchsgegenständen)

Sonstiges:

---



---

2.6 Worin liegen Ihrer Meinung nach die wesentlichen Vorteile in der Abwicklung industrieller Bauvorhabe? (1 = sehr großer Vorteil; 2 = großer Vorteil; 3 = neutrale Bewertung; 4 = geringer Vorteil; 5 = kein Vorteil)

	1	2	3	4	5
Verkürzte Montagezeit	<input type="checkbox"/>				
Schnelle Fertigung	<input type="checkbox"/>				
Exaktere Fertigung	<input type="checkbox"/>				
Witterungsunabhängige Produktion	<input type="checkbox"/>				
Höhere Produktqualität	<input type="checkbox"/>				
Geringerer Lärm auf der Baustelle	<input type="checkbox"/>				
Geringerer Umwelteinflüsse	<input type="checkbox"/>				
Schnellere Planung	<input type="checkbox"/>				
Geringere Baustellengemeinkosten	<input type="checkbox"/>				
Finanzierungssicherheit durch Fixpreise	<input type="checkbox"/>				
Qualitätssicherung durch laufende Kontrollen	<input type="checkbox"/>				
Ein Ansprechpartner für alle Bauleistungen	<input type="checkbox"/>				

2.7 In welchem Bereich liegt Ihrer Meinung nach das größte Potential in der industriellen Vorfertigung, unabhängig vom Baustoff? (1 = hat sehr hohes Potential; 2 = hat eher hohes Potential; 3 = keine Angaben; 4 = hat eher geringes Potential; 5 = hat sehr geringes Potential)

	1	2	3	4	5
Neubau Einfamilienhaus	<input type="checkbox"/>				
Umbau Einfamilienhaus	<input type="checkbox"/>				
Neubau Mehrfamilienhaus	<input type="checkbox"/>				
Umbau Mehrfamilienhaus	<input type="checkbox"/>				
Neubau Industriegebäude	<input type="checkbox"/>				
Umbau Industriegebäude	<input type="checkbox"/>				
Neubau landwirtschaftliche Gebäude	<input type="checkbox"/>				
Umbau landwirtschaftliche Gebäude	<input type="checkbox"/>				
Städtebauliche Nachverdichtung/ Aufstockung	<input type="checkbox"/>				
Einsatz kleinteiliger Elemente, wie Treppenläufe, Balkone, Zwischenwände im Bestand, etc.	<input type="checkbox"/>				

### 3 Bauwirtschaftliche und baubetriebliche Fragen

3.1 Wie schätzen Sie die Kostensituation der industriellen Bauweisen unabhängig vom Baustoff gegenüber einer traditionellen Bauweise ein? (1 = günstiger; 2 = eher günstiger; 3 = in etwa gleich teuer; 4 = eher teurer; 5 = viel teurer)

	1	2	3	4	5
Rohbauelemente	<input type="checkbox"/>				
Fertigelemente	<input type="checkbox"/>				
Rohbauraummodule	<input type="checkbox"/>				
Belagsfertige Module	<input type="checkbox"/>				
Schlüsselfertigen Module	<input type="checkbox"/>				

3.2 Wie schätzen Sie die Kostensituation industrieller Bauweisen, in Abhängigkeit vom gewählten Baustoff gegenüber einer traditionellen Bauweise ein? (1 = günstiger; 2 = eher günstiger; 3 = in etwa gleich teuer; 4 = eher teurer; 5 = teurer)

	1	2	3	4	5
Holzleichtbauweise (Holzrahmenbau)	<input type="checkbox"/>				
Holzmassivbauweise (Brett-, oder Brettstapelholz)	<input type="checkbox"/>				
Skelettbauweise aus Beton	<input type="checkbox"/>				
Massivbauweise aus Beton	<input type="checkbox"/>				
Stahlbauweise	<input type="checkbox"/>				
Ziegelbauweise	<input type="checkbox"/>				

Kennzeichen und Aspekte des industriellen Bauens - Anwendbarkeit im Holzbau

3.3 Wie schätzen Sie die Adaptierbarkeit modular erstellter Gebäude im Vergleich zu traditionell erstellten Bauwerken ein? (1 =sehr gut; 2= gut; 3= in etwa gleich; 4 =eher schlechter; 5 = schlecht)

	1	2	3	4	5
Rohbauelemente	<input type="checkbox"/>				
Fertigelemente	<input type="checkbox"/>				
Rohbauraummodule	<input type="checkbox"/>				
Belagsfertige Module	<input type="checkbox"/>				
Schlüsselfertige Module					
Vorfertigungsgrad <60%	<input type="checkbox"/>				
Vorfertigungsgrad >60%	<input type="checkbox"/>				

3.4 Wie bewerten Sie das Potenzial nachfolgend aufgelisteter Punkte für die Entwicklung neuer Bausysteme in der industriellen Vorfertigung? (1 =hat sehr hohes Potential; 2= hat eher hohes Potential; 3= keine Angaben; 4 = hat eher geringes Potential; 5= hat sehr geringes Potential)

	1	2	3	4	5
Erstellung von Systemlösungen	<input type="checkbox"/>				
Ermittlung und Zusammenfassende Darstellung von Kennzahlen bezüglich Wärme- und Schallschutz	<input type="checkbox"/>				
Ermittlung und Zusammenfassende Darstellung von Kennzahlen bezüglich des Brandschutzes	<input type="checkbox"/>				
Weiterentwicklung der Herstellungsprozesse	<input type="checkbox"/>				
Verbesserung der Baustellenlogistik	<input type="checkbox"/>				

3.5 Wie bewerten Sie im Bauwesen die aktuelle Lehre und Ausbildung zum Thema industrieller Vorfertigung? (1 =sehr gut; 2= gut; 3= keine Angaben; 4 =wenig zufriedenstellend; 5 = gar nicht zufriedenstellend)

	1	2	3	4	5
Lehre	<input type="checkbox"/>				
Meisterprüfung	<input type="checkbox"/>				
Polierschule	<input type="checkbox"/>				
HTL	<input type="checkbox"/>				
Fachhochschule /Technische Universität	<input type="checkbox"/>				

#### 4 Fragen zur industriellen Vorfertigung im Holzbau

4.1 Wie sehen Sie das Potential der industriellen Vorfertigung im Holzbau?  
 (1 =sehr positive Entwicklung; 2= eher positive Entwicklung; 3 = gleichbleibende Entwicklung; 4 = eher negative Entwicklung; 5= sehr negative Entwicklung)

	In der Elementbauweise					In der Modulbauweise				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Vor 10 Jahren	<input type="checkbox"/>									
Vor 5 Jahren	<input type="checkbox"/>									
Heute	<input type="checkbox"/>									
In 5 Jahren	<input type="checkbox"/>									
In 10 Jahren	<input type="checkbox"/>									

4.2 Um wie viel Prozent wird sich Ihrer Meinung nach der Anteil des vorgefertigten Holzbaus in den nächsten Jahren steigern?

	<2,5%	<5,0%	<10,0%	>10,0%	sinken
Rohbauelemente	<input type="checkbox"/>				
Fertigelemente	<input type="checkbox"/>				
Rohbauraummodule	<input type="checkbox"/>				
Belagsfertigen Module	<input type="checkbox"/>				
Schlüsselfertigen Module	<input type="checkbox"/>				

4.3 Wie bewerten Sie die Handhabung folgender Aspekte des industriellen Holzbaus im Vergleich zu anderen industriell vorgefertigten Bauweisen? (1 =sehr positive Entwicklung; 2= eher positive Entwicklung; 3 = gleichbleibende Entwicklung; 4 = eher negative Entwicklung; 5= sehr negative Entwicklung)

	Im Vergleich zur vorgefertigten Stahlbetonbauweise					Im Vergleich zur vorgefertigten Stahlbauweise				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Planung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fertigung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Logistik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Montage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dauerhaftigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## **5 Offene Fragen**

**Welche Visionen und Potentiale sehen Sie im industriellen Holzbau?**

**Welches Potential hat Ihrer Meinung nach der industrielle Holzbau im europäischen Ausland?**

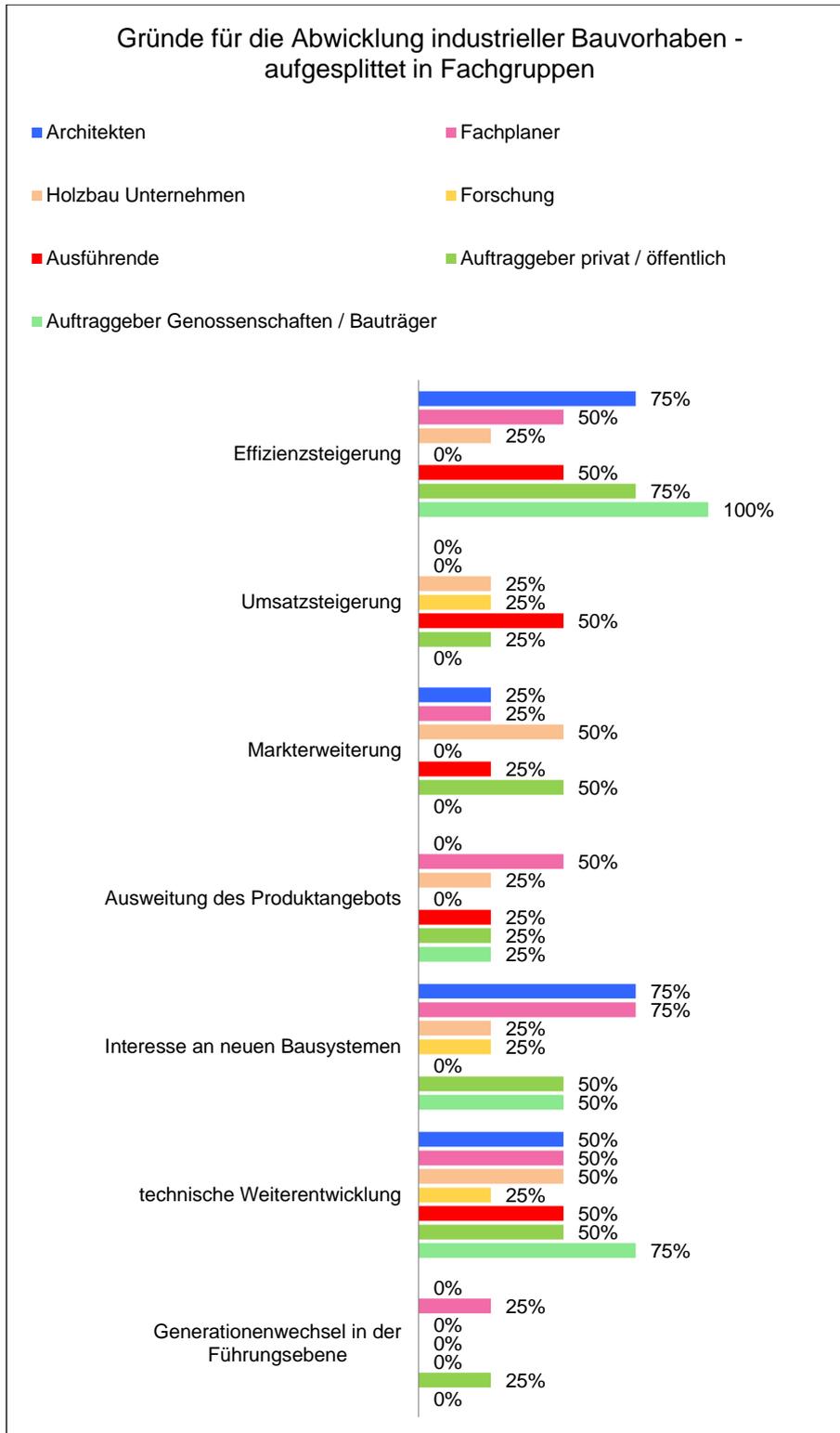
**Welche Maßnahmen müssten Ihrer Meinung nach getroffen werden, um die Ausbildungssituation zu verbessern?**

---

Vielen Dank, dass Sie sich für das Ausfüllen des Fragebogens Zeit genommen haben und mich im Rahmen meiner Bachelorarbeit als Experte unterstützt haben!

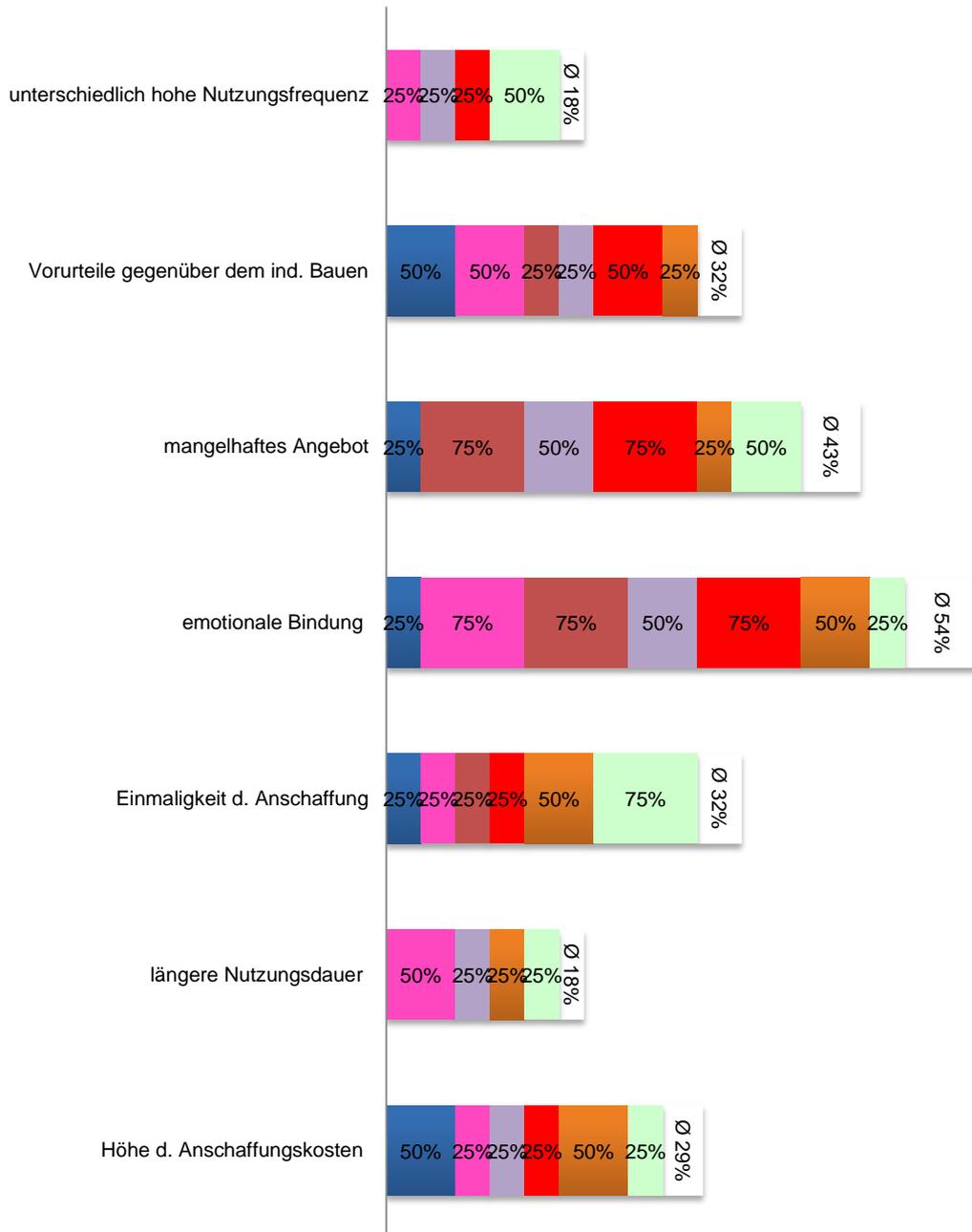
**Katharina Hintersteininger**

## Anhang 1.2 Ergebnisse der gezielten Expertenbefragung nach Fachgruppen



## Diskrepanz zwischen der Annahme industriell gefertigte Produkte und industriell vorgefertigte Bauwerke?

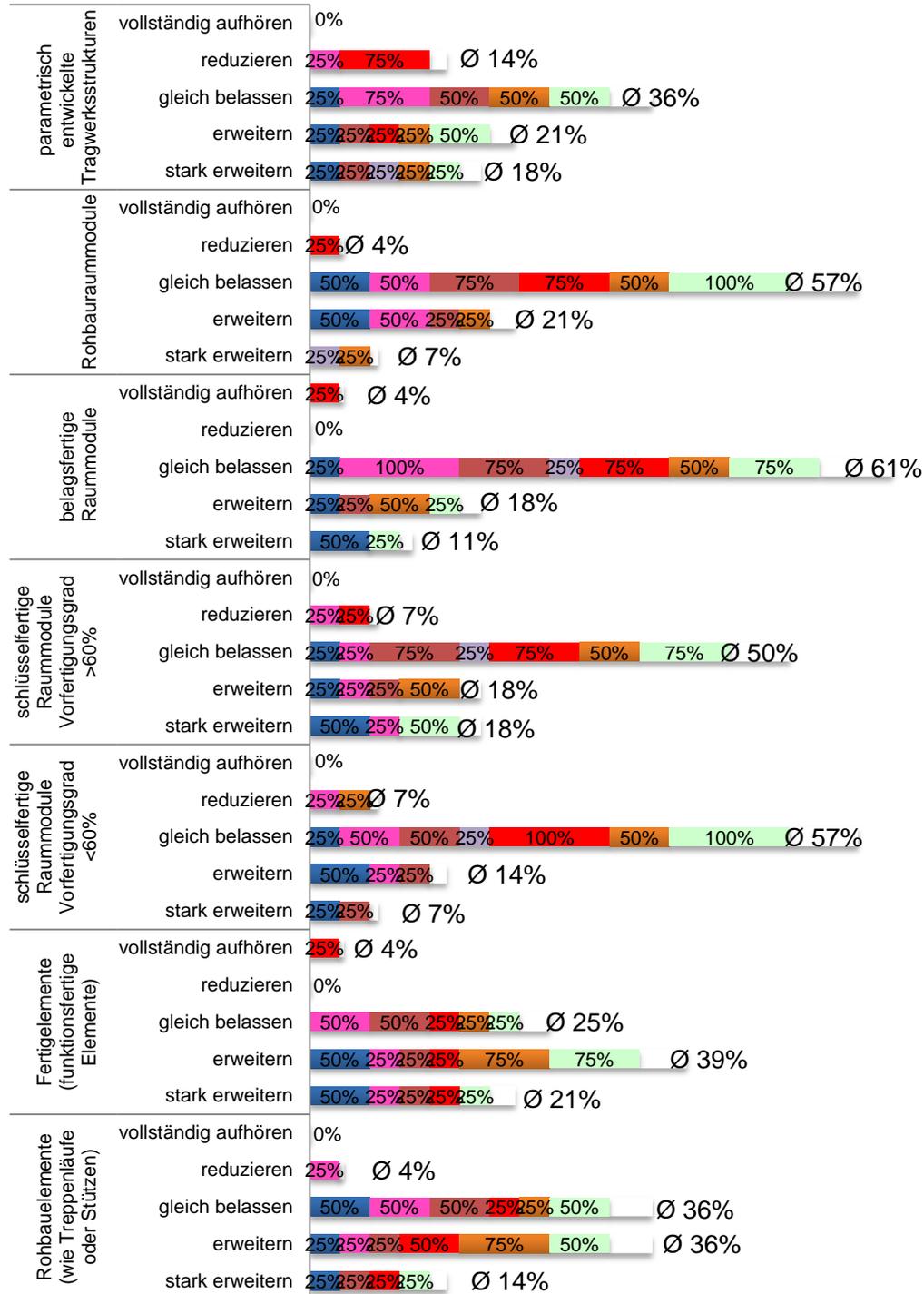
- Architekten
- Fachplaner
- Holzbau Unternehmen
- Forschung
- Ausführende
- Auftraggeber privat / öffentlich
- Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger



	Architekten	Fachplaner	Holzbau Unternehmen	Forschung	Ausführende	AG privat / öffentlich	Bauträger	Ø
Höhe d. Anschaffungskosten	50%	25%	0%	25%	25%	50%	25%	29%
längere Nutzungsdauer	0%	50%	0%	25%	0%	25%	25%	18%
Einmaligkeit d. Anschaffung	25%	25%	25%	0%	25%	50%	75%	32%
emotionale Bindung	25%	75%	75%	50%	75%	50%	25%	54%
mangelhaftes Angebot	25%	0%	75%	50%	75%	25%	50%	43%
Vorurteile gegenüber dem ind. Bauen	50%	50%	25%	25%	50%	25%	0%	32%
unterschiedlich hohe Nutzungsfrequenz	0%	25%	0%	25%	25%	0%	50%	18%
Ø	25%	36%	29%	29%	39%	32%	36%	

## Entwicklung des Tätigkeitsumfang im industriellen Bauen - baustoffunabhängig

- Architekten
- Fachplaner
- Holzbau Unternehmer
- Forschung
- Ausführende
- Auftraggeber privat / öffentlich
- Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger

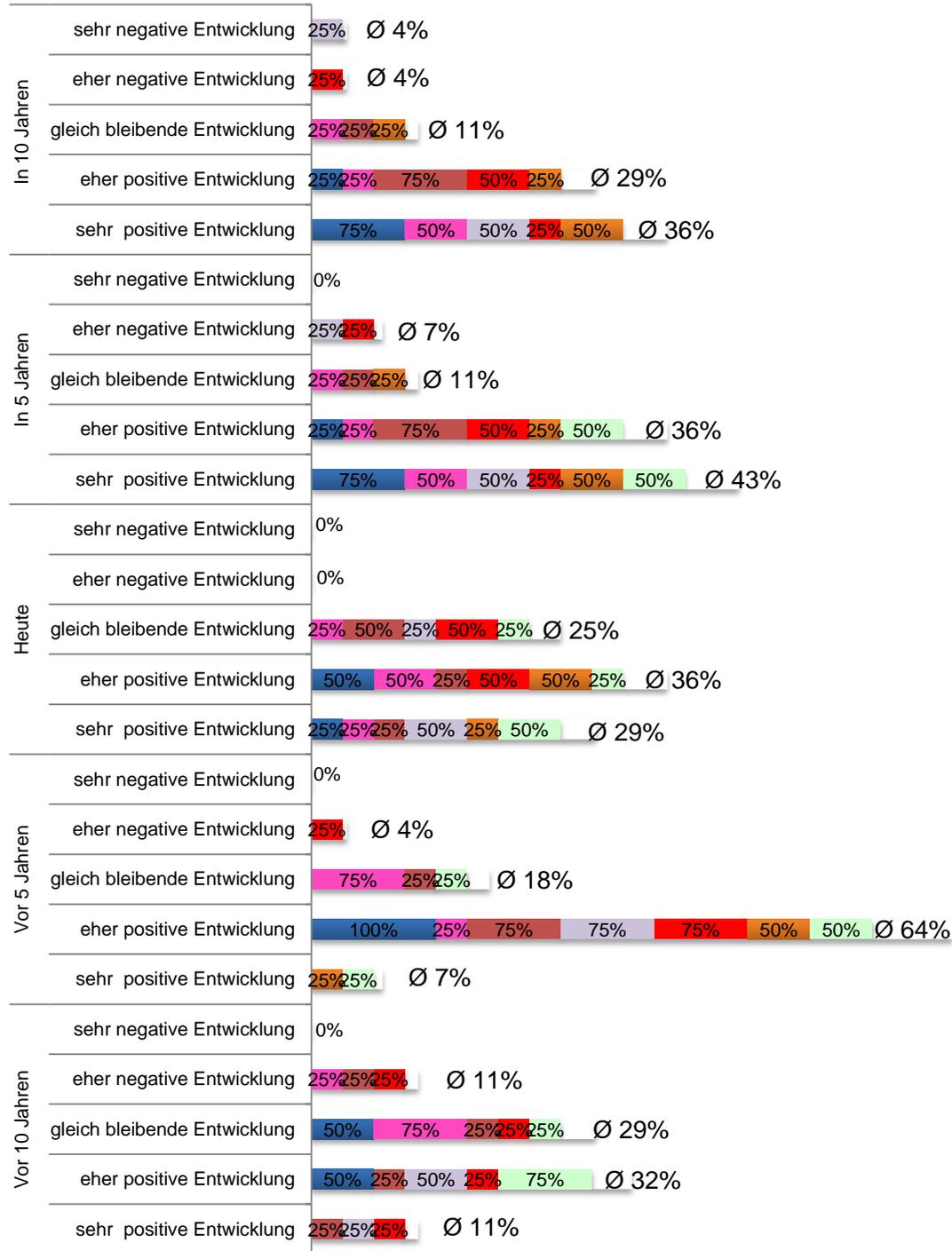


	Rohbauelemente (wie Treppenläufe oder Stützen)					Fertigelemente (funktionsfertige Elemente)					schlüsselfertige Raummodule Vorfertigungsgrad <60%					schlüsselfertige Raummodule Vorfertigungsgrad >60%				
	stark erweitern	erweitern	gleich belassen	reduzieren	vollständig aufhören	stark erweitern	erweitern	gleich belassen	reduzieren	vollständig aufhören	stark erweitern	erweitern	gleich belassen	reduzieren	vollständig aufhören	stark erweitern	erweitern	gleich belassen	reduzieren	vollständig aufhören
Architekten	25%	25%	50%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%
Fachplaner	0%	25%	50%	25%	0%	25%	25%	50%	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	25%	25%	25%	25%	0%
Holzbau Unternehmer	25%	25%	50%	0%	0%	25%	25%	50%	0%	0%	25%	25%	50%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%
Forschung	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%
Ausführende	25%	50%	25%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	75%	25%	0%
Auftraggeber privat / öffentlich	0%	75%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	0%	50%	25%	0%	0%	50%	50%	0%	0%
Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger	25%	50%	50%	0%	0%	25%	75%	25%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	50%	0%	75%	0%	0%
Ø	14%	36%	36%	4%	0%	21%	39%	25%	0%	4%	7%	14%	57%	7%	0%	18%	18%	50%	7%	0%

	belagsfertige Raummodule					Rohbaurraummodule					parametrisch entwickelte Tragwerksstrukturen				
Architekten	50%	25%	25%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	0%
Fachplaner	0%	0%	100%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	0%	75%	25%	0%
Holzbau Unternehmer	0%	25%	75%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	25%	25%	50%	0%	0%
Forschung	0%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	0%
Ausführende	0%	0%	75%	0%	25%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	25%	0%	75%	0%
Auftraggeber privat / öffentlich	0%	50%	50%	0%	0%	25%	25%	50%	0%	0%	25%	25%	50%	0%	0%
Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger	25%	25%	75%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	25%	50%	50%	0%	0%
Ø	11%	18%	61%	0%	4%	7%	21%	57%	4%	0%	18%	21%	36%	14%	0%

## Elementbauweise: Potential der industriellen Vorfertigung - Baustoff unabhängig

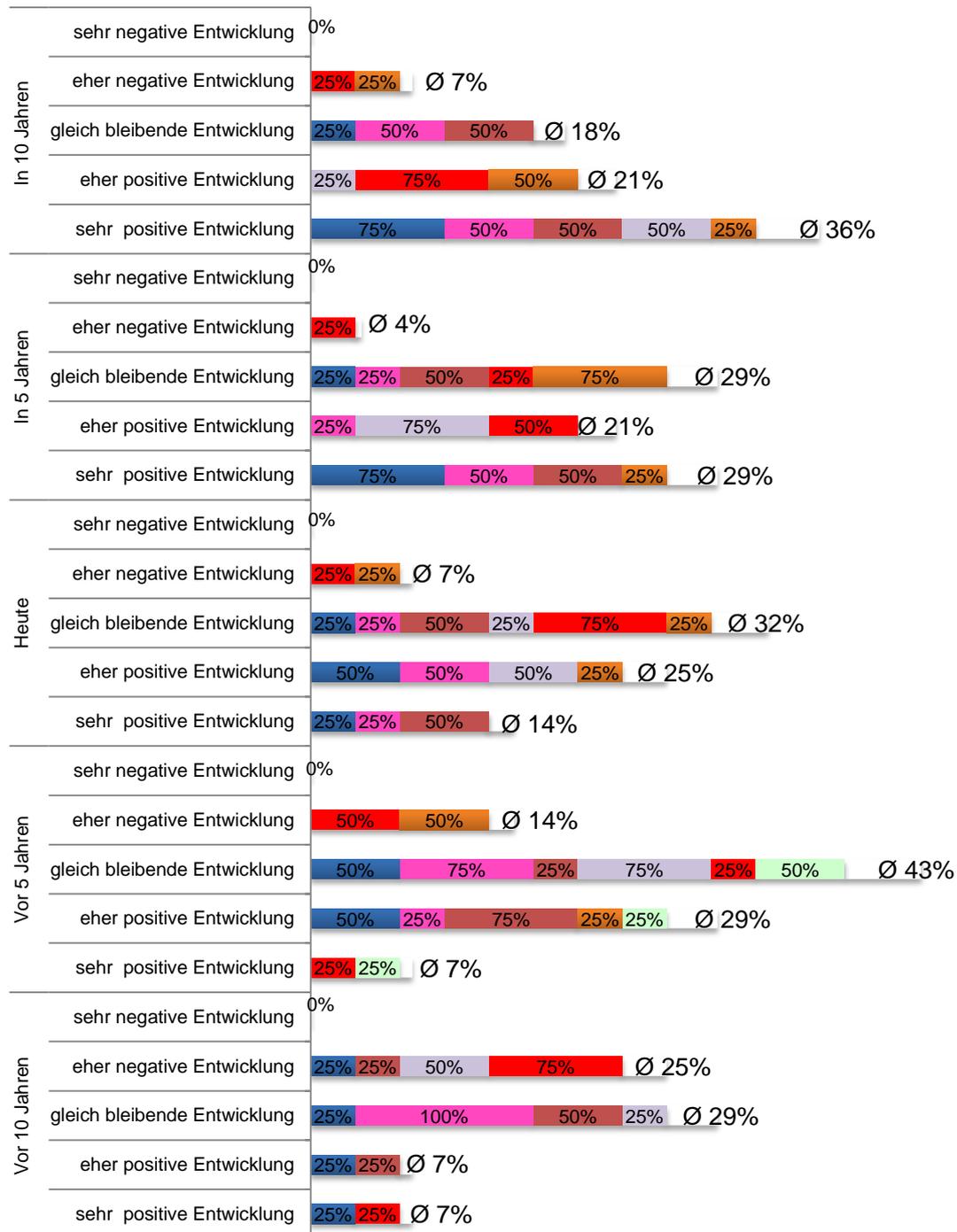
- Architekten
- Fachplaner
- Holzbau Unternehmer
- Forschung
- Ausführende
- Auftraggeber privat / öffentlich
- Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger



In der Elementbauweise	Vor 10 Jahren				Vor 5 Jahren				Heute				In 5 Jahren				In 10 Jahren			
	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleich bleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleich bleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleich bleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleich bleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung
Architekten	0%	0%	50%	50%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	25%	50%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%
Fachplaner	0%	0%	75%	25%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%
Holzbau Unternehmer	25%	25%	25%	25%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	25%	25%	50%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%
Forschung	25%	50%	0%	0%	0%	0%	75%	0%	0%	0%	50%	0%	25%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	25%
Ausführende	25%	25%	25%	25%	0%	0%	75%	0%	0%	0%	25%	50%	0%	0%	0%	25%	50%	0%	25%	0%
Auftraggeber privat / öffentlich	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	25%	50%	0%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%
Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger	0%	75%	25%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%
Ø	11%	32%	29%	11%	0%	7%	64%	18%	4%	0%	29%	36%	25%	0%	0%	43%	36%	11%	7%	0%

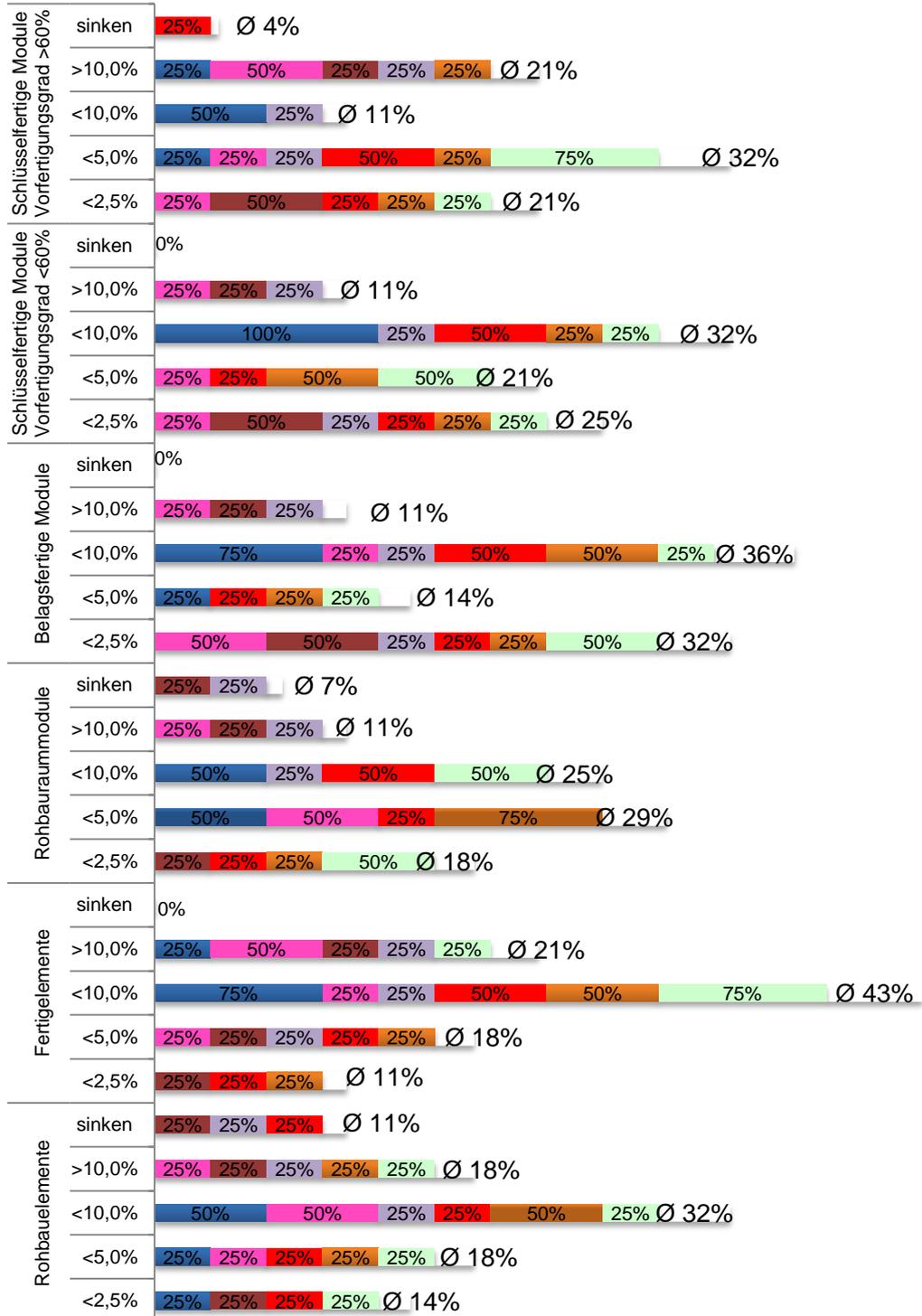
## Modulbauweise: Potential der industriellen Vorfertigung - Baustoff unabhängig

- Architekten
- Fachplaner
- Holzbau Unternehmer
- Forschung
- Ausführende
- Auftraggeber privat / öffentlich
- Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger





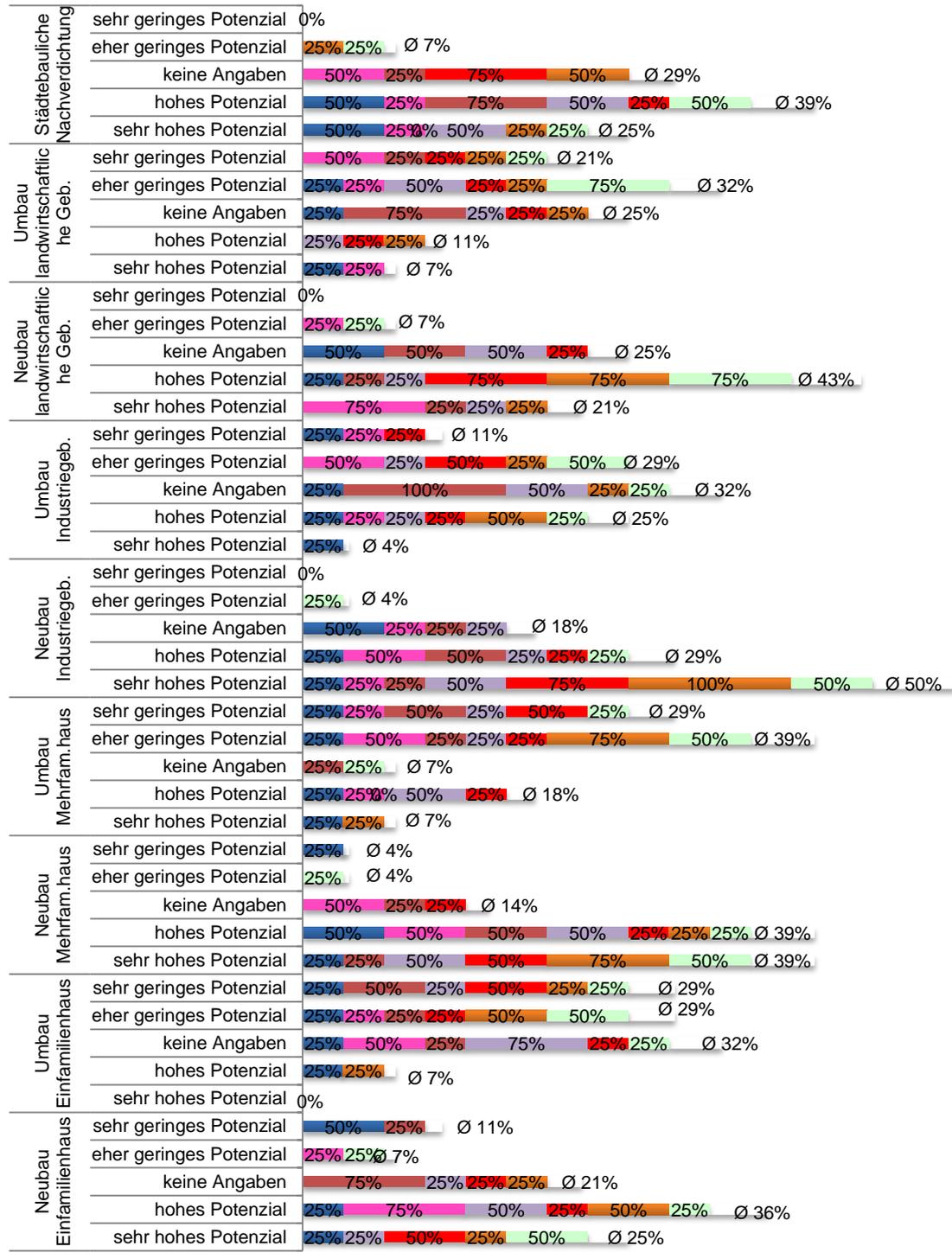
## Marktentwicklung des industriellen Bauens - baustoffunabhängig



	Rohbauelemente		Fertigelemente		Rohbauräummodule		Belagfertige Module		Schlussefertige Module		Vorfertigun		Schlussefertige Module		Vorfertigun									
	>2,5%	>5,0%	>10,0%	>10,0%	sinken	>2,5%	>5,0%	>10,0%	sinken	>2,5%	>5,0%	>10,0%	sinken	>2,5%	>5,0%	>10,0%								
Architekten	25%	25%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%					
Fachplaner	0%	25%	50%	25%	0%	0%	25%	25%	50%	0%	0%	25%	25%	25%	25%	25%	0%	50%	0%					
Holzbau Unternehmer	25%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	25%	25%	0%					
Forschung	0%	0%	25%	25%	0%	25%	25%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	50%	0%	0%	25%	25%	0%					
Ausführende	25%	25%	25%	0%	25%	25%	50%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	25%	0%	25%	25%	25%	0%					
Auftraggeber privat / öffentlich	0%	25%	50%	25%	0%	25%	50%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	25%	0%					
Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger	25%	25%	25%	25%	0%	0%	75%	25%	0%	50%	0%	50%	25%	0%	25%	50%	25%	0%	0%					
Ø	14%	18%	32%	18%	11%	11%	43%	21%	0%	18%	29%	23%	11%	7%	32%	14%	36%	11%	0%	21%	32%	11%	21%	4%

### Bereich mit größtem Potential in der industriellen Vorfertigung

- Architekten
- Holzbau Unternehmer
- Ausführende
- Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger
- Fachplaner
- Forschung
- Auftraggeber privat / öffentlich



	Neubau Einfamilienhaus				Umbau Einfamilienhaus					
	sehr hohes Potenzial	hohes Potenzial	keine Angaben	eher geringes Potenzial	sehr geringes Potenzial	sehr hohes Potenzial	hohes Potenzial	keine Angaben	eher geringes Potenzial	sehr geringes Potenzial
Architekten	25%	25%	0%	0%	50%	0%	25%	25%	25%	25%
Fachplaner	0%	75%	0%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	0%
Holzbau Unternehmer	0%	0%	75%	0%	25%	0%	0%	25%	25%	50%
Forschung	25%	50%	25%	0%	0%	0%	0%	75%	0%	25%
Ausführende	50%	25%	25%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	50%
Auftraggeber privat / öffentlich	25%	50%	25%	0%	0%	0%	25%	0%	50%	25%
Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger	50%	25%	0%	25%	0%	0%	0%	25%	50%	25%
Ø	25%	36%	21%	7%	11%	0%	7%	32%	29%	29%

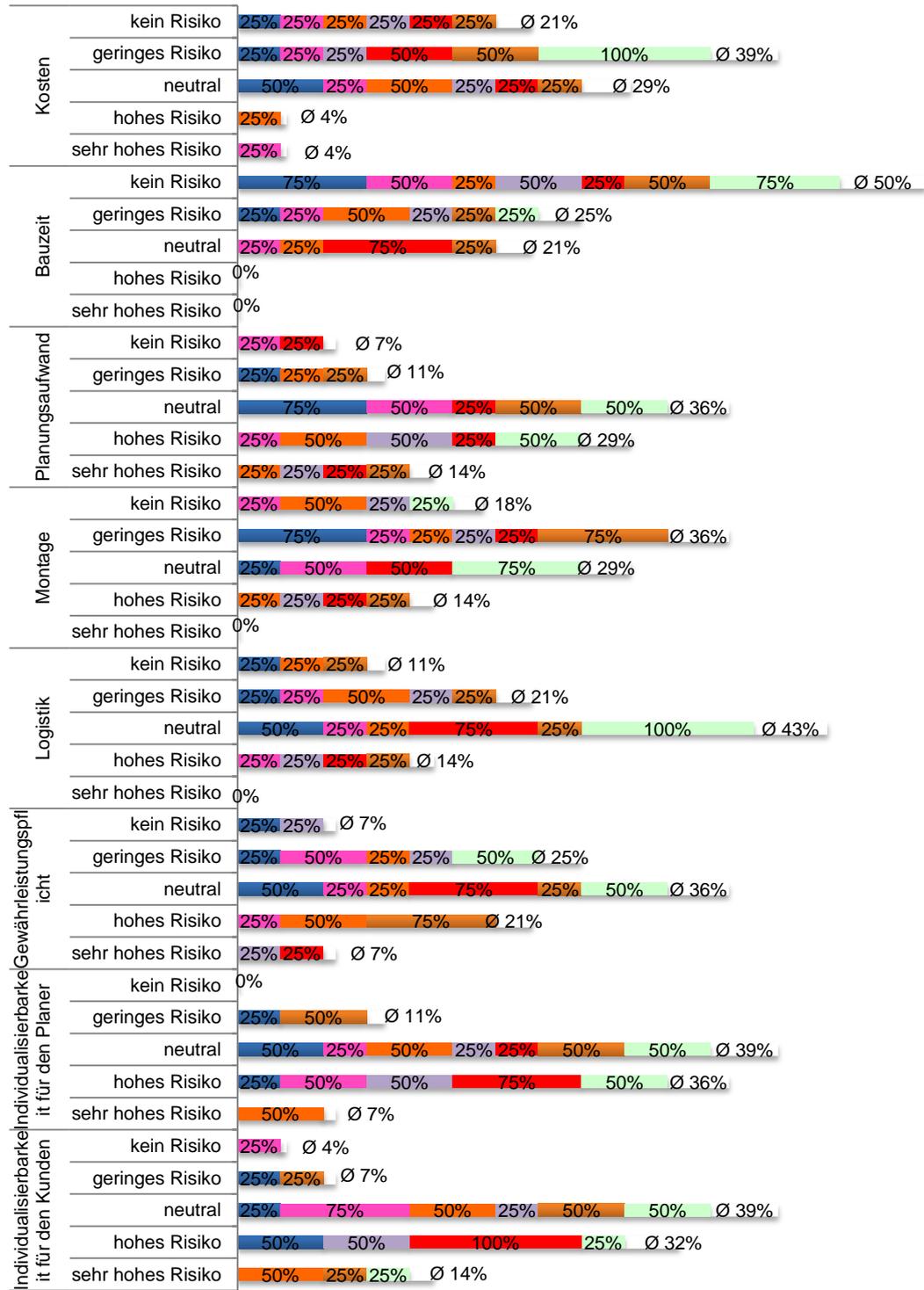


## Neubau landwirtschaftliche Geb. | Umbau landwirtschaftliche Geb. Städtebauliche Nachverdichtung

sehr geringes Potenzial	sehr hohes Potenzial	hohes Potenzial	keine Angaben	eher geringes Potenzial	sehr geringes Potenzial	sehr hohes Potenzial	hohes Potenzial	keine Angaben	eher geringes Potenzial	sehr geringes Potenzial	sehr hohes Potenzial	hohes Potenzial	keine Angaben	eher geringes Potenzial	sehr geringes Potenzial
25%	0%	25%	50%	0%	0%	25%	0%	25%	25%	0%	50%	50%	0%	0%	0%
25%	75%	0%	0%	25%	0%	25%	0%	0%	25%	50%	25%	25%	50%	0%	0%
0%	25%	25%	50%	0%	0%	0%	0%	75%	0%	25%	0%	75%	25%	0%	0%
0%	25%	25%	50%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	0%	50%	50%	0%	0%	0%
25%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	25%	25%	25%	25%	0%	25%	75%	0%	0%
0%	25%	75%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	25%	25%	25%	0%	50%	25%	0%
0%	0%	75%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	75%	25%	25%	50%	0%	25%	0%
11%	21%	43%	25%	7%	0%	7%	11%	25%	32%	21%	25%	39%	29%	7%	0%

## größte Schwierigkeiten und Risiken in der Abwicklung industrieller Bauvorhaben

- Architekten
- Fachplaner
- Holzbau Unternehmen
- Forschung
- Ausführende
- Auftraggeber privat / öffentlich
- Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger

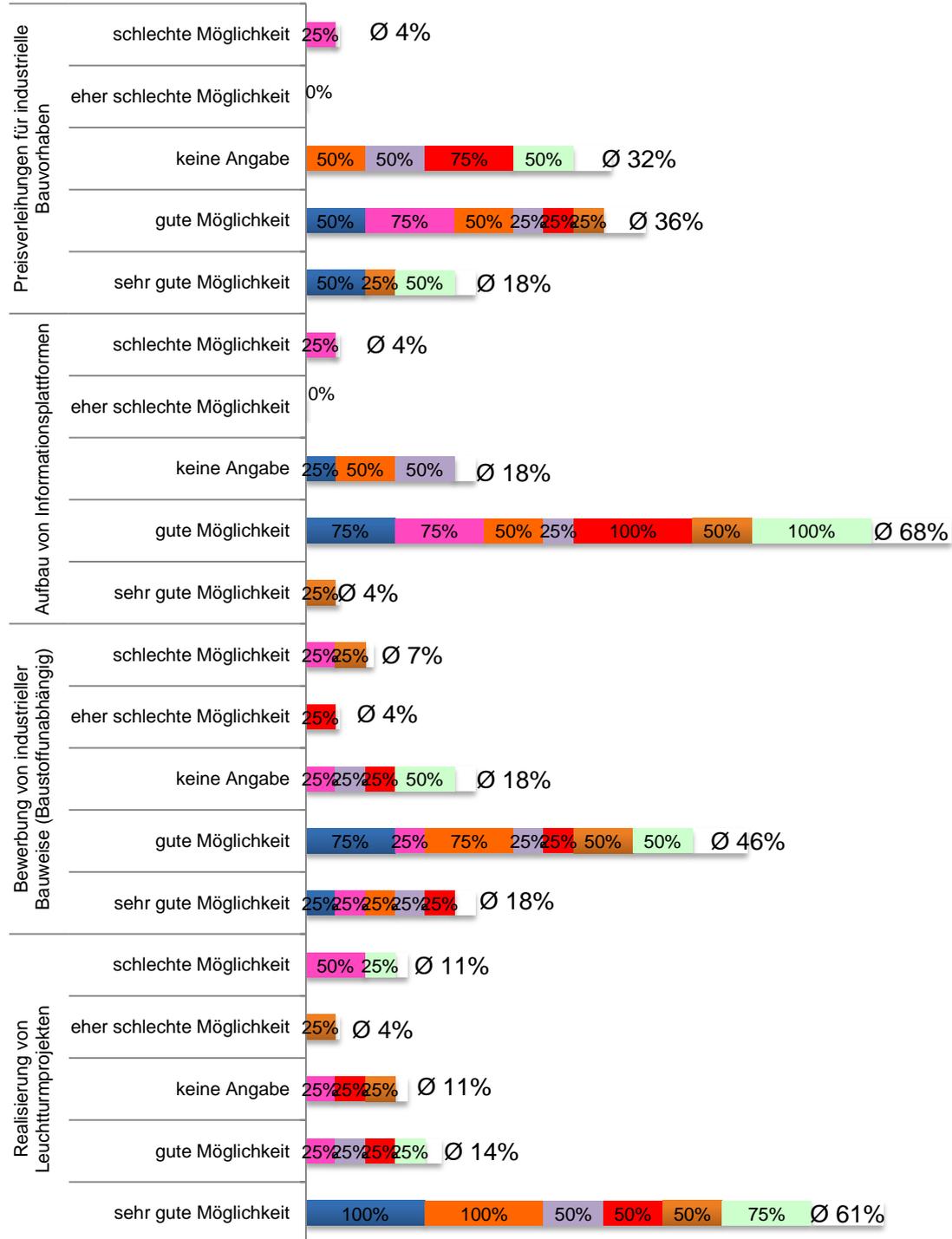


	Individualisierbarkeit für den Kunden					Individualisierbarkeit für den Planer					Gewährleistungspflicht				
	sehr hohes Risiko	hohes Risiko	neutral	geringes Risiko	kein Risiko	sehr hohes Risiko	hohes Risiko	neutral	geringes Risiko	kein Risiko	sehr hohes Risiko	hohes Risiko	neutral	geringes Risiko	kein Risiko
Architekten	0%	50%	25%	25%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	25%
Fachplaner	0%	0%	75%	0%	25%	0%	50%	25%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	0%
Holzbau Unternehmen	50%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	0%
Forschung	0%	50%	25%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	25%	0%	25%	25%
Ausführende	0%	100%	0%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	25%	0%	75%	0%	0%
Auftraggeber privat / öffentlich	25%	0%	50%	25%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	75%	25%	0%	0%
Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger	25%	25%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	0%
Ø	14%	32%	39%	7%	4%	7%	36%	39%	11%	0%	7%	21%	36%	25%	7%

	Logistik					Montage					Planungsaufwand					Bauzeit					Kosten					
	sehr hohes Risiko	hohes Risiko	neutral	geringes Risiko	kein Risiko	sehr hohes Risiko	hohes Risiko	neutral	geringes Risiko	kein Risiko	sehr hohes Risiko	hohes Risiko	neutral	geringes Risiko	kein Risiko	sehr hohes Risiko	hohes Risiko	neutral	geringes Risiko	kein Risiko	sehr hohes Risiko	hohes Risiko	neutral	geringes Risiko	kein Risiko	
	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	25%	50%	25%	25%
	0%	25%	25%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	25%	50%	0%	25%	0%	0%	0%	25%	50%	0%	0%	25%	25%	25%	25%
	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	25%	25%	25%	50%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	50%	25%	0%	0%	0%	0%	25%	25%
	0%	25%	75%	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	25%	25%	0%	0%	25%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	25%	50%	50%	25%
	0%	25%	25%	25%	25%	0%	25%	0%	75%	0%	25%	0%	50%	25%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	0%	0%	25%	50%	50%	25%
	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	75%	0%	25%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	75%	0%	0%	0%	100%	100%	0%
	0%	14%	43%	21%	11%	0%	14%	29%	36%	18%	14%	29%	36%	11%	7%	0%	0%	21%	25%	50%	4%	4%	29%	39%	21%	0%

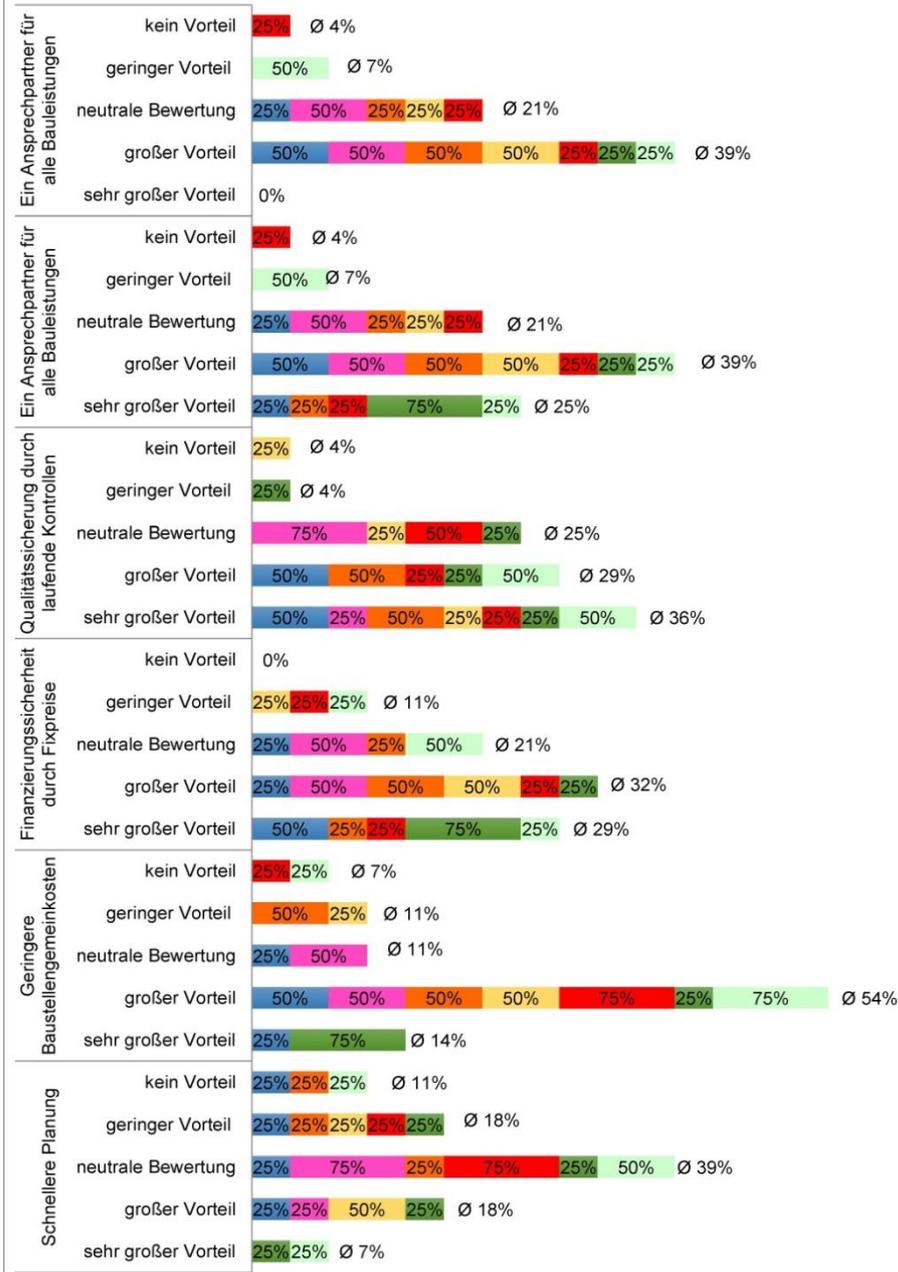
## Maßnahmen zur Imageverbesserung industriellen Bauens

- Architekten
- Fachplaner
- Holzbau Unternehmen
- Forschung
- Ausführende
- Auftraggeber privat / öffentlich
- Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger



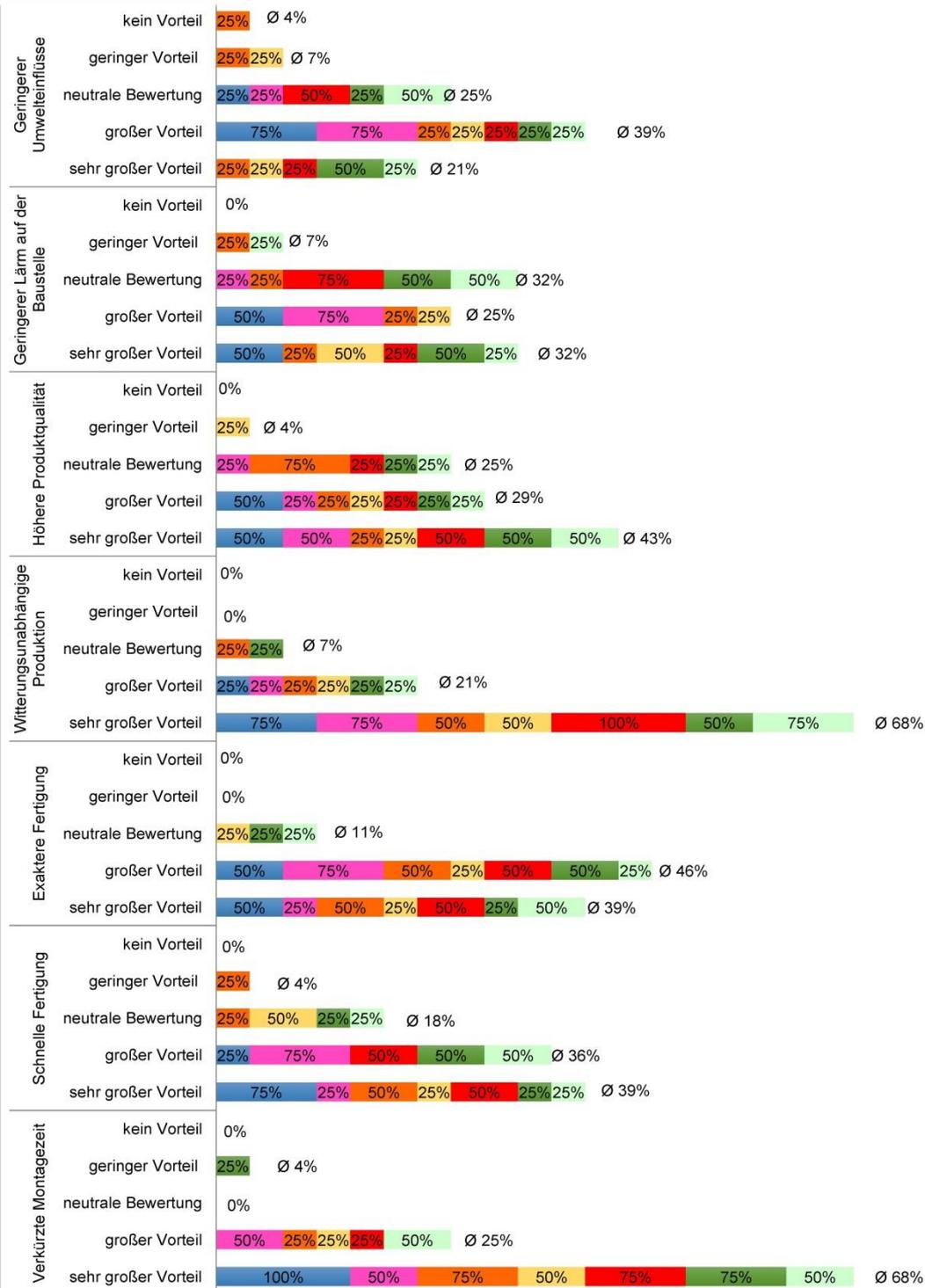
	Realisierung von Leuchtturmprojekten					Bewerbung von industrieller Bauweise (Baustoffunabhängig)					Aufbau von Informationsplattformen					Preisverleihungen für industrielle Bauvorhaben				
	sehr gute Möglichkeit	gute Möglichkeit	keine Angabe	eher schlechte Möglichkeit	schlechte Möglichkeit	sehr gute Möglichkeit	gute Möglichkeit	keine Angabe	eher schlechte Möglichkeit	schlechte Möglichkeit	sehr gute Möglichkeit	gute Möglichkeit	keine Angabe	eher schlechte Möglichkeit	schlechte Möglichkeit	sehr gute Möglichkeit	gute Möglichkeit	keine Angabe	eher schlechte Möglichkeit	schlechte Möglichkeit
Architekten	100%	0%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%
Fachplaner	0%	25%	25%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	25%	0%	75%	0%	0%	0%	0%	75%	0%	0%	25%
Holzbau Unternehmen	100%	0%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%
Forschung	50%	25%	0%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	0%	0%	25%	50%	0%	0%	25%	50%	0%	0%	0%
Ausführende	50%	25%	25%	0%	0%	25%	25%	25%	25%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%
Auftraggeber privat / öffentlich	50%	0%	25%	25%	0%	0%	50%	0%	0%	25%	50%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%
Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger	75%	25%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%
Ø	61%	14%	11%	4%	11%	18%	46%	18%	4%	7%	4%	68%	18%	0%	18%	36%	32%	0%	4%	4%

### wesentliche Vorteile in der Abwicklung industrieller Bauvorhaben



### wesentliche Vorteile in der Abwicklung industrieller Bauvorhaben

- Architekten
- Holzbau Unternehmen
- Ausführende
- Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger
- Fachplaner
- Forschung
- Auftraggeber privat / öffentlich



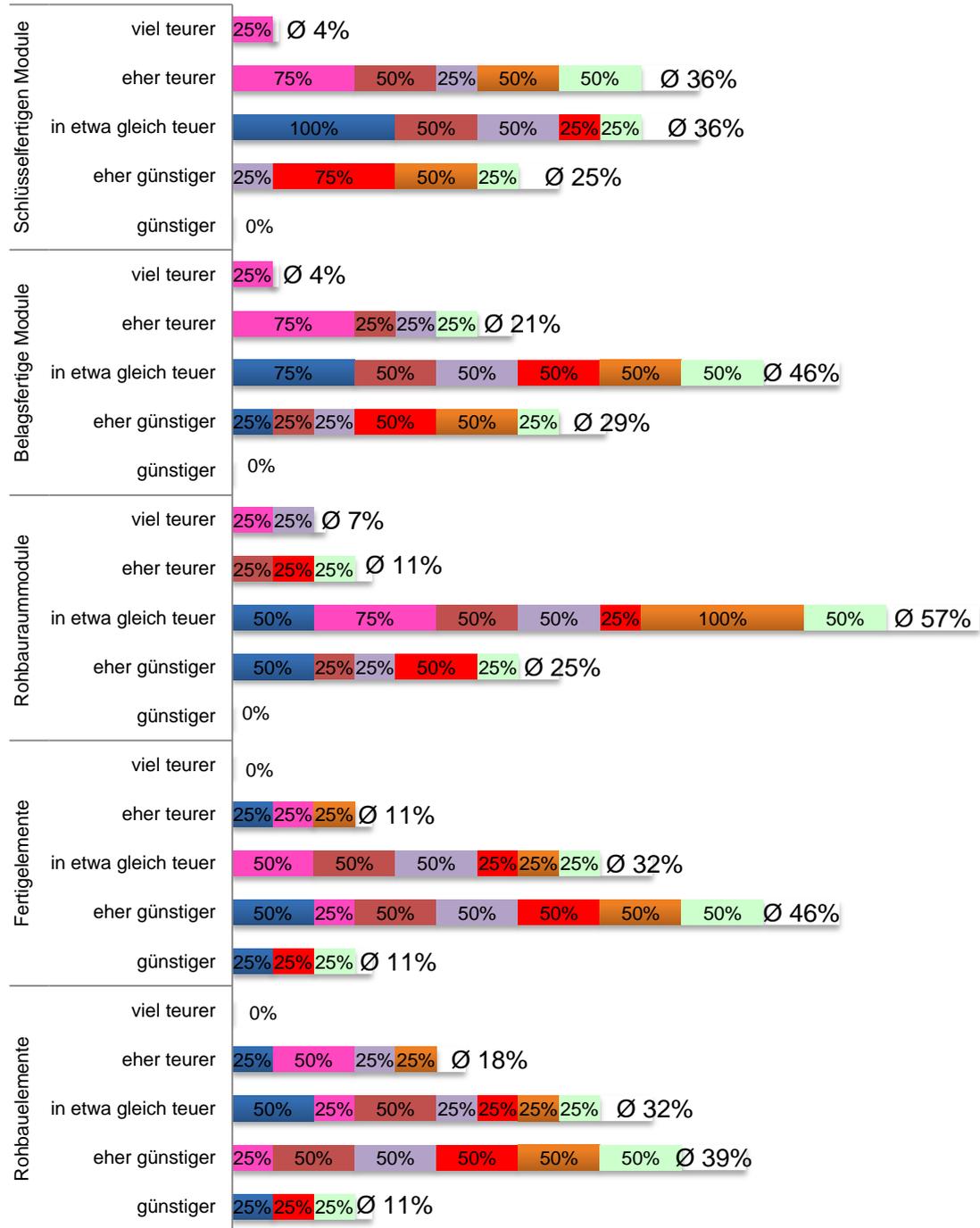
	Verkürzte Montagezeit					Schnelle Fertigung					Exaktere Fertigung					Witterungsunabhängige Produktion				
	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil
Architekten	100%	0%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%
Fachplaner	50%	50%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%
Holzbau Unternehmen	75%	25%	0%	0%	0%	50%	0%	25%	25%	0%	50%	50%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	0%
Forschung	50%	25%	0%	0%	0%	25%	0%	50%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	0%	50%	25%	0%	0%	0%
Ausführende	75%	25%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Auftraggeber privat / öffentlich	75%	0%	0%	25%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%
Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger	50%	50%	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%
Ø	68%	25%	0%	4%	0%	39%	36%	18%	4%	0%	39%	46%	11%	0%	68%	21%	7%	0%	0%	0%

	Witterungsunabhängige Produktion					Höhere Produktqualität					Geringerer Lärm auf der Baustelle					Geringerer Umweltauflüsse					Schnellere Planung				Geringere Baustel lengenkosten					
	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil
	75%	25%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%
	75%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	75%	25%	25%	0%	0%	25%	75%	25%	25%	0%	0%	25%	75%	25%	0%	0%	50%	50%	0%	0%
	50%	25%	0%	0%	0%	25%	25%	75%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%
	50%	25%	0%	0%	0%	25%	25%	0%	25%	0%	50%	25%	0%	50%	0%	25%	0%	0%	25%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	25%
	100%	0%	0%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	50%	75%	50%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	25%
	50%	25%	25%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	50%	25%	0%	0%	0%	50%	50%	25%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%
	75%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	50%	50%	25%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	25%
	68%	21%	7%	0%	0%	43%	29%	25%	4%	0%	32%	25%	32%	7%	0%	21%	39%	25%	7%	4%	7%	18%	39%	18%	11%	14%	54%	11%	11%	7%

	Finanzierungssicherheit durch Fixprei					Qualitätssicherung durch laufende Kontrollen					Ein Ansprechpartner für alle Bauleistungen					Ein Ansprechpartner für alle Bauleistungen				
	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil	sehr großer Vorteil	großer Vorteil	neutrale Bewertung	geringer Vorteil	kein Vorteil
1	50%	25%	25%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	0%	0%
2	0%	50%	50%	0%	0%	25%	0%	75%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%
3	25%	50%	25%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	0%	0%
4	0%	50%	0%	25%	0%	25%	0%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	0%	0%
5	25%	25%	0%	25%	0%	25%	0%	50%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	25%	0%	25%	25%	0%	25%
6	75%	25%	0%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%
7	25%	0%	50%	25%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	25%	25%	0%	50%	0%	0%	25%	0%	0%	0%
8	25%	0%	50%	25%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	25%	25%	0%	50%	0%	0%	25%	0%	0%	0%
9	29%	32%	21%	11%	0%	36%	29%	25%	4%	4%	25%	39%	21%	7%	4%	0%	39%	21%	7%	4%

## Kostensituation der industriellen gegenüber einer traditionellen Bauweise - baustoffunabhängig

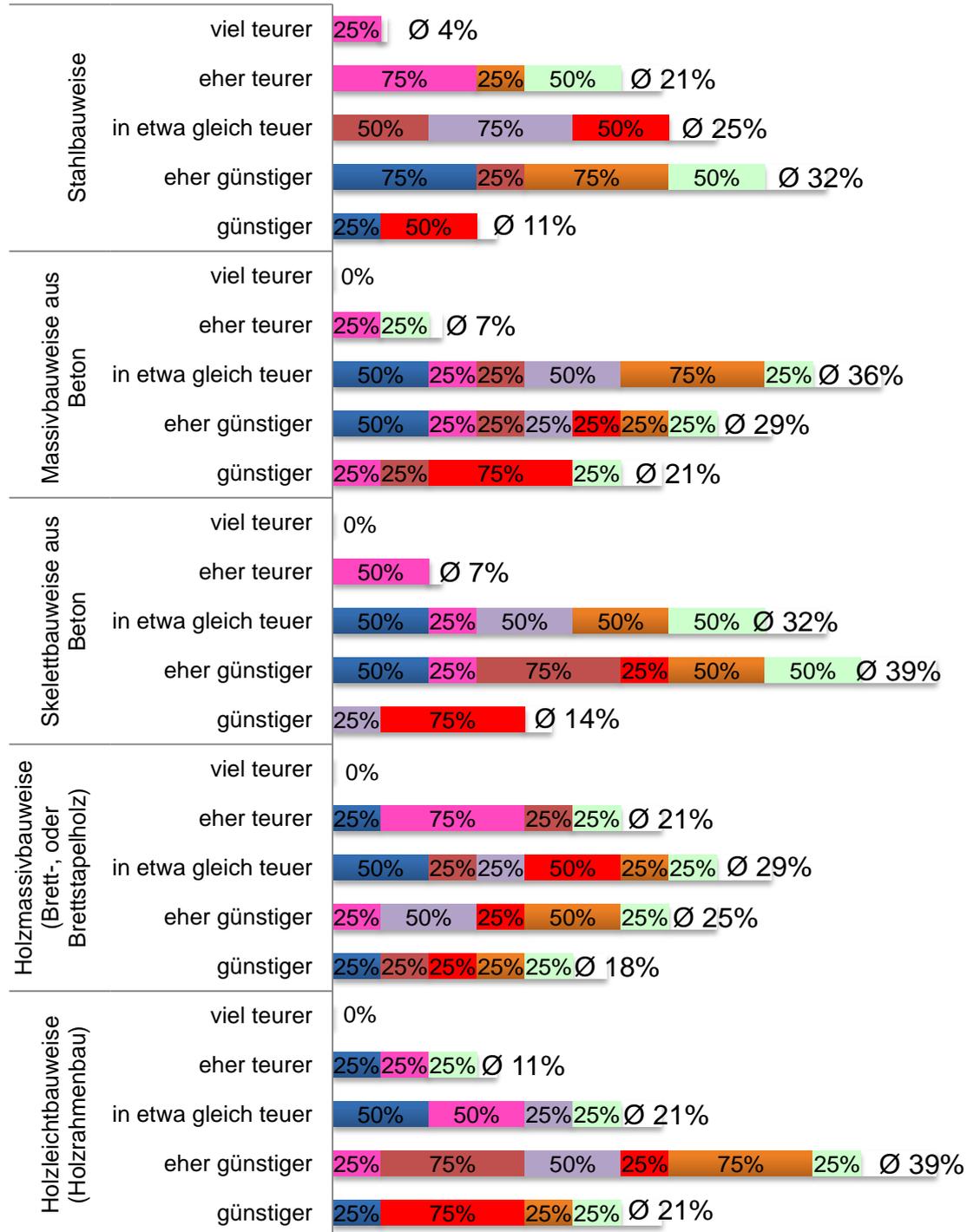
- Architekten
- Fachplaner
- Holzbau Unternehmen
- Forschung
- Ausführende
- Auftraggeber privat / öffentlich
- Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger



	Rohbauelemente					Fertigelemente					Rohbauräummodule					Belagfertige Module					Schlussfertigen Module				
	günstiger	eher günstiger	in etwa gleich teuer	eher teurer	viel teurer	günstiger	eher günstiger	in etwa gleich teuer	eher teurer	viel teurer	günstiger	eher günstiger	in etwa gleich teuer	eher teurer	viel teurer	günstiger	eher günstiger	in etwa gleich teuer	eher teurer	viel teurer	günstiger	eher günstiger	in etwa gleich teuer	eher teurer	viel teurer
Architekten	25%	0%	50%	25%	0%	25%	50%	0%	25%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
Fachplaner	0%	25%	25%	50%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	75%	0%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	75%	25%
Holzbau Unternehmen	0%	50%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	50%	50%	0%	0%
Forschung	0%	50%	25%	25%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	25%	50%	25%	0%
Ausführende	25%	50%	25%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%
Auftraggeber privat / öffentlich	0%	50%	25%	25%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	100%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	50%	25%	50%	0%
Auftraggeber Genossenschaften / Bau	25%	50%	25%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	25%	50%	50%	0%
Ø	11%	39%	32%	18%	0%	11%	46%	32%	11%	0%	0%	25%	57%	11%	7%	0%	29%	46%	21%	4%	0%	25%	36%	36%	4%

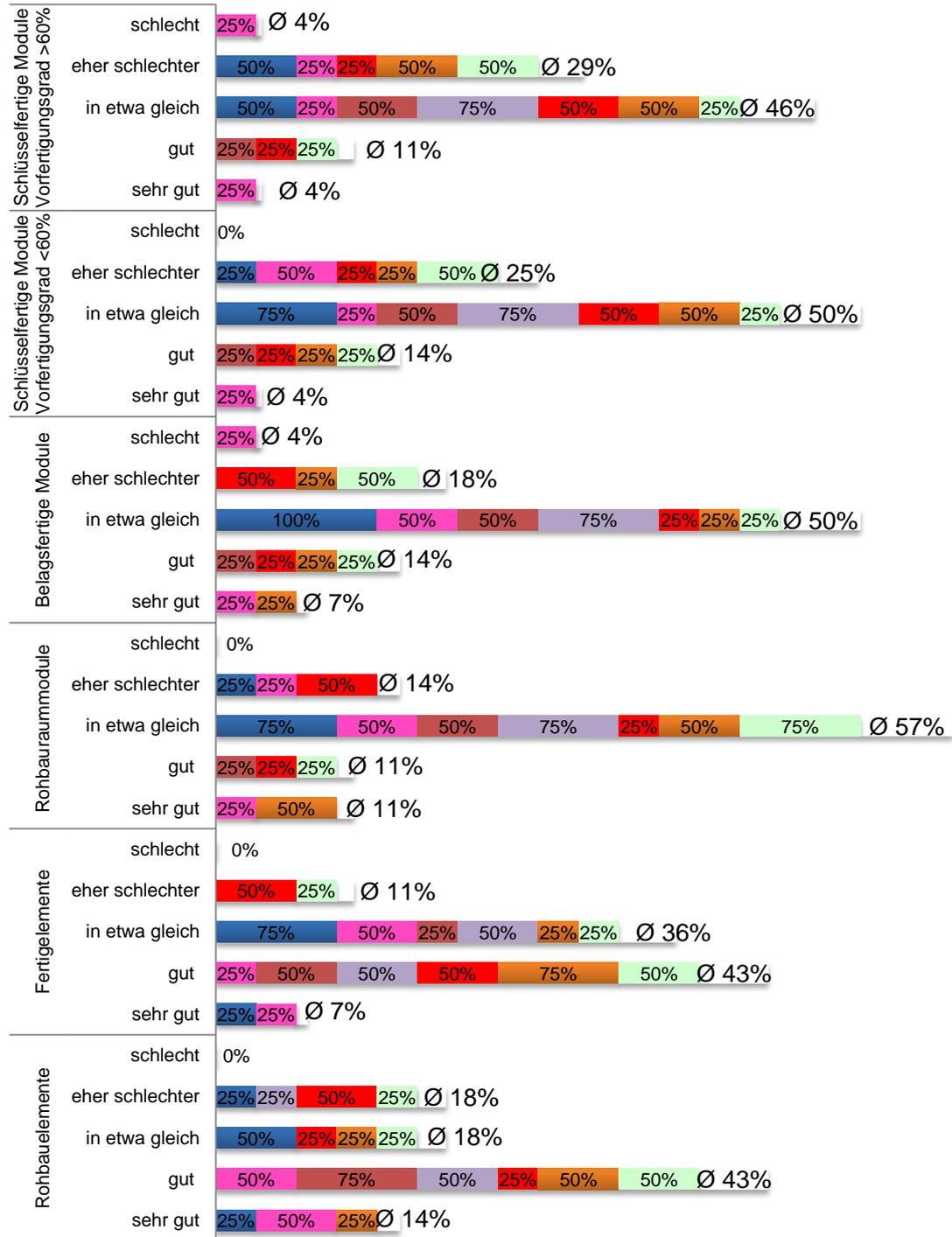
## Kostensituation industrieller Bauweisen gegenüber einer traditionellen Bauweise - baustoffabhängig

- Architekten
- Fachplaner
- Holzbau Unternehmen
- Forschung
- Ausführende
- Auftraggeber privat / öffentlich
- Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger



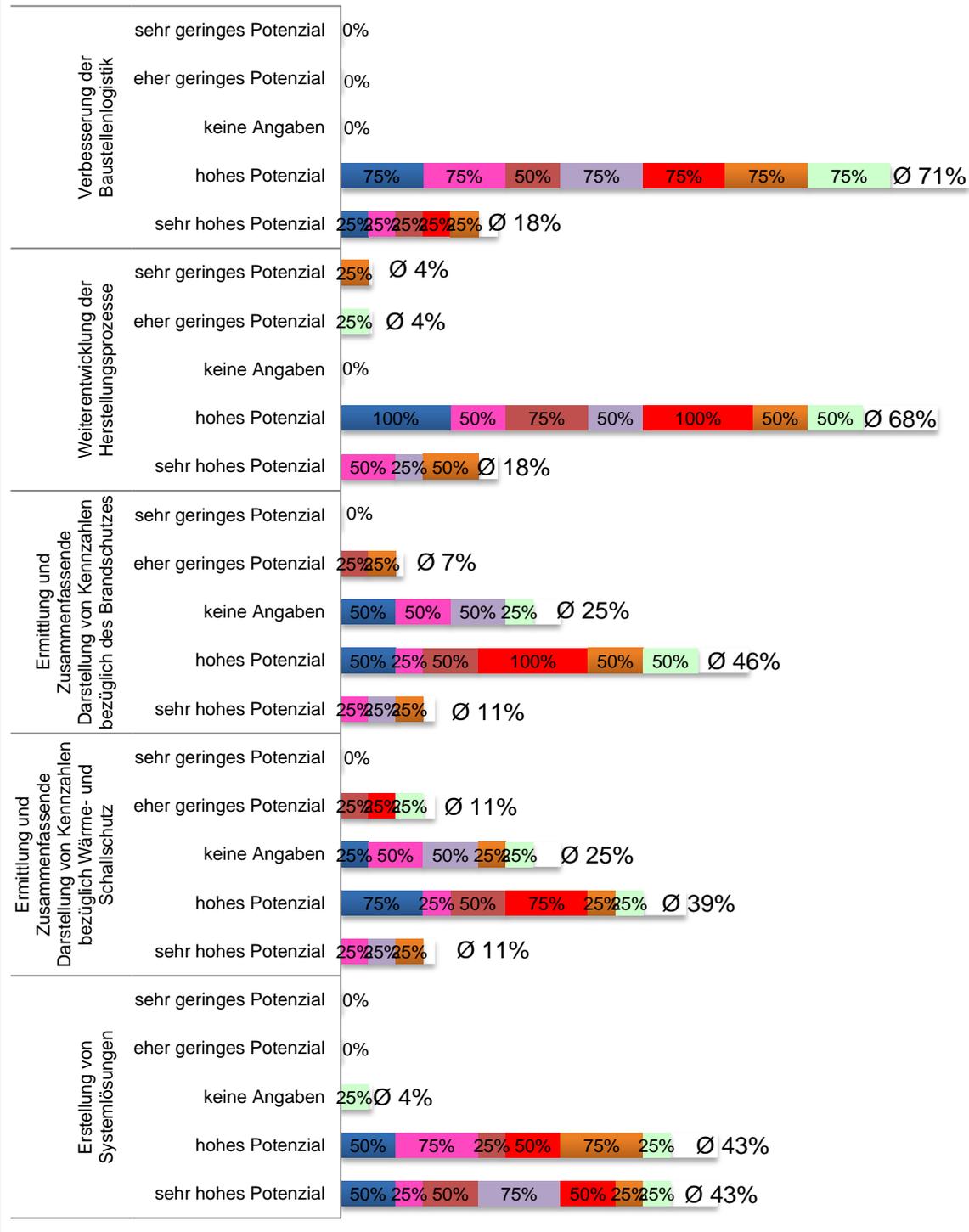
	Holzleichtbauweise (Holzrahmentbau)					Holzmassivbauweise (Brett-, oder Brettsapenholz)					Skelettbauweise aus Beton					Massivbauweise aus Beton					Stahlbauweise				
	günstiger	eher günstiger	in etwa gleich teuer	eher teurer	viel teurer	günstiger	eher günstiger	in etwa gleich teuer	eher teurer	viel teurer	günstiger	eher günstiger	in etwa gleich teuer	eher teurer	viel teurer	günstiger	eher günstiger	in etwa gleich teuer	eher teurer	viel teurer	günstiger	eher günstiger	in etwa gleich teuer	eher teurer	viel teurer
Architekten	25%	0%	50%	25%	0%	25%	0%	50%	25%	0%	0%	50%	25%	0%	0%	0%	50%	25%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%
Fachplaner	0%	25%	0%	25%	0%	0%	25%	0%	75%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	25%
Holzbau Unternehmen	0%	75%	0%	0%	0%	25%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	0%	25%	50%	0%	0%
Forschung	0%	50%	25%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	25%	0%	50%	0%	0%	0%	25%	50%	0%	0%	0%	0%	75%	0%	0%
Ausführende	75%	25%	0%	0%	0%	25%	0%	50%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	50%	0%	50%	0%	0%
Auftraggeber Privat / öffentlich	25%	75%	0%	0%	0%	25%	0%	25%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	25%	25%	75%	0%	0%	0%	75%	0%	50%	0%
Auftraggeber Genossenschaften / Bau	25%	25%	25%	25%	0%	25%	25%	25%	25%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	25%	25%	25%	7%	0%	11%	50%	0%	25%	50%
Ø	21%	39%	21%	11%	0%	18%	25%	29%	21%	0%	14%	39%	32%	7%	0%	21%	29%	36%	7%	0%	11%	32%	25%	21%	4%

## Adaptierbarkeit modular erstellter Gebäude im Vergleich zu traditionell erstellten Bauwerken



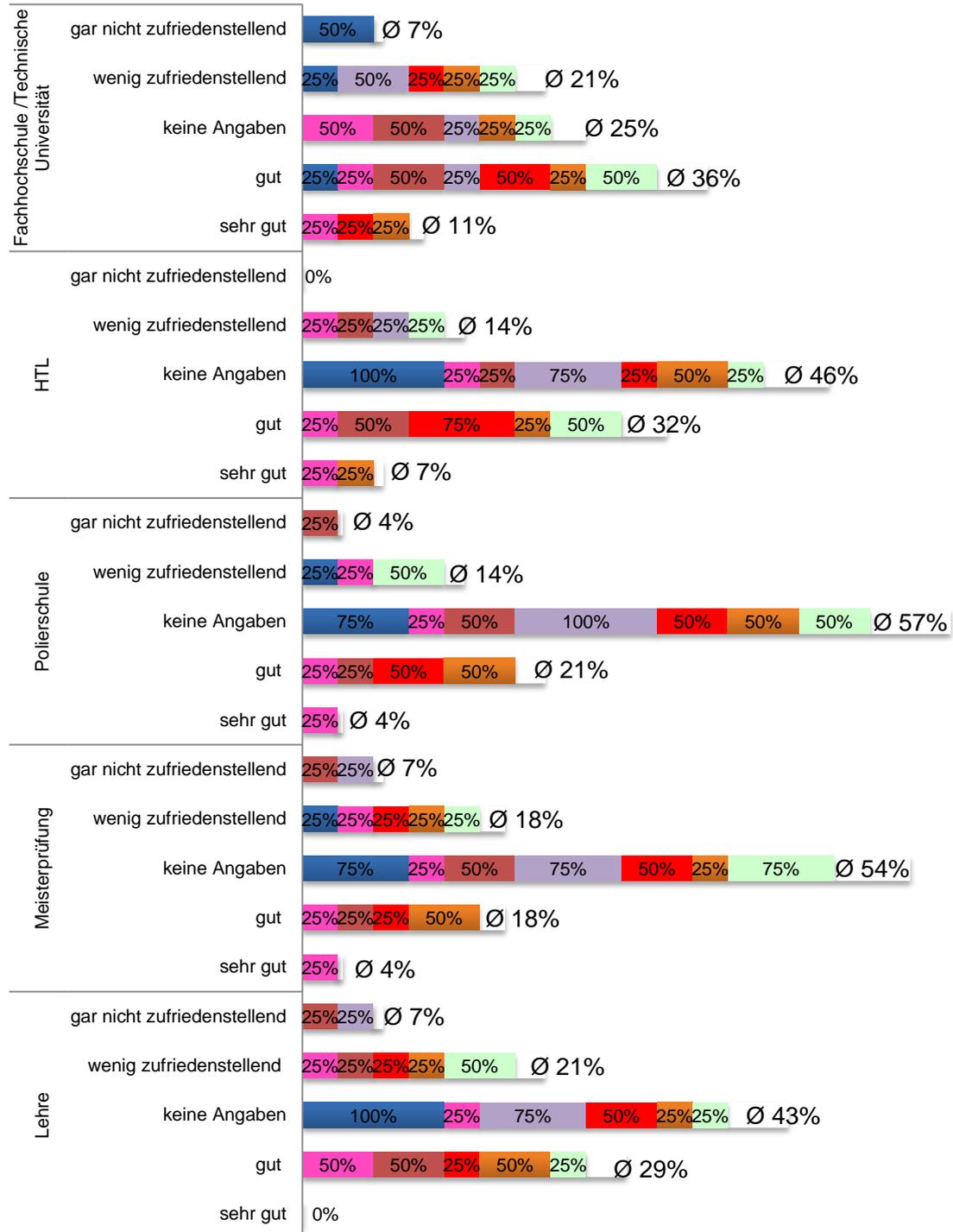


## Potenzial für die Entwicklung neuer Bausysteme in der industriellen Vorfertigung



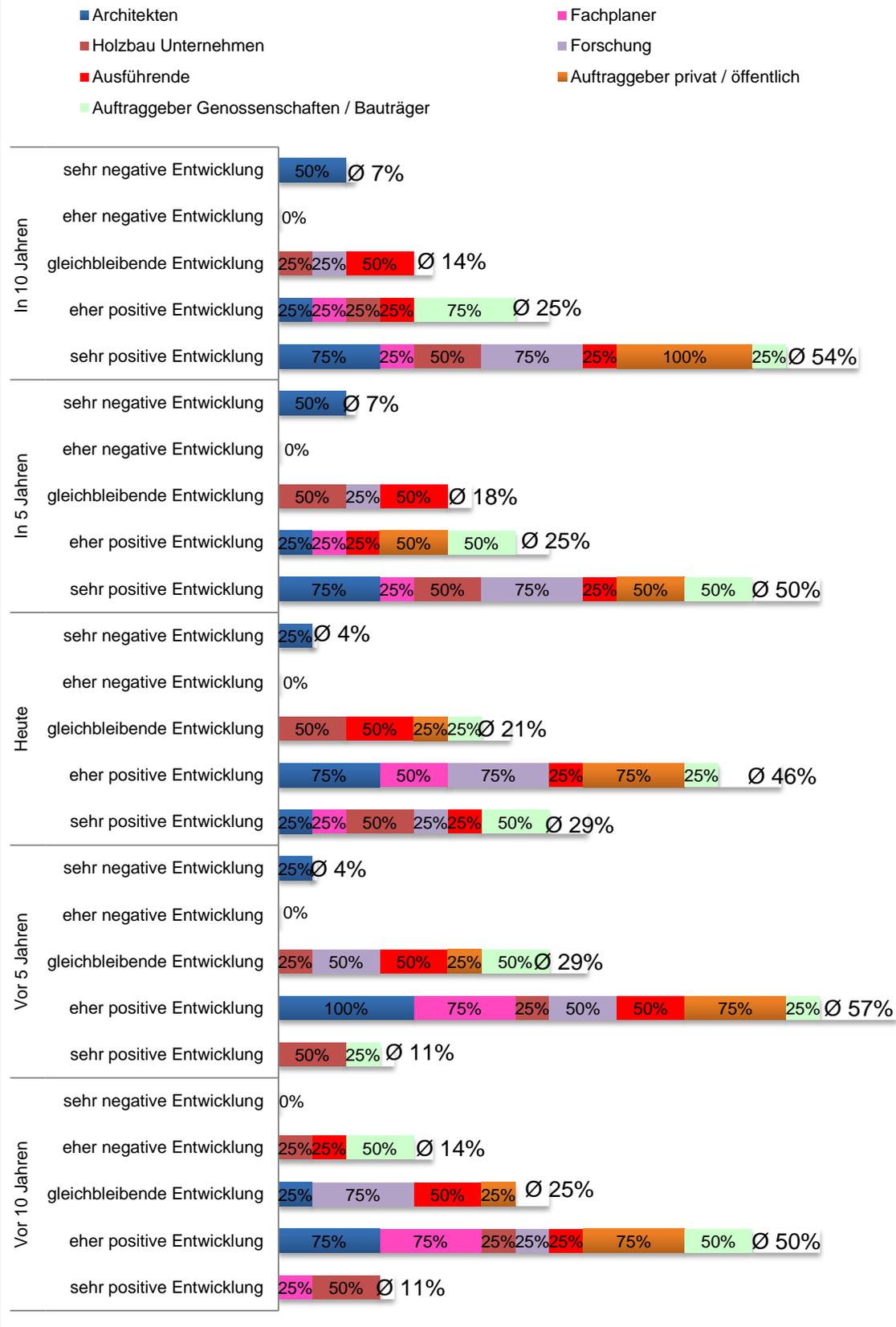
	Erstellung von Systemlösungen					Ermittlung und Zusammenfassende Darstellung von Kennzahlen bezüglich Wärme- und Schallschutz					Ermittlung und Zusammenfassende Darstellung von Kennzahlen bezüglich des Brandschutzes					Weiterentwicklung der Herstellungsprozesse					Verbesserung der Baustelleneigistik				
	sehr hohes Potenzial	hohes Potenzial	keine Angaben	eher geringes Potenzial	sehr geringes Potenzial	sehr hohes Potenzial	hohes Potenzial	keine Angaben	eher geringes Potenzial	sehr geringes Potenzial	sehr hohes Potenzial	hohes Potenzial	keine Angaben	eher geringes Potenzial	sehr geringes Potenzial	sehr hohes Potenzial	hohes Potenzial	keine Angaben	eher geringes Potenzial	sehr geringes Potenzial	sehr hohes Potenzial	hohes Potenzial	keine Angaben	eher geringes Potenzial	sehr geringes Potenzial
Architekten	50%	50%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%
Fachplaner	25%	75%	0%	0%	0%	25%	25%	50%	0%	25%	25%	25%	50%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%	0%
Holzbau Unternehmen	50%	25%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	25%	0%	75%	75%	0%	0%	25%	50%	0%	0%	0%	0%
Forschung	75%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ausführende	50%	50%	0%	0%	0%	0%	75%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%
Auftraggeber privat / öffentlich	25%	75%	0%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	25%	25%	50%	50%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	25%	25%	75%	0%	0%	0%
Auftraggeber Genossenschaften / Bau	25%	25%	25%	0%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	75%	0%	0%	0%
Ø	43%	43%	4%	0%	0%	11%	39%	25%	11%	0%	11%	46%	25%	7%	0%	18%	68%	0%	4%	4%	18%	71%	0%	0%	0%

## Bewertung der aktuellen Lehre und Ausbildung zum Thema industrieller Vorfertigung



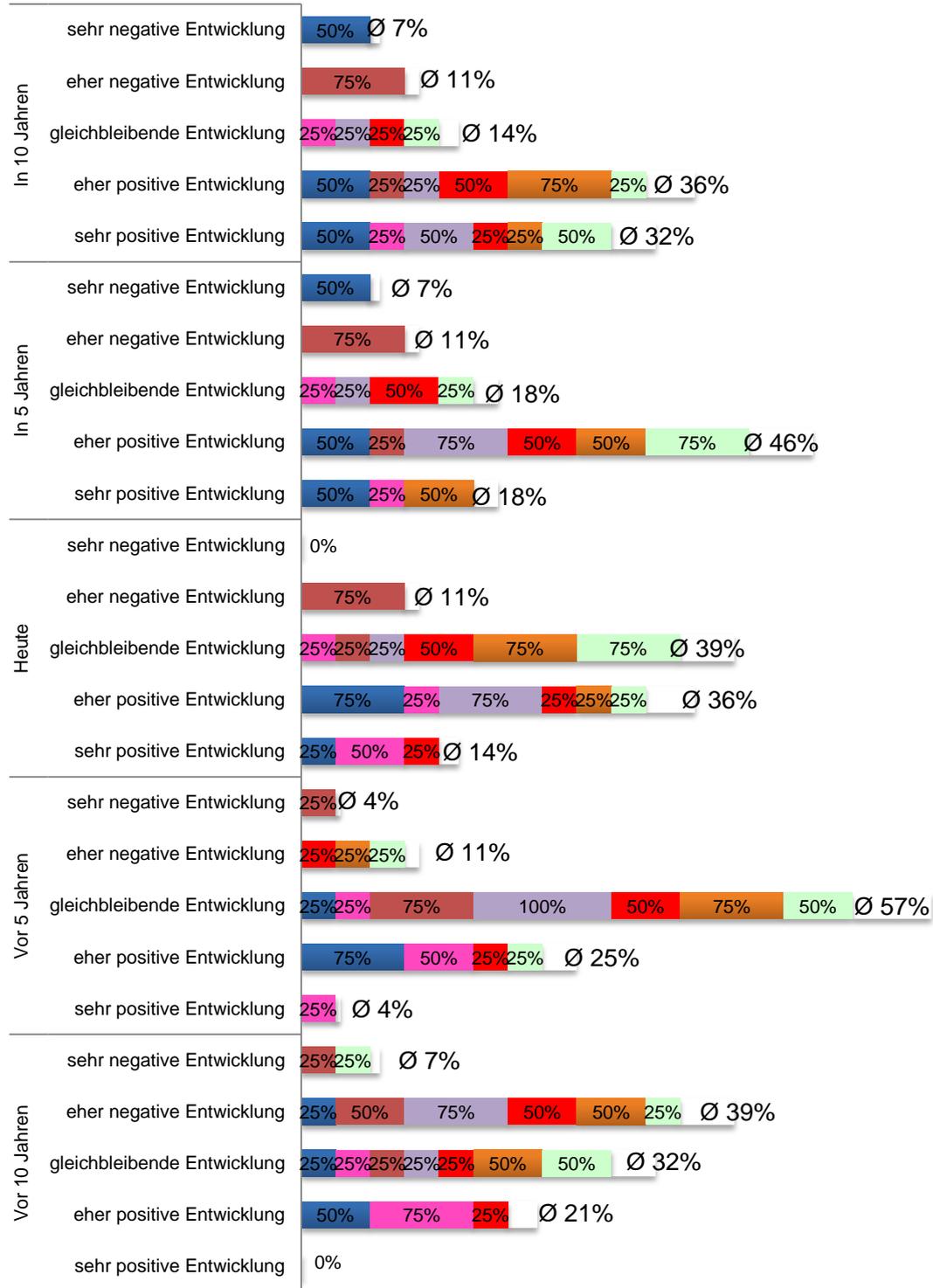
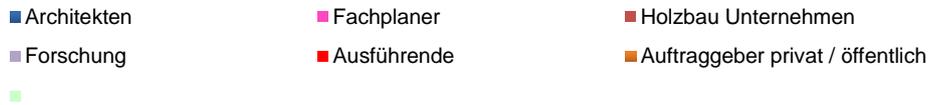
	Lehre					Meisterprüfung					Polsterchule					HTL			Fachhochschule / Technische Universität				
	sehr gut	gut	keine Angaben	wenig zufriedenstellend	gar nicht zufriedenstellend	sehr gut	gut	keine Angaben	wenig zufriedenstellend	gar nicht zufriedenstellend	sehr gut	gut	keine Angaben	wenig zufriedenstellend	gar nicht zufriedenstellend	sehr gut	gut	keine Angaben	wenig zufriedenstellend	gar nicht zufriedenstellend			
Architekten	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Fachlehrer	0%	50%	25%	25%	0%	25%	25%	25%	0%	25%	25%	25%	25%	0%	25%	25%	25%	25%	0%	25%	25%		
Holzbau Unternehmen	0%	50%	0%	25%	25%	0%	25%	50%	0%	25%	0%	25%	25%	0%	25%	0%	50%	25%	0%	50%	0%		
Forschung	0%	0%	75%	0%	25%	0%	0%	75%	0%	25%	0%	0%	75%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	50%	0%		
Ausführende	0%	25%	50%	25%	0%	0%	25%	50%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	25%	0%		
Auftraggeber privat / öffentlich	0%	50%	25%	25%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	25%	50%	0%	0%	25%	25%	25%	25%	0%	25%	0%		
Auftraggeber Genossenschaften / Bau	0%	25%	25%	50%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	50%	25%	25%	25%	0%	0%		
Ø	0%	29%	43%	21%	7%	4%	21%	57%	14%	4%	7%	32%	46%	14%	0%	11%	36%	23%	21%	7%	0%		

## Elementbau: Potential der industriellen Vorfertigung im Holzbau



	Vor 10 Jahren					Vor 5 Jahren					Heute					In 5 Jahren					In 10 Jahren				
	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung
Achitekten	0%	75%	25%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	25%	25%	75%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	25%	75%	25%	25%	0%	0%	50%
Fachplaner	25%	75%	0%	0%	0%	0%	75%	0%	0%	25%	25%	50%	0%	0%	50%	25%	0%	0%	25%	75%	25%	25%	0%	0%	0%
Holzbau Unternehmen	50%	25%	0%	25%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	50%	0%	50%	0%	0%	50%	50%	25%	0%	0%	0%
Forschung	0%	25%	75%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	25%	25%	75%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	25%	75%	25%	25%	0%	0%	0%
Austführende	0%	25%	50%	25%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	25%	50%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	50%	0%	0%	0%
Auftraggeber privat / öffentlich	0%	75%	25%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%	0%	75%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	0%
Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger	0%	50%	50%	50%	14%	0%	25%	25%	0%	0%	50%	25%	29%	0%	4%	29%	46%	21%	0%	4%	50%	50%	18%	0%	7%
Ø	11%	50%	25%	14%	0%	11%	57%	29%	0%	4%	29%	46%	21%	0%	4%	29%	21%	0%	4%	50%	50%	18%	0%	7%	

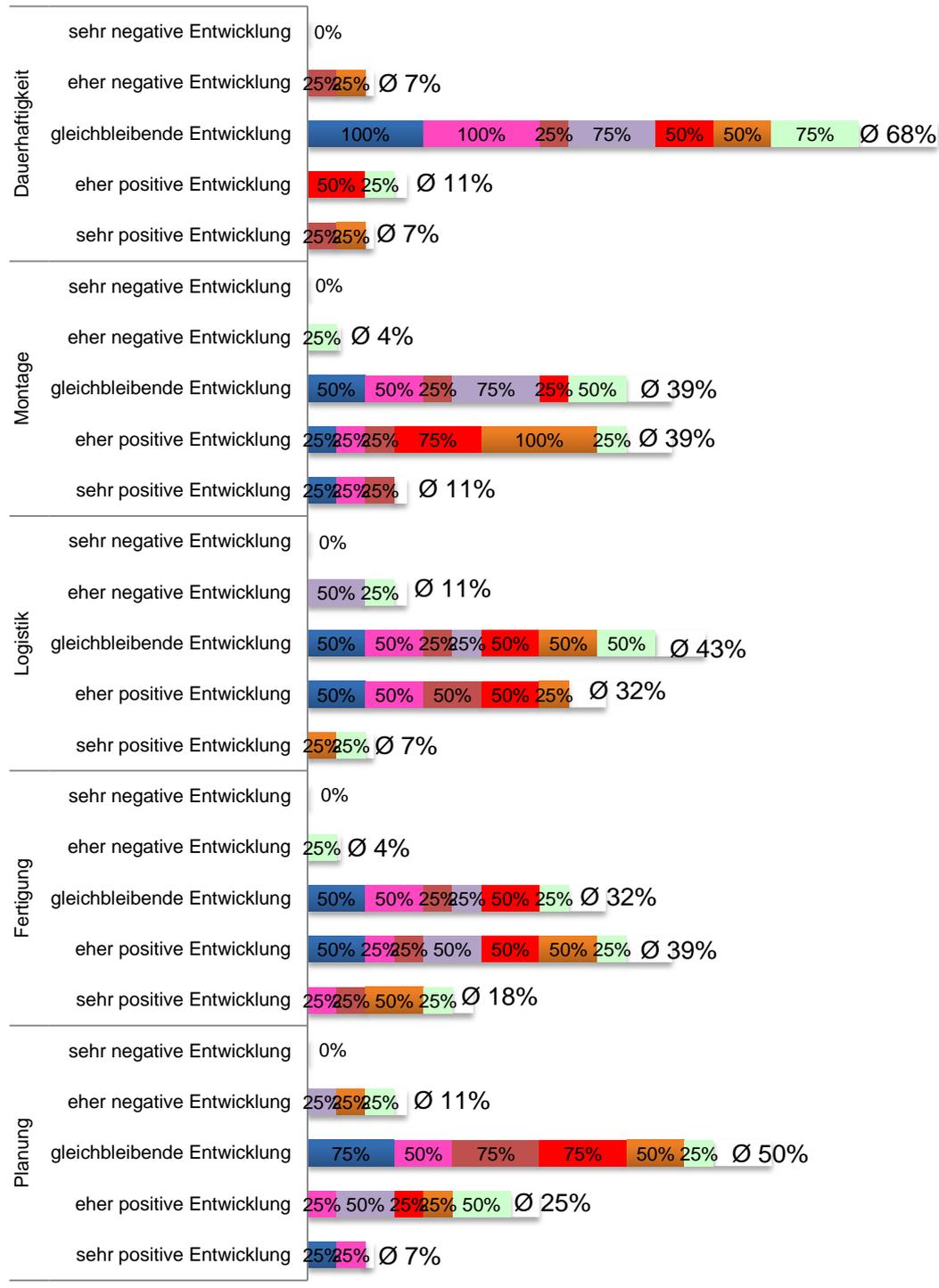
## Modulbau: Potential der industriellen Vorfertigung im Holzbau



	Vor 10 Jahren				Vor 5 Jahren				Heute				In 5 Jahren				In 10 Jahren			
	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung
Architekten	0%	50%	25%	25%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	50%	50%
Fachplaner	0%	75%	25%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	50%	25%	0%	0%	25%	0%	25%	0%	25%	0%
Holzbau Unternehmen	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	75%	0%	0%	0%	0%	75%	0%	0%	0%	0%	75%	0%	0%
Forschung	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%
Ausführende	0%	25%	25%	50%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	25%	25%	50%	0%	50%	50%	50%	0%	0%	0%
Auftraggeber privat / öffentlich	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	75%	0%	0%	50%	50%	25%	0%	0%	0%
Ø	0%	21%	32%	39%	7%	4%	25%	57%	11%	4%	14%	36%	39%	11%	18%	46%	18%	11%	7%	0%

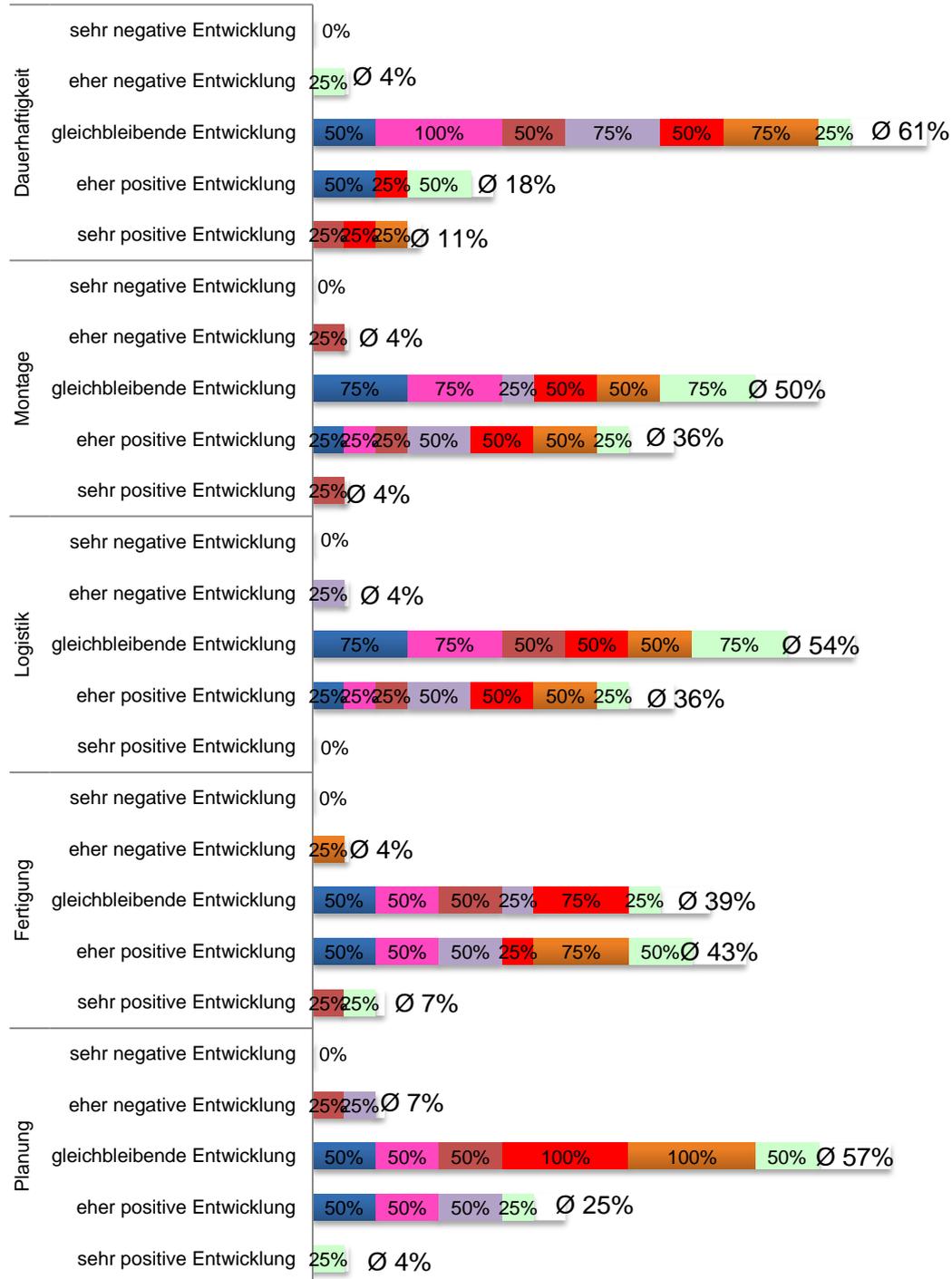
## Handhabung unterschiedlicher Aspekte des industriellen Holzbaus im Vergleich zur industriell vorgefertigten Betonbauweise

- Architekten
  - Holzbau Unternehmen
  - Ausführende
  - Auftraggeber Genossenschaften / Bauträger
- Fachplaner
  - Forschung
  - Auftraggeber privat / öffentlich





## Handhabung unterschiedlicher Aspekte des industriellen Holzbaus im Vergleich zur industriell vorgefertigten Stahlbauweise



	Planung					Fertigung					Logistik					Montage					Dauerhaftigkeit				
	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung	sehr positive Entwicklung	eher positive Entwicklung	gleichbleibende Entwicklung	eher negative Entwicklung	sehr negative Entwicklung					
Architekten	0%	50%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%					
Fachplaner	0%	50%	50%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%					
Holzbau Unternehmen	0%	0%	50%	25%	0%	25%	0%	50%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	25%	0%	25%	0%	0%	0%					
Forschung	0%	50%	0%	25%	0%	0%	50%	25%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	0%					
Ausführende	0%	0%	100%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%					
Auftraggeber privat / öffentlich	0%	0%	100%	0%	0%	0%	75%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	0%					
Auftraggeber Genossenschaften / B	25%	25%	50%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	25%	75%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%					
Ø	4%	25%	57%	7%	0%	7%	43%	39%	4%	0%	0%	36%	54%	4%	4%	36%	50%	4%	0%	0%					