

Einfluss von typisierten und vorgefertigten Bauteilen oder Bauteilgruppen auf die Kosten von Neubauten und Bestandsmodernisierungen

Abschlussbericht

Forschungsauftrag

Einfluss von typisierten und vorgefertigten Bauteilen oder Bauteilgruppen auf die Kosten von Neubauten und Bestandsmodernisierungen

Projektlaufzeit

01. April 2015 bis 31. August 2015

Aktenzeichen

AZ 10.08 17.7-14.54

im Auftrag

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

bearbeitet von

IAB – Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH

Dr.-Ing. Ulrich Palzer

Dr.-Ing. Barbara Janorschke

Dr.-Ing. Matthias Kott

Dr.-Ing. Ingrid Lützkendorf

Dipl.-Ing. Cornelia Pritzel

Dipl.-Ing. Birgit Rebel

Dipl.-Ing. Kerstin Schalling

Dipl.-Ing. Volker Stange

Kurzfassung

Das BBSR hat die vorliegende Studie beauftragt, um den gewissenhaften Umgang mit materiellen sowie finanziellen Ressourcen im Bereich des „Wohnens“ zu befördern und die Baukostensenkungskommission im „Bündnis für bezahlbares Wohnen und Bauen“ praxisbezogen zu unterstützen.

Erhöhter Bedarf

Aus der Notwendigkeit heraus, preiswerten Wohnraum für breite Bevölkerungsschichten zur Verfügung zu stellen, kam es im Zuge der industriellen Revolution zu einer Rationalisierung und Industrialisierung von Bauprozessen und Bauweisen.

Strukturwandel

Baustoffe wie Glas und Stahl beförderten diese Entwicklung. Das Wohnen wurde funktionalisiert und fand in einer einfachen, klaren Formensprache seine Entsprechung (Neues Bauen). Mit der Entwicklung der Hebetchnik konnten sich neue Bauweisen und Bauverfahren im Massenwohnungsbau etablieren. Charakterisierte geschlossene Bausysteme dessen Entwicklung in Europa nach dem 2. Weltkrieg bis ca. 1970, begann infolge des stereotypen Erscheinungsbildes der Wohnbauten eine Flexibilisierung der Bausysteme. Seit 1985 kennzeichnen offene Systeme, auch Komponentenbauweise genannt, das Bauen.

Analyse Verfahren/Bauweisen

Fertigbauverfahren kennzeichnen die Verlagerung der Baustellenprozesse in die Vorfertigung. Sie überzeugen gegenüber traditionellen Verfahren durch hohe Produktqualität und kürzere Bauzeiten. Verbindliche Bauzeitenpläne führen zu einer höheren Kalkulations-sicherheit und geben allen Gewerken eine größere Planungssicherheit.

Tunnelschal- und Deckenhubverfahren stellen zwar effiziente Baustellenverfahren dar, erfahren jedoch aufgrund hoher Investitionskosten für die technische Ausrüstung, regional unterschiedlicher Bedarfe und der kleinteiligen Struktur der Bauunternehmen in Deutschland keine Umsetzung.

Wandbauweisen eignen sich besonders für Gebäude, mit einer Vielzahl gleicher Räume, deren Raumaufteilung sich periodisch wiederholt. Neue Deckensysteme realisieren größere Spannweiten, was „Flexibilität“ impliziert.

Die Wirtschaftlichkeit der Skelettbauweise liegt in der Systematisierung von Gebäudestruktur und Bauteilen, in der Flexibilität von Grundriss- und Fassadengestaltung sowie der Trennung von Trag- und Hüllkonstruktion.

Modulbauweisen zeichnen sich durch ihren hohen Vorfertigungsgrad und extrem kurze Bauzeiten aus.

Auswertung: Trennung Hülle/Tragstruktur

Vorbehalte gegenüber einzelnen Bauweisen sind subjektiv begründet wie auch in baurechtlichen Hemmnissen zu suchen – insbesondere im Holzbau durch z. B. unterschiedliche Regelungen in den Landesbauordnungen. Die Analyse vorgefertigter baulicher Anlagen belegt, dass Aufzugsschächte, Balkone, Raummodule und Treppenelemente bei entsprechenden Seriengrößen einen effizienten Beitrag zur Kostensenkung im Wohnungsbau leisten können. Vereinfachungen, wie ebenerdige Abstellflächen und Kriechräume an Stelle von Kellergeschossen bzw. Installations-ebenen, bieten weitere Ansätze für Kosteneffizienz. Im Interesse nachhaltiger Baukonstruktionen ist die konsequente Trennung von Trag- und Hüllkonstruktionen umzusetzen. Skelett- wie auch Querwandbauweisen erfüllen diese Forderungen ohne Einschränkungen. Vorgestellte bzw. vorgehangene Wandkonstruktionen bieten flexible Hüll- und Gestaltungsvarianten.

Auswertung: Trennung Trag-/Ausbaustruktur

Eine wesentliche Voraussetzung für das kostengünstige Bauen ist auch die Trennung von Tragkonstruktion und technischer Ausrüstungsstruktur aufgrund unterschiedlicher Lebenszyklen. Entwicklungen im Fertigteilsektor müssen einer neuen Entwurfsphilosophie folgen und die Lebensdauer verschiedener Bauwerkskomponenten einbeziehen. Elemente mit einer kürzeren Lebensdauer sollten rückgebaut werden können, ohne die Tragstruktur (mit höherer Lebensdauer) zu beeinträchtigen.

Der Vorfertigung technischer Ausrüstungen kommt dabei eine immer größer werdende Bedeutung zu, nicht zuletzt auch infolge einer massiven Verschiebung der Rohbau- zugunsten der Ausbaukosten in den letzten 20 Jahren.

Zerstörungsfrei demontierbare Konstruktionen können sowohl im Beton- als auch im Stahl- und Holzbau nachhaltige Ansätze bieten. Stahl- und Holzbauweisen besitzen aufgrund ihrer schalenartigen Elementaufbauten konstruktive Vorteile gegenüber Beton- und monolithischen Bauweisen. In der Entwicklung funktionsintegrierter Bauteile im Betonbau sind dauerhafte Verbünde zu überdenken und demontierbare Lösungsansätze in den Fokus künftiger Forschungen zu stellen. Aufgabenstellung ist es, vor allem Betonbauteile mit einem intelligenten Netz ausbaufähiger und nachrüstbarer Leitungs- bzw. Kanalstrukturen (Boden-, Decken-, Vertikalkanäle) zu entwickeln. Alternativen stellen Unterdecken und Vorwandsysteme mit modula-

rer Vorrüstung für Heizung, Lüftung, Elektro, Brandmelder usw. dar.

Eine durchgängige Integration der Ausbaugewerke in die Vorfertigung, unter strikter Umsetzung der beschriebenen Trennungsmaxime, ist vor allem auch vor dem Hintergrund der notwendigen Verlagerung von Baustellenprozessen in die Vorfertigung zu sehen.

Diese Entwicklung wird durch den Mangel an erfahrenen und qualifizierten Arbeitskräften auf der Baustelle befördert. Daher muss die Produktentwicklung darauf gerichtet sein, Arbeiten auf der Baustelle durch Systeme einfacher, schneller und damit kostengünstiger zu gestalten.

Intelligente, komplett vorgerüstete Ausbaumodule bieten für Planung, Bauablauf und Baustellenkoordination professionelle Alternativen zu herkömmlichen handwerklichen Lösungen. Die Vorteile sind Sicherheit, Kostenersparnis und eindeutig zugeordnete Gewerkeschnittstellen. Vorkonfektionierte Installationssysteme lassen sich im Werk schneller einbauen. Leerlaufzeiten infolge fehlender Gerätschaften oder aufgrund von Materialengpässen werden reduziert. Die werkseitige Montage bedeutet zudem weniger Schmutz und Lärm auf der Baustelle bei deutlich kürzerer Bauzeit.

Zusammenfassung/Trends

Die Vorfertigung, die in anderen Industriezweigen qualitativ und quantitativ akzeptierte Produktionsverfahren darstellt, leidet im Bauwesen unter dem Negativimage Uniformität. Quantität unter Beibehaltung von Qualitätsstandards ist jedoch eine Voraussetzung für kostengünstiges Bauen.

Es ist erforderlich, preiswerte und nachhaltige Systembauweisen mit industrieller Grundstruktur zu entwickeln. In die Betrachtungen sind die gesamten Lebenszykluskosten der unterschiedlichen Bauweisen und Baumaterialien einzubeziehen. Die Entwicklung und industrielle Herstellung konstruktiver Fertigteilsysteme muss eine Einheit bilden. Der Einsatz intelligenter, adaptiver Haustechniksysteme, vorkonfektionierte, reversibel, bauteilintegriert oder in Form modularer „Trockenbausysteme“ muss dem Prinzip der Trennung von Roh- und Ausbaustrukturen folgen. Systemkomponenten müssen für Neu- und Umbauten im Bestand einsetzbar sein. Wiederverwendbare und erprobte Konzepte sowie die Nutzung und Integration bereits bestehender Detaillösungen erhöhen die Wirtschaftlichkeit.

Vorfertigung ermöglicht ein hohes Maß an Präzision und Qualität. Losgrößen der Bauteile wie auch der Bauserien haben einen entscheidenden Einfluss auf Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Just-in-time-Prozesse reduzieren Lagerhaltung auf der Baustelle und befördern die Logistik bei Baulückenschließungen bzw. Baustellen mit eingeschränkten Lagerflächen.

Um Kostensenkungspotentiale durch stationäre Vorfertigung auszuschöpfen, sind Investitionen in die Maschinentechnik, openBIM (Building Information Modeling) und nicht zuletzt die Mitarbeiter (Qualifizierung) notwendig.

Der Automationsgrad zur Herstellung vorgefertigter Bauteile/Module ist im Interesse einer weiteren Prozessverlagerung in die Vorfertigung auszubauen und zu rationalisieren. Daher wird die Automation von Bauprozessen zukünftig eine größere Rolle spielen als bisher.

Industrielle Technik ermöglicht an individuelle Bedürfnisse angepasste Tragwerk- und Architekturösungen, sichert eine hohe Zuverlässigkeit bei der Bauausführung und führt aufgrund der weitestgehenden Witterungsunabhängigkeit zu einer termingerechten Baufertigstellung. Baukosten können vor Baubeginn exakt ermittelt werden.

Der Prozess zur Forschung und Entwicklung entsprechender Vorfertigungsstrukturen und -strategien muss stärker aktiviert werden, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit und Exportfähigkeit der deutschen Bauindustrie im 21. Jh. sowie eine Verbesserung der Arbeitsverhältnisse im Bauwesen sicherzustellen. Digitale Dokumente sind Grundvoraussetzung für Rationalisierungsprozesse im Bauwesen.

Bereits in der Planungsphase muss eine eindeutige Weichenstellung im Hinblick auf Konstruktion und damit auf Vorfertigung erfolgen, um wirtschaftliche Ressourcen erschließen zu können. Kosten sparen setzt vernetztes Denken und Planen voraus. Ökonomisch unvertretbar ist, dass beispielgebende und ausgezeichnete Projekte Unikate bleiben und die geleistete Entwicklungsarbeit in den seltensten Fällen weitergeführt wird. Optimierungsmöglichkeiten bleiben somit ungenutzt. Dies betrifft sowohl Lösungen im Beton- wie auch im Holzbau. Der Stahlbau spielt gegenwärtig mit 0,2 % Marktanteil keine Rolle im Wohnungssektor, bietet aber ausbaufähige Potentiale.

Es erscheint sinnvoll, Modellprojekte regional zu analysieren, Konstruktionen zu rationalisieren und Basisbaukästen zu entwickeln. Dabei geht es nicht um eine stereotype Kopie des Massenwohnungsbaus, sondern vielmehr um die intelligente Entwicklung wandlungs- und anpassungsfähiger Ausbaustrukturen.

Offene Bausysteme ermöglichen die Verknüpfung unterschiedlicher Materialien und differenter Elemente zur Herausbildung einer anspruchsvollen Architektur. Regionale Vorteile können bei dieser Entwicklung effizient genutzt werden.

Bauen mit Fertigteilen muss aufgrund der gesellschaftlichen Erfordernisse verstärkt auch in der Ausbildung von Architekten seinen Niederschlag finden. Modelle müssen in Systemlösungen überführt werden. Daraus ableitend sind Forschungen in diesem Sektor zu stärken.

Die Fülle von Vorschriften, Innovationen und neuen Materialien im Bauwesen bewirkt, dass Planer vielfach auf bewährte Bauverfahren (traditionelle Bauweisen und Ortbetonverfahren) und bekannte Materialien zurückgreifen. Folge ist die immer stärkere Spezialisierung der Planer mit der Gefahr einer fehlenden objektiven Einschätzung hinsichtlich der Leistungsfähigkeit anderer Bauverfahren, Konstruktionen und Materialien. Mit Blick auf das Thema Nachhaltigkeit im kostengünstigen Bauen müssen bereits im Entwurf Nutzungsanpassungen (Konstruktionslösungen, Spannweiten, Deckenbelastungen) antizipiert werden. In den Niederlanden liegen hierzu positive Erfahrungen vor.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Modellprojekte (2010 bis 2015) analysiert. Aus diesen Projekten konnten aufgrund fehlender Vergleichbarkeit keine Vorteile für Beton-, Stahl- oder Holzbauweisen generiert werden. Die Ursachen liegen in einer starken Vermischung von Bauweisen und Materialien. Die geringe Anzahl der Modellprojekte in Stahlbauweise unterstreicht die gegenwärtig fehlende Relevanz im mehrgeschossigen Wohnungsbau ebenso wie die der in Modulbauweise errichteten Gebäude. Hier besteht jedoch gerade in wohnähnlichen Nutzungen eine größere Akzeptanz.

Baurechtliche, aber auch subjektive Faktoren stehen einer Verbreitung insbesondere der Holz- und Stahlbauweisen entgegen. Das Marketing wirkt entscheidend auf die Marktpräsenz der Bauweisen.

Konstruktiv ist abzuleiten, dass sich die Bauweisen in Richtung Komponentenbauweisen entwickeln und ein zunehmender Einsatz von funktionsintegrierten Bauteilen im Decken- und Außenwandbereich zu verzeichnen ist. Vorgefertigte Holzaußenwandelemente finden verstärkten Einsatz in Betonbauweisen. Der Trend geht in Richtung vorgestellte/vorgehangene Außenwandkonstruktionen. Die Vorzüge der brandschutztechnischen Eigenschaften von Stahlbetonkonstruktionen nutzen alle Bauweisen im Bereich von Treppenhäusern und Aufzügen.

Aufgrund der Unterschiedlichkeit sowie der Anzahl der untersuchten Projekte sind keine belastbaren Aussagen zu den Baukosten abzuleiten. Dies würde Untersuchungen an „baugleichen“ Objekten in unterschiedlichen Bauweisen voraussetzen, um alle Einflussfaktoren zu erfassen.

Die Studie unterstreicht, dass durch eine Vielzahl von Faktoren große Kostenpotentiale erschlossen werden können.

Die Kosten hängen u. a. vom Bautyp, dem Standort und der nationalen wirtschaftlichen Situation, einschließlich Arbeits- und Materialkosten ab.

Wesentliche Kriterien bei der Entscheidungsfindung für die Umsetzung einer Baumaßnahme sind jedoch nicht nur Kosten, die mit dem Entwurf (u. a. Wahl der Mate-

rialien und des Bausystems) und dem Bau verbunden sind, sondern auch Kosten während der späteren Nutzung sowie Instandhaltungs-, Umbau- und Rückbau-, aber auch Recyclingkosten. Es gilt also, sich auf Gesamtbetriebskosten auszurichten, d. h. auch auf Kosten der Gebäudenutzung während der spezifischen Lebensdauer. Wirtschaftlichkeit ist daher nicht allein als Entscheidungskriterium im Sinne der Baukosten (Entwurf, Bau, Material) auszulegen.

Des Weiteren ergeben sich neue Kriterien aus Nachhaltigkeitsforderungen wie z. B. die bei der Produktion aufgewendete Energie, die CO₂-Bilanz, die Verantwortung zum Einsparen von Ressourcen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass im kostengünstigen Bauen der alleinige Blickwinkel auf die Baukosten nicht zielführend, sondern die Gesamtheit der Lebenszykluskosten in die Betrachtungen einzubeziehen ist. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen bleiben die Aussagen jedoch aufgabenseitig darauf beschränkt. Im Ergebnis der Untersuchungen wurden Handlungsanleitungen für Architekten, Kommunen, die Bauwirtschaft, Land und Bund abgeleitet.

Summary

The BBSR has commissioned the study presented in this paper to promote the responsible use of materials and financial resources in the field of housing and to support the Commission on Construction Cost Reduction within the "Alliance for Affordable Housing and Building".

Increased demand

In the course of the Industrial Revolution, the need to provide major parts of the population with affordable housing led to the streamlining and industrialisation of construction processes and methods.

Structural change

This development was driven by construction materials such as glass and steel. Housing underwent a functionalisation process and was expressed in a simple, clear formal vocabulary ("New Building"). New construction methods and processes emerged in multi-storey residential construction as a result of the introduction of lifting equipment. Whereas closed construction systems had characterised its development in post Second World War Europe until about 1970, the stereotype appearance of residential developments gave rise to the flexibilisation of these systems. Since 1985, this segment of the construction industry has been dominated by open systems; this method is also referred to as component construction.

Analysis of construction processes/methods

Building with precast elements is characterised by a shift of site processes to the prefabrication stage. Compared to traditional processes, prefabrication excels with its high product quality and shorter construction times. Binding site schedules increase costing certainty and make the planning process more reliable for all construction trades.

Despite the fact that tunnel-forming and lift-slab construction are efficient site processes, they are usually not implemented due to the associated major investment in equipment, regional differences in demand and the structure of the German construction industry, which is dominated by many small and medium-sized businesses.

Wall construction methods are particularly suitable for buildings with a large number of identical rooms whose layout shows a regular, repetitive pattern. New floor systems achieve wider spans, which implies the notion of "flexibility".

Framed construction is economically viable due to its systematic approach to determining both the building structure and individual components, its flexible layout and façade design options and the separation of the load-bearing structure from the envelope. Modular construction methods are characterised by their high

degree of prefabrication and extremely short construction times.

Evaluation: separation of envelope from load-bearing structure

Reservations with respect to individual construction methods exist for subjective reasons but also due to restrictions in construction law. The latter particularly applies to timber construction because of varying provisions in the building codes of the individual federal states. The analysis of prefabricated buildings and structures proves that lift shafts, balconies, modular units and stair elements can efficiently contribute to achieving cost reductions in residential construction, provided they are produced in sufficiently large series. Further cost efficiencies are possible if simplified ground-floor storage and crawl spaces are included in the design, rather than full-fledged basement floors or installation/service levels. The load-bearing structure must be consistently separated from the building envelope to make the entire building or structure sustainable. Both framed and shear wall construction fully comply with these requirements. Curtain or suspended wall structures provide flexible envelope and design options.

Evaluation: separation of load-bearing structure from building services

Another key prerequisite for cost-effective building is to separate the load-bearing structure from the entire range of building services because of their different life cycles. Any development in the precast sector should follow a new design philosophy and include the service lives of various structural components in the related considerations. Elements with shorter service lives should be reversible without having to intervene in the load-bearing structure with its longer service life.

In this respect, prefabrication of building services is becoming increasingly important, not least because of a massive shift from shell construction to fit-out and finishing costs in the past 20 years.

Structures capable of being disassembled in a non-destructive process can open up sustainable avenues in both concrete and steel and timber construction. Due to their shell-like element superstructures, steel and timber construction methods are associated with certain advantages compared to concrete and other monolithic methods. When developing functionally integrated components in concrete construction, permanent bonds should be critically reviewed, and future research should focus on demountable solutions. The primary task is to develop structural concrete components that are equipped with an intelligent system of lines and ducts (including floor, ceiling and vertical ducts) that can be extended and retrofitted. Alternative solutions include suspended ceilings and curtain wall

systems with an integrated modular structure to accommodate heating, ventilation, electrical installations, fire alarm units etc.

It is crucial to consistently integrate finishing trades into the prefabrication stage whilst strictly adhering to the separation principles referred to above, particularly with respect to the required shift of processes from the construction site to prefabrication.

This trend is accelerated by the lack of experienced, appropriately skilled on-site workers. This is why product development must focus on systems that make site work easier, quicker and more cost-effective.

Intelligent modules that are completely pre-equipped for fit-out and finishing provide professional alternatives to conventional craft solutions at the design, construction and site coordination stages. Their advantages include safety and reliability, cost savings and clearly defined interfaces between the individual construction trades. Pre-equipped installation systems can be fitted more quickly at the factory. This approach reduces idle periods that result from a lack of appropriate equipment or material bottlenecks. Furthermore, factory assembly also reduces the amount of noise and dirt generated at the job site whilst significantly shortening the construction period.

Conclusion/trends

In the construction industry, prefabrication suffers from its negative image of being "uniform" or "monotonous", whereas such production processes are widely accepted in other industrial sectors in both qualitative and quantitative terms. However, a basic precondition for building cost-effectively is to manufacture the required quantities whilst upholding existing quality standards.

It is thus necessary to develop inexpensive, sustainable, systems-based construction methods combined with an underlying industrial structure. Considerations must include the complete life-cycle costs of the individual construction methods and materials. The development and industrial production of structural precast systems must be merged with each other to create a single, coherent process. The use of smart, adaptable systems for building services – pre-equipped, reversible, integrated in structural components or as modular "drywall systems" – must follow the principle of separating the building shell from the structures that accommodate services, fixtures and furnishings. System components must be suitable for use in new buildings and for the conversion of existing buildings. Cost effectiveness is increased even further by tried-and-tested, reusable concepts as well as by using and integrating existing detailed solutions.

Prefabrication enables a high degree of precision and a high quality standard. Batch sizes of produced elements and series have a major influence on efficiency

and cost effectiveness. Just-in-time processes reduce the amount of storage required at the construction site whilst streamlining logistics when closing gaps between buildings or on sites with limited storage space.

Investments in plant and equipment, openBIM (Building Information Modelling) and people (skills and qualifications) are necessary to unleash cost-saving potentials by implementing stationary prefabrication.

The degree of automation in the manufacture of prefabricated structural components/modules must be increased and the process even more streamlined to achieve an additional process shift to the prefabrication stage. This is why the automation of construction processes will play a more significant role than previously.

Industrial equipment enables structural and architectural solutions that are tailored to specific needs; it ensures a high degree of reliability during the construction process and timely project completion because of its independence of weather conditions. Construction costs can be accurately determined prior to commencement of the construction phase.

The research and development process to arrive at corresponding prefabrication structures and strategies must become more proactive to retain the global competitiveness and export capability of the German construction industry in the 21st century and to improve working conditions in the construction sector. Digital documents are a key prerequisite to implement streamlining processes in construction.

As early as in the planning phase, a clear course must be set toward appropriate engineering and prefabrication to free up economic resources. Any cost-saving activity will require a networked thinking and planning approach. It is intolerable from an economic point of view that award-winning, landmark projects are not replicated and that previous development work is continued only in very rare cases, thus preventing optimisation potentials from being utilised. This applies to solutions in both concrete and timber construction. Steel construction currently has a market share of only 0.2% in the residential sector, but it provides expansionary potential.

It appears useful to conduct regional analyses of pilot projects, to streamline structural designs and to develop basic modular toolkits. These efforts do not aim to re-establish a stereotyped copy of previous multi-storey construction. Rather, they should enable the development of fit-out and finishing structures that are adaptable and leave room for change.

Open construction systems make it possible to interlink various materials and different elements to conceive sophisticated architectural solutions. This development process is conducive to efficiently using regional advantages.

Social needs also require the option of building with precast elements to be more firmly rooted in architectural curricula. Isolated pilots must be transferred to complete system solutions. Related research in this sector should be strengthened.

The wealth of rules and standards, innovations and new materials in the construction sector often prompts designers to exclusively rely on tried-and-tested methods (conventional construction and cast-in-situ concrete) and known materials. This strategy results in an ever greater specialisation of designers, associated with the risk of a lack of objective judgment with respect to the performance characteristics of other construction processes, structures and materials.

With a view to the aspect of sustainability in cost-effective construction, the design stage must anticipate possible changes or modifications to the use of buildings (structural solutions, spans, ceiling loads). There are a couple of related positive examples in the Netherlands.

As part of the study, pilot projects completed from 2010 to 2015 were analysed. No advantages for concrete, steel or timber construction methods arose from these projects due to lack of comparability, which is due to a far-reaching "merger" of construction methods and materials. The small number of pilot steel construction projects underscores the fact that this method is currently irrelevant to multi-storey residential and modular buildings. However, this method is more widely accepted especially for uses similar to housing.

Both legal and subjective factors prevent a more widespread use of timber and steel construction. Related marketing activities have a major influence on the market share of the individual methods.

In structural terms, we conclude that the individual methods increasingly use a component approach, and a larger portion of functionally integrated structural components is used for ceilings and external walls. Prefabricated external timber wall elements are increasingly used as a complement to concrete construction. There is a trend toward curtain/suspended external wall designs. All methods utilise the beneficial

fire safety characteristics of reinforced concrete structures for staircases and lifts.

No reliable construction cost estimates can be made due to the number of examined projects and the differences between them. To capture all influential factors, any such estimate would require an analysis of "identically designed" projects completed by applying different construction methods.

This study proves that there are a large number of factors by which huge cost-saving potentials can be utilised.

Among other factors, costs depend on the type of building, its location and the situation of the national economy, including labour and material costs.

However, it is not only costs associated with building design (such as the choice of materials or of the construction system) or construction that inform the decision-making process to complete a construction project but also costs incurred during subsequent use, repair and maintenance, conversion, demolition and recycling. It is thus imperative to consider total operating cost, which also includes the cost of building use during its specific life-cycle. As a decision-making criterion, cost effectiveness should thus not only be guided by construction costs (i.e. design, construction, materials).

Moreover, new criteria arise from sustainability requirements such as the amount of energy consumed during production, the carbon footprint and the responsibility to achieve resource savings.

In summary, we find that it is inappropriate to merely consider construction costs for the purpose of implementing a cost-effective construction process. Rather, related considerations must include a total life-cycle cost analysis. However, the conclusions drawn from the above analyses are restricted to construction costs as far as related tasks and responsibilities are concerned. The above analyses were used as a basis to derive guidelines for action for architects, municipalities, the construction industry, the German federal states and the German government.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	2
Summary.....	5
Inhaltsverzeichnis.....	8
1 Aufgabenstellung.....	11
2 Methodik.....	11
3 Typisierung und Vorfertigung des Wohnungsbaus ab 1900.....	11
3.1 Entwicklungen bis zum 2. Weltkrieg.....	11
3.1.1 Deutschland 1900 bis zum 2. Weltkrieg.....	11
3.1.2 Europa 1900 bis zum 2. Weltkrieg.....	13
3.2 Entwicklungen nach dem 2. Weltkrieg.....	14
3.2.1 Deutschland.....	14
3.2.1.1 Entwicklung des Wohnungsbaus in Westdeutschland.....	14
3.2.1.2 Entwicklung des Wohnungsbaus in Ostdeutschland.....	15
3.2.1.3 Entwicklung des Wohnungsbaus in Deutschland nach 1990.....	16
3.2.2 Entwicklung des Wohnungsbaus in Europa.....	16
3.2.2.1 Finnland.....	17
3.2.2.2 Frankreich.....	17
3.2.2.3 Niederlande.....	17
3.2.2.4 Österreich.....	18
3.2.2.5 Russland.....	18
3.2.2.6 Schweiz.....	18
3.2.2.7 Weißrussland.....	18
3.3 Fazit Entwicklung Wohnungsbau.....	19
4 Untersuchungen standardisierter Bauverfahren im Wohnungsbau.....	20
4.1 Analyse standardisierter Bauverfahren.....	20
4.1.1 Standardisierte Bauverfahren im Neubau.....	20
4.1.1.1 Fertigteilmassivbauverfahren.....	20
4.1.1.2 Tunnelschalverfahren.....	24
4.1.1.3 Deckenhubverfahren.....	26
4.1.1.4 Fazit standardisierende Bauverfahren im Neubau.....	27
4.1.2 Standardisierte Bauverfahren in der Sanierung/Modernisierung.....	28
4.1.3 Fazit Bauverfahren Sanierung/Modernisierung.....	32
4.2 Analyse standardisierter Bauweisen.....	32
4.2.1 Systemansätze.....	32
4.2.1.1 Wandbauweisen.....	32
4.2.1.2 Skelettbauweise.....	33
4.2.1.3 Modulbauweise.....	33
4.2.1.4 Fazit standardisierte Bauweisen.....	34
4.2.2 Materialansätze.....	34
4.2.2.1 Beton.....	34
4.2.2.2 Holzbau.....	35
4.2.2.3 Stahlbau.....	36
4.2.2.4 Ziegelementbauweise.....	37

4.2.2.5	Fazit Materialeinsätze.....	37
4.3	Vorgefertigte Bauelemente.....	39
4.3.1	Analyse Bauwerk - Vorgefertigte Baukonstruktionen.....	39
4.3.1.1	Fundamente/Gründung.....	39
4.3.1.2	Keller.....	39
4.3.1.3	Decken.....	39
4.3.1.4	Außenwände/Fassade.....	39
4.3.1.5	Innenwände.....	40
4.3.1.6	Treppen/Treppenhäuser.....	40
4.3.1.7	Dachkonstruktionen.....	40
4.3.1.8	Balkone.....	40
4.3.1.9	Aufzüge.....	41
4.3.1.10	Fenster und Türen.....	41
4.3.1.11	Fazit/Ausblick Baukonstruktion.....	41
4.3.2	Analyse Bauwerk - Vorgefertigte Technische Anlagen.....	41
4.3.2.1	Heizung und Wasserversorgung.....	41
4.3.2.2	Lüftungsinstallation.....	42
4.3.2.3	Sanitärinstallation.....	42
4.3.2.4	Elektroinstallation.....	42
4.3.2.5	Fazit/Ausblick Technische Anlagen.....	43
4.3.3	Schlussfolgerungen für vorgefertigte Bauelemente.....	44
5	Modellprojekte Deutschland.....	46
5.1	Vorbemerkungen.....	46
5.2	Holzbauweise.....	48
5.3	Stahlbauweise.....	49
5.4	Raumsystembauweise.....	50
5.5	Fazit/Ausblick Modellprojekte.....	50
5.6	Bewertung der Bauweisen aus Sicht der Planer, Bauherren, Bauwirtschaft.....	51
5.6.1	Vorbemerkungen.....	51
5.6.2	Wirtschaftliche Faktoren.....	51
5.6.3	Subjektive Faktoren.....	55
6	Potentialabschätzung zur Reduzierung der Baukosten.....	57
6.1	Kostenentwicklung im Wohnungsbau.....	57
6.1.1	Rahmenbedingungen.....	57
6.1.2	Auswertung von Baukostenanalysen.....	58
6.1.2.1	Baukostenentwicklung/Ausgangssituation.....	58
6.1.2.2	Literaturauswertung Erkenntnisse.....	58
6.1.2.3	Baukostenvergleiche Mehrfamilienhäuser.....	59
6.1.2.4	Baukostenvergleiche Wohnflächenbasis.....	63
6.2	Auswertung Modellprojekte/Kostenuntersuchungen.....	67
6.2.1	Modellprojekte in Stahlbetonbauweise.....	67
6.2.2	Modellprojekte in Holzbauweise.....	67
6.2.3	Modellprojekte in Stahlbauweise.....	68
6.2.4	Modellprojekte in Raumzellenbauweise.....	68
6.2.5	Schlussfolgerungen.....	68

6.3	Identifikation von Potentialen zur Kostensenkung	69
6.3.1	Potentiale im Planungsprozess	69
6.3.2	Potentiale der Bautechnik	70
6.3.3	Identifikation Typologien	70
6.3.4	Potentiale der Siedlungsstruktur/Topografie/Erschließung	71
7	Evaluierung der Ergebnisse	74
7.1	Handlungsanleitungen Architekten/Planer	76
7.2	Handlungsanleitungen Bauwirtschaft	76
7.3	Handlungsanleitungen Kommunen	77
7.4	Handlungsanleitungen Bund/Land	77
	Abbildungsverzeichnis	78
	Tabellenverzeichnis	80
	Literaturverzeichnis	81

1 Aufgabenstellung

In vorliegender Studie wird der Einfluss von typisierten und vorgefertigten Bauteilen oder Bauteilgruppen auf die Kosten von Neubauten und Bestandsmodernisierungen untersucht. Mit dem „Bündnis für bezahlbares Wohnen und Bauen“ will die Bundesregierung dem Trend steigender Mieten infolge des Ungleichgewichts aus Angebot und Nachfrage im Wohnungssektor entgegenwirken. Das bearbeitete Forschungs- und Entwicklungsvorhaben stellt eine praxisbezogene Unterstützung der Baukostensenkungskommission dar.

Die Recherchen und Schlussfolgerungen der Untersuchungen sollen einen Beitrag leisten, Typisierungs- und Vorfertigungskonzepte von Bauteilen oder Bauteilgruppen zur Baukostensenkung sowohl im Neubau als auch in der Modernisierung zu nutzen. Die vorliegenden Ergebnisse basieren auf am Markt verfügbaren Daten. Eine Grundlagenforschung war nicht Gegenstand der beauftragten Leistungen.

2 Methodik

Für die Erarbeitung der Studie wurden neben statistischen Quellen u. a. Veröffentlichungen zu kostengünstigem Bauen, BKI-Kosten, Informationen von Fach- und Interessenverbänden, Bauherren, Planern sowie Herstellerangaben herangezogen. Eine systematische Aufbereitung aller Fakten kann jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden. Bauverfahren, Bauweisen, Bauelemente wurden daher systemisch betrachtet und Vorteile und Nachteile verbal herausgestellt. Die Untersuchungen beschränken sich des Weiteren auf die Baumaterialien Beton, Stahl und Holz. Der Mauerwerksbau wird nur im Hinblick auf die Vorfertigung von Wandelementen einbezogen.

Dem grundlegenden Problem einer fehlenden Vergleichbarkeit von Projektdaten und Baukosten wurde durch Ableitung von Tendenzen begegnet. Trotz einer Vielzahl von Veröffentlichungen zu ausgezeichneten Wohngebäuden (Bauherrenpreise, BDA-Preis, Deutscher Architektur-, Bauherren-, Fassadenpreis, Preis der Betonfertigteilindustrie, Preis der Deutschen Zementindustrie usw.) zeichnete sich die Aufbereitung von Modellprojekten im Sinne der Aufgabenstellung als aufwändig ab, u. a. aufgrund z. T. fehlender Bereitschaft zur Freigabe von Projektdaten. In Abstimmung mit dem Auftraggeber erfolgte daher eine Beschränkung der zu untersuchenden Projektkategorien.

Die Identifikation von Bautypologien, Bautechniken, Entwurfs- und Standortfaktoren für kostengünstiges Bauen anhand der untersuchten Modellprojekte wurde durch weiterführende Recherchen ergänzt und daraus Handlungsanleitungen für Architekten/Planer, Bauwirtschaft, Kommunen, Bund und Land abgeleitet.

3 Typisierung und Vorfertigung des Wohnungsbaus ab 1900

3.1 Entwicklungen bis zum 2. Weltkrieg

3.1.1 Deutschland 1900 bis zum 2. Weltkrieg

Landflucht und eine Umorganisation der Produktion bestimmen die bauliche Entwicklung in den Städten im 19. Jh. Infolge der Industrialisierung entstehen Fabriken und Betriebe. Das explosionsartige Bevölkerungswachstum an Produktionsstandorten führte schnell zu einem dramatischen Wohnungsmangel.

Die Arbeitersiedlungen bis 1890 sind das Ergebnis sachlicher und zweckmäßiger Zwänge. Sie sind durch rasterförmige Grundrisse und die monotone Anordnung in rechtwinkligen Reihen gekennzeichnet. Bereits Ende des 19. Jh. beginnt die kritische Auseinandersetzung mit den geometrisch starren Bebauungsplänen. Die Ideen der „Gartenstadt“ werden aus England transformiert. „Damit tritt dem formalen Funktionalismus ein ästhetischer und künstlerischer Gesamtentwurf entgegen“ (Teves 2015).

Infolge der industriellen Revolution ändern sich die Anforderungen und die Mittel des Bauens. Materialien, wie Eisen, Glas und später auch Beton, halten Einzug in den konstruktiven Ingenieur- und anschließend in den Wohnungsbau. Neue Bautechniken gehen mit neuen konstruktiven und gestalterischen Anforderungen einher. In der Chicagoer Schule, einer im Chicago des späten 19. Jh. entstandenen Architekturstilprägung, wurden diese Techniken erstmals im größeren Stil beim Bau von Wohn- und Bürogebäuden (Wolkenkratzer) angewandt.

Louis Henry Sullivan postulierte 1890 mit „form follows function“ einen Grundsatz, der später zur Grundlage des Neuen Bauens wurde: Form folgt (aus der) Funktion.

In Europa nutzte Auguste Perret als einer der ersten Architekten die Vorteile der Eisen-Beton-Bauweise im regulären Wohnungsbau. Auch in Deutschland erkannten Architekten die vielfältigen Möglichkeiten neuer Techniken. Im Deutschen Werkbund vereinigten sich 1907 Architekten, um dem Maschinenzeitalter entsprechend funktionsgerecht – ohne historisierende Rücksichten – und unter Einsatz moderner Materialien zu bauen.

Bereits vor dem Ersten Weltkrieg bis in die Zeit der Weimarer Republik hinein (1910er bis 1930er Jahre) entwickelte sich in Deutschland das Neue Bauen, eine Bewegung in der Architektur und im Städtebau. „Sie ist im Kontext zu betrachten mit der sich gleichzeitig entwickelnden Bewegung De Stijl in den Niederlanden und der Neuen Sachlichkeit. Stellvertreter des neuen Bauens sind das Bauhaus als experimentelle Lehrstätte und das Neue Frankfurt als erstes umfassendes städtebauliches und soziales Projekt. Der Richtung und damit auch der gesamten Bewegung des Neuen Bauens stand die konservativ ausgerichtete traditionalistische Strömung des Heimatschutzstils gegenüber.“ (Sansculotte 2014). Die Neue Sachlichkeit in der Architektur stellt die Abgrenzung vom Expressionismus der frühen 1920er Jahre bis in die ersten Nachkriegsjahre dar. Das Neue Bauen wollte durch Rationalisierung und Typisierung den Einsatz neuer Werkstoffe und Materialien sowie durch sachlich-schlichte Innenausstattungen eine völlig neue Form des Bauens entwickeln. Es entstand eine Vielzahl fortschrittlicher Siedlungen, von sozialdemokratischen Mehrheiten in den jeweiligen Gemeindevertretungen auf den Weg gebracht. Im Neuen Bauen fanden neue Materialien (Glas, Stahl, Beton, Backsteine) eine konsequente und kostengünstige Umsetzung: „Das Neue Bauen entwickelte sich u. a. im Deutschen Werkbund und bildete die ideelle Grundlage der Bauhaus-Schule. Fast ein halbes Jahrhundert gestaltete es das europäische Bauen wesentlich mit“ (Sansculotte 2014).

Der 1. Weltkrieg bedeutete für die Werkbund-Geschichte eine tiefe Zäsur. Höhe- und Endpunkt war 1914 die Ausstellung in Köln. In über 50 exemplarischen Gebäuden spiegelte sich der „unbedingte Funktionalismus zur Herausbildung zeitgemäßer Stile“ wieder (Stefan 2015).

In diese Entwicklung reiht sich 1918 auch die Gründung der „Gemeinnützige Aktien-Gesellschaft für Angestellten-Heimstätten“ (Gagfah) durch 27 Angestelltenverbände, mit dem Ziel der Schaffung von Wohnraum für gesetzlich versicherte Angestellte, ein (Dnaber 2015).

Mit Gründung des Staatlichen Bauhauses 1919 durch Walter Gropius in Weimar wurden Kunst und Handwerk zusammengeführt. Das Bauhaus prägte von 1919 bis 1933 die Klassische Moderne, u. a. auch auf dem Gebiet der Architektur, und setzte das modulare Bauen nicht nur bei Industrieanlagen sondern auch bei der Schaffung günstigen Wohnraums um.

Nach dem 1. Weltkrieg erfuhr der Stahleinsatz im Bauwesen starke Einschränkungen, denn der 1918 gegründete „Reichsverband zur Förderung sparsamer Bauweisen“ lancierte den Betonbau. „Objektiv hatte keine der beiden dominierenden Bauweisen entscheidende allgemeine Vorteile aufzuweisen“ (Seidel und Werner 1992). Deren Konkurrenz wurde durch die im Zuge der Kriegsvorbereitung und -durchführung verfügte Stahlkontingentierung beendet. Nach dem 2. Weltkrieg, in der Hochphase der wirtschaftlichen Entwicklung des sozialen Massenvohnungsbaus, wurde auf die vor dem Krieg entwickelte Technologie des Betonbaus zurückgegriffen.

Die Stagnation der Bautätigkeit während des ersten Weltkrieges verstärkte den Wohnraummangel. Mit Beginn der Weimarer Republik wurden öffentliche Anstrengungen getätigt, den bis dato weitgehend privaten Wohnungsbau für eine große Bevölkerungszahl erschwinglich zu gestalten. In den 1920er Jahren setzte Ernst May u. a. in Berlin, München und Frankfurt-Praunheim (Hub 2012) erste Versuchsbauten und Siedlungen mit vorgefertigten Gebäudekomponenten um.

1925 bis 1930 wurde zur Bewältigung der dramatischen Wohnungsnot in Frankfurt ein öffentliches Bauprogramm mit ca. 15.000 Wohnungen aufgelegt. Die fortschrittlichen Siedlungen und Bauten des Neuen Frankfurt zählen heute neben dem Bauhaus in Dessau, den Bruno Taut-Siedlungen in Berlin und der Weißenhofsiedlung in Stuttgart zu den bedeutendsten bauhistorischen Beispielen der Weimarer Zeit (Jeder Om Du 2015).

Experimentelles Bauen wurde auch in den Niederlanden befördert und 1920 ein „Betondorf“ mit 151 Wohnungen in Großplattenbauweise auf Basis des „Patentes Bron“ errichtet. Das gleiche Konstruktionsprinzip wurde in der Splanemann-Siedlung in Berlin umgesetzt. In Berlin-Lichtenberg entstanden 1926/27 die ersten Gebäude Deutschlands in Großplattenbauweise. Auf Anregung des Berliner Stadtbaurates Martin Wagner, den Wohnungsbau zu straffen, rationeller, schneller und kostengünstiger zu gestalten, errichtete die „Gemeinnützige Reichsbundkriegersiedlung GmbH“ billige und hygienische Kleinwohnungen für Kriegsteilnehmer und Hinterbliebene. Die Siedlung blieb ein Unikat. Ursachen lagen in technischen Mängeln und unzureichenden Hebelmitteln. Erst Mitte der 50er Jahre ebnete die vollständige Industrialisierung des Wohnungsbaus den Weg für die „Platte“.

Im Laufe der 1920er Jahre gelangte der Werkbund zunehmend unter den Einfluss der Bauhausideen. Die Ausstellung „Neues Bauen“ und die Werkbund-Ausstellung „Siedlung am Weißenhof“ 1927 in Stuttgart galten dabei als Meilensteine zur Herausbildung zeitgemäßer Stile. In den realisierten Bauten spiegelt sich die Verpflichtung zum unbedingten Funktionalismus wieder. Le Corbusier sagte: „Das Problem unserer Tage ist das Wohnhaus ... Die Bauindustrie muss zum Prinzip der Massenfertigung übergehen und die einzelnen Elemente der Wohnhäuser in Serie herstellen“ (E. Künzel 2002). Walter Gropius schrieb 1924: „Für die Volkswirtschaft ist es von entscheidender Bedeutung, dass für den Wohnungsbau billigere Methoden gefunden werden ... Ziel muss sein, die

Wohnhäuser aus Elementen zu errichten, die nicht auf der Baustelle, sondern in extra für diesen Zweck eingerichteten Fabriken in Großserien hergestellt werden“. Gropius setzte sich ab 1926/1927 im Bauhaus intensiv mit dem Massenwohnbau auseinander und trat für die Rationalisierung der Bauindustrie ein. Zur Lösung der städtebaulichen und sozialen Probleme des Siedlungsbaus propagierte er neben dem Wohnhochhaus die Vorfertigung. Unter seiner Leitung wurden die Ideen des Fertighauses und der Fertigbauweise gefördert. Neben Dessau-Törten entstanden zahlreiche Wohnungsbauprojekte, wie Wohnblöcke in Berlin (1929/30) oder die Wannsee-Uferbebauung (1930/31).

Dessau-Törten stellt einen Versuch des Bauhauses dar, Probleme des preisgünstigen Massenwohnungsbaus praktisch zu lösen. In 3 Bauabschnitten entstanden 314 Reihenhäuser mit Wohnflächen zwischen 57 und 75 m². Die Haustypen wurden in unterschiedlichen Varianten gebaut, um im Rahmen eines ab 1927 angelegten umfangreichen Versuchsprogramms der Reichsforschungsgesellschaft für Wirtschaftlichkeit im Bau- und Wohnungswesen Aufschlüsse über die rationelle Herstellung von Wohnbauten, aber auch die Eignung neuer Baustoffe und Industrieprodukte zu gewinnen. Primat für Gropius war die totale Rationalisierung aller Bauvorgänge unter dem Aspekt der Kostensenkung.



Bild 1. Dessau Törten (2015)



Bild 2. Weissenhofsiedlung Stuttgart 1927
(Architekturausstellung 2002)

Unter der Leitung von Walter Gropius wurden auch Konstruktionen mit Leichtbauweisen aus Holz und Stahl entwickelt (1927), was Beispiele in der Werkbund-Siedlung "Am Weißenhof" und in der Ausstellung "Die Wohnung" (1927) belegen.

1929 fand die Bauausstellung „Wohnung und Werkraum“ in Breslau statt. Sie umfasste 37 Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäuser sowie verschiedene Typen von Mehrfamilienhäusern. Besonders interessant ist das als Einküchenhaus konzipierte Ledigenheim von Hans Scharoun, das zu den ersten Split-level-Wohnbauten weltweit gehört (Meier 2014).

Der Einsatz vorgefertigter Elemente wurde in den Anfängen der modernen Architektur weiterentwickelt. Architekten wie Frank Lloyd Wright, Konrad Wachsmann und Walter Gropius waren Pioniere in der Anwendung vorgefertigter Bauteile. Sie experimentierten sowohl mit standardisierten Elementen als auch mit eigens entwickelten Modulen. 1945 veröffentlichten Wachsmann und Gropius das General Panel System, ein Fertigteilssystem, das auf der Baustelle von ungelernten Kräften montiert werden konnte. Das Bausystem war wenig erfolgreich.

In den Nachkriegsjahren waren es wiederum Gropius, May und Wagner, die den Elementbau im Wohnungsbau erheblich vorantrieben, um innerhalb kürzester Zeit Wohnungen entstehen zu lassen.

3.1.2 Europa 1900 bis zum 2. Weltkrieg

Die Fertigteilproduktion in Europa begann im frühen 18. Jh. 1851 setzte Joseph Paxton in seinem Crystal Palace in London erstmals Stahl-Glas-Rahmen-Fertigteilkonstruktionen ein. Gustave Eiffel zeigte 1887 mit dem Eiffelturm in Paris die Möglichkeiten der Eisen-Skelettkonstruktion. Neue Bautechniken gingen mit neuen konstruktiven und gestalterischen Anforderungen einher. Die industrielle Revolution beeinflusste Architektur und Produktionstechnik. „Alle Aspekte der Bauplanung waren von der omnipräsenten Verwendung neuer Baumaterialien wie Stahl, Glas und Beton betroffen. Es fanden fundamentale Veränderungen in der Konstruktionstechnik statt. Neue Stilrichtungen, deren Wurzeln fest in der industriellen Technik verankert sind, entstanden (Fernández-Ordóñez 2008). In diese Entwicklungen reihen sich die De Stijl Bewegung in den Niederlanden wie auch das Neue Bauen in Deutschland ein.

Mit Beginn des 20. Jh. fand, vor allem unter dem Druck einer hohen Wohnungsnachfrage infolge Industrialisierung, eine Abkehr vom traditionellen Bauen in Europa statt:

- Wohnungen wurden funktionalisiert und Kubaturen versachlicht (die Form folgt der Funktion),
- neue Baustoffe und Materialien wurden entwickelt,
- der Übergang zur Massenfertigung erfolgte,
- neue Bauweisen und Bauverfahren wurden entwickelt,
- neue Konzepte des menschlichen Zusammenlebens entstanden (Städtebau).

„Das Neue Bauen gestaltete fast ein halbes Jahrhundert das europäische Bauen wesentlich mit.“ (Sansculotte 2014).

3.2 Entwicklungen nach dem 2. Weltkrieg

3.2.1 Deutschland

Ab Mitte der 50er Jahre wurden in Deutschland Wohngebäude in Fertigteilbauweise errichtet. Standardisierung und Typisierung ermöglichten es, in kurzen Bauzeiten dringend benötigten Wohnraum zu schaffen. Mit der Rationalisierung der Baureihen konnte der Vorfertigungsgrad erhöht und der Arbeitsaufwand pro Wohneinheit gesenkt werden (IEMB 1993). Die Entwicklung der Industrialisierung erfolgte vom Block- über den Streifen- bis hin zum Großtafelbau. Die Laststufen entwickelten sich von 0,8 Mp (Großblockbauweise) auf 2,0 Mp (Streifenbauweise) und 5,0 Mp auf 6,3 Mp (Großtafelbauweise).

Die Entwicklung des Wohnungsbaus in den alten und neuen Bundesländern verlief dabei jedoch weitestgehend differenziert.

3.2.1.1 Entwicklung des Wohnungsbaus in Westdeutschland

Die Politik der Wohneigentumsbildung, in deren Funktion letztlich auch der soziale Wohnungsbau stand, schrieb das Zweite Wohnungsbaugesetz von 1956 fest. Der normativ hohe Stellenwert des Eigenheims wurde dadurch gesellschaftspolitisch fundamentiert. Die geringere Industrialisierungsrate im bundesdeutschen Bauen erklärt sich u. a. aus dem kleinteiligen Bodenbesitz sowie aus der Konjunkturabhängigkeit und privatwirtschaftlichen Organisationsstruktur des Baugewerbes (Nagel 2015).

Auf Initiative von Bund und Ländern wurde die Industrialisierung des Bauwesens jedoch bei der Errichtung von Großsiedlungen gefördert. 1952 wurden beispielsweise in München neben Montagewänden aus Hohlkörpern auch geschosshohe Leichtbetonplatten (System Hebel) in den errichteten ECA-Siedlungen (Economic Cooperation Administration) verwendet.

Zur Behebung der großen Wohnungsnot – nach den Zerstörungen des 2. Weltkrieges und dem Zustrom von Flüchtlingen und Vertriebenen – wurden im Rahmen und mit Mitteln des Marshallplans zwischen 1952 und 1954 über 3000 "bezahlbare" Wohnungen gebaut.

Da jedoch der Montagebau als unerprobte bzw. kurzlebige Bauform abgelehnt und auf den bewährten Massivbau gesetzt wurde, kam es bei der Weiterentwicklung zur Stagnation im Bauwesen. Mit dem Appell von Bundeskanzler Adenauer am 29.11.1961, die Wohnungsnot schnell zu beheben, wurde auch in der westdeutschen Wohnungswirtschaft eine neue Ära eingeleitet (Nagel 2015).

Großwohnsiedlungen in Plattenbauweise, i. d. R. in Anlehnung an die französischen Systeme „Camus“ und „Coignet“, entstanden im alten Bundesgebiet und wurden vor allem für den sozialen Wohnungsbau genutzt. Zu den ersten Siedlungen zählt das Berliner Hansaviertel (6.000 Einwohner). Die Großtafelkonstruktion „Camus“ wurde in Form von Lizenzen, u. a. an die Strabag-Bau (Berlin) und Montagebau-Thiele GmbH (Hamburg) vertrieben. Gebaute Beispiele entstanden u. a. 1963 in der Siedlung „Tergartenbreite“ in Wolfsburg. Für Hochhäuser wurde der schwedische Typ „Skarne“ verwendet.

Im norddeutschen Raum wurde das System „Larsen & Nielsen“ eingesetzt, das – anders als „Camus“ – aus nicht tragenden Außenwänden bestand und z. T. mittels Skelett errichtet wurde. Für die Erweiterung der Siedlung Dammerstock (Karlsruhe) errichtete der Architekt W. van der Kerhoff 110 Wohneinheiten mit der KER-Fertigbauweise (in Zusammenarbeit mit der „Forschungsgemeinschaft Bauen + Wohnen“).

Im Nachstehenden werden einige Beispiele der Entwicklung typisierter Bauweisen und deren Kapazitäten in den alten Bundesländern aufgezeigt.

Tabelle 1. Typisierte Bauweisen und Kapazitäten in den alten Bundesländern (Nagel 2015)

Fertigbausystem	Unternehmen	Jahreskapazität
System Beton- und Monierbau	Beton- und Monierbau AG, Düsseldorf	600 WE/a
System Camus (französischer Lizenzgeber)	Hohmann-Coign Fertigbau GmbH Berliner Fertigbau GmbH	2.500 WE/a
System Betonwerk Niedersachsen	Betonwerk-Niedersachsen AG	3.300 WE/a incl. Lizenznehmer
System Larsson & Nielsen (dänischer Lizenzgeber)	mehrere deutsche Lizenznehmer	5.400 WE/a

Weitere Großtafel-/Plattenbau-Systeme stellten u. a. das System Deutsche Tafelbautechnik (vorm. Deutsche Baretts Bautechnik), das Durisol-Montagebau-System, System Rostan und das System Grün & Bilfinger dar. Die ersten Großwohnsiedlungen zeigen deutlich den Enthusiasmus jener Zeit, so z. B. das Märkische Viertel (Berlin, 1963-1974), Osterholz-Tenever (Bremen, 1968-1977), Neu-Perlach (München, 1963-1980) und Vogel-sang (Mannheim, 1962-1974). Große Wohnungsbaugesellschaften wie die „Neue Heimat“ errichteten serien-mäßige Montagesiedlungen. So wurden von den 1966 in Hamburg geförderten Wohnungen insgesamt 2.313 Wohnungen (entspricht 24,3 % aller Neubauwohnungen) und im Folgejahr 5.965 Wohnungen (38,6 %) in Großtafelbauweise errichtet (Nagel 2015).

3.2.1.2 Entwicklung des Wohnungsbaus in Ostdeutschland

Auch in Ostdeutschland wurden nach dem 2. Weltkrieg zunächst Neubauten noch in klassischer Bauweise errich-tet. In den 1950er-Jahren wurde nach rationelleren Verfahren gesucht. Neben Block- und Streifenbauweise wur-de die Großplattenbauweise befördert. Erste Versuchsbauten in Großplattenbauweise entstanden 1953 in Jo-hannistal bei Berlin. Vier Jahre später wurde die Stadt Hoyerswerda zum groß angelegten Experimentierfeld für den industriellen Wohnungsbau. Dabei bedienten sich die Planer vor allem auch der Ideen des Bauhauses.

1972 wurde im Rahmen der von Honecker proklamierten "Einheit von Wirtschafts- und Sozialpolitik" das "Staatli-che Wohnungsbauprogramm" aufgelegt. Bis 1990 sollte die Wohnungsnot in der DDR beseitigt sein. "Von 1973 an wurden in allen Bezirken der DDR an den Stadträndern Neubaugebiete in Großplattenbauweise errichtet. Es entstanden neue Stadtteile oder komplette Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern wie Halle-Neustadt. Werden die Anteile der Bauweisen betrachtet, ist festzustellen, dass industrielle Bauweisen mit mehr als 80 % am Neubaugesamtbestand im Jahr 1980 überwiegen. Größte Vertreter war mit mehr als 70 % die Plattenbauwei-se (Tafelkonstruktion) (IEMB 1993), siehe Tabelle 2.

Tabelle 2. Anteile der Bauweisen der Wohnbausubstanz in Ostdeutschland 1980, (E. Künzel 2002)

Bauweise	Anwendungsbereiche	Anteile (%)
Traditionelle (Ziegel-)Bauweise	individueller Eigenheimbau	13
Gasbeton	individueller Eigenheim- bis mehrgeschossiger Wohnungsbau	
Blockkonstruktionen 0,8 Mp	mehrgeschossiger Wohnungsbau	12
Streifenkonstruktionen 2,0 Mp		
Tafelkonstruktionen 5,0 Mp/6,3 Mp	mehrgeschossiger Wohnungsbau (bis 25 Geschosse)	72
andere Bauweisen		3

3.2.1.3 Entwicklung des Wohnungsbaus in Deutschland nach 1990

Mitte der 90er Jahre wurde der Wohnungsbau in Deutschland wieder befördert und über 500.000 Wohnungen in verschiedenen Bauarten errichtet.

Derzeit müssten im Mittel jährlich 300.000 Wohnungen bis 2020 errichtet werden (Oebbeke 2015), um den Wohnungsbedarf zu decken. Die aktuellen Fertigstellungszahlen 2014 von 240.000 Wohnungen liegen weit darunter (Oebbeke 2015).

Die Statistik zeigt eine Prognose zum jährlichen Neubaubedarf für den Wohnungsbau in Ost- und Westdeutschland von 2010 bis 2025. Im Mehrfamilienhausbau wird der Jahresbedarf auf 55.000 (alte Länder) und auf 12.000 Wohnungen (neue Länder) geschätzt (Statistika 2015).

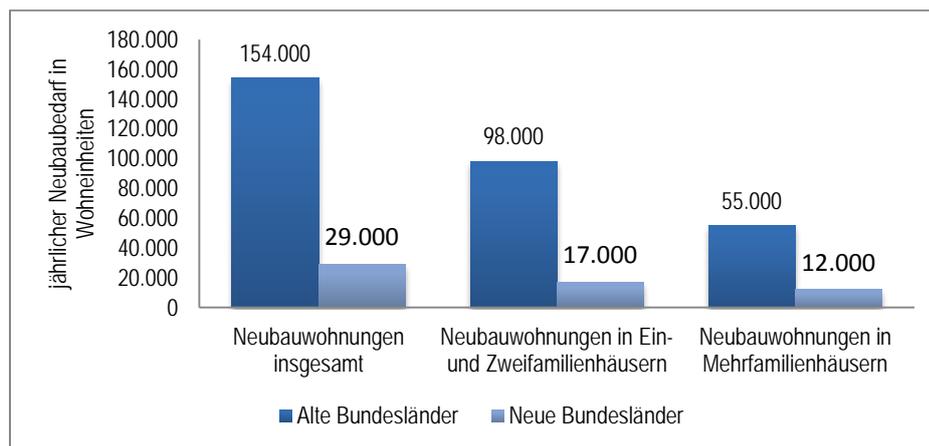


Bild 3. Neubauwohnungen – jährlicher Bedarf (Statistika 2015)

Der Anteil des Fertigteilbaus im Wohnungssektor in Deutschland ist ausbaufähig. 2013 wurden 9.392 Wohngebäude mit drei und mehr Wohnungen (7.8910 WE) fertiggestellt, davon 210 Gebäude (1.490 WE) in Fertigteilbauweise. Da sind ca. 2 %, 2012 waren es noch 3 %. Die überwiegend verwendeten Baustoffe 2013 wiesen einen Anteil von 0 % für Stahl, von 19 % für Stahlbeton, von 31 % für Ziegel, von 29 % für Kalksandstein, von 11 % für Porenbeton, von 3 % für Leichtbeton/Bims und von 4 % für sonstige Baustoffe aus. Die Zahlen für die alten und neuen Bundesländer haben sich dabei weitestgehend angeglichen (DESTATIS 2014).

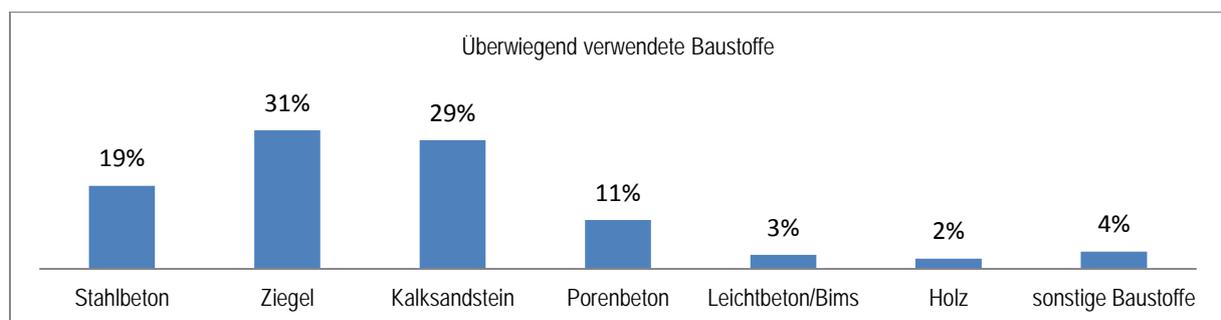


Bild 4. Überwiegend verwendete Baustoffe bei Mehrfamilienhäusern (Neubau) in Deutschland 2013 (Statistisches Bundesamt 2014)

Das traditionelle Bauen hat somit in Deutschland nach wie vor einen hohen Stellenwert. Das Bauen mit Fertigteilen aus Beton hat insbesondere in den neuen Bundesländern an Bedeutung verloren.

3.2.2 Entwicklung des Wohnungsbaus in Europa

In Europa besteht im Hinblick auf die Weiterentwicklung des vorgefertigten Bauens im Wohnungssektor ein Ost-West-Gefälle. Während sich die westlichen Länder i. d. R. in Richtung Komponentenbauweise entwickelt haben, wird in den östlichen Ländern, vor allem in den ehemaligen GUS-Staaten, nach wie vor der Plattenbau befördert. Allerdings setzen sich hier auch zunehmend Skelettbauweisen und Kombinationen aus Wand- und Skelettbauweisen am Markt durch. Nachstehende Ausführungen über die Entwicklung des Bauens mit vorgefertigten Elementen im Wohnungsbau beschränken sich auf ausgewählte Länder, um Tendenzen beispielhaft zu hinterlegen. Die Fördersysteme der Länder nehmen dabei unterschiedlichen Einfluss auf den sozialen Wohnungsbau.

3.2.2.1 Finnland

Der finnische Wohnungsbau ist stark durch die Vorfertigung charakterisiert. Im Betonfertigteilbau wurden mit der Entwicklung des BES-Systems (1968 bis 1970) entsprechende Weichen gestellt. Für den Bau von Wohnhäusern wurden tragende Wände und Hohldecken mit großen Spannweiten entwickelt.

Die Betonfertigteilbauweise hat zur Entwicklung einer starken Zuliefererindustrie für technische Komponenten geführt. „Die Arbeit wurde zu etwa 1,5 % pro Jahr von der Baustelle ins Werk verlagert, die Bauzeiten haben sich um 20 – 40 % verkürzt. Die Gesamtbaukosten sind vor allem in den 1970er und 1980er Jahren um 1,5 % pro Jahr gesunken. Die Produktivität der Betonwerke ist um 3 % pro Jahr gestiegen, doch die der Baustellen leider nur in sehr geringem Maße“ (Suikka 2009).

3.2.2.2 Frankreich

Frankreich zählt zu den Avantgardisten im Plattenbau. Am bekanntesten sind die Bauwerke von Le Corbusier, die als Unité d'habitation auch in anderen Ländern umgesetzt wurden. Die Vororte zahlreicher Ballungsgebiete wie Paris oder Lyon sind als Großsiedlungen in Plattenbauweise angelegt. Bewusst als Viertel für niedrige Einkommensklassen oder Zuwanderer konzipiert, stellen sie heute oft soziale Brennpunkte dar.

Das Land verfügt über eine leistungsfähige Fertigteilindustrie. Die Baukosten sind geringer als in Deutschland. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens zwischen Deutschland und Frankreich wurden anhand von Vergleichsbauten die Ursachen ermittelt, die neben dem unterschiedlichen Ausstattungsniveau im höheren Grundstückswert, höheren Bau- und Planungskosten sowie behördliche Auflagen in Deutschland zu suchen sind (Difu 1996).

3.2.2.3 Niederlande

Der Wohnungsbau in den Niederlanden setzte und setzt für ganz Europa Maßstäbe. Herausragendes Beispiel des vergangenen Jahrhunderts ist der Städte- und Wohnungsbau der Amsterdamer Schule. In den 1920er und 1930er Jahren wurden die großen Stadterweiterungen in Amsterdam und Rotterdam geplant, in den 1950er Jahren Konzepte für den Wiederaufbau entwickelt, in den 1960er Jahren Planungen für neue Städte und große Stadtrandsiedlungen vorangetrieben, in den 1970er Jahren Ansätze einer sozialen Stadterneuerung vorgelegt (Nicolai 2014).

In den Niederlanden werden mehr Sozialwohnungen gefördert als in allen anderen europäischen Ländern.

Kosten- und flächensparendes Bauen wird im Wesentlichen durch nachstehende Instrumente beeinflusst:

- Gesetze zur Bereitstellung von kostengünstigem Bauland und Festlegungen von Kostenobergrenzen im sozialen Wohnungsbau,
- Rationalisierungsmaßnahmen mit Hilfe kostenreduzierender Bautechniken und durch den Einsatz industriell vorgefertigter Bauelemente,
- Vereinfachungen im Ausstattungsstandard des sozialen Wohnungsbaus (Sunder-Plassmann, Stamm-Teske und Kupferschmied 1998).

In den letzten 50 Jahren hat sich der Einsatz vorgefertigter Bauelemente in den Niederlanden durchgesetzt. Die Ursachen liegen in den Kostenvorteilen, der größeren Maßgenauigkeit und Ausführungsqualität. Aber auch der traditionelle Mauerwerksbau punktet. Im Einfamilien-, Zweifamilien- und Reihenhausbereich wird traditionell mit einem System aus Eck- und Öffnungslehren gearbeitet, was die Produktivität um 15 – 20 % erhöht (Sunder-Plassmann, Stamm-Teske und Kupferschmied 1998).

Die Baukosten im niederländischen Wohnungsbau liegen weit unter den deutschen. Die Ursachen dieser Kosteneinsparungen sind in der Normierung, in Vereinfachungen und in Rationalisierungsmaßnahmen zu suchen. (Sunder-Plassmann, Stamm-Teske und Kupferschmied 1998). Der Begriff Vereinfachung umschreibt dabei mindere Anforderungen in einigen Baunormen und geringere Ausbaustandards, wie den Verzicht auf Keller, Schornsteine (Heizquelle im Dach), schwimmenden Estrich, Stürze bei Innenwänden (raumhohe Zargen), Tapeten (Spritzanstriche), Leitungen in Nassräumen und Heizleitungen auf der Wand. Insbesondere bei den Raumgrößen weichen die Anforderungen in den Niederlanden deutlich von denen der Bundesrepublik ab. Anstelle von Kellern sind ebenerdig zugängliche Abstellräume vorgeschrieben (6,5 % der Wohnfläche). Dies trägt zu einer erheblichen Kostenreduzierung durch günstigere Erstellungskosten bei. Des Weiteren ist der belüftete Kriechraum die Regel. Dieser wird für Versorgungs- und Abwasserleitungen genutzt. Nachträgliche Änderungen an diesen Leitungen sind somit ohne große bautechnische Aufwendungen möglich.

Die Tragkonstruktionen bestehen meist aus Ortbeton. Tunnel- und Wandschalungen gestalten das Bauen extrem zeiteffizient und kostengünstiger als Fertigteilkonstruktionen. Die Tragkonstruktion wird oft mit Betonfertigteilen im

Fassadenbereich bzw. mit Stahlstützen und -balken kombiniert. Im Bürobau werden hingegen häufig Fertigteile verwendet, vor allem Hohldecken. Fassadenbauteile sind i. d. R. durchrationalisiert und optimiert. Auch in den Niederlanden ist der Trend zu Mischkonstruktionen zu verzeichnen.

3.2.2.4 Österreich

In österreichischen Städten entstanden mit Beginn des 20. Jh., besonders stark jedoch in den 1920er und frühen 1930er Jahren sowie zwischen den 1950er und 1970er Jahren, zahlreiche soziale Wohnbauprojekte, Gemeindebau genannt. Diese, häufig in Hofform angelegt, hatten vier bis sechs Etagen.

Die Stadt Wien begann in den 1920er Jahren mit der Errichtung sozialer Wohnbauten. Diese fungierten als eigene Städte in der Stadt und wurden zumeist in Blockrandbebauung ausgeführt. Anfang der 1930er Jahre entstanden die so genannten Werkbundsiedlungen.

Der Austrofaschismus ab 1933 ließ wenig Spielraum für gesellschaftspolitische Experimente. Unterbrochen vom 2. Weltkrieg nahm die Stadt Wien 1947 die soziale Bautätigkeit wieder auf. Zwischen den 1960er bis 1980er Jahren entstand eine Reihe von Großsiedlungen in Fertigteilbauweise. Mit rund 36.000 Wohnungen, die nur ca. 4 % des Gesamtbestands ausmachen, ist die Plattenbauweise in der österreichischen Hauptstadt jedoch nicht besonders dominant. Neue Bauprojekte haben vielfältigere Erscheinungsformen. So gibt es in Wien auch Gemeindewohnungen in Hochhäusern. Das Vorreiterprojekt des ökologischen Städtebaus, die Solar City in Linz, gehört ebenfalls zu den gemeinnützigen Wohnbauprojekten des Landes (Wien 2015).

3.2.2.5 Russland

Russland benötigt nach wie vor sehr viel Wohnraum, besonders in den Ballungszentren. Die Bauwirtschaft verzeichnet erhebliche Zuwachszahlen. So wurden 2012 65,2 Mio. m² Wohnraum errichtet, was einer Wachstumssteigerung von 4,7 % gegenüber dem Vorjahr entspricht (Malykin 2013). Neben vielen anderen sind besonders drei große Bauunternehmen tätig: Die Gruppe SU-155 mit 1,43 Mio. m²/a, die Unternehmensgruppe PIC mit 1,3 Mio. m²/a und die Firma Morton mit 0,8 Mio. m²/a. Die Kombiatsstrukturen haben sich weitestgehend erhalten, d. h. Planung und Bau erfolgt in „Personalunion“. In den Wohnungsbau halten neuerdings Stütze-Riegel-Konstruktionen aus Beton sowie Mischkonstruktionen Einzug (Malykin 2013).

3.2.2.6 Schweiz

Der Plattenbau fand mit etwas Verspätung auch seinen Weg in die Schweiz. Im Gegensatz zu allen anderen Ländern entwickelte ein Privatunternehmer die Technik und finanzierte die Produktion schwerer Bauteile (1965). Die Ernst Göhner AG errichtete auf dieser Basis zwischen 1965 und 1980 rund 9.000 vorgefertigte Wohnungen in Zürich und Genf. Die Göhner-Siedlungen gehören zu den wichtigsten Zeugen der Siedlungsentwicklung in der Schweiz. Der gesellschaftliche Wertewandel und die Ölkrise von 1973 beendeten die Wachstumseuphorie und veränderten den Blick auf derartige Großsiedlungen. Ab 1973 ist eine radikale Abwendung vom Massenwohnungsbau hin zum Bau von Einfamilienhäusern zu verzeichnen. Heute werden Großsiedlungen, Hochhäuser und das vorgefertigte Bauen wieder als adäquate Antwort auf die Nachfrage nach Wohn- und Arbeitsraum gesehen (Furter und Schoeck-Ritschard 2013).

3.2.2.7 Weißrussland

1991 wurden in Weißrussland 5,1 Mio. m² errichtet, davon allein 55 % in Plattenbauten. 1994/95 umfasste der Wohnungsbau zwischen 1,5 – 1,8 Mio. m²/a. Der Plattenbau lag in diesen Jahren nur bei 21,5 %, Skelettbauten bei 18 %, Ziegelbauten bei 18 % und andere Bauweisen bei 32,5 % (Pilipenko 2015).

Die Zielstellung im weißrussischen Wohnungsbau ist nach wie vor auf preiswertes Bauen ausgerichtet. Durch Einführung der Euronorm Stahlbeton wird mit einer 20-prozentigen Material- und 10 – 15-prozentigen Zeitersparnis gerechnet. Die angeführten Konstruktionssysteme unterstreichen ein Öffnen der starren Plattenbausysteme hin zu Komponentenbauweisen. Zunehmend kommen Stütze-Riegel-Konstruktionen sowie vorgefertigte Elemente/Raumzellen für Treppenhäuser, Aufzüge aber auch Erker und Loggien zum Einsatz. Der Materialeinsatz der einzelnen Bauweisen ist einer Verbrauchsnormung für Stahl, Beton, Zement und Zuschlagstoffe (m³/m² Wohnfläche) in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe unterworfen. Große Aufmerksamkeit wird den Themen Energieeffizienz und Wärmeversorgung gewidmet, da 35 % der Energiereserven für Heizkosten eingesetzt werden (Pilipenko 2015).

3.3 Fazit Entwicklung Wohnungsbau

Durch Umstrukturierung der Produktion und Entwicklung neuer Produktionstechniken infolge der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert entwickelten sich massenhafte Wohnungsbedarfe. Daraus leitete sich die Notwendigkeit von rationelleren Fertigungsmethoden zur Errichtung von Wohngebäuden ab. Es wurden eine umfangreiche Rationalisierung und Industrialisierung der Bauprozesse eingeleitet und neue Baustoffe entwickelt. Die Etablierung neuer Bautechniken und –verfahren wurde entscheidend durch die Entwicklung der Hebetchnik geprägt. Neben einer neuen Sachlichkeit in der Architektursprache, der Funktionalisierung der Grundrisse wurden neue Konzepte des menschlichen Zusammenlebens entwickelt.

Die neuen Siedlungsstrukturen folgen dabei unterschiedlichen Leitbildern:

- in den 1920er und 1930er Jahren dem Leitbild „Gartenstadt“
- in den 1950er und 1960er Jahren dem Leitbild „Aufgelockerte Stadtlandschaft“
- in den 1960er und 1970er Jahren dem Leitbild „Urbanität durch Dichte“
- in den 1970er und 1980er Jahre dem Leitbild „Sozialistische Stadt“ (Ostdeutschland) (Weidemüller, et al. 2015).

Während in den Benelux-Ländern ein großer Teil der Sozialwohnungen, d. h. kostengünstiges Bauen, sowohl im Einfamilien-, Zweifamilien- und Reihenhausbereich umgesetzt wird, liegen die Schwerpunkte in den übrigen Ländern im Geschoßwohnungsbau. Städtebaulich werden in europäischen Städten mit hohen Wohnungsbedarfen nach wie vor Großsiedlungen bzw. Ansiedlung 500 WE errichtet. Aufgrund fehlenden Baulandes erfolgen verstärkt Nachverdichtungen von Großwohnsiedlungen und Baulückenschließungen.

Die Entwicklung der Fertigteilproduktion für den Wohnungsbau im 20. Jh. lässt sich in drei Hauptphasen einteilen:

1950 bis 1970 wurden vor allem geschlossene Systeme, basierend auf großen Betonplatten, vorherrschend in Osteuropa aber auch anderen europäischen Ländern entwickelt. Sie führten aufgrund der damals herrschenden Wirtschaftssysteme, des Zeitdrucks bei der Bauausführung zu strengen Vorgaben wie:

- mehrere tausend Wohnungen auf einer Baustelle,
- Einschränkungen des Elementesortiments durch eine rigide Projektplanung,
- lineare Ausrichtung der Wohnblöcke zwecks Optimierung der Kranbahnen,
- minimale Spannweiten und Bauhöhen für den Transport der Bauteile,
- Deckenplatten in Raumgröße.

Diese industrielle Fertigung führte zu einer erheblichen Beschneidung der architektonischen Freiheiten.

1970 bis 1980 wurde versucht, der Systemstarrheit durch Flexibilität und eine variantenreichere Produktpalette zu begegnen. War vor allem in Osteuropa ein Trend zu größeren Deckenspannweiten zu verzeichnen, veränderte sich der europäische Markt von einem nachfrage- zu einem angebotsorientierten. Plattensysteme wurden in geringeren Stückzahlen aber in hochwertiger Qualität produziert – das Fundament für eine offene Vorfertigung mit untereinander kompatiblen Komponenten gelegt. Die Komponentenbauweise, befördert durch die Rezession der Bauwirtschaft, passte sich dem Wachstumsmarkt an.

Seit **1985** dominiert die Komponentenbauweise. Neue Baustoffe und Innovationen in Fertigungs- und Verbindungstechnik fördern die Vielgestaltigkeit. Neue Produktionsverfahren und Konstruktionsmethoden werden in kleinen und großen Projekten umgesetzt. Individuell gestaltete Bauelemente bei höchst möglicher Automatisierung der Herstellungs- und Montageprozesse tragen immer differenzierter werdenden Nachfragen Rechnung. Industrielle Prozesse, wie aus der Autoindustrie, halten Einzug in die Vorfertigungstechnik des Wohnungsbaus (Fernández-Ordóñez 2008).

4 Untersuchungen standardisierter Bauverfahren im Wohnungsbau

4.1 Analyse standardisierter Bauverfahren

4.1.1 Standardisierte Bauverfahren im Neubau

4.1.1.1 Fertigteilmontageverfahren

Der Fertigteilmontagebau ist ein Bauverfahren, bei dem großformatige Bauteile, wie Wand- und Deckenplatten oder Balken, im Werk vorgefertigt und auf der Baustelle zu Gebäuden montiert werden.

Der Fertigteilmontagebau gliedert sich in die Prozesse:

- Planung der Gebäude, einschließlich Konstruktion der Bauteile,
- Fertigung der Bauteile, die auf der Basis einer speziell entwickelten Maschinen- und Anlagentechnologie produziert werden, sowie
- Transport und Montage der Bauteile.

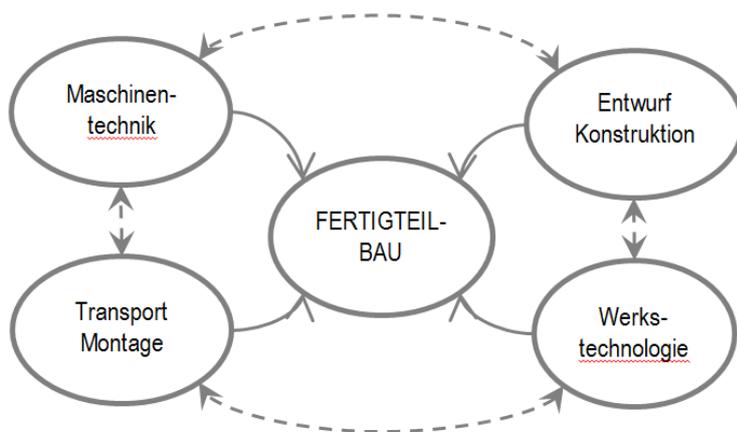


Bild 5. Bestandteile (Prozesse) des Fertigteilmontagebausystems (Kott, 2015)

Der Fertigteilmontagebau ist ein industrielles Bauverfahren, das sich von anderen industriellen Verfahren nur dadurch unterscheidet, dass die Fertigung der Bauteile und ihre Montage per se an verschiedenen Orten stattfinden. Die Teilprozesse zur Herstellung eines Produktes unterliegen aufgrund ihrer engen Verknüpfung und gegenseitigen Abhängigkeit einem notwendigen straffen Organisationsschema, das auch nicht dadurch aufgeweicht werden kann, dass im Bauwesen im Gegensatz zur Industrie unterschiedliche Unternehmen, wie das Planungsbüro, das Fertigteilmontagewerk und die Bau- und Montagefirma, wirtschaftlich eigenständig agieren. Das bedeutet, die Unternehmen müssen übergreifender zusammenarbeiten.

Der Entwurf von Fertigteilmontagegebäuden erfordert einen hohen Aufwand, da die Randbedingungen aller Produktionsprozesse frühzeitig beachtet werden müssen.

Planung, Entwurf und Konstruktion

Die Gebäude sind im Hinblick auf die industrielle Fertigung zu entwerfen und zu konstruieren. Beim Entwurf und der Konstruktion der Bauteile muss geklärt werden, wie die Teile produziert, transportiert und montiert werden und auf welcher technischen Basis dies alles beruht.

Die Gebäude sollten möglichst aus Teilen mit gleichen Abmessungen errichtet werden, um einen Wiederholungseffekt bei der Fertigung zu erreichen. Hierzu wird das Gebäude auf der Basis eines Grundriss- und Höhenrasters modular strukturiert.

Die möglichen Abmessungen der Fertigteile richten sich nach den zulässigen Transportbreiten und -höhen sowie nach der Hubkapazität der Krane. Das Ziel sollten Bauteile mit größtmöglichen Abmessungen sein, um den Aufwand bei der Montage zu minimieren. Große Teile erfordern zudem weniger Fugen und Verbindungsmittel bei der Erstellung des Gebäudes.

Die Fertigteilmontageknotenpunkte sind vorab zu detaillieren, wobei die Möglichkeiten, Verbindungsmittel bereits im Werk in die Fertigteile zu integrieren, voll ausgeschöpft werden sollten, um aufwändige Bewehrungs- und Betonierarbeiten auf der Baustelle zu vermeiden.

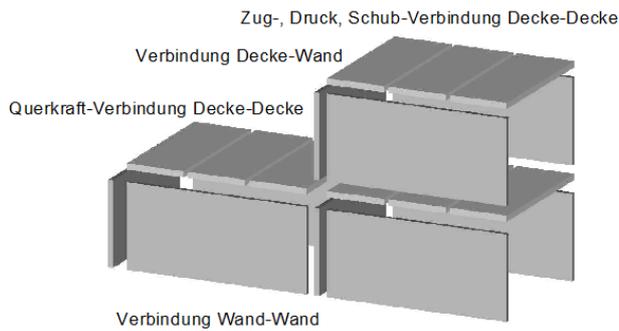


Bild 6: Verbindungen im Fertigteiltbau mit Wand- und Deckenplatten (Künzel und Kott 2002)

Zur Rationalisierung der Baustellenarbeiten, insbesondere zur Verringerung der Ausbau- und Haustechnikarbeiten, sollten die Fertigteile bereits im Werk mit Ausbauelementen und Installationen komplett hergestellt werden.

Fertigung der Elemente und Maschinenteknik

Die Herstellungstechnologie war in den letzten zwanzig Jahren durch einen Prozess der Mechanisierung und Automatisierung gekennzeichnet. Unterstützt wurde dieser Prozess durch die Durchdringung der Planung und Fertigung mit rechnergestützten Methoden (CAD/CAM-Technologie, siehe Bild 7).

Auf der anderen Seite musste der Flexibilisierung der Fertigung größere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da Großserien im Wohnungsbau der Vergangenheit angehörten.



Bild 7: Schalungsroboter zur Fixierung von Aussparungen und Leitungen (Kuch, Schwabe und Palzer 2010)

Hinsichtlich der Herstellungsmethoden von Wand- und Deckenplatten werden zwei grundlegende Verfahren eingesetzt:

- das Umlaufverfahren und
- das Standverfahren.

Die Eigenschaften beider Verfahren ergeben sich aus nachfolgender Tabelle.

Tabelle 3: Eigenschaften der Fertigungsmethoden (Kuch, Schwabe und Palzer 2010)

	Umlauffertigung	Standfertigung
Arbeitsplätze	stationär	mobil
Arbeitskräfte	stationär	mobil
Arbeitsmittel	stationär	mobil
Formen	mobil	stationär

Umlaufsysteme werden vorwiegend bei der Fertigung flächenhafter Elemente, wie bei Decken- und Wandplatten eingesetzt. Die Methode eignet sich besonders gut für die Fertigung von Großserien, wie z. B. für die Fertigung individueller Wohnhauseinheiten.

Die Vorteile der Methode bestehen in einer guten Organisation des Produktionsablaufs und in einer Reduzierung der Anlagekosten. Die Arbeitsgänge werden an speziell eingerichteten Stationen durchgeführt, die somit optimal ausgenutzt werden können und nur einmal vorgehalten werden müssen, wie z. B. Kipptische oder Wärmekammern.

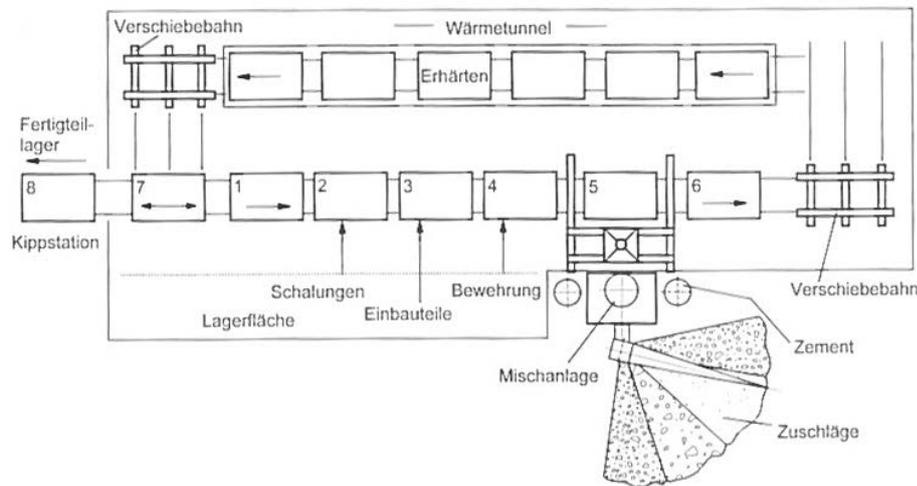


Bild 8: Umlaufanlage zur Herstellung von flächenhaften Bauteilen (Kuch, Schwabe und Palzer 2010)

Bei der Standfertigung werden die Fertigteile im Werk an einem Standort in speziellen Schalungen und mitunter mit speziellen Verfahren, wie z. B. durch Extrudieren, hergestellt.

Folgende Systeme werden unterschieden:

- Einzelformen,
- Batterieschalungen,
- Bahnenformen,
- Strangformen,
- Spannbahnen.

Zu den Einzelformensystemen zählen u. a. Schalungen für Wendeltreppen oder Raumschalungen für Raumzellen. Die Einzelformen sind heutzutage flexibel einstellbar, so dass Fertigteile mit unterschiedlichen Abmessungen produziert werden können.

Batterieschalungen dienen vorwiegend der Herstellung von flächenartigen Bauteilen, wie Wand- und Deckenplatten.



Bild 9: Schaltung zur Herstellung von Wendeltreppen (Kuch, Schwabe und Palzer 2010)



Bild 10: Batterieschalung für die gemeinsame Fertigung von Wand- und Deckenplatten (Kinast Maschinensysteme GmbH 2010)

Elementplatten, wie Filigran- oder Kaiser-Omnia-Decken, werden oft auf langen Bahnen hergestellt. Hierbei handelt es sich um einen langen Schalungstisch, auf dem mehrere Teile, die durch Schalungsabsteller untereinander getrennt sind, betoniert werden können.

In Strangformen werden Balken, T-Träger oder Pi-Platten hergestellt. Die Formen sind auf verschiedenen Teileabmessungen einstellbar.

Spannbetonhohlplatten werden auf Spannbahnen hergestellt. Das Verfahren zur Herstellung dieser Platten ist hoch mechanisiert. Alle Herstellungsprozesse laufen ausschließlich maschinengestützt ab, von der Verlegung der Spanndrähte über das Einpressen des Betons mit dem Extruder, dem Schneiden der Platten bis zur Reinigung der Platten. Variabel einstellbar sind nur die Längen der Platten, während die Breiten der Platten konstant sind.

In den größeren Werken kommen das Umlauf- und das Standverfahren oft kombiniert vor.

Transport und Montage

Der Transport von Fertigteilen erfolgt vorwiegend über die Straße direkt vom Fertigteilwerk zur Baustelle. Der Transport über die Bahn ist in der Regel nur in Kombination mit dem Einsatz von Straßenverkehrsfahrzeugen realisierbar und somit mit einem höheren Aufwand als beim reinen Straßentransport verbunden.

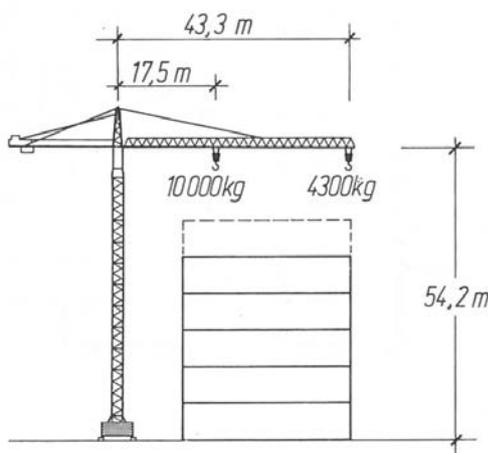


Bild 11: Horizontale Montage mit Turmdrehkran, geschossweise (Bachmann, Steinle und Hahn 2009)

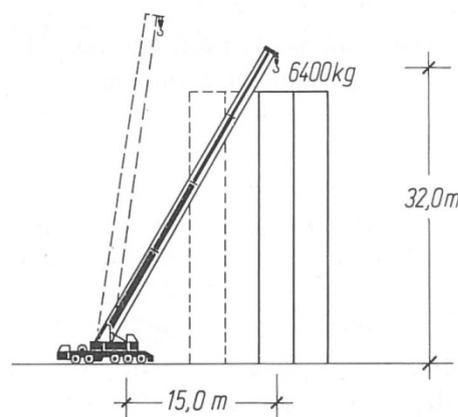


Bild 12: Vertikale Montage mit Autokran, feldweise (Bachmann, Steinle und Hahn 2009)

Transport und Montage werden möglichst nach dem Prinzip Just-in-time, d. h. ohne Zwischenlagerung der Teile auf der Baustelle, durchgeführt.

Zur Errichtung von Wohnungsgebäuden mit Vollmontageteilen wird vorwiegend die horizontale Montage mit einem Turmdrehkran angewandt. Gegebenenfalls müssen zwei Turmdrehkräne eingesetzt werden, da die Kräne bei größerer Ausladung nur noch über eine gegenüber Autodrehkränen geringe Tragkraft verfügen.

Die Turmdrehkräne verbleiben während der gesamten Rohbaumontage auf der Baustelle, während Autodrehkräne nur zeitweise zum Versetzen von Sonderbauteilen eingesetzt werden.

Beim Einsatz von Halbfertigteilen ist die Montage mit Autokränen wirtschaftlich sinnvoll. Halbfertigteile, wie beispielsweise Elementwände und Elementdecken, werden auf der Baustelle mit Beton vergossen und somit erst dort komplettiert. Dieser Prozess, der oft auch noch mit zusätzlichen Bewehrungsarbeiten verbunden ist, nimmt im Vergleich mit der Montage der Halbfertigteile so viel Zeit in Anspruch, dass sich die Vorhaltung eines Turmdrehkrans nicht lohnt. Im strengeren Sinn handelt es sich bei der Elementbauweise nicht um einen Fertigteilbau, da die Halbfertigteile nur als verlorene Schalung für den Beton dienen.

Auf die Beschränkung der Abmessungen der Fertigteile auf die zulässigen Transportabmessungen wurde oben hingewiesen. Sie stellt aber i. A. keinen Hinderungsgrund für die Vollmontagebauweise dar, da die zulässigen Abmessungen für die geometrische Ausbildung der Fertigteile ausreichend sind. So können beispielsweise Wandplatten von 3 m Höhe und 6 m Länge problemlos transportiert und montiert werden.

Vorteile des Fertigteilbaus

resultieren aus

- der Qualität der Fertigteile,
- der Herstellung und den Herstellungskosten sowie
- der Bauzeit.

Zur Qualität:

Bei großer Serie können die Fertigteile in Stahlschalungen hergestellt werden, womit eine hohe Maßgenauigkeit der Teile garantiert ist. Die Produktion läuft im Gegensatz zur Vor-Ort-Fertigung unabhängig von der Witterung ab. Dadurch ist es möglich, Arbeitskräfte und Maschinen effektiv einzusetzen. Zudem lässt sich das Qualitätsmanagement im Werk besser als auf der Baustelle organisieren. Bestimmte Betonqualitäten können durch gezielte Maßnahmen, wie z. B. durch zusätzliche Erwärmung beim Abbinden, beeinflusst und erreicht werden.

Zur Herstellung und zu den Herstellungskosten:

Schalungen im Fertigungswerk sind einem geringeren Verschleiß als auf der Baustelle ausgesetzt. Die Schalungen werden einmal aufgestellt und verbleiben am Ort, während im Baustellenbetrieb Schalungen laufend ab- und aufgebaut sowie von einem zum anderen Einsatzort transportiert werden müssen.

Bei der Verwendung von Bauteilen mit integrierter Wärmedämmung (Sandwichplatten) entfallen fast alle Gerüstkosten, die ansonsten beim Aufbringen der Wärmedämmung vor Ort erforderlich sind.

Mit der Fertigteiltechnologie können besonders materialsparende Bauteile hergestellt werden, wie z. B. Spannbetonhohlplatten oder filigrane Bauteile mit T- oder Pi-Querschnitt. Hierbei kommt oft das Vorspannverfahren mit sofortigem Verbund zum Einsatz, was auf der Baustelle so gut wie nicht realisierbar ist.

Die Kosten aus dem Transport der Fertigteile können nur zum Nachteil reichen, wenn die Baustellen zu weit vom Fertigteilwerk entfernt liegen. Gesamtwirtschaftlich betrachtet fallen Transportkosten nicht groß ins Gewicht. Transportentfernungen von 100 bis 200 km gehören zur alltäglichen Praxis (Schwerm 2000).

In Deutschland besteht ein engmaschiges Netz von Fertigteilwerken, so dass in fast jeder Region für jedes spezielle Bauvorhaben ein darauf spezialisiertes Fertigteilwerk zur Verfügung steht. Voraussetzungen für eine kostengünstige Herstellung sind der massenhafte Einsatz von Fertigteilen (Serienproduktion) und damit verbunden die vollständige Auslastung der Werke über das Jahr.

Zur Bauzeit:

Die Bauteile sind nach der Montage sofort belastbar, so dass die Bauzeit gegenüber einem auf der Baustelle erhärtenden Betongebäude erheblich verkürzt werden kann.

Aufwändige Baustelleneinrichtungen können entfallen.

Abgesehen von Extremwetterereignissen kann die Montage über das ganze Jahr erfolgen. Üblicherweise wird just-in-time produziert. Das bedeutet, dass während der Herstellung der Fundamente bereits die Wand- und Deckenelemente im Werk hergestellt werden können. Der Gesamtprozess von der Herstellung bis zur Montage ist klar strukturiert. Störungen von Einzelprozessen werden sofort offenbar, Korrekturen können zielgerichtet vorgenommen werden, was bei Vor-Ort-Bauweisen oft nicht der Fall ist.

Der Fertigteilbau erfordert einen höheren frühzeitigen Planungsaufwand als bei einem konventionell zu errichtendem Gebäude. Eine mit dem Baufortschritt gleitende Planung ist nicht möglich, da Fertigung und Montage zeitlich eng verzahnt sind. Vor Beginn der Fertigteilproduktion muss die gesamte Planung, einschließlich der Detailpunkte und Verbindungen, komplett vorliegen. Somit ist der Aufwand in dieser Hinsicht nur ein scheinbarer, da ein ausschließlich auf der Baustelle erstelltes Gebäude genauso konstruiert sowie detailliert werden muss und der Planungsprozess hier nur zeitlich gestreckt ist.

Der höhere Planungsaufwand resultiert somit ausschließlich aus dem höheren Schwierigkeitsgrad der Aufgabe gegenüber der Planung für ein konventionell zu errichtendes Gebäude.

4.1.1.2 Tunnelschalverfahren

Das Verfahren wurde in den 70er Jahren entwickelt. Parallele Entwicklungen fanden in ganz Europa statt. In den Niederlanden ist das Tunnelschalverfahren im Wohnungsbau sehr präsent und effizienter als herkömmliche Wandbauweisen (Kempe 2015).

Das Tunnelschalverfahren ist ein Monolithverfahren nach dem Prinzip der Querwandbauweise und für Gebäude mit zellenartigem Aufbau geeignet. Ebenso wie die Längs- und Querwandbauweisen liegt in der Eingrenzung der Spannweiten ein Nachteil für die Umsetzung flexibler Wohnungsgrundrisse.

Tunnelschalungen im Geschossbau sind eine Weiterentwicklung von Großtafelschalungen. In Ostdeutschland war das Verfahren unter dem Namen Hallesche Monolithbauweise bekannt. Das niederländische Unternehmen Royal BAM Group hat für den Wohnungsbau eine flexible Tunnelschalung entwickelt, die in ihren Abmessungen variiert und für den Transport zusammengeklappt werden kann.

Ein Tunnelschalungssegment besteht aus einer Deckenschalung und zwei gegenüberliegenden senkrechten Schalungstafeln. Dieses Gebilde, das vergleichbar mit einem Tunnel ist, wird durch eine Stützkonstruktion zusammengehalten.

Die Wandschalung entsteht durch Aneinanderreihung der Schalungssegmente. Die Segmente werden gegeneinander verspannt. Die Herstellung eines Geschosses dauert ca. drei Tage.

Der technologische Ablauf (vgl. (Schmitt und Heene 1988)) gliedert sich nach Tabelle 4 wie folgt:

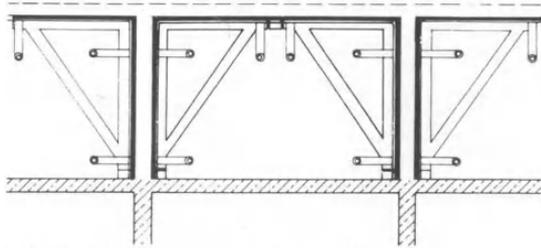
Tabelle 4: Technologischer Ablauf zur Herstellung eines Geschosses, (Schmitt und Heene 1988)

Arbeitstag	Technologischer Ablauf
1. Tag:	<ul style="list-style-type: none"> - Aufstellen der Schalung - Einbringen der Bewehrung
2. Tag:	<ul style="list-style-type: none"> - Betonieren - Erhärtung, Beschleunigung des Erhärtungsprozesses durch die elektrische Beheizung des Betons
3. Tag:	<ul style="list-style-type: none"> - Ausschalen - Herausfahren der Schalung mit Hilfe von Teleskopspindeln - Inspektion und Nacharbeiten am Beton - Umsetzen der Schalung in das nächste Geschoss

In einer Forschungsarbeit (Achterberg und Eikenbusch 1978) wurde die Wirtschaftlichkeit (Arbeitsaufwand und Kosten) von Tunnel- und Großflächenschalungen untersucht und die beiden Systeme gegenübergestellt. Die Wirtschaftlichkeit einer Tunnelschalung/Raumschalung (Achterberg und Eikenbusch 1978) hängt entscheidend von ihrer Einsatzzahl ab. Bei 50 Einsätzen ist sie hinsichtlich der Kosten pro qm Schalfläche einer Großflächenschalung ebenbürtig. Bei höherer Einsatzzahl sinken die Kosten erheblich. Das Mindestbauvolumen für die wirtschaftliche Anwendung wird mit 100 bis 150 gleichartigen Wohnungen angegeben. Tunnelschalungen erlauben kurze Bauzeiten, erfordern aber einen durchorganisierten Arbeitsablauf.



Bild 13: 193 Seniorenappartements in Deurne bei Antwerpen, Bauvorhaben der Royal BAM Group, Fertigstellung 2012 (RoyalBAMGroup 2013)



VORGEFERTIGTE VERSETZBARE TUNNELSCHALUNG.
BETONIEREN VON DECKE UND WAND IN EINEM ARBEITSGANG

Bild 14: Tunnelschalung (Schmitt und Heene 1988)



Bild 15: Flexible Tunnelschalung, Patent der Royal BAM Group (RoyalBAMGroup 2013)

4.1.1.3 Deckenhubverfahren

Das Deckenhubverfahren ist ein in den USA entwickeltes Verfahren zur Deckenherstellung. Es wird auch als Lift-Slab-Verfahren bezeichnet. Im weitesten Sinne stellt die Bauweise eine Skelettkonstruktion dar.

Erste Bauten wurden 1952 in den USA umgesetzt. Das System wurde seit Anfang der 1970er Jahre auch in Deutschland eingesetzt. Größere Verbreitung fand das Bauverfahren in den osteuropäischen Ländern. Nach dem Zusammenschluss der beiden deutschen Staaten wurden aufgrund von Sicherheitsvorschriften keine Bauvorhaben in Deutschland mehr realisiert. In Russland und Bulgarien findet es noch heute Anwendung.

Beim Deckenhubverfahren werden Betonteile in Form von Flachdecken direkt am Boden auf Geländehöhe, getrennt durch eine Folie, monolithisch übereinander betoniert. Sind alle Decken fertiggestellt, werden sie mit Hubwinden an vorgefertigten Stützen mit Hilfe mechanisch/hydraulischer Heber in Teilabschnitten in Einbaulage gehoben. Die Stützen können in Stahl oder Stahlbeton (vorgefertigte Elemente) ausgeführt werden.

Der Verfahrensablauf nach dem Betonieren der Deckenplatten am Boden ist in nachstehenden Bildern dargestellt (Künzel und Kott 2008).

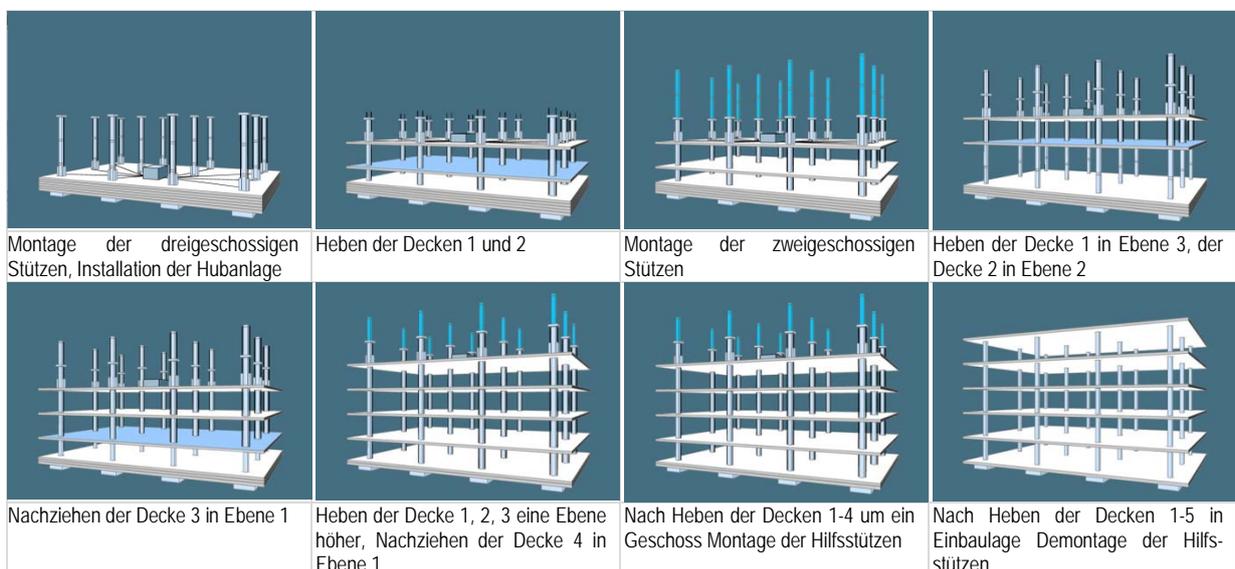


Bild 16: Verfahrensablauf Deckenhubprozesse (Künzel und Kott 2008)

In der Planung müssen die Besonderheiten des Systems berücksichtigt werden. Eine spätere Anpassung von Bauvorhaben an das Deckenhubverfahren ist wirtschaftlich nicht darstellbar.

Die Vorteile von Stahlstützen sind in der höheren Biegesteifigkeit zu sehen. Stahlbetonstützen verursachen geringere Materialkosten und sichern die brandschutztechnischen Anforderungen der Gebäude.

Die Vorteile des Verfahrens liegen neben geringeren Lohnkosten baugleicher Gebäude in Ortbeton und einer 40 %igen Bauzeitverkürzung

- in der Vereinfachung der Schalungs-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten durch die Senkung des Transportaufwands auf der Baustelle (Kran und Betonpumpen für größere Höhen entfallen),
- im reduzierten Schalungsaufwand (Schalungsmaterial ist nur am Deckenrand erforderlich),
- in einer hohen Anpassungsfähigkeit an bereits bestehende Gebäude,
- entfallenden Einrüstungen,
- in glatten und ebenen Deckenflächen,
- in der Möglichkeit des Vertikaltransports zusätzlicher Lasten auf den zu hebenden Decken,
- in kurzen Bauzeiten,
- in Flexibilität in Nutzung und Umgestaltung.

Durch die hohe Maßgenauigkeit des Verfahrens sowie das Ausbleiben sichtbarer Unterzüge ist die Umsetzung passgerechter Ausbausysteme leicht realisierbar.

4.1.1.4 Fazit standardisierende Bauverfahren im Neubau

Fertigteilbauverfahren werden charakterisiert durch Verlagerung der Baustellenprozesse in die Vorfertigung, eine höhere Produktqualität und kürzere Bauzeiten gegenüber traditionellen Verfahren. Das Tunnelschalverfahren stellt bei entsprechenden Losgrößen ein effizientes Verfahren zur Herstellung von Wohnraum dar. Das Deckenhubverfahren verbindet die Vorteile von Skelettbauweisen mit erheblichen Bauzeitverkürzungen und bietet ideale Voraussetzungen für Baulückenschließungen aufgrund konstruktiver Freiheitsgrade an. Untersuchungen zum Deckenhubverfahren belegen eine größere Effizienz gegenüber standardisierten Ortbetonverfahren. Betonier- und Bewehrungsarbeiten sind in kürzeren Zeiten als beim Ortbetonverfahren realisierbar, Schalungsarbeiten entfallen bis auf eine Deckenrandschalung. Die Lohnkosten für Schalungs-, Betonier-, Bewehrungsarbeiten reduzieren sich bei vergleichbaren Objekten auf > 50 % (Fechner 2014). Dennoch ist und bleibt es ein Baustellenverfahren, erschließt zwar Kostenpotentiale hinsichtlich der Bauzeit gegenüber Ortbetonbauweisen, nicht aber gegenüber Fertigteilbauverfahren.

Tunnelschal- und Deckenhubverfahren stellen effiziente Baustellenverfahren dar, erfahren jedoch aufgrund hoher Investitionskosten für die technische Ausrüstung, regional unterschiedlicher Bedarfe und aufgrund der kleinteiligen Struktur der Bauunternehmen in Deutschland keine Umsetzung.

Die Vorteile standardisierter Bauverfahren, insbesondere der Fertigteilbauverfahren, liegen in der Optimierung des Bauplanungsprozesses und der Verlagerung der Arbeit von der Baustelle zu flexiblen und rationellen Arbeitsmethoden in der Vorfertigung. Automatisierung und industrielle Fertigungsweisen ersetzen lohnintensive Arbeiten. Simulationstechniken können für arbeitsvorbereitende Maßnahmen genutzt werden und tragen zur Ausschaltung von Fehlerquellen bei.

Bereits vor Fertigungsbeginn muss ein ganzheitliches Planungskonzept incl. Haustechnik vorliegen. Arbeitsvorbereitung v. a. im Ausbau können optimiert werden. Bauen mit vorgefertigten Elementen minimiert die Lagerhaltung auf Baustelle, Aufwendungen für Baustelleneinrichtungen durch Just-in-Time-Montagen.

Fertigteilbauverfahren zeichnen sich durch eine überwiegend höhere Produktqualität als bei traditionellen Verfahren sowie kürzere Bauzeiten aus. Durch feste Zeitabläufe erfahren Bauvorhaben eine höhere Kalkulationssicherheit: Es entfallen beispielsweise unkalkulierbare Randstunden durch Dispositionsfehler, Lieferungsverspätungen oder Umsetzungsschwierigkeiten der Planungsvorgaben. Verbindliche Bauzeitenpläne geben auch den nachfolgenden Gewerken eine bessere Planungssicherheit.

Der Automationsgrad zu Herstellung vorgefertigter Bauteile und Module ist unterschiedlich, jedoch im Interesse einer weiteren Verlagerung der Baustellenprozesse in die Vorfertigung auch unter dem Aspekt künftig fehlender Fachkräfte auf der Baustelle auszubauen und zu rationalisieren.

Kostengünstiges Bauen ist durch verbesserte Verfahren und Prozesse mit industrieller Fertigung realisierbar.

Die Vorfertigung, die in anderen Industriezweigen qualitativ und quantitativ akzeptiertes Produktionsverfahren ist, leidet im Bauwesen unter dem Negativimage der Uniformität. Quantität unter Beibehaltung von Qualitätsstandards ist jedoch eine Voraussetzung für eine kostengünstige Gebäudeherstellung.

Um Kostensenkungspotentiale durch stationäre Vorfertigung auszuschöpfen, sind sowohl Investitionen in die Maschinenteknik, openBIM (Building Information Modeling) und nicht zuletzt in die Mitarbeiter von Nöten.

Im Hinblick auf die Vernetzung der Planungs- und Vorfertigungsprozesse kommt dem Building Information Modeling (BIM) für kostengünstiges Bauen besondere Bedeutung zu. Derzeit werden Schnittstellen verwendet, die zum Teil nicht dafür ausgelegt sind, die generierte Datenfülle moderner CAD-Anlagen aus der Architektur, ergänzt um die Daten der statischen Berechnung und der Bauphysik verlustfrei ins Herstellerwerk zu übertragen.

Häufig treten schon Schwierigkeiten bei der Informationsübertragung vom Architekten zum Statiker oder Haustechnikplaner auf, so dass die bereits digitalen Daten von den jeweiligen Büros noch einmal manuell in ihre Systeme eingegeben werden müssen. Die aktuell im Fertigteilbau verwendeten Schnittstellen und deren Varianten (ca. 40-50) wurden nicht für einen durchgängigen Planungs-, Produktions- und Montageprozess vorgesehen und sind nur ansatzweise dafür ausgelegt, die heute benötigten, echten 3D-Gebäude- und Fertigteildaten verlustfrei und effektiv zu übertragen. Eine Einbindung externer Prozesse, wie Kalkulation, Einbauteil-Katalogisierung und Qualitätssicherung ist derzeit in diesen Datensystemen noch nicht möglich (Neubauer 2015).

Die Bauzeit wirkt sich auf die Baukosten aus, insbesondere auf die Finanzierungskosten. Die Kostengruppe 760 (Finanzierungskosten) setzt sich i. d. R. aus Eigen- und Fremdkapital zusammen. Verlängert sich die Bauzeit auf Grund von Störungen oder Behinderungen, ist zum einen das Eigenkapital länger an das Objekt gebunden und zum anderen ergeben sich erhebliche Mehrkosten in Folge von laufenden Zinsen für das Fremdkapital. Verlängert sich die Bauzeit, steigen somit häufig auch die Gesamtkosten der baulichen Anlage.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass für die Optimierung des Bauplanungsprozesses nachstehende Punkte von Bedeutung sind:

- Verlagerung der Arbeit von der Baustelle zu flexiblen und rationellen Planungsmethoden in die Vorfertigung,
- Automation und industrielle Fertigungsweisen anstelle lohnintensiver Arbeiten,
- ganzheitliches Planungskonzept incl. Haustechnik vor Fertigungsbeginn,
- Nutzung von Simulationstechniken für arbeitsvorbereitende Maßnahmen,
- Optimierung der Arbeitsvorbereitung v. a. im Ausbau/Einbeziehung vorgefertigter Elemente,
- Minimierung Lagerhaltung auf Baustelle,
- optimierte Baustelleneinrichtungen,
- Just-in-time-Montage.

4.1.2 Standardisierte Bauverfahren in der Sanierung/Modernisierung

Im Focus der Untersuchungen stehen Sanierungsverfahren typisierter Wohngebäude, die sowohl auf Neubauvorhaben übertragbar sind, die aber auch zugleich Verfahren im Lebenszyklus von Gebäuden darstellen und einen entscheidenden Einfluss auf kostengünstiges Bauen ausüben.

Im Rahmen des Stadtumbaus Ost und Stadtumbaus West wurden zahlreiche Verfahren zur Sanierung des Wohngebäudebestandes unter unbewohntem und bewohntem Zustand entwickelt. Die Verfahren konzentrieren sich im Wesentlichen auf die Sanierung vertikaler Erschließungsstränge, die Sanierung von Bädern sowie des Küche/ Bad-Bereiches, den Rückbau von Segmenten und Geschossen.

Wohnraum- und Gebäudesanierungen stellen hohe Anforderungen an die Planung und Koordination, besonders wenn sie im bewohnten Zustand erfolgen soll. Der bewohnte Zustand eines Gebäudes erhöht die Komplexität signifikant. Im Gegensatz zu Neubauprojekten können bei Sanierungsmaßnahmen Änderungen auftreten, die erst während der Maßnahme erkannt werden (GdW 2013). Bei den ehrgeizigen Terminvorgaben und knappen Kostenbudgets ist ein störungsfreier Ablauf der Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen von entscheidender Bedeutung.

Typisierte Wohngebäude bieten aufgrund ihrer Bauweise eine gute Ausgangsposition, Sanierungslösungen zu verallgemeinern. Die Sanierungstechnologie muss an die örtlichen Gegebenheiten und baulichen Strukturen mehr oder weniger angepasst werden. Die Phasen der Projektabwicklung werden exakt definiert, um Prozesse, Organisationsstrukturen und Personalbedarf zu planen, vorzubereiten und durchführen zu können. Notwendige Änderungen können zielgerichtet an die Planung angepasst werden. Gegenüber der Sanierung und Modernisierung von Jahrhundertwendebauten können die Lösungsansätze im Typenbau vielfach multipliziert werden.

Erfahrungen zu Sanierungsmaßnahmen insbesondere unter bewohnten Bedingungen wurden in den letzten Jahren vorrangig in den neuen Bundesländern gesammelt. Dazu wurde unter anderem für die innere Sanierung eine 5-Tage-Technologie entwickelt, bei der die Mieter nur in einem begrenzten Zeitraum in ihrer Wohnqualität beeinträchtigt werden.

5-Tage-Technologie

- Sanierung Küchen-/Badbereich
- Sanierung übereinander liegender Wohneinheiten eines Steigstranges

Beginn 1. Arbeitstag 7.00 Uhr
Ende 5. Arbeitstag 16.00 Uhr

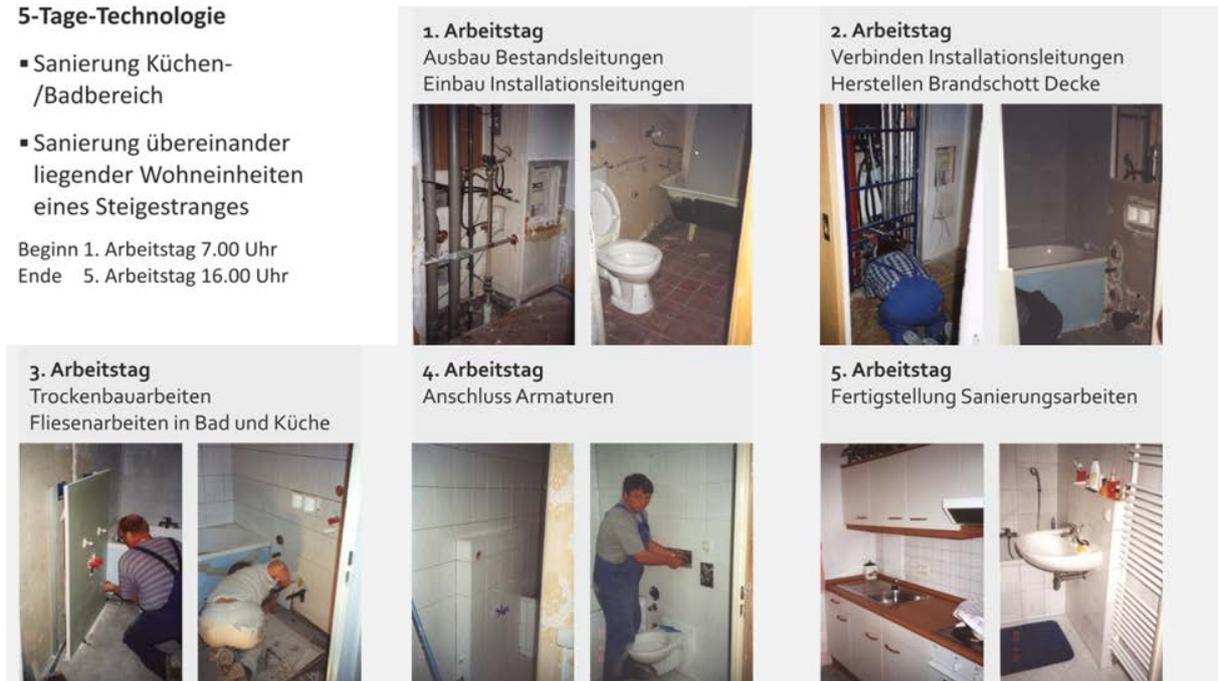


Bild 17: 5-Tage-Technologie, Strangsanierung Küchen-/Badbereich (IFF Weimar e. V. 1998)

Die 5-Tage-Technologie stellt einen idealisierten Sanierungsablauf dar, der in typisierten Wohngebäuden zur Anwendung kommt. Hierbei werden die inneren Sanierungsabläufe in den Bad- und Küchenbereichen in einem Aufgang koordiniert. Dabei wird sichergestellt, dass die Arbeiten innerhalb der Wohnbereiche in maximal 5 Arbeitstagen fertiggestellt sind. Das generelle Ziel besteht darin, das Projekt erfolgreich zu absolvieren und mit einem Minimum an Aufwand zu koordinieren.

Die Arbeiten je Haus und der Umfang der parallel zu bearbeitenden Takte werden festgelegt. Die haustechnische Installation wird für alle übereinander angeordneten Wohnungen gleichzeitig ausgeführt. Jede übereinanderliegende Funktionseinheit wird als ein Takt bezeichnet. Es können mehrere Takte zur gleichen Zeit ablaufen. Hierzu ist es notwendig, dass pro Takt ein Arbeitskommando mit der gleichen Anzahl Arbeitnehmer die Arbeiten ausführt.

Mit Hilfe von haustechnischen Modulen können die Sanitärstrecken zeitsparend nachhaltig saniert und modernisiert werden (siehe auch Abschnitt 4.3.2.3 Sanitärinstallation). Diese Module können in der Vorfertigung hergestellt und auf der Baustelle eingebaut werden. Besondere Beachtung erfährt der Brandschutz. Hier gelten gegenüber Bestandsgebäuden verschärfte Bedingungen. Das in Bild 18 dargestellte Modul wird mit sämtlichen haustechnischen Leitungen und dem Brandschott in der Vorfertigung konfektioniert. So können unter optimalen Bedingungen kurze Fertigungszeiten bei höchster Qualität erreicht werden. Durch die Vorfertigung kann eine deutliche Produktivitätssteigerung gegenüber der konventionellen Montage auf der Baustelle erzielt und kostenseitig effizient erst > 100 Ausführungen erschlossen werden.



Bild 18: Installationsmodul mit integriertem Brandschott (IFF Weimar e. V. 2013), Foto Rebel

Weitere Beispiele zeigen, dass besonders modulare Bauweisen einen extremen Vorteil bei der Sanierung und Modernisierung besitzen. Die Möglichkeiten einer seriellen Umbaumethode kann konsequent genutzt werden (GdW Bauherrenpreis 2013).

Vergleiche zu Wohnungssanierungen in Bausteinen (Modulen) belegen, dass eine Zeit- und damit Kostenersparnis möglich ist. Die Firma B&O beispielsweise entwickelte ein Baukastensystem zur Sanierung. Hier werden einzelne Module angeboten, die Zeit- und damit auch Kostenersparnis dokumentiert (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Vergleich zwischen traditioneller und modularer Sanierung (B&O 2015)

	Traditionelle Sanierung	Sanierung mit Modulen
Zeitraum bis zur Neuvermietung	2-3 Monate	1 Monat
Abrechnung	Einzelpreis nach Aufmaß	Pauschalpreis
Wirtschaftlichkeit/Miete	getrennt von Kostenermittlung	sofort über Tool aus Begehungsmatrix
Kostensicherheit	gering	hoch, durch fixierte Module

Wohngebäude, die in den letzten Jahren saniert wurden, müssen aufgrund von geänderten Vorschriften und Anforderungen nach ca. 20 bis 25 Jahren einer erneuten Sanierung und Modernisierung unterzogen werden. Ein wichtiger Aspekt im Lebenszyklus von Gebäuden sind Instandhaltungs- und Modernisierungsmaßnahmen. Die zyklische Wiederholung greift aufgrund unterschiedlicher Planungsansätze in die Grundstruktur der Gebäude ein und verändert damit trotz ursprünglich gleicher Voraussetzungen einen einheitlichen Planungsansatz in der darauf folgenden Modernisierungsphase.

Umfragen bei Thüringer Wohnungsunternehmen (Janorschke, Rebel und Nowak 2015) mit einem Wohnbestand über 500 WE belegen, dass eine zweite Sanierungswelle in Deutschland bevorsteht. Befragungen wurden bezüglich des erreichten Sanierungsstandes, des Sanierungsbedarfes (kurz-, mittel- und langfristig) nach Gebäudetyp, Bauteil und Ausstattung sowie der Wohnungsbelegung und der Perspektiven durchgeführt.

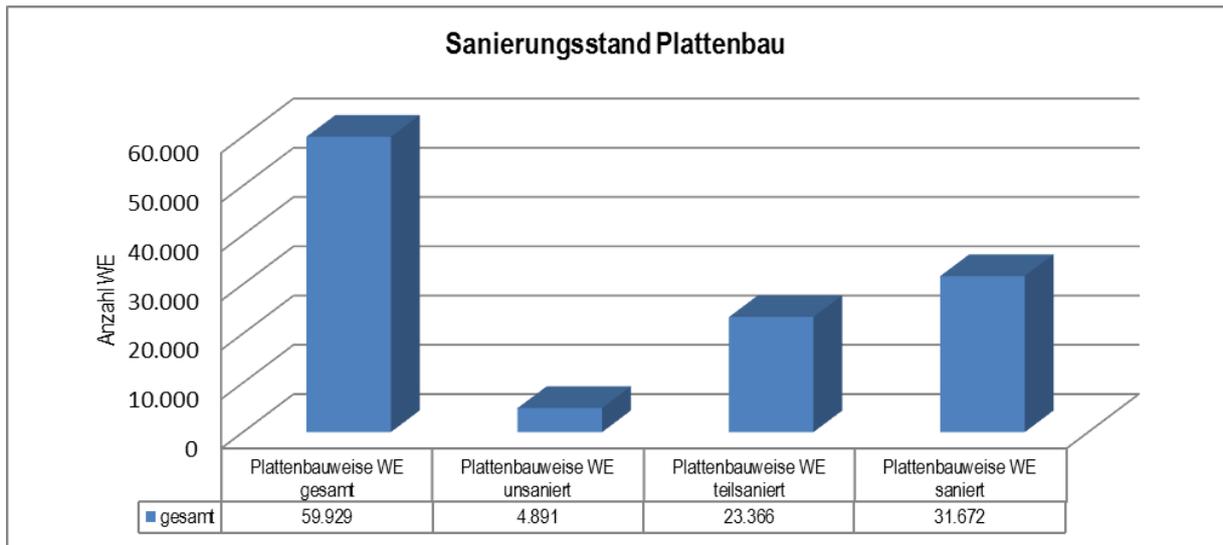


Bild 19: Sanierungsstand Plattenbau in Thüringen, Umfrage (Janorschke, Rebel und Nowak 2015)

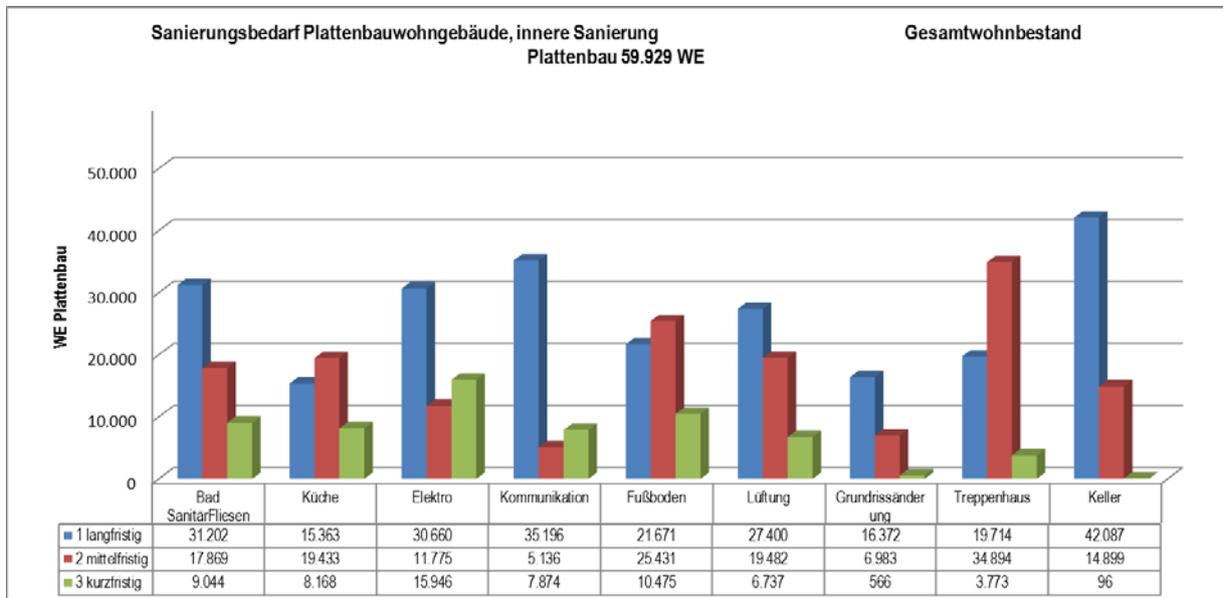


Bild 20: Sanierungsbedarf der inneren Sanierung der Plattenbauwohngebäude in Thüringen nach Dringlichkeit (Janorschke, Rebel und Nowak 2015)

In Auswertung der Befragung besitzt ein Großteil der Gebäude mittlerweile unterschiedliche Sanierungsvoraussetzungen infolge individueller Sanierungsmaßnahmen. Jedes Gebäude ist somit als Unikat zu bewerten. Zukünftige Lösungsansätze müssen diese Unterschiede berücksichtigen.

Hervorzuheben ist, dass besonders nachträglich anzubauende Balkonanlagen und Aufzugsanlagen sowie Wohnungen mit besonderen Merkmalen (barrierefreier Zugang und schwellenfreie Duschen) und barrierefreie Wohnungen mittel- und langfristig benötigt werden.

Laut Aussagen des GdW (Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e. V.) wurden über den Verband ähnliche Untersuchungen durchgeführt und bestätigen das Ergebnis.

Ein weiteres Sanierungsverfahren stellt der Rückbau von Wohngebäuden dar. Großraumsiedlungen werden in Abhängigkeit ihrer Anbindung und der Bevölkerungsentwicklung zukünftig mit Wohnungsleerstand zu kämpfen haben. Bei Wohngebäuden in Fertigteilbauweise können einzelne Geschosse oder auch Teilsegmente rückgebaut werden. Der Rückbau kann sowohl horizontal als auch vertikal mit und ohne Sicherheitsgeschoss ausgeführt werden. Beim horizontalen Rückbau werden die Bauteile über die gesamte Gebäudelänge bezogen, geschossweise demontiert. Beim vertikalen Rückbau werden einzelne Segmente über ein oder mehrere Geschosse entfernt, während die angrenzenden Segmente unberührt bleiben. Kombinationen aus horizontalem und vertikalem sowie auch als terrassierter Rückbau sind möglich und auch oft aus verfahrenstechnischen und wirtschaftlichen Gründen zweckmäßig. Die einzelnen Technologien unterscheiden sich hinsichtlich des Arbeitsaufwandes,

der speziellen Trenn- und Demontagetechnik, des Arbeitsschutzes und der erforderlichen Sicherungsmaßnahmen der Bausubstanz. Die Auswahl des Rückbauverfahrens ist von einer Vielzahl von Faktoren wie Belegungsstand von Wohngebäuden, geplanter Endzustand, Änderungsbedarf an den Wohnungsgrundrissen, den veranschlagten Kosten usw. abhängig. Entscheidend sind die Zielvorgaben der Eigentümer / Wohnungsunternehmen. Die Gebrauchsfähigkeit der haustechnischen Anlagen in den vermieteten Wohnungen ist mit Ausnahme der Demontagezeiten jeweils zum Arbeitsschluss eines jeden Tages zu gewährleisten. Technische Anlagen sind i. d. R. in dem obersten Verbleibegeschoss zu trennen und umzuschließen. Der Einsatz eines Sicherheitsgeschosses ist technisch nicht zwingend notwendig, wird jedoch in Einzelfällen von Behörden oder auch Wohnungsunternehmen gefordert. Hier bestehen Abhängigkeiten zum Belegungs- und Sanierungsstand sowie geplanten Grundrissänderungen.

Rückbau unter bewohnten Bedingungen erfordert eine detaillierte Ausführungsplanung, ein striktes Zeitmanagement des Bauablaufes, unbedingte Einhaltung des Arbeitsschutzes sowie größte Sorgfalt bei der Bauausführung sowie Betreuung der Bewohner. Die Koordinierung der Gewerke verlangt absolute Präzision. Am IAB Weimar wurden in einem Forschungsprojekt diese technologischen Schritte in Handlungsanleitungen definiert.

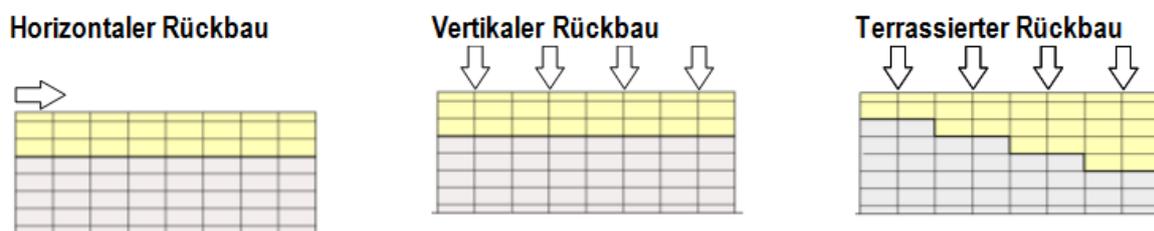


Bild 21: Rückbautechnologien unter bewohnten Bedingungen (Palzer, Janorschke und Rebel 2010)

Die Umsetzung demontabler Verbindungsmittel bei Errichtung von Gebäuden leistet in dieser Lebenszyklusphase einen wichtigen Beitrag zur Kostensenkung.

4.1.3 Fazit Bauverfahren Sanierung/Modernisierung

Wohnraum- und Gebäudesanierungen stellen hohe Anforderungen an die Planung und Koordination besonders im bewohnten Zustand. Sanieren unter bewohnten Bedingungen erhöht die Komplexität signifikant. Die Technologie muss an den örtlichen Gegebenheiten, baulichen Strukturen ausgerichtet, die Phasen der Projektabwicklung exakt strukturiert und definiert werden, um Prozesse, Organisationsstrukturen und Personalbedarf planen, vorzubereiten und durchführen zu können. Der Einsatz vorgefertigter Bauteile trägt zur Verkürzung der Bauzeit, entsprechende Losgrößen (z. B. Installationsmodule > 100 Stück, Fertigbäder > 20 Stück...) tragen zur Kostenreduzierung bei.

4.2 Analyse standardisierter Bauweisen

Die Bauweise beschreibt die festgelegte Anordnung von Konstruktions- oder Bauelementen. Nachstehende Ausführungen werden nach System- und Materialansätzen gegliedert.

4.2.1 Systemansätze

4.2.1.1 Wandbauweisen

Die Wandbauweise ist eine Systembauweise, die mit halb- oder geschosshohen Wandelementen, Fassaden- und Deckenplatten errichtet wird. Es wird prinzipiell zwischen Block-, Streifen- und Plattenbauweisen unterschieden. Fassaden- und Wandelemente, die ein- und mehrschichtig aufgebaut sein können, werden in der Vorfertigung auf Schalltischen (Kipptischen) hergestellt (siehe auch Abschnitt 4.1.1.1).

Der Wandbau gliedert sich in Abhängigkeit von der Konstruktion zur Aufnahme und Ableitung der Bauwerkslasten in Längswand- und Querwandsysteme.

Bei Längswandsystemen übertragen die Längswände die Bauwerkslasten auf den Baugrund. Die Querwände übertragen nur Eigenlasten. Bei den Querwandbauweisen übertragen die Querwände die Bauwerkslasten auf den Baugrund, die Längswände nur ihre Eigenlasten.

Die früher üblichen Schweißverbindungen werden heute durch kostengünstigere und zeitsparende Schlaufen- oder Schlossverbindungen abgelöst. Der Trend geht in Richtung mörtellose, demontable Verbindungen zur Ver-

einfachung der Montagetechnik und Rückbaufähigkeit. Voraussetzung dafür sind die heute geringen Toleranzen in der Vorfertigung.

Die Wandbauweisen eignen sich besonders für Gebäude, die sich aus einer Vielzahl gleicher Räume zusammensetzen und deren Raumaufteilung sich periodisch wiederholt. Damit sind jedoch der Flexibilität in der Nutzung baukonstruktive Grenzen im Rahmen der Spannweiten gesetzt.

4.2.1.2 Skelettbauweise

Die Skelettbauweise hat sich aus den Hallenkonstruktionen aus Gusseisen und Stahl im 19. Jh. und durch die Verwendung von Stahlbeton weiterentwickelt. Bereits mit den ersten Hochhäusern in Amerika setzte der Boom der Skelettbauweise ein. Die anfangs zwischen die Stützen und Decken gestellte Fassadenaufhängung wurde durch vorgehängte Fertigfassaden abgelöst, die sogenannten Curtain Walls, und bereits Anfang des 20. Jh. (um 1919) zum ersten Mal bei Hochhausneubauten in den USA eingesetzt. Die Skelettbauweise ist dadurch charakterisiert, dass die horizontalen und vertikalen Lasten über Stützen, Riegel und Binder über das Fundament auf den Baugrund übertragen werden. Die Außenwände werden vorgestellt oder vorgehängt. Typische Baumaterialien des Skelettbaus sind Holz, Stahl und Stahlbeton.

Betonbauteile im Skelettbau können in Ortbeton oder mit Fertigteilen ausgeführt werden.

Die Wirtschaftlichkeit der Skelettbauweise liegt in der Systematisierung der Gebäudestruktur und Bauteile sowie in der Flexibilität der Grundriss- und Fassadengestaltung. Hinzu kommen bauphysikalische Vorteile durch Trennung von Tragstruktur und Hüllkonstruktion. Durch die Vorfertigung der einzelnen Elemente werden kurze Bauzeiten und eine hohe Qualität garantiert. Demontable Verbindungen gehören heute zum Standardrepertoire im Skelettbau und sichern somit die Umbaufähigkeit, den Rückbau als auch das Recycling des Bauwerks.

4.2.1.3 Modulbauweise

Die Modulbauweise machte vor allem in den 1960er Jahre von sich reden. Ausgangspunkt war die Vision der stapelbaren Stadt. Städtebau und Soziologen planten zusammen mit Architekten die Metastadt. In Megastrukturen (Skelettkonstruktionen) sollten Raummodule wahlweise ein- und ausgebaut werden können.



Bild 22: Weltausstellung 1967 in Montreal, Habitat (inhabitat 2015)



Bild 23: Zweigeschossige Mehrfamilienhäuser in Pegnitz (Brech und Schmid 2015)

Vorgefertigte Raumsysteme/Module sind industriell hergestellte Bauteile, die zu selbsttragenden Raumeinheiten sowohl im Herstellerwerk als auch auf der Baustelle zusammengefügt werden. Vorgefertigte Raumsysteme können als Beton-, Holz- und Stahlkonstruktion ausgeführt werden. In Deutschland sind Stahlbauweisen vorherrschend. Das Unternehmen Max Bögl bietet vorgefertigte Raumsysteme in einer Holz-Beton-Verbundbauweise an.

Als Herstellungsverfahren in Beton kommen die Tafelbauweise (Montage im Werk), eine Teilsegmentherstellung (Diagonalschalung) und eine Vollsystemherstellung (Glockengussverfahren, variabel verstellbares Schalungssystem) in Frage. Insbesondere durch das Glockengussverfahren kann die Produktion erheblich gesteigert werden. Die Investition in die Produktionsanlagen ist jedoch sehr hoch und rentiert sich nur bei einem entsprechenden Umsatz (Bundesverband Bausysteme e. V. 1998). Raumsysteme aus Beton sind selbsttragend. Sie werden in Deutschland nur in Ausnahmefällen für den Wohnungsbau eingesetzt. Haupteinsatzgebiete sind Badzellen, Garagen und technische Einhausungen.

4.2.1.4 Fazit standardisierte Bauweisen

Die o. a. Bauweisen werden durch unterschiedliche Freiheitsgrade charakterisiert, die wesentlichen Einfluss auf die Umgestaltungs- und Umnutzungsprozesse im Lebenszyklus eines Gebäudes haben und somit in dieser Phase Kostenpotentiale erschließen können. Die Freiheitsgrade der einzelnen Bauweisen sind in nachstehendem Bild schematisch aufbereitet:

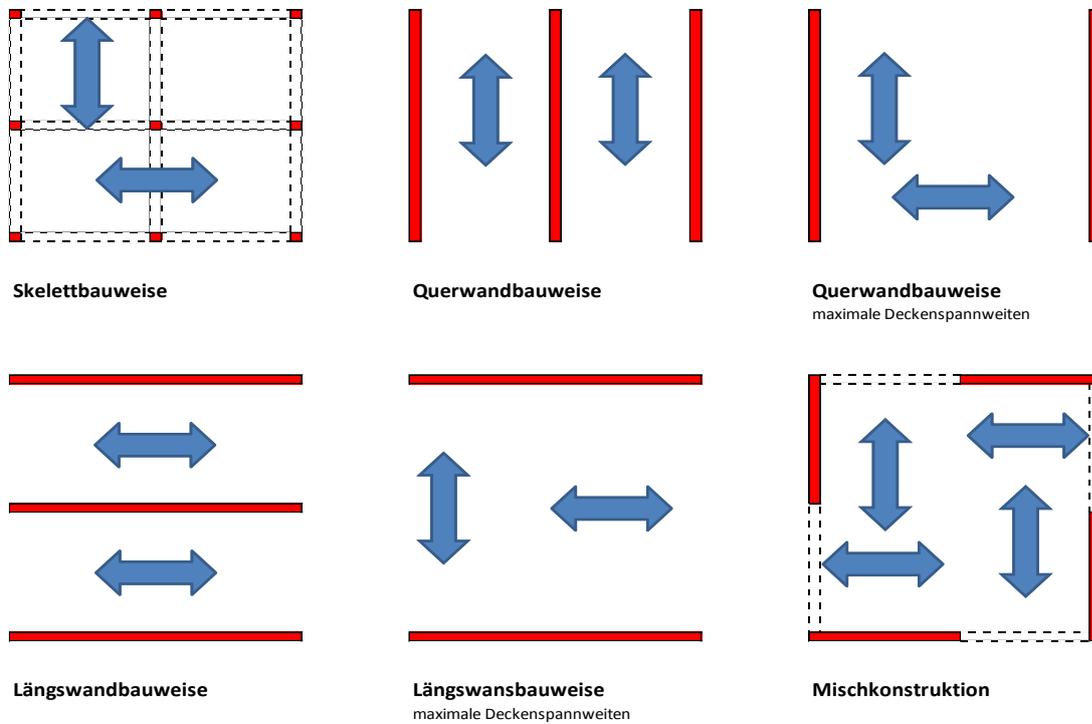


Bild 24: Freiheitsgrade Bauweisen

Skelettkonstruktionen weisen die höchste Flexibilität auf. Alternativen für den Wandbau bilden weitspannende Deckensysteme. Ebenso zeigen Mischkonstruktionen alternative Lösungsansätze auf.

Wandbauweisen eignen sich vorwiegend für Gebäude mit einer Vielzahl gleicher Räume und hohem Wiederholungsfaktor. Skelettkonstruktionen zeichnen sich neben einer flexiblen Grundriss- und Fassadenstruktur durch eine Trennung von Trag- und Hüllkonstruktion aus. Raumsystembauweisen punkten aufgrund eines hohen Vorfertigungsgrades durch extrem kurze Bauzeiten.

4.2.2 Materialansätze

4.2.2.1 Beton

Beton ist ein Baumaterial mit zahlreichen Vorzügen, welches beim kostengünstigen Wohnungsbau allein durch seine Materialeigenschaften Kostenvorteile generiert. Beton ist nahezu universell einsetzbar. Seine Dauerhaftigkeit ermöglicht einen geringen Wartungsaufwand. Er besitzt thermisches Speichervermögen. Der Baustoff eignet sich für Tragwerke ohne aufwändige Brandschutzmaßnahmen. Neue Hochleistungsbetone erlauben filigrane Konstruktionen und gehen so mit einer Konstruktionsflächen- und Materialreduzierung einher. Das Bauen mit Beton- und Stahlbetonfertigteilen erhöht die Qualität der Ausführung. In den stationären Betrieben der Fertigteileindustrie kann im Gegensatz zur Baustelle witterungsunabhängig an einem geschützten Arbeitsplatz gefertigt werden. Die Steuerung und Kontrolle der Produktion im Fertigteilewerk ist, wie bei jeder stationären Industrie, effektiver und damit wirkungsvoller (Fertigungskontrolle, Güteüberwachung) (Prochiner 2006).

Durch die Fertigung im Werk werden Betonüberdeckungen exakt eingehalten und die Betonverdichtung optimiert. Der Montageaufwand bei Betonfertigteilen ist im Gegensatz zu Ortbetonbauweisen (Schalung, Gerüste, Bewehrung, Beton) eher gering. Eingeführte Bauweisen im Betonbau sind:

- Wandbauweisen,
- Skelettbauweisen,
- Modulbauweisen.

Der Betonfertigteilbau wird auch in Zukunft eine wesentliche Rolle in der Bauindustrie spielen. Neue Materialien, Produkte und Bausysteme sowie eine rationellere Produktion werden das Bauen mit Betonfertigteilen befördern. Abzusehende Tendenzen lassen sich wie folgt charakterisieren (van Acker 2012):

- *Materialien*
Die Entwicklung geht hin zu höheren Betonfestigkeiten. Hierdurch können Bauelemente weiter rationalisiert und neue dünnwandige Elemente entwickelt werden.
- *Bauteile*
Neuentwicklung von Bauteilen stehen nicht im Vordergrund der Forschungen, sondern vielmehr die Optimierung bestehender Produkte und neuer Produktionsverfahren durch material-, bewehrungstechnische und Formgebungskomponenten. Dadurch können u. a. Eigenlasten der Bauteile reduziert und Materialressourcen erschlossen werden.
- *Hybride Konstruktionen*
Betonfertigteile spielen hierbei eine zentrale Rolle, da sie mit Stahl, Holz, Glas und Ortbeton aber auch mit technischen Ausrüstungen kombiniert werden können und einen Beitrag für effiziente und kostengünstige Bauteile leisten.
- *Thermische Speicherkapazität*
Die Fähigkeit von Beton, Wärme tagsüber zu speichern und nachts abzugeben, wird gegenwärtig vorwiegend in Bürogebäuden genutzt. Es ist aber davon auszugehen, dass sich diese Technologie auch im Wohnungsbau etablieren wird.
- *Schallsolation*
Fertigteildecken besitzen von Natur aus gute Schalleigenschaften. Mit der Entwicklung von Doppelbodensystemen gemäß Masse-/Feder-Masse-System-Prinzip sind bereits vorgespannte Hohldeckensysteme auf dem niederländischen Markt im Einsatz.

4.2.2.2 Holzbau

Der Baustoff Holz erfüllt heute alle Anforderungen an ein zeitgemäßes, nachhaltiges Baumaterial. Die modernen Holzbauweisen haben im Neubau und beim Bauen im Bestand ihre Stärken nachgewiesen.

Ursprüngliche Holzbausysteme nutzten stabförmige Holzquerschnitte. Ausgangspunkt der Entwicklung im Holzbau ist der Fachwerkbau. Dessen Weiterentwicklung in Amerika zu Beginn des 19. Jhd. zur „balloon frame“ und „platform frame“ wurde in den 80er Jahren wieder nach Deutschland „reimportiert“. Mit Anpassung der amerikanischen Bauweisen an deutsche Normen wurde der Holzrahmenbau entwickelt. In dieser Bauart bilden Holz und Plattenwerkstoffe die tragende Konstruktion eines Gebäudes. Inzwischen hat sich auch der mehrgeschossige Holzbau etabliert – in Holzrahmen-, Skelett- oder Massivholz-Bauweise. Teilweise wurde er mit hohem Vorfertigungsgrad zu neuen Systemen weiterentwickelt (Informationsdienst-Holz.de 2015).

Einen großen Innovationsschub verzeichnen vor allem flächige Systeme aus zusammengesetzten oder massiven Querschnitten sowie raumbildende Systeme. Die Bauteilsysteme sind für den Einsatz als Wand, Decke und/oder Dach konzipiert, haben i. d. R. kein zwingendes Planungsrastrer und werden seriell oder projektbezogen gefertigt, individuell abgebunden und kommissioniert an die Baustelle geliefert (Holz_e.V. 2000). Im Unterschied zum Holzrahmenbau sind die neuen flächigen Bausysteme massive Bauteile aus gestapelten oder addierten Querschnitten, die zu formstabilen, flächigen Elementen gefügt werden. Bauteilöffnungen sind ohne Rasterberücksichtigung herauschneidbar und Installationen in die Wandbauteile integrierbar. „Aufgrund der schlanken Wandkonstruktionen, hohen Tragfähigkeit und der sehr guten Brand- und Schalleigenschaften hat der Massivholzbau gute Chancen, bei diesen Bauaufgaben mit mineralischen Bauweisen aufzuschließen“ (Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. 2008).

Von der Idee eines reinen Holzmassivbaus wird aus wirtschaftlichen und konstruktiven Überlegungen oft abgerückt und die Kombinationen mit Beton, z. B. mit kostengünstigen Holz-Beton-Verbunddecken, empfohlen.

Aufgrund seiner wärmedämmenden Eigenschaften und seines geringen Eigengewichts erweist sich Holz u. a. als geeigneter Baustoff für die Gebäudehülle. So werden z. B. hochwärmedämmte Fertigelemente u. a. auch vor Bestandsfassaden gehängt. Aufstockungen lassen sich aufgrund zusätzlicher Lasten oft nur in Holzbauweise realisieren. Auch bei Anbauten oder der Schließung von Baulücken in unzugänglichen Bereichen lassen sich Holzfertigbauteile von Mobilkränen in einem Arbeitsgang schnell montieren.

Computergestützte Berechnungs- und Fertigungsmethoden eröffnen völlig neue Gestaltungsmöglichkeiten. Der moderne Holzbau verfügt über eine so gute und flächendeckende Qualitätssicherung und Güteüberwachung wie keine andere Bauweise in Deutschland (ZDB_e.V. 2015).

Die Vorteile des Bauens mit heimischen Hölzern liegen in deren hervorragenden technischen und raumklimatischen Eigenschaften und einer unschlagbaren Ökobilanz (Bayerisches Staatsministerium 2015). Der Holzbau gewinnt durch die wachsende Bedeutung von Ökobilanzen im Bauwesen Marktanteile und erfährt eine zunehmend positivere Einstellung in der Bauindustrie (Kober 2015). Der Holzbau-Anteil nimmt heute am Neubaugeschehen über 15 % im Wohnbau und über 18 % im Nichtwohnbau ein. Die Wachstumsmärkte im mehrgeschossigen Holzbau zeigen 2015 eine überdurchschnittliche Zunahme im Bereich der Fassaden und Aufstockungen (Langen 2015).

Die Herausforderungen im Holzbau betreffen den Nachwuchs-/Fachkräftemangel, die Tätigkeitsbereiche von Holzbaubetrieben (Wärmedämmung, Aufstockungen, mehrgeschossiger Wohnungsbau, Brandschutz und technische Weiterentwicklungen) sowie den Abbau baurechtlicher Hemmnisse in den Landesbauordnungen (einheitliche Bauordnung und einheitliche Brandschutzbestimmungen für den mehrgeschossigen Wohnungsbau, Hochhauskategorie wie in anderen Ländern Europas).

Zielstellungen für die Etablierung des Holzbaus sind:

- Entwicklung standardisierter, weithin zugänglicher Kataloge für Planung und Anwendung von Hybrid-Bauweisen sowie
- Hinterlegung der Standard-Kataloge zur unmittelbaren, baurechtlich gesicherten Verwendung durch Planer und Unternehmen.

4.2.2.3 Stahlbau

Die Ressourcen des Stahlbaus im Wohnungsbausektor sind in Deutschland nicht erschlossen. Die Ursachen liegen in der abrupten Unterbrechung der Entwicklung in diesem Sektor vor dem 2. Weltkrieg infolge der Stahlkontingentierung. Der Einsatz von Stahl im Wohnungsbau ist in den westlichen und nördlichen europäischen Ländern ausgeprägter als in Deutschland, liegt aber weit hinter den Anteilen von Beton und Mauerwerk.

Im Wohnungsbau kommen folgende Systeme aus Stahl zum Einsatz:

- Stahl-Leichtbaukonstruktionen für Einzelhäuser und Gebäude mit mittlerer (2-4) Geschossanzahl,
- Rahmen- und Skelettkonstruktionen mit Stahlverbunddecken oder Deckenfertigteilen, wie Slim-Floor- oder Slim Deck-Decken,
- Raummodule (Raumzellen), die in sich stabil sind, zu größeren stabilen Einheiten zusammengefügt werden können und zur Errichtung ganzer Gebäude geeignet sind,
- nichttragende Innen- und Außenwandsysteme in Gebäuden mit Tragstrukturen aus Stahl oder Stahlbeton.

In der Modulbauweise (Raumzellen aus Stahl) wird unterscheiden zwischen:

- tragenden Modulen – in sich stabil und im Bauwerk Lasten aus anderen Modulen aufnehmend,
- Modulen, deren Lasten eine tragende und aussteifende rahmen- bzw. skelettartige Struktur aufnimmt und
- nichttragenden Modulen (Küche- oder Badzellen).

Im Hinblick auf das Trag- und Konstruktionssystem sind tragende Module nach folgenden Prinzipien aufgebaut:

- Module mit tragenden Seitenwänden aus Stahlständerwerk mit Plattenwerkstoffen beplankt,
- Module, bei denen ein räumlicher Stahlrahmen Lasten aufnimmt (kennzeichnend sind Eckstützen aus Rechteckhohlprofilen, auf denen Randträger auflagern).

Durch Kombination teilweise offener Module können unterschiedliche, den Bedürfnissen der Nutzer angepasste Wohnungsgrundrisse realisiert werden. Die Vorteile der Modulbauweise liegen in

- einem hohen Industrialisierungsgrad (werksseitige Vorfertigung mit vollständiger Installation und Ausrüstung),
- einer kurzen Bauzeit (gegenüber traditionellen Bauverfahren Zeitersparnis von bis zu 60 %).

Die Vorteile der Stahlbauweisen liegen in:

- dem geringen Eigengewicht und damit Vorteilen bei Gründung, Transport und Montage,
- einem geringen Raumverbrauch durch schlanke, hochbelastbare Bauteile (Reduzierung der Konstruktionsflächen),
- einer konsequenten Trennung von Tragwerk und Hülle,

- einer hohen Flexibilität aufgrund stabförmiger Bauteile,
- standardisierten Anschlüssen und Verbindungen,
- einem geringen Konstruktionsaufwand durch Anwendung modernster CAD-Technik,
- kurzen Fertigungszeiten durch automatische Verarbeitung der CAD-Daten.

Nachteilig für den Markt wirken sich fehlende Systemlösungen für Rahmenbauweisen und Vorbehalte zum Brandschutz. Es sind daher preiswerte und nachhaltige Systembauweisen mit industrieller Grundstruktur auf Grundlage des verfügbaren Basissystems zu entwickeln. Vor allem ist die Einheit von Entwicklung, Herstellung und Ausführung (industrielle Fertigung) durch ein ganzheitliches Prozessmodell für den Bau- sowie ein durchgängiges Planungs- und Steuerungssystem zu befördern. Dazu gehört neben modularen Ausbaukomponenten der Einsatz intelligenter, adaptiver Haustechniksysteme.

Wohngebäude aus Stahl können ebenso eine ästhetisch anspruchsvolle Gestaltung und Transparenz aufweisen. Infolge des Fehlens tragender Wände und Möglichkeiten zur Realisierung großer Stützweiten sind Flexibilität bei Umbau sowie Anpassbarkeit an veränderte Anforderungen während des gesamten Gebäudelebenszyklus gegeben. Durch konsequente Trennung von Trag- und Hüllkonstruktion sind klimagerechtes Bauen und ressourcenschonende Materialauswahl in allen denkbaren Kombinationen möglich.

Die ausschließlich stabförmigen Bauteile der Tragkonstruktion applizieren ein geringes Transportvolumen. Standardisierte Anschlüsse und Verbindungen erleichtern die Fertigungs- und Montageprozesse.

Der Konstruktionsaufwand gestaltet sich durch Anwendung modernster CAD-Technik einfach, Anpassungen an unterschiedlichste Geometrien sind durchgängig durch automatisierte Konstruktion und Fertigung ohne nennenswerte Kostenerhöhung möglich. Die Montagezeiten werden durch hohe Passgenauigkeit und hohen Vorfertigungsgrad positiv beeinflusst und sind weitestgehend witterungs- und jahreszeitunabhängig.

4.2.2.4 Ziegelementbauweise

Mauerwerk ist ein aus natürlichen oder künstlichen Steinen gefügtes Bauteil oder Bauwerk. Durch seine spezifischen Techniken und Werkstoffe grenzt sich der Mauerwerksbau von anderen Bautechniken wie beispielsweise dem Holzbau, dem Stahlbetonbau oder dem Stahlbau ab. Einige Ziegelproduzenten in Deutschland setzen auf die maschinelle Vorfertigung von geschosshohen Wand- und Deckenelementen aus Ziegeln.

Die Fertigung erfolgt mit halbautomatischen Mauermaschinen. Grundlage des Automatisierungsprozesses sind digitale Planungswerkzeuge, die von der Planung bis zur Fertigung auf einem einheitlichen Datenmodell basieren. Die Herstellung gestaltet sich dadurch effizient und ermöglicht ein hohes Maß an Präzision und Qualität.

In den Niederlanden werden beispielsweise ganze Häuser automatisch gefertigt – vom Entwurf über die Herstellung bis zur Übergabe des Hauses an den Bauherrn. Grundlage ist eine perfekte Logistik bei der Herstellung und Montage. Ein einfaches Einfamilienhaus wird beispielsweise an einem Tag (Einschichtbetrieb) vorgefertigt, komplizierte Bauten in zwei bis drei Tagen. Der Liefervorgang ist schneller, wirtschaftlicher und umweltfreundlicher als bei herkömmlichen Baumethoden. Auf Grund des hohen Vorfertigungsgrades wird das Haus nicht mehr gebaut, sondern nur noch montiert und installiert (Ziegel Elementbau 2015).

Die Ziegelementbauweise sichert durch ihre optimierte Ablauf-Planung eine kurze Bauzeit. Durch feste Zeitabläufe erfährt das Bauvorhaben eine höhere Kalkulationssicherheit: Es entfallen unkalkulierbare Randstunden durch Dispositionsfehler, Lieferungsverspätungen oder Umsetzungsschwierigkeiten der Planungsvorgaben. Besonders wichtig: Die verbindlichen Bauzeitenpläne geben auch den nachfolgenden Gewerken eine bessere Planungssicherheit.

4.2.2.5 Fazit Materialeinsätze

Die Betonbauweisen punkten infolge ihrer Materialität durch Brandschutz, Holzbauweisen durch Ökologie. Stahlbauweisen haben sich im Deutschland im Wohnungsbau bisher nicht etablieren können, weisen aber, wie in anderen europäischen Ländern praktiziert, ein hohes Potential in Richtung Kostensenkung auf.

Der Grad der Vorfertigung beeinflusst Bauzeit und Baukosten. Die Vor- und Nachteile der Vorfertigung treffen weitestgehend auf alle Fertigteilmaterialien zu. Die unterschiedliche Wichtung der Kriterien in den verschiedenen Fertigteilmaterialien ist dabei ohne Belang. In nachstehender Tabelle sind die Vor- und Nachteile gegenübergestellt:

Tabelle 6: Vor- und Nachteile des vorgefertigten Bauens gegenüber monolithischen Bauweisen

Lfd. Nr.	Vorteile	Nachteile
1	Wetterunabhängige Fertigung	Kompletter Planungsvorlauf inkl. Haustechnik vor Fertigung im Werk
2	Durchgängiges werkseitiges Qualitätsmanagement	Aufwändige Umsetzung von Planänderungen in der Ausführung
3	Kurze Montagezeiten/Bauzeitverkürzung	Erhöhter Lagerflächenbedarf im Werk
4	Geringer Arbeitskräftebedarf bei Montage vor Ort	Montageablaufplanung und Baustellenlogistik
5	Geringerer Bedarf an Fachkräften auf der Baustelle	Straßentransport großformatiger Elemente
6	Saubere Baustellen (Ort der Endmontage)	Bei großem Wiederholungsfaktor Gefahr monotoner Erscheinungsbilder
7	Reduzierung Unfallrisiko auf Baustellen	Weitestgehendes Fehlen durchgängiger Datenmodelle von der Gebäudeplanung bis zur Produktion der vorgefertigten Konstruktion
8	Reduzierung Lärmemissionen auf Baustellen	
9	Verlagerung von Arbeiten auf der Baustelle in die Vorfertigung	
10	Hoher Auslegungsgrad Schalungen im Werk	
11	Einsatz effizienter Maschinenteknik	
12	Automatisierung der Fertigungsprozesse	
13	Reduzierung der Abfallproduktion im Werk durch Standardisierung	
15	Reduzierte Umweltbeeinträchtigungen bei Fertigung im Werk	
14	Reduzierte Umweltbeeinträchtigungen bei Montage vor Ort	
16	Senkung des Gesundheitsrisikos durch betrieblichen Arbeitsschutz	
17	Kurze Schalfristen, höhere Formenauslastung	
18	Mülltrennung im Werk durchführ- und kontrollierbar	
19	Reststoffvermeidung durch Vorkonfektionierung im Werk	
20	Erhöhte Mengenrabatte in Abhängigkeit des Umsatzes	
21	Kostenreduzierung durch Werkfertigung ab definierten Losgrößen	
22	Schnellere Amortisation aufgenommener Finanzdienstleistungen	

Im Interesse nachhaltiger Baukonstruktionen ist eine konsequente Trennung von Trag- und Hüllkonstruktionen ebenso umzusetzen. Skelettbauweisen wie auch Querwandbauweisen erfüllen diese Forderungen ohne Einschränkungen. Vorgestellte bzw. vorgehangene Wandkonstruktion bieten flexible Hüll- und Gestaltungsvarianten durch unterschiedliche Materialien.

Weitere Faktoren für das Pro und Contra einer Bauweise liegen in den Regionen, dem jeweiligen örtlichen Klima, der Bautradition, der Verfügbarkeit von Bau- und Ausgangsstoffen sowie den politischen und bauordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014).

Welche Baustoffe bei der Realisierung von mehrgeschossigen Wohnungsbauprojekten überwiegend zum Einsatz kommen, ist regional sehr unterschiedlich. Oftmals haben die traditionell verankerte Handwerkskunst in Verbindung mit regionaltypischen Produkten bzw. baugeschichtliche Hintergründe einen erheblichen Einfluss auf die Wahl der Baustoffe (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014).

4.3 Vorgefertigte Bauelemente

4.3.1 Analyse Bauwerk - Vorgefertigte Baukonstruktionen

4.3.1.1 Fundamente/Gründung

Der Kostenanteil der Fundamentierung eines durchschnittlichen Geschoßwohnungsbaus beträgt bei Mehrfamilienhäusern mit 6 – 19 Wohnungen ca. 5,5 % der Kostengruppen 300 (Bauwerk - Baukonstruktion) und 400 (Bauwerk – Technische Anlagen), bei Mehrfamilienhäusern mit mehr als 20 Wohneinheiten ca. 3 % (BKI, Baukosten Gebäude 2014). Das Einsparungspotential ist demzufolge bei diesem Teil des Bauwerks relativ gering, die Verwendung von Fertigelementen lohnt sich in der Regel nicht.

4.3.1.2 Keller

Die Ausführung tragender Kelleraußenwände in Form von Mauerwerk oder Ortbeton weicht heute mehr und mehr Fertiggellerlösungen. Neben Hohlwand- (Halbfertigteile) kommen v. a. auch Vollwandsysteme (Verbund-/Sandwichkonstruktionen zum Einsatz. Die Herstellung von geschalteten Kellerwänden gestaltet sich unwirtschaftlich durch den erhöhten Schalungsaufwand, die Bewehrungsarbeiten vor Ort und durch die Aushärtungszeiten (Bauzeitverlängerung). Der Richtpreis für Keller beträgt ca. 300 €/m² (PRO KELLER e.V. 2015).

4.3.1.3 Decken

Das Marktangebot von Geschoßdecken für den Wohnungsbau umfasst eine Vielzahl wirtschaftlicher und technisch ausgereifter Systeme (Voll-, Hohl-, Spannbeton-, Halbfertigteildecken) in Standardabmessungen. Am häufigsten werden Elementdecken eingesetzt. Sie stellen aufgrund ihrer Flexibilität und der Einfachheit der Anschlusspunkte ein sehr wirtschaftliches System dar. Halbfertigteilsysteme haben gegenüber Vollkonstruktionen im Deckenbereich Nachteile durch erforderliche Montageunterstützungen, örtliche Betoniervorgänge und den daraus resultierenden Abbindezeiten (Bauzeitverlängerung).

Spannbetondecken sind Bauteile mit einem großen Zukunftspotential. In Zeiten steigender Baukosten und erhöhter energetischer Standards bieten sie durch Nutzung der Speichermasse Beton zur Temperierung von Räumen einen willkommenen Mehrwert und überzeugen gegenüber herkömmlichen Konstruktionen mit Kosteneinsparungen am Gesamtbudget von bis zu 15 % (Kirchner 2015). Entwicklungen zur Reversibilität von Klimadecken und -wänden stehen jedoch erst am Anfang.

Die Fertigung von Hohldecken ist bereits heute durch Extruder- und Gleitfertigungsverfahren stark automatisiert (12 – 15 min./m² Decke). Um jedoch eine vollständige Industrialisierung zu erreichen, sind weitere Innovationen in Produkt- und Materialentwicklungen erforderlich (van Acker 2012).

4.3.1.4 Außenwände/Fassade

Auf Baustellen werden anstelle von großformatigen Block- oder Tafelbausystemen immer noch relativ kleinformatige Mauersteine eingesetzt. Dabei sinken die Konstruktions-Richtzeiten bei wachsenden Elementgrößen erheblich. Für 10 m² gemauerte Wand müssen ca. 15 Arbeitsstunden, für die Montage der gleichen Fläche eines Fertigwandelementes nur 1 bis 2 Stunden kalkuliert werden (Schmitz-Riol 1998). Demzufolge ist der Einsatz großformatiger Elemente gegenüber einer kleinteiligen Wandausführung effizienter in Hinsicht auf Bauzeit und Personalkosten.

Die Vorteile werden durch aufgezeigte Montageleistungen pro Tag im Betonfertigteilbau in den Niederlanden durch nachstehende Tabelle weiter unterstrichen.

Tabelle 7: Übersicht Montageleistungen im Fertigteilbau (Walrafen 2015)

Lfd. Nr.	Leistungsbeschreibung	Leistung/Tag	Maßeinheit
1	Montage Spannbetonfertigteile	300	m ²
2	Fugenverguss der Decken	500	m ²
3	Montage von Stützen	8	Stück
4	Montage von Balken	15	Stück
5	Montage von TT-Platten	25	Stück
6	Montage von Wänden	15	Stück
7	Montage von Treppen und Aufzugsschächten	2	Stockwerke

Im Mehrfamilienhausbereich können so ca. 80 m² Bruttogeschossfläche (BGF) pro Tag geschaffen werden.

4.3.1.5 Innenwände

Es wird zwischen Massiv- und Leichtbauweisen unterschieden. Zu den Massivbauweisen gehören raumhohe Poren- oder Leichtbetonelemente, Stahlbetonwände wie auch Gipsvollwandplatten. Durch den Einsatz vorgefertigter Bauelemente können Kostenvorteilen durch Bauzeitverkürzung erschlossen, eine hohe Maßgenauigkeit und Ausführungsqualität erzielt werden. Bei Stahlbetoninnenwandelementen können sowohl Halbfertigteile wie auch Vollkonstruktionen mit den oben erwähnten Vor- und Nachteilen zum Einsatz kommen. Vorgefertigte Innenwände aus Holz ergänzen das Spektrum.

Zu den Leichtbauweisen gehören die Ständerwandsysteme. Sie erlauben eine Flexibilisierung der Grundrisse entsprechend den Nutzeranforderungen. Der Einsatz vorgefertigter, flexibler Trennwandsysteme im Wohnungsbau ist in Deutschland nicht üblich, ist im Interesse der Anpassungsfähigkeit sinnvoll, stellt aber ein erhöhtes Kostenpotential dar.

4.3.1.6 Treppen/Treppenhäuser

Für notwendige Treppenhäuser werden im Mehrfamilienhausbau üblicherweise Betonfertigteile verwandt. Die Treppenhäuser werden z. T. in Fertigteilen oder monolithisch in Beton gefertigt. Die Treppenläufe werden i. d. Regel als Stahlbetonfertigteile ausgeführt. Komplett vorgefertigte Treppenhäuser bieten statische Vorteile und erlauben u. a. die Integration von Installationsschächten zur Gebäudeversorgung.

4.3.1.7 Dachkonstruktionen

Steildachkonstruktionen werden i. d. R. traditionell zimmermannsmäßig errichtet. Die auf dem Markt angebotenen Fertigsysteme aus Beton, Leichtbeton, Verbundbaustoffen, Holz usw. (Kott und Nitsche 2007) haben nur geringe Marktanteile. Der Holzfertigteilbau ist jedoch auf dem Vormarsch.

Im Flachdachbereich werden sowohl traditionelle zimmermannsmäßige Lösungen wie auch Massivdecken eingesetzt.

4.3.1.8 Balkone

Balkone werden fast ausschließlich in Fertigteilbauweise in Form von Stahlkonstruktionen oder Aluminiumsystemen bzw. aus Betonfertigteilen errichtet, nachgerüstet oder ersetzen alte Bestandsanlagen. Es gibt die unterschiedlichsten Bauarten, wie z. B. Anbau-, Vorstell-, freitragende oder Nischenbalkone sowie Sonderkonstruktionen. Der Anbaubalkon wird direkt mit dem Gebäude durch entsprechende Verankerungen verbunden. Vorgestellte Konstruktionen an Wohngebäuden stellen preiswerte Alternativen dar und können mit annähernd gleichen Baukosten im Neubau und in der Sanierung (vorbehaltlich Abrisskosten) eingesetzt werden. Die Montagezeit einer vorgefertigten Balkonanlage bis zu 5 Geschossen beträgt 2 bis 3 Tage. Die Kosten für Anbau- bzw. Vorstellbalkone aus Stahl liegen zwischen 475 €/m² bis 860 €/m², aus Aluminium zwischen 975 €/m² bis 1.511 €/m², aus Beton um ca. 1.100 €/m² (inkl. MwSt.). Balkongröße und Anzahl der Geschosse beeinflussen die Baukosten.

4.3.1.9 Aufzüge

Neben Betonfertigteilen werden Schachtgerüste aus Stahl und Stahlbeton als großformatige Bauteile eingesetzt. Holzaufzugsschächte bilden eine Ausnahme. Nach bisherigen Erkenntnissen wird diese Ausführungsform im mehrgeschossigen Wohnungsbau aufgrund von Brandschutzanforderungen selten umgesetzt. Die Gesamtbaukosten für außenliegende Aufzüge in Stahl- und Betonbauweise beziffern sich auf ca. 135 – 150 T€ bei 15 m Förderhöhe, die Kosten für die Schachtgerüste liegen zwischen 85 und 100 T€. Hinzu kommen Montageleistungen von ca. 7 T€ für die Aufzugsanlage. In der Sanierung werden aus funktionaler und bautechnologischer Sicht vorgestellte Lösungen gewählt. Der Einsatz von vorgefertigten Aufzugsschächten ist Stand der Technik.

4.3.1.10 Fenster und Türen

Fenster und Fassadenelemente werden in individueller Vorfertigung auf Bestellung produziert. Format oder Stückzahl haben auf die Gesamtkosten nur unwesentlichen Einfluss. Bei Hauseingangs-, Wohnungs- und Zimmertüren werden aufgrund genormter Baurichtmaße vorwiegend „Katalogelemente“ verwendet. Durch Ausbildung raumhoher Türelemente können erhebliche Kostenpotentiale durch eine Sortimentsbegrenzung der Innenwandbauteile erzielt werden.

4.3.1.11 Fazit/Ausblick Baukonstruktion

Fertigteile im Wohnungsbau werden hauptsächlich für die Herstellung des Tragwerks mit tragenden Außen- und Innenwänden, Stützen, Riegeln, Decken, Treppen und Treppenpodesten, Loggien und Balkonen, Fertiggeller und Ersatzräume angewendet. Vorrangig werden Stahlbetonfertigteile eingesetzt. Das Bauen mit vorgefertigten Holzelementen nimmt mittlerweile 15 % des Marktanteils im Mehrfamilienhausbereich ein (Statistisches Bundesamt 2013). Bauen mit Stahl ist im deutschen Wohnungsbau nicht privilegiert.

Vorgefertigte flächige Elemente wie Wände, Decken, Dächer und räumliche Elemente wie Aufzugsschächte, Balkone, Raummodule und Treppenraumelemente leisten bei entsprechenden Seriengrößen einen effizienten Beitrag zur Kostensenkung im Wohnungsbau. Bei kleineren Seriengrößen sind keine Einsparungen gegenüber monolithischen Bauverfahren zu erwarten. Allerdings tragen sie wie alle vorgefertigten Bauteile dazu bei, die Montagezeiten und damit auch die Bauzeiten wesentlich zu verkürzen sowie die Qualität zu erhöhen.

Der Einsatz vorgefertigter Bauelemente hängt von den, die Kosten beeinflussenden Faktoren, wie der Planung, Herstellung, Seriengröße, Komplexität des Bauteiles und seiner Multifunktionalität ab.

4.3.2 Analyse Bauwerk - Vorgefertigte Technische Anlagen

4.3.2.1 Heizung und Wasserversorgung

Die Heizungsinstallation gliedert sich in die Bereiche Wärmeerzeugung, -verteilung und Wärmeabgabe im Raum. Als Wärmeerzeuger stehen u. a. Wärmepumpen, Festbrennstoffkessel, gas- oder ölbefeuerte Geräte sowie die Nutzung der Solarthermie zur Verfügung. Bei der Versorgung über Nah- und Fernwärmenetze ist lediglich eine Wärmeübergabestation im Gebäude erforderlich, aber kein Wärmeerzeuger. Wärmeübergabestationen beinhalten sämtliche Baugruppen und Sicherheitseinrichtungen sowie die Trinkwarmwasserbereitung, so dass lediglich die Anschlüsse an das Fernwärmenetz sowie den Warmwasser- und Heizkreislauf zur Verteilung der Wärme gelegt werden müssen. Für Nah- bzw. Fernwärmeübergabestationen kommen Module zum Einsatz, die vorgefertigt und je nach Bedarf mit Baugruppen ausgestattet sind.

Für alle abgasproduzierenden Wärmeerzeuger existieren ebenfalls vorgefertigte Abgassysteme in Modulbauweise. Sie können im Gebäude oder auch an der Fassade als vorgefertigtes Bauteil eingesetzt werden.

Die Wärmeverteilung vom Erzeuger zum Verbraucher realisieren Rohrleitungen. Hier ist eine Vorfertigung nur begrenzt durchführbar. Es existieren Heizungsverteiler, bei denen Pumpen, Sicherheits-, Mess- und Regelgruppen bereits integriert sind. Im Zuge der Vorfertigung von Wandelementen, insbesondere Ständerwandkonstruktionen, besteht die Möglichkeit, Vor- und Rücklaufleitungen in die Elemente zu integrieren. Ebenso können Heizkreisverteiler installiert werden, z. B. für eine Fußbodenheizung.

Für die Wärmeabgabe im Raum stehen verschiedene Systeme zur Verfügung. Mit der Reduzierung der Heizlast wird der Heizkörper immer mehr durch Flächenheizsysteme (Decke, Fußboden, Wand) abgelöst.

Fußboden- und Deckenheizungen stellen für den Geschoßwohnungsbau optimale Perspektiven in Form von vorgefertigten Elementen, vorzugsweise in Trockenmontage, dar. Ziel muss es sein, komplette Baukastensysteme mit einfachen Verbindersystemen zu entwickeln.

4.3.2.2 Lüftungsinstallation

Die Wohnraumlüftung wird durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) und die DIN 18017 zur Entlüftung von innen liegenden Bädern und Toilettenräumen geregelt. Die Energieeinsparverordnung lässt noch immer alle Varianten der Wohnlüftung, auch der Fensterlüftung, offen. Gefordert wird lediglich die Sicherstellung eines Mindestluftwechsels.

Bei der kontrollierten Wohnraumlüftung (KWL) unterscheidet man zwischen dezentraler und zentraler Lüftung. Bei einer zentralen Lüftung werden die Lüftungsleitungen meist im Fußbodenaufbau unter dem Estrich installiert. Vertikalleitungen können in gewöhnlichen Installationsschächten, senkrechten Wandaussparungen und eventuell in Kabelschächten oder in einfachen Zwischenwänden (z. B. aus Gipskarton) verlegt werden. Bei Sanierungen ist die Verlegung der Lüftungsleitungen auch im Unterdeckenbereich üblich. Sie können z. B. auch als Stückeremente aus unterschiedlichen Formen installiert und somit das KWL-System modular aufgebaut werden.

In Neubauten können die Lüftungsleitungen schon bei der Herstellung der Deckenplatten eingelegt werden. Integrationen in nicht reversible Bauelemente stellen für den Sanierungsfall Probleme dar.

Bei der dezentralen Lüftung werden Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung in die Außenwand eines jeden Raumes installiert.

Prinzipiell kann ein KWL-System als komplettes System, als dezentrale bzw. zentrale Lüftung, industriell vorgefertigt und auf der Baustelle installiert werden. Die Investitionskosten eines KWL-Systems betragen ca. 50 €/m² je nach Ausführung und Umfang des Lüftungssystems. Optimale Lösungen bieten Baukastensysteme für eine nachträgliche Montage im Neubau oder Sanierungsfall.

4.3.2.3 Sanitärinstallation

Im Mittelpunkt stehen Fragen des Leitungsbaus für Heizung und Wasserversorgung und deren Integration in Rohbau- und Ausbaustrukturen. Die Integration in Rohbaustrukturen setzt Innovationen bzgl. einer Reversibilität der Elemente über demontable Deckschichten bzw. über Sockel- und Galeriekanäle voraus. Starre Leitungsführungen in Massivbauteilen behindern Instandhaltungen und Erneuerungen der Systeme.

Kostenvorteile können über vorgefertigte Installationsschächte erzielt werden. Sie betreffen i. d. R. Bauzeiteinsparungen. Kostenseitige Einsparungen sind jedoch erst ab Losgrößen > 100 Stück zu erzielen (Bach 2015).

Vorgefertigte Installationsschächte bewähren sich seit Jahren im Neubau und der Sanierung von Wohngebäuden. Hier kann v. a. auf die Erfahrungen der Plattenbausanierungen in Ostdeutschland zurückgegriffen werden.

Im Rahmen der 5-Tage-Technologie kann ein 5-geschossiger Wohnungsaufgang innerhalb von 5 Tagen unter bewohnten Bedingungen saniert werden. Die Preise für raumhohe Module schwanken in Abhängigkeit der Ausrüstung und Oberflächengestaltung. Nach durchgeführten Recherchen liegen die Baukosten für vorgefertigte Elemente zwischen 800 €/Stück und 2.900 €/Stück in Abhängigkeit von Größe und Ausstattung.

Fertigbäder sind innovative und wirtschaftliche Komplettlösungen für jeden Grundrisstyp in beliebiger Ausstattung. Individuell geplant, werden sie im Werk kostengünstig vorgefertigt und je nach Bausituation als kompakte oder elementierte Einheit geliefert und eingebaut. Elementierungen erlauben im Sanierungs- bzw. Erneuerungsfall ein einfaches Handling. Die Baukosten werden durch Größe, Ausstattung und konstruktive Ausbildung beeinflusst. Die Baukosten beginnen ab ca. 4.850 €/Stück in Abhängigkeit von Größe und Ausstattung.

4.3.2.4 Elektroinstallation

Zur Verlegung von Elektroleitungen existieren vier Methoden, die Aufputz-, die Unterputz-, Leerrohr-Installation und die Führung in Leitungskanälen. Die Leerrohrinstallation ermöglicht in der Vorfertigung eine bereits in den Rohbau eingebrachte Leitungsführung. Die Nachteile der Leerrohr-Installation liegen vor allem in mangelnder Flexibilität. Diesem Umstand kann entgegengewirkt werden durch eine Trennung von Trag- und Ausbaukonstruktion.

Das Prinzip der Leitungsführung in Kabelkanälen wie im Bürobau findet im Wohnungsbau kaum Anwendung, kann aber für Massivbauteile erhebliche Vorteile über Sockel- und Galeriekanalinstallation generieren.

Eine weitere Möglichkeit der konstruktiven Integration von Installationen ist die Nutzung von produktspezifischen Hohlräumen, wie z. B. bei Hohlplatten, die sowohl als Decke wie auch als Wand eingesetzt werden können. Problematisch sind bedingte Zugänglichkeiten in der Verlegung, da Instandhaltungen und Erweiterungen sich dadurch aufwendig gestalten.

4.3.2.5 Fazit/Ausblick Technische Anlagen

Die Trennung von Tragkonstruktion und technischen Ausrüstungsstrukturen ist aufgrund der unterschiedlichen Lebenszyklen ein Gebot der Nachhaltigkeit.

Der Vorfertigung im Bereich der Technischen Ausrüstungen kommt eine immer größer werdende Bedeutung zu, nicht zuletzt auch aufgrund einer massiven Verschiebung der Rohbaukosten zugunsten der Ausbaukosten.

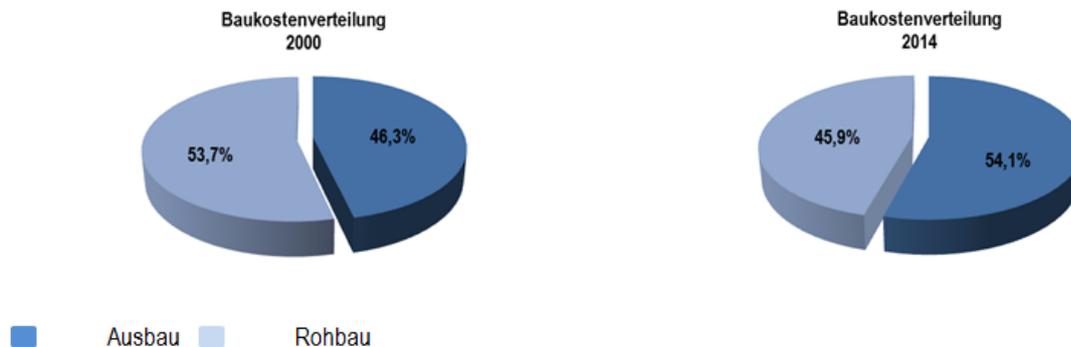


Bild 25: Darstellung der Entwicklung der Baukostenverteilung anhand der Jahre 2000 und 2014 (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014)

Eine verstärkte Ausrichtung zur Modularisierung und Vorfertigung von Bauteilgruppen im Bereich der Technischen Ausrüstungen ist damit oberstes Gebot, um kostengünstiges Bauen zu befördern.

Infolge kürzerer Lebenszyklen technischer Ausrüstungen gegenüber Rohbaukonstruktionen sind Konzepte zu entwickeln, die v. a. Modernisierungs- und Umnutzungsmaßnahmen mit in den Fokus stellen.

Das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) weist für tragende Außenwände und -stützen, tragende Innenwände und -stützen sowie Deckenkonstruktionen aus Beton, Stahl, Holz und Mauerwerk beispielsweise eine Nutzungsdauer ≥ 50 Jahre aus (BBSR 2011). Dem gegenüber stehen die Lebenszyklen Technischer Ausrüstungen mit Betrachtungszeiträumen von 15 bis 20 Jahren, siehe nachstehende Tabelle.

Tabelle 8: Lebensdauerzyklen von Technischen Ausrüstungen (VDI 2012)

Technische Ausrüstungen	Nutzungsdauer in Jahren (Empfehlung)
Heizung	20
Lüftung und Klimaanlage	15
Aufzüge	15
Sanitär	20
Schwachstromanlagen	15
Starkstromanlagen	20

Die Lebensdauer sowohl tragender Konstruktionen wie auch der Technischen Ausrüstungen variieren in unterschiedlichen Veröffentlichungen. Die mittlere Lebensdauer wird für bewitterte Außenwände aus Beton beispielsweise mit 70 Jahren, für Ziegel mit 90, für Stahl mit 80 und für bekleidete Holzkonstruktionen in Abhängigkeit der Holzart zwischen 70 und 100, für innenliegende Konstruktionen aus Beton mit 120, für Stahl mit 90, für Holz mit 70 bis 100 Jahren angegeben. Die Werte schwanken, die Diskrepanz zwischen der Lebensdauer von Tragkonstruktionen und Technischen Ausrüstungen bleibt.

Intelligente, komplett mit technischen Ausrüstungen vorgerüstete Ausbaumodule bieten für Planung, Baustellenkoordination und Installation professionelle Alternativen zu herkömmlichen handwerklichen Baulösungen. Vorteile sind Sicherheit und Kostenersparnis sowie eindeutig zugeordnete Gewerkschnittstellen und damit der Gewährleistung. Die Vorfertigung technischer Ausrüstungsmodul bzw. funktionsintegrierter Bauteile im Werk/im Werkstattdbereich garantiert schnellere Baustellenabwicklung, die Montage vor Ort bedeutet weniger Bauschmutz und Baulärm bei deutlich kürzerer Bauzeit (Dreßler-vom Hagen 2001).

Die Entwicklungen zielen auf eine immer komplexere Bauteilentwicklung ab. Vorgefertigte Bausysteme und Vorfertigung tragen vermehrt dazu bei, trotz kontinuierlich steigender Lohn- und Lohnnebenkosten eine Wertschöpfung durch Rationalisierung und Modularisierung auch im Bereich der technischen Ausrüstungen zu realisieren.

4.3.3 Schlussfolgerungen für vorgefertigte Bauelemente

Im Rohbau werden Mauerwerks-, Stahlbeton-, Holz- und Stahlkonstruktionen eingesetzt, die dringend einer weiteren Rationalisierung unterzogen werden sollten. Einzelkomponenten/Bauelemente bieten wenige Ansätze zur weiteren Optimierung, Ausbaukonstruktionen/Technische Anlagen hingegen haben großes Potential vor dem Hintergrund kürzerer Lebenszyklen sowie im Hinblick auf manuellen Aufwand und Nutzungsflexibilität. Entwicklungspotentiale belegen bereits existierende Ansätze aus Nichtwohnungsbaubereichen.

Es sind vor allem Möglichkeiten zur Reduzierung der Produktvielfalt zugunsten höherer Stückzahlen (Teilvorfertigung) und damit sinkender Preise auszuschöpfen. Wichtig dabei ist die Umsetzung der Idee eines Modulbaukastens aus dem Automobilbau auf den Wohnbau. Damit können Kostensenkungspotentiale durch Werksfertigung und Baustellenmontage erschlossen werden. Hierbei muss insbesondere Wert auf Montagefreundlichkeit für zukünftige Anpassungen gelegt werden. Bei der Entwicklung nachhaltiger Baustrukturen ist sowohl im Beton- wie auch im Holz- und Stahlbau auf eine strikte Trennung von Roh- und Ausbaustrukturen zu achten. Zerstörungsfrei demontierbare Konstruktionen können sowohl im Beton- wie aber auch im Stahl- und Holzbau nachhaltige Ansätze bieten. Stahl- und Holzbauweisen besitzen aufgrund ihrer schalenartigen Elementaufbauten konstruktive Vorteile gegenüber Betonbauweisen und monolithischen Bauweisen. Die Entwicklung funktionsintegrierter Bauteile im Betonbau ist mit wartungs- und nachrüstungsseitigen Problemen aufgrund des dauerhaften Verbundes der technischen Ausrüstungen (Lehrverrohrungen) mit dem Beton verbunden. Die Entwicklung im Fertigteilssektor sollte daher einer neuen Entwurfsphilosophie folgen und die Lebensdauer der verschiedenen Komponenten eines Bauwerks einbeziehen. Elemente mit einer kürzeren Lebensdauer sollten rückgebaut werden können, ohne Elemente der Tragstruktur (mit einer höheren Lebensdauer) zu beeinträchtigen.

Entwicklungen von schlanken, flexiblen Elementsystemen, demontabel, thermoaktiver und integrierter Haustechnik in Deutschland und den Niederlanden zeigen v. a. im Deckenbereich Ansätze für eine konsequente Trennung von Trag- und Ausrüstungsstrukturen in der Vorfertigung. Aufgabenstellung ist, v. a. Betonbauteile mit einem intelligenten Netzwerk an ausbaufähigen, nachrüstbaren Leitungs- bzw. Kanalstrukturen zu entwerfen. Alternativen stellen Unterdecken und Vorwandsysteme mit modularer Vorrüstung technischer Ausrüstungen wie Heizung, Licht, Brandmeldern usw. dar. Während derartige Systeme in der Bestandssanierung bei ausreichend gegebenen Deckenhöhen optimale Lösungsansätze darstellen können, bedingen sie im Neubau bei Betonbauweisen Mehrkosten und negieren das bauseitige Oberflächenpotential von Betonbauteilen.

Decken und Dächern kommt bei funktionsintegrierten Bauteillösungen eine größere Bedeutung zu, da die Nutzung zur Verfügung stehender Wand- und Bodenflächen durch Möblierungen stark eingeschränkt werden können. Dennoch sind Funktionsintegrationen in Massivbauteile ohne Revisionsmöglichkeiten konsequent zu überdenken.

Eine durchgängige Gewerkeintegration in die Vorfertigung unter strikter Umsetzung der Maxime - Trennung von Rohbau- und Ausbaustrukturen - ist vor allem auch vor der notwendigen Verlagerung von Baustellenprozessen in die Vorfertigung zu sehen. Die Entwicklung wird durch den Mangel an erfahrenen und qualifizierten Arbeitskräften in diesen Gewerken auf der Baustelle unterstützt. Die Produktentwicklung muss darauf ausgerichtet sein, die Arbeit auf der Baustelle durch Systeme einfacher und schneller zu machen.

Entscheidend ist dabei die Schnittstellenkoordination zwischen den einzelnen Gewerken. Eine einfache Handhabung der Verbindungselemente sichert unkomplizierte Montageabläufe auf der Baustelle. Vorkonfektionierte Installationssysteme lassen sich im Werk schneller einbauen, unproduktive Zeiten gegenüber der Baustelle (ca. 20 %) können wesentlich reduziert werden (Prochiner 2006).

Kostengünstiges Bauen mit Fertigteilen ist sowohl von der Größe des Bauvorhabens und der Losgröße der Fertigteile, aber auch von der Erfahrung der Planer, wie auch der ausführenden Unternehmen abhängig. Der Automationsgrad der Fertigung spielt eine wesentliche Rolle für die Kosteneffizienz. Die Verlegung von Arbeitsprozessen in die Vorfertigung stellen aufgrund fehlender Fachkräfte auf der Baustelle sowie durchgängige Planungs- und Produktionssteuerungsinstrumente einen Schritt in Richtung Industrialisierung des Bauwesens dar.

Kosteneinsparung durch das Bauen mit Fertigteilen können nur dann impliziert werden, wenn bereits die Planung konsequent auf den Einsatz definierter Fertigteile ausgerichtet wird.

„Bauen im industriellen Maßstab mit Fertigteilmontage ist ausgerichtet auf die Massenproduktion von Bauelementen, ebenso auf die Optimierung von Bemessungs- und Konstruktionsverfahren, Baustoffen und Bauverfahren.“ (Fernández-Ordóñez 2008). Es wird unterschieden zwischen Prozess- und Produkttechnologie. Die Grade in-

dustrieller Fertigungssysteme reichen von geschlossenen industriellen Systemen über die teilweise Verwendung industriell produzierter Komponenten bis hin zu offenen Systemen.

Im Bauwesen müssen erkennbaren Tendenzen in der gesellschaftlichen Entwicklung zukünftig stärker Rechnung getragen werden. Diese lassen sich wie folgt beschreiben:

Tabelle 9: Gesellschaftliche Entwicklungen in der Zukunft (van Acker 2012)

Nr.	Kategorie	Kriterien
1	Bautechnik	effiziente Gebäude
		flexible Nutzungen
		Anpassungsfähigkeit
		architektonische Freiheit
		Qualität
2	Soziale Situation	Arbeitskräftemangel
		Arbeitszeitverkürzung
		Arbeitsfreundlichkeit
		Gesellschaftliche Sicherheit
3	Wirtschaftliche Situation	Lohnkosten
		Materialressourcen
		Steigende Energiekosten
		Return of Investment
4	Umweltschutz	Bauabfall
		Transport von Baustoffen und Baumaterialien
		Emissionen

Daraus ableitend lassen sich allgemeine Lösungsansätze charakterisieren:

- *Baukonzepte*
Die Entwicklung geht in Richtung effizienter und dauerhafter Konstruktionen, Gebäude und ganzer Stadtquartiere.
- *Demontierbares Bauen*
Zielstellung ist nicht nur, anpassungsfähige Gebäude zu gestalten, sondern Bauteile rückbaufähig durchzubilden, rückgebaute Bauteile einer Wiederverwendung zuzuführen (Bauteilrecycling) und damit den Nachhaltigkeitsgedanken zu befördern. Dies stellt hohe Anforderungen an die Verbindungstechnik wie auch an die Baulogistik.
- *Umnutzung*
Bereits im Entwurf sollen Nutzungsanpassungen antizipiert werden. Dies geht mit Überlegungen zu Konstruktionslösungen, Spannweiten, Deckenbelastungen einher.
- *Energieeffiziente Gebäude*
Neben der Weiterentwicklung von Sandwichfassaden unter dem Aspekt der Optimierung der Dämmstärken werden Vorhangfassaden zunehmend Marktanteile für sich verbuchen. Die Vorteile liegen in
 - einer nahezu völligen Gestaltungsfreiheit (Flexibilität),
 - einem hoher Wiederholungsfaktor,
 - einfachen Verbindungsmitteln,
 - kältebrückenfreier, thermischer Isolation (Walrafen 2015).

5 Modellprojekte Deutschland

5.1 Vorbemerkungen

Die nachstehenden Modellbeispiele wurden u. a. aus Internet- und Literaturrecherchen, Befragungen von Bauherren und Planern, Auszeichnungen und Bauherrenpreisen, dem Deutschen Nachhaltigkeitspreis generiert. Für die einzelnen Bauweisen wurden Fallbeispiele im Rahmen einer Formblattsammlung aufbereitet. Sie umfassen den Betrachtungszeitraum 2010 - 2015. Die Modellprojekte spiegeln kein repräsentatives Bild des mehrgeschossigen Wohnungsbaus wieder, zeigen jedoch den Trend in der baulichen Entwicklung in Deutschland auf. Die Bauweisen wurden nach Stahlbeton-, Holz-, Stahl- und Raumzellenbauweisen aufbereitet.

Betonbauweisen



Bild 26: „Sächsisches Wohnhaus“ am Markt Rudolstadt
Schettler Architekten, Weimar; Foto: Claus Bach Weimar



Bild 27: Projektgemeinschaft ifau und Jesko Fezer | HEIDE & VON
BECKERATH, R50 in Berlin Kreuzberg,
Foto: Andrew Alberts



Bild 28: Nullemissionshaus Boyenstraße, Berlin, Deimel Oelschläger
Architekten; Foto: Andrea Kroth, Berlin



Bild 29: Studentenwohnheim Upper West Side in Ulm, bogevichs
buero architekten & stadtplaner gmbh
Foto: Jens Weber, München



Bild 30: Berlin, Pettenkofer Straße, HKA Hastrich-Keuthage Archi-
tekten, Foto: Stefan Dauth



Bild 31: Experimentelles Wohnen – Wohnhäuser für Studierende,
Deutscher Bauherrenpreis 2014, Architektur Contor Müller
Schlüter, Wuppertal, Foto: Tomas Riehle

In nachstehender Grafik sind die erfassten Projekte gegenübergestellt:

Tabelle 10: Übersicht der Modellprojekte in Betonbauweisen

F. Nr.	Anzahl WE	Bauweisen				Innenwände			Außenwände				Decken			
		Wand-BW	IW Beton	Stb. Stützen	Skelett BW	Stb	LB	Sonstiges	Stb	Holz	GFK Beton	MW	Klima HD	Stb, Fl Hft	Spb	Elemente
1	25	X												X		
2	19				X					X				X		
3	21					X				X				X		
4	300	X				X			X							X
5	132				X			X						X		
6	42				X			X		X				X		

Abkürzungen:

F-Nr. – Formblattnummer, WE – Wohnungen, IW – Innenwände, AW – Außenwände, Stb. – Stahlbeton, LB – Leichtbeton, HD – Hohldecken, Spb – Spannbeton, Fl – Flachdecken, MW – Mauerwerk, Hft – Halfertigteile

Grundlegend ist anzumerken, dass sich die Entwicklungen des Fertigbaus in Europa und in Deutschland, siehe auch Abschnitt 3.2, in der Dokumentation widerspiegeln. Der reine Wandbau ist im Betonfertigbau im Rückgang begriffen. Offene Systeme, d. h. die Komponentenbauweise, werden zur vorherrschenden Bauweise. Dabei stehen keine reinen Bauwerke aus Beton, Stahl oder Holz im Mittelpunkt, sondern eine zunehmende Vermischung des Baumaterials in Trag-, Ausbau- und Hüllkonstruktionen. Insbesondere im Fassadenbereich ist dies deutlich ablesbar.

Schottenkonstruktionen in Verbindung mit Voll- und Flachdecken bilden zwar nach wie vor Lösungsansätze, Ort betonvarianten stellen sich hier aber verstärkt als Konkurrenzlösungen dar. Hohlwandkonstruktionen sind auf dem Vormarsch, ebenso wie Stahlbetonskelettkonstruktionen und Stützenkonstruktionen mit weitgespannten Flachdecken. Letztere ermöglichen eine hohe Flexibilität im Rahmen der Nutzungs- und Umgestaltungsprozesse.

In der Gestaltung der Außenwände geht der Trend in Richtung vorgestellte bzw. vorgehangene Konstruktionen. Im Gegensatz zu tragenden Außenwandkonstruktionen eröffnet sich dadurch eine breitere Gestaltungsvielfalt, welche auch mit unterschiedlichen Materialkombinationen (Beton, Stahl, Holz, Glas, Ziegel) verbunden ist. Die Entwicklungen der letzten Jahre zeigen eine Vielzahl neuer Materialien für den Fassadenbereich, z. B. Hochleistungsbetone (Faserbetone, schlankere Konstruktionen). Neben neuen Betonsandwichkonstruktionen im Außenwandbereich drängen auch Konstruktionen aus Holzpaneelen und Mischkonstruktionen auf den Markt. Der Schritt in Richtung Komponentenbauweise verspricht die Erschließung örtlicher Vorfertigungsressourcen und eine architektonische Gestaltungsvielfalt.

In Auswertung der Modellbeispiele können nachstehende Feststellungen getroffen werden:

Die Recherchen haben gezeigt, dass im mehrgeschossigen Wohnungsbau nur wenige Beispiele reiner Betonfertigteilbauten zu finden sind. Dies ist zum einen in der Überdrüssigkeit der Plattenbau- und Großsiedlungsarchitektur zu suchen, aber auch in den kleineren Losgrößen gleicher Gebäude. Im Decken- und Dachbereich besteht ein vielfältiges Angebot konkurrierender Fertigteile. Neben Voll-, Hohl-, Flach-, Filigran- und Spannbetonhohldecken kommen auch Klimadecken zur Anwendung. Funktionsintegrierte Deckensysteme werden gegenwärtig verstärkt eingesetzt. Auch der Fassadenbereich spiegelt sich eine breite Gestaltungsvielfalt wieder. Neben Betonkonstruktionen kommen Holz, Mauerwerk und Stahl-Glas-Konstruktionen zum Einsatz.

Generell ist festzustellen, dass vorfertigte Betonelemente vor allem im Decken-, Innenwand- und Erschließungsbereich eingesetzt werden. Im Außenwandbereich variieren unterschiedliche Material- und Konstruktionsvarianten, vorgehängte Konstruktionen sind auf dem Vormarsch.

Die Beispiele untermauern die Forderung nach einer klaren Ebenendefinition im Sinne von Nachrüstbarkeit und Nachhaltigkeit. Demontable Innen- oder Außenschalen im Wand-, Boden- und Deckenbereich und definierte Schachtbereiche (für Installationen) können hierzu einen Beitrag leisten. Lebensdauer und Instandhaltungszyklen von Rohbau- und Ausbaukonstruktionen sind in einen baulichen Kontext zu überführen, um eine nachhaltige Betonbauweise am Markt zu etablieren. Dabei sollten materialsparende und recyclingfähige Lösungen im Vordergrund stehen.

5.2 Holzbauweise

Die recherchierten Modellprojekte basieren auf Auszeichnungen mit dem Deutschen Holzbaupreis, dem Deutschen Bauherrenpreis und dem Deutschen Nachhaltigkeitspreis. Der Datensammlung liegen 6 Modellprojekte zugrunde.



Bild 32: Mehrfamilienhaus Berlin-Prenzlauer Berg – Projekt e3,
Foto: Bernd Borchardt, Berlin



Bild 33: Treehouses Bebelallee, Hamburg,
blauraum, Foto: Dominik Reipka



Bild 34: WOODCUBE, IBA-Hamburg
Foto: Ingrid Lützkendorf



Bild 35: CSH CaseStudy, IBA-Hamburg,
Foto: © Christian Lohfink, planpark architekten



Bild 36: Achtgeschossiges Holzhaus, Bad Aibling
Foto: © Huber & Sohn GmbH & Co.KG



Bild 37: Fassaden-Sanierung Beguinenstraße
Foto: Holger Kappler

In nachstehender Übersicht sind die Projekte gegenübergestellt.

Tabelle 11: Übersicht der Modellbeispiele in Holzbauweise

	Bauweisen			Wände innen			Wände außen		Decken			Dach
	Skelett-BW	Wand-BW	Misch BW	Treppenhaus-WHg. TW, Beton (Ziegel)	Massivholz-Elem.	Holztafel-Elemente	Massivholz-Elem.	Holztafel-Elemente	Holz-Beton-VD	Massivholz-Elem.	Holztafel-Elemente	Massivholz-Elem.
1	X				X*		X		X			k. A.
2			X	X		X		X			X	k. A.
3		X			X		X			X		X
4		X			X*		X*		X			X
5		X		X	X*		X*			X		X
6								X				

* mit Gipskarton gekapselt

Anmerkungen: Die Beispiele in Formblatt Nr. 1 und 4 weisen keine tragenden Innenwände (flexible Strukturen) auf, Formblatt Nr. 6 beschreibt eine Fassadensanierung

Die Recherche unterstreicht bei den Holzbauweisen eine auch am Markt vorhandene Dominanz von Wandbauweisen. Ebenso wie in den Beton- und Stahlbauweisen sind auch reine Holzskelett- und Mischkonstruktionen am Markt vertreten. Bei den Holzbauweisen ist aus wirtschaftlichen Überlegungen eine starke Durchsetzung mit anderen Baustoffen erkennbar. Dies spiegelt sich im mehrgeschossigen Wohnungsbau sowohl in den Decken- wie Erschließungsbereichen wieder. Aufgrund der hohen Brandschutzvorgaben werden oft Treppenträume aus Beton oder Mauerwerk errichtet und Holzbetonverbunddecken eingesetzt.

Im Holzbau ist ebenfalls eine Öffnung in Richtung Komponentenbauweise zu verzeichnen.

5.3 Stahlbauweise

Der Stahlbau hat im mehrgeschossigen Wohnungsbau in Deutschland einen sehr geringen Stellenwert (0,2 % Marktanteile des gesamten Wohnungsbaus und 2 % des Fertighausbaus) (Batzke 2015). Die Ursachen liegen u. a. in einer mangelnden Professionalität im Vertrieb wie auch im Marketing (Darstellung Vorteile) und einem fehlenden Serieneffekt aufgrund geringer Stückzahlen.

Es existieren wenige Beispiele von Stahlkonstruktionen im Wohnungsbau, im Wesentlichen beschränkt auf den privilegierten Einfamilienhausbereich. Vereinzelt kommen auch Stahlskelettkonstruktionen im mehrgeschossigen Wohnungsbau zum Einsatz. In die Bewertung konnten lediglich zwei Beispiele einbezogen werden.



Bild 38: Stadthäuser München Riem
Foto: © Bucher-Beholz-Architekten



Bild 39: Loft – Einfamilien – Haus, Berlin
Foto: RSB Rudolstädter Systembau GmbH

Stahlhäuser haben geringe Gesamtkosten im Lebenszyklus. Die Baukosten machen im Lebenszyklus eines Bauwerkes nur ca. 20 % der Gesamtkosten aus (Batzke 2015).

Die Stadthäuser München Riem folgen dem unter Abschnitt 4.2.2.3 dargestellten Trend der Komponentenbauweisen. Die Skelettkonstruktion aus Stahl wird hier in beeindruckender Weise mit Holzfertigteilen im Decken- und Wandbereich kombiniert.

5.4 Raumsystembauweise

In Deutschland ist das Bauen mit Raummodulen im Wohnungsbau nicht präsent, im Gegensatz zu z. B. Spanien. Derzeit stellt die sprunghaft angestiegene Zahl von Flüchtlingen und Asylbewerbern Städte, Gemeinden und Kommunen vor enorme Herausforderungen. Mobile Mietgebäude sind eine besonders sinnvolle Lösung, wenn sehr kurzfristig Wohnraum geschaffen werden muss. Binnen weniger Tage lassen sich die erforderlichen Asylbewerberunterkünfte, Übergangwohnheime oder Flüchtlingswohngebäude mit hoher Wohnqualität errichten.

In die Untersuchung konnten drei Objekte einbezogen werden.



Bild 40: Neubau Wohngebäude Studentisches Wohnen, Jena
Foto: © KLEUSBERG GmbH & Co. KG, Rüdiger Mosler
Architekturfotografie



Bild 41: 3-geschossige Bettenstation, Münster
Foto: BOLLE System- und Modulbau GmbH

Dabei handelt es um ein zweigeschossiges Wohnheim für Flüchtlinge in Stuttgart, ein dreigeschossiges Wohnheim für Studenten in Jena und eine dreigeschossige Bettenstation in Münster. Die Konstruktionen basieren ausschließlich auf Stahlmodulen. Die Außenwände sind in allen Beispielen Vorhangkonstruktionen, d. h. im Fassadenbereich können alle bauordnungsrechtlich zugelassenen Baustoffe und Konstruktionen eingesetzt werden. Ähnlich wie bei allen Skelettkonstruktionen wird beim Bauen mit Stahlmodulen eine thermische Trennung von Trag- und Hüllkonstruktion umgesetzt. Der schalenartige Aufbau von Innen-, Außenwand- Decken- und Dachelementen erweist sich positiv bei der notwendigen Regeneration Technischer Ausrüstungen. Die Modulbauweise erlaubt ein „Produktrecycling“, d. h. Wiederverwendung der Module für Bauwerke gleicher Belastungsklassen.

5.5 Fazit/Ausblick Modellprojekte

Aus den Modellprojekten können aufgrund fehlender Vergleichbarkeit keine Vorteile von Beton-, Stahl- und Holzbauweisen generiert werden. Die Ursachen liegen in einer starken Vermischung von Bauweisen und Materialien. Die geringe Anzahl der Modellprojekte in Stahlbauweise unterstreicht die gegenwärtige Relevanz im mehrgeschossigen Wohnungsbau ebenso wie die der in Modulbauweise errichteten Gebäude. Hier besteht jedoch gerade in wohnähnlichen Nutzungen eine größere Akzeptanz.

Konstruktiv ist abzuleiten, dass sich die Bauweisen in Richtung Komponentenbauweisen entwickeln und ein zunehmender Einsatz von funktionsintegrierten Bauteilen im Decken- und Außenwandbereich zu verzeichnen ist. Vorgefertigte Holzaußenwandelemente finden verstärkten Einsatz in Betonbauweisen. Der Trend geht in Richtung vorgestellte/vorgehangene Außenwandkonstruktionen. Die Vorzüge der brandschutztechnischen Eigenschaften von Stahlbetonkonstruktionen werden bei allen Bauweisen im Bereich von Treppenhäusern und Aufzügen genutzt.

5.6 Bewertung der Bauweisen aus Sicht der Planer, Bauherren, Bauwirtschaft

5.6.1 Vorbemerkungen

Die Auswertung der unterschiedlichen Bewertungen vorgefertigter Bausysteme durch Bauherren, Planer und Bauwirtschaft lässt sich auf drei Ebenen definieren:

- Ebene 1 Allgemeine Vorteile/Nachteile vorgefertigter Konstruktionen
- Ebene 2 Spezifische Vorteile/Nachteile unterschiedlicher Bauweisen
- Ebene 3 Spezifische Vorteile/Nachteile vorgefertigter Bauelemente.

Ebene 2 und 3 untergliedern sich in wirtschaftliche und subjektive Faktoren.

Im Interesse einer besseren Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit wurden die Argumente tabellarisch gelistet und die Bauweisen gegenübergestellt. Die Ebene 3 bleibt im Rahmen der Bearbeitung unberücksichtigt, da sie die Aufgabenstellung übersteigt und im Detail nicht zielführend ist.

5.6.2 Wirtschaftliche Faktoren

Auf eine separate Darstellung und Bewertung der unterschiedlichen Bauweisen wurde verzichtet. Im Interesse der Vermittlung komplexer Informationen wurden diese sowie Positionen von Bauherren, Planern und Bauwirtschaft in einer Tabelle zusammengeführt. Sie stellt das Ergebnis einer intensiven Diskussion mit Branchen- und Interessenverbänden dar.

Die Diskussionspartner werden wie folgt definiert:

- *Bauherren*
Im mehrgeschossigen Wohnungsbau treten als Bauherren Wohnbaugesellschaften, private Investoren bzw. Kommunen auf, denen eine gewisse Vertrautheit mit der Materie unterstellt werden darf. Die Sichtweisen privater Bauherren im Einfamilienhausbereich sind nicht in die Untersuchungen eingeflossen.
- *Planer*
Ausgangspunkt der Bewertungen ist der allgemeine Informationsstand der Planer, nicht der auf bestimmte Bauweisen spezialisierte. Damit wird dem Bekanntheitsgrad der Bauweisen Rechnung getragen.
- *Bauwirtschaft*
Die Aussagen beziehen sich nicht auf die gesamte Bauwirtschaft sondern auf die jeweilige Branche.

In die wirtschaftliche Bewertung wurde neben Wand-, Skelett- und Modulbauweisen lediglich das Deckenhubverfahren als Monolithverfahren einbezogen. Trotz erheblicher wirtschaftlicher Vorteile (siehe 4.1.1.3) besteht in der deutschen Wirtschaft ein nachdrücklicher Informationsbedarf.

Tabelle 12: Bewertung der wirtschaftlichen Faktoren einzelner Bauweisen aus Sicht der Bauherren, Planer und der Bauwirtschaft

Kriterien	Wandbauweise									Skelettbauweise									MBV			DHV					
	Beton			Holz			MW			Beton			Stahl			Holz			Stahl								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Bauordnungsrecht	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot
Planungsaufwand	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot
Flächeneffizienz (KF zu NF)	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Systemlösungen	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Standardlösungen Konstruktion	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Standardlösungen Ausführung/Details	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Schlankheit Tragkonstruktion	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Feuchteschutz	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Wärmeschutz	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Themische Trennung (TW-GH)	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Schallschutz	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Brandschutz	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Automation Fertigung	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Montageaufwand	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Bauzeit	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Multifunktionalität (Nutzungsart)	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Umnutzungsfähigkeit (demografischer Wandel)	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Rückbaufähigkeit	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Produktrecycling	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Materialrecycling	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Innovative Lösungen/Nachhaltigkeit	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot
Investitionen in Maschinen- und Anlagentechnik	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot	rot	gelb	rot

Legende: 1 Bauherr, 2 Planer, 3 Bauwirtschaft
 MBV Modulbauweise, DHV Deckenhubverfahren
 rot positiv
 gelb negativ
 gelb Handlungsbedarfe/Informationsdefizite/Hemmnisse

- *Bauordnungsrecht*
 Die Bauherren können i. d. R. dieses Kriterium aufgrund fehlender Kenntnisse nicht objektiv bewerten. Dem Betonbau bescheinigen Planer und Bauwirtschaft eine ausreichende Regelung. Stahlbau und Deckenhubverfahren erfahren aufgrund fehlender Marktpräsenz weder ein positives noch negatives Feedback. Im Holz- und Modulbau ist ein Regelungsbedarf angezeigt. Uneinheitliche Handhabungen des Bauordnungsrechtes ziehen unkalkulierbare Risiken für Planer und Bauwirtschaft nach sich.
- *Planungsaufwand*
 Das Bauen mit vorgefertigten Elementen setzt eine zusätzliche Fertigteile- bzw. Modulplanung voraus. Daher werden die wirtschaftlichen (Planungs-)Aufwendungen durch Planer und Bauwirtschaft hoch eingeschätzt. Ein quantitativer Vergleich der Bauweisen untereinander ist daraus nicht ableitbar. Bauherren fehlen objektive Bewertungskriterien zur Einschätzung.
- *Flächeneffizienz (Konstruktions- zu Nutzfläche)*
 Das Kriterium beschreibt das Verhältnis von Konstruktions- zu Nutzflächen. Bauherren und Bauwirtschaft bewerten das Verhältnis sowohl bei den Wand- wie auch bei den Skelettbauweisen durchweg positiv. Der Planer hinterfragt das Verhältnis kritisch. Bei Modulbauweisen verdeutlicht die Bewertung Informationsdefizite bei Bauherren und Planern.
- *Systemlösungen*
 Das Vorhandensein von Systemlösungen wird Wandbau- und Stahlbetonskelettbauweisen generell zugeschrieben. Ausnahme bildet die Ziegelementbauweise aufgrund ihres geringen Bekanntheitsgrades.

Stahlskelett-, Holzskelett- und Modulbauweisen sind weniger bekannt und werden mehr unter dem Aspekt von SolitÄrlösungen betrachtet.

- *Standardlösungen Konstruktion*

Der Bauherr ist diesbezüglich weitestgehend uninformatiert. Im Wandbau unterstreichen Planer und Bauwirtschaft die wirtschaftlichen Vorteile von Beton und Holz. Ziegelementwände sind weitestgehend unbekannt. Dementsprechend erfolgt die wirtschaftliche Bewertung durch die Planer. Standardlösungen für Stahlbetonskelettbauweisen sind bei Bauherren durch den Gewerbebau impliziert. Planer und Bauwirtschaft sehen vor allem in der Stahlskelettbauweise Entwicklungsbedarfe, stellen die Entwicklungen in der Holzskelett- und Modulbauweise aber positiv heraus.

- *Standardlösungen Details*

Die Bewertung der Bauweisen gestaltet sich durch Bauherren, Planer und Bauwirtschaft uniform. Bauherren fehlen Detailkenntnisse. Planer und Bauwirtschaft beantworten Fragen nach standardisierten Detaillösungen durchweg positiv. Die Mauerwerkelementbauweise punktet aufgrund des geringen Bekanntheitsgrades bei Planern nicht, ebenso das Deckenhubverfahren bei allen drei Bewertergruppen.

- *Schlankheit der Tragkonstruktion*

Diese wird von Planern und Bauwirtschaft im Gesamtkontext Trag- und Hüllkonstruktion bewertet. Daraus erschließen sich keine Vorteile für Bauweisen. Bei den Bauherren besteht generell Informationsbedarf. Informationsdefizite liegen für die Modulbauweise wie auch das Deckenhubverfahren bei den Bewertungsgruppen vor.

- *Feuchteschutz*

Betonbauweisen erfahren eine uneingeschränkte Zustimmung für wirksame Lösungen. Bauherren können die technischen Lösungen im Bereich der Ziegelementbauweise aufgrund des fehlenden Bekanntheitsgrades nicht einschätzen. Bauherren und Planer verbinden mit Holz-, Stahlbau- und Modulbauweisen erhöhte Aufwendungen im Feuchteschutz gegenüber Massivbauweisen.

- *Wärmeschutz*

Wärmeschutzmaßnahmen sind aus Sicht der Bauherren, Planer und der Bauwirtschaft in allen Bauweisen wirtschaftlich umzusetzen, Einschränkungen betreffen lediglich Stahlskelett- und Modulbauweisen aus Bauherren- und Planersicht.

- *Thermische Trennung (Tragwerk – Gebäudehülle)*

Die Bauwirtschaft testiert allen Bauweisen Wirtschaftlichkeit in der Trennung von Trag- und Hüllkonstruktionen. Das Deckenhubverfahren kann generell nicht eingeschätzt werden, da es in der deutschen Bauwirtschaft nicht präsent ist.

Die Bewertung ist branchenspezifisch ausgerichtet und erlaubt keinen objektiven Vergleich der Bauweisen untereinander. Eine gewisse Objektivität wird durch die Einschätzung der Skelettbauweisen durch Planer hergestellt und somit deren Vorteile unterstrichen. Fehlende Informationen kennzeichnen die Bewertungen der übrigen Bauweisen durch Bauherren und Planer.

- *Schallschutz*

Wirtschaftliche Lösungen werden allen Bauweisen durch Planer und Bauwirtschaft testiert, Bauherren fehlen diesbezügliche Vergleichsinformationen.

- *Brandschutz*

Beton- und Mauerwerkskonstruktionen werden schon aufgrund des Baustoffes im Brandschutz wirtschaftliche Lösungen unterstellt. Negative Bewertungen erfahren Stahl-, Holz- und Modulbauweisen durch Bauherren allein aufgrund der Stofflichkeit. Planer sehen die Beschränkungen v. a. in bauordnungsrechtlichen Vorschriften und den damit verbundenen wirtschaftlichen Aufwendungen zur Abhilfe.

- *Automation Fertigung*

Den Betonbauweisen wird durchgehend ein hoher Automationsgrad bestätigt. Die Bauwirtschaft testiert der Ziegelement- und Stahlskelettbauweise ebenfalls Wirtschaftlichkeit in der Automation. Für die übrigen Bauweisen fehlen vergleichbare Bewertungen. Der Holzbau wird trotz z. T. hoher Vorfertigungsgrade immer noch mit handwerklicher Fertigung in Verbindung gebracht.

- *Montageaufwand*
Die Montageaufwendungen werden von Planern und Bauwirtschaft in allen Bauweisen, mit Ausnahme des Deckenhubverfahrens, generell als gering und damit positiv bewertet. Quantitative Unterschiede der einzelnen Bauweisen lassen sich aufgrund der Branchenbetrachtungsebene nicht generieren.
- *Bauzeit*
Da durch die Vorfertigung Bauzeiten verkürzt werden, erfolgt durch Planer und Bauwirtschaft eine positive Einschätzung aller untersuchten, am deutschen Markt etablierten Bauweisen. Eine objektive Einschätzung durch die Bauherren ist aufgrund fehlender Vergleichbarkeit der Bauweisen nicht gegeben. Die Montage ganzer Räume (Modulbauweise) impliziert vor allem bei Bauherren kurze Bauzeiten.
- *Multifunktionalität (Nutzungsart)*
Das Kriterium beschreibt die Nutzung nicht mehr benötigten Wohnraums im Laufe des Lebenszyklus von Wohngebäuden. Sie wird bei Wandbauweisen aufgrund bekannter Einschränkungen durch Planer und Bauwirtschaft unwirtschaftlich, bei Skelettbauweisen durchweg wirtschaftlich eingeschätzt. Bei Bauherren liegen i. d. R. Informationsdefizite vor. Die Modulbauweise wird hinsichtlich der Multifunktionalität abgewählt.
- *Umnutzungsfähigkeit (demografischer Wandel)*
Das Kriterium beschreibt die Möglichkeit der Anpassung von Wohnraum an geänderte Bedarfe. Skelettbauweisen werden durchgehend positiv bewertet. Bei Wandbauweisen bestehen vor allem bei Holz und Mauerwerk Informationsdefizite. Die Erfahrungen aus dem Umgestaltungsprozess des Plattenbaus in Ostdeutschland beeinflussen ebenfalls die Bewertung der Bauweisen durch Bauherren und Planer. Informationsdefizite bestehen bei der Modulbauweise und dem Deckenhubverfahren.
- *Rückbaufähigkeit*
Die Rückbaufähigkeit von Skelettkonstruktionen wird durchgängig als wirtschaftlich positiv bewertet. Informationsdefizite sind bei den Bauherren hinsichtlich der Wandbauweisen zu verbuchen. Modulbauweisen werden aufgrund ihres temporären Einsatzes ebenfalls als wirtschaftlich positiv eingeschätzt. Eine positive Beurteilung als dauerhafte Lösungen für den mehrgeschossigen Wohnungsbau kann jedoch nicht unterstellt werden.
- *Produktrecycling*
Bei Wandbauweisen wird das Produktrecycling als wirtschaftliche Alternative gesehen, auch vor dem Hintergrund erarbeiteter Rückbaurichtlinien für Stahlbetonelemente und praktizierten Bauens mit demontierten Elementen. Die Rückbaufähigkeit von Skelettkonstruktionen erfährt eine positive Bewertung bei Planern und Bauwirtschaft. Gleiches gilt für die Modulbauweise aufgrund des i. d. R. temporären Charakters dieser Bauwerke. Während beim Bauherrn generell Informationsdefizite Einschränkungen in der wirtschaftlichen Bewertung der Bauweisen begründen, gehen sie beim Stahl von einer generellen Wiederverwendbarkeit aus.
- *Materialrecycling*
Wie beim Produktrecycling bestehen auch hier bei Bauherren generelle Informationsdefizite. Ausnahme bildet der Stahlskelettbau. Auch hier gehen Bauherren von einer generellen Wiederverwendbarkeit aus.
- *Innovative Lösungen*
Innovative Lösungen werden im Wandbau Beton- und Holzbausystemen bescheinigt. Gleiches gilt für Stahlbetonskelettbauweisen. Innovationen bei Mauerwerkelement-, Stahlskelett-, Modulbauweisen und dem Deckenhubverfahren sind am Markt weitestgehend unbekannt. Dementsprechend erfolgt die Bewertung des Innovationspotentials.
- *Investitionen Technologie*
Bauherren und Planer können keine gesicherten Aussagen im Hinblick notwendiger Investitionskosten treffen. Die Bauwirtschaft schätzt in allen Bereichen hohe Bedarfe ab. Investitionshöhe und Amortisation differieren in Abhängigkeit der Unternehmensausstattung und Auslastung der Anlagen (Bedarfe).

Defizite und Handlungsbedarfe resultieren im Wesentlichen aus fehlenden Informationen bzw. Marketing. Aus Sicht der Branchenvertreter ist ein starker Lobbyismus erkennbar.

Deutlich werden auch hohe Planungsbedarfe bei vorgefertigten Bauwerken (Detailplanung) sowie die Diskrepanz zwischen der Bauwirtschaft und den Planern. Die Leistungsfähigkeit von modularen Bausystemen hat sich am Markt nicht etabliert. Skelettbauweisen punkten durchweg in den Kriterien Umnutzungsfähigkeit, Multifunktionalität, Trennung von Tragstruktur und Gebäudehülle, thermische Trennung, Betonbauweisen aufgrund Marktbe-

herrschaft und Baustoffeigenschaften, Holzbauweisen aufgrund ihres „ökologischen Fußabdruckes bei Bauherren und Planern. Uneinheitliche Regelungen in den Landesbauordnungen führen zu nicht kalkulierbaren rechtlichen und finanziellen Risiken im Holzbau und stellen so eine Hemmschwelle für Bauherren und Planer im mehrgeschossigen Wohnungsbau dar. Der Planung von vorgefertigten Konstruktionen werden erhöhte Aufwendungen testiert. Eine objektive Bewertung der Bauweisen ist nicht ableitbar, ebenso ein objektiver Vergleich der Montageaufwände und der Investitionskosten.

5.6.3 Subjektive Faktoren

Auf eine separate Darstellung und Bewertung der unterschiedlichen Bauweisen wurde im Interesse einer direkten Vergleichbarkeit ebenfalls verzichtet und die Positionen von Bauherren, Planern und der Bauwirtschaft in einer Tabelle zusammengeführt. Das Deckenhubverfahren wurde aufgrund der fehlenden Verankerung in der deutschen Bauwirtschaft nicht in die Bewertung einbezogen.

Tabelle 13: Bewertung der subjektiven Faktoren einzelner Bauweisen aus Sicht der Bauherren, Planer und der Bauwirtschaft

Kriterien	Wandbauweise									Skelettbauweise									MBW					
	Beton			Holz			MW			Beton			Stahl			Holz			Stahl					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Akzeptanz Baustoff	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Akzeptanz Bauweise	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Gestaltung	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Umnutzungsfähigkeit (Demografischer Wandel)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Multifunktionalität (Nutzungsart)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Wohngesundheit	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ökologie	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Serieneffekte	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Anfälligkeit der Konstruktionen	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Öffentlichkeitspräsenz	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Legende: 1 Bauherr, 2 Planer, 3 Bauwirtschaft
MBV Modulbauweise

- positiv
- negativ
- Handlungsbedarfe/Informationsdefizite/Hemmnisse

- Akzeptanz Baustoff

Beton ist als Massenbaustoff fest im Bewusstsein von Bauherren und Planern verankert und positiv belegt. Die Mauerwerktafel ist weitestgehend unbekannt. Die Bewertungen von Holzwandbauweisen belegen ebenso wie Stahlskelettbauweisen Informationsdefizite. Der Baustoff Holz ist im mehrgeschossigen Wohnungsbau nicht „eingeführt“. Vorbehalte aufgrund des Brandschutzes fließen hier bei Bauherren und Planern in die Analyse ein. Der Einsatz von Raummodulen aus Stahl im mehrgeschossigen Wohnungsbau ist als absolutes „No-Go“ bei Planern und Bauherren in Deutschland verankert.

- Akzeptanz Bauweisen

Wandbauweisen aus Beton sind bei Bauherren und Planern negativ belegt. Die Bewertung als Skelettkonstruktion folgt mehr baustofflichen Kriterien. Holzbauweisen besitzen einen ökologischen Bonus bei Bauherren, während Modulbauweisen für den Wohnungsbau von Bauherren und Planern nicht akzeptiert werden.

- Gestaltung

Für Wandbauweisen aus Beton gilt oben Beschriebenes. Holz-, ebenso wie Skelettbauweisen sind positiv bezüglich der Gestaltung belegt. Mauerwerktafel- und Modulbauweisen sind im mehrgeschossigen Wohnungsbau weitestgehend unbekannt. Hier bestehen Informationsdefizite bei Bauherren und Planern.

- Umnutzungsfähigkeit (demografischer Wandel)

Das Kriterium beschreibt die Möglichkeit der Anpassung der Wohnungen an geänderte Bedarfe. Bei Wandbauweisen aus Beton schlagen sich in der Beurteilung Vorbehalte gegen die Bauweise und bautechnische Beschränkungen nieder. Holz und Mauerziegel sind bekannte Baumaterialien, die bei Bauherren generell als anpassungsfähig gelten. Informationsdefizite und Vorbehalte liegen bei den Wandbauweisen aus Holz und Mauerwerk auf Planerseite. Skelettkonstruktionen werden generell als flexibel eingeschätzt.

Raummodulen wird durch Bauherren eine fehlende Flexibilität unterstellt, bei Planern bestehen diesbezüglich Informationsdefizite.

- *Multifunktionalität (Nutzungsart)*

Das Kriterium beschreibt die Nutzung nicht mehr benötigten Wohnraums im Laufe des Lebenszyklus von Wohngebäuden. Sie wird für alle Bauweisen mit Ausnahme des Beton- und Holzwandbaus sowie der Modulbauweise positiv bewertet. Ansonsten liegen Informationsdefizite bzw. eine konkrete Ablehnung der Bauweise durch Bauherren vor.

- *Wohngesundheit*

Alle Bauweisen mit Ausnahme des Betonwandbaus und der Modulbauweise werden durchgängig positiv bewertet. Bei Bauherren schlagen sich in der Bewertung häufige Schadensfälle aufgrund von Wärmebrücken in hoch gedämmten Gebäuden aus Beton nieder, während Modulbauweisen für eine dauerhafte Nutzung im Wohnungsbau durch die Bauherren auf Ablehnung stoßen.

- *Ökologie*

Hier bestehen bei Bauherren und Planern Informationsdefizite. Stahlskelettkonstruktionen und Stahlmodule werden u. a. bauherrenseitig aufgrund hoher Energiekosten ökologisch abgelehnt.

- *Serieneffekte*

In die Bewertung von Wandbauweisen aus Beton fließt bei Bauherren und Planern das Negative Image der Plattenbausiedlungen, bei Stahlmodulbauweisen die Synapse Baustelleneinrichtung ein.

- *Anfälligkeit der Konstruktion*

In der Bewertung von Holzkonstruktionen spiegeln sich vor allem Informationsdefizite und Aspekte des Brandschutzes, aber auch Möglichkeiten von Schädlings- und Nagerbefall wider.

- *Öffentlichkeitspräsenz*

Die Modellprojekte Betonbauweisen belegen, dass Wandbauweisen aus Beton aufgrund ihrer massenhaften Umsetzung in den 1960er bis 1980er Jahren eine negative Image-Spur hinterlassen haben. Der Mauertafelbau ist wie der Stahlbau in der Öffentlichkeitsarbeit völlig unterprivilegiert. Betonskelettkonstruktionen sind mehr im Gewerbe- weniger im Wohnungsbau etabliert. Die Stahlmodulbauweise erschließt sich Nutzungen mit wohnähnlichem Charakter wie Bettenhäusern, Altenpflegeheimen, Asylunterkünften. Auch hier bestehen erhebliche Informationslücken.

Vorbehalte gegenüber der Betonbauweise haben ihre Ursachen im Massenwohnungsbau der neuen Bundesländer sowie in den Großsiedlungen der alten Bundesländer und dem damit verbundenen monotonen Erscheinungsbild. Der Baustoff Holz ist positiv belegt, der Einsatz im mehrgeschossigen Wohnungsbau leidet unter fehlenden bundeseinheitlichen, bauordnungsrechtlichen Regelungen. Die Einstellung zum Stahlbau reflektiert den geringen Bekanntheitsgrad im mehrgeschossigen Wohnungsbau. Mit dem Modulbau werden die Begriffe provisorisch, temporär, aber keine dauerhaften Lösungen im Wohnungsbau verbunden.

6 Potentialabschätzung zur Reduzierung der Baukosten

6.1 Kostenentwicklung im Wohnungsbau

6.1.1 Rahmenbedingungen

Bauprojekte werden durch rechtliche, wirtschaftliche, organisatorische aber auch physische Faktoren beeinflusst. Diese sind in nachstehender Tabelle dargestellt.

Tabelle 14: Einflüsse auf ein Bauprojekt

Rechtliche Einflüsse	Wirtschaftliche Einflüsse	Organisatorische Einflüsse	Physische Einflüsse
Gesetze Verordnungen Bewilligungen	Ressourcen Vorhandene Infrastrukturen Konjunktursituationen	Projektmanagement Ausschreibung / Vergabe Logistik	Atmosphäre Geologie Topografie

Umgebungsbedingungen nehmen direkten Einfluss auf die Baukosten von Projekten. Kostengünstiges Bauen ist jedoch nicht mit geringen Investitionskosten gleichzusetzen, im Gegenteil. Die Nachhaltigkeit von baulichen Lösungen in ökonomischer, soziokultureller/funktionaler und technischer Sicht ist ein ausschlagendes Kriterium für Kosten über den Lebenszyklus eines Gebäudes und damit auch für kostengünstiges Bauen. Eine Fokussierung der Untersuchung auf die Kostengruppen KG 300 (Baukonstruktion) und KG 400 (Technische Anlagen) (DIN 276 2008) zielt lediglich auf Einsparungen der Baukosten, nicht aber auf nachhaltiges Bauen ab. Auf das Gebäude bezogen müssen nachstehende Kriterien besonders hervorgehoben und in die Gesamtbetrachtungen einbezogen werden.

Tabelle 15: Nachhaltigkeitskriterien im Bauwesen

Qualitäten	Kriterien
Ökonomische Qualität	- Standards - Baukosten - Bauweisen - Bauverfahren
Ökologische Qualität	- Nachhaltige Ressourcenverwertung - Ökonomische Qualität - Lebenszykluskosten - Drittverwendungsfähigkeit
Soziokulturelle und funktionale Qualität	- Flächeneffizienz - Umnutzungsfähigkeit
Technische Qualität	- Rückbaubarkeit - Demontagefreundlichkeit - Recyclingfreundlichkeit
Prozessqualität	- Qualität der Projektplanung - Integrale Planung - Baustelle, Bauprozess

Die nachstehenden Ausführungen konzentrieren sich im Wesentlichen auf die ökonomischen Qualitäten. Der Fertigteiltbau punktet aber insbesondere durch seine ökologischen, technischen und Prozessqualitäten. Daher werden im Nachfolgenden einzelne Ausblicke in, den Fertigteiltbau tangierende Qualitäten aufgezeigt.

Der alleinige Fokus auf Baukostenvergleiche von Objekten unterschiedlicher Größen, unterschiedlicher Konstruktionen, errichtet in unterschiedlichen Bauverfahren und Materialien sowie Regionen kann keine belastbare Aussage für preiswertes Bauen erbringen. Durch Auswertung von Modellprojekten lassen sich nur allgemeine Tendenzen ableiten, die wesentlich auch durch regionale Bedingungen beeinflusst werden. Dabei können jedoch

grundsätzlich insbesondere Detailuntersuchungen zu aufschlussreichen Ansätzen führen. Diese sind jedoch nicht ohne weiteres in repräsentative Aussagen zu überführen.

Den Untersuchungen wurden neben den BKI (Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern) Gebäude-, Bauelemente-, Positionskosten Stand 2014, aktuelle Studien und Untersuchungsberichte sowie Kennwerte aus Modellprojekten zugrunde gelegt. Die Ergebnisse orientieren sich weitestgehend an den Kostengruppen KG 300 und KG 400 sowie an der Rubrik Mehrfamilienhäuser mit 6 – 19 WE des BKI u. a. im Hinblick auf eine entwickelte Kostenmodellierung „Typengebäude Mehrfamilienhäuser“ (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014). Dieses Modell spiegelt auf Grundlage von Statistiken, Marktbeobachtungen, Bau- und Kostencontrolling Kosten für den optimierten Wohnungsbau in der derzeitigen Baupraxis wieder.

Im Focus der Untersuchungen stehen Kosten für vorgefertigte Bauelemente, Bauweisen sowie Vorschläge zur Kostensenkung.

6.1.2 Auswertung von Baukostenanalysen

6.1.2.1 Baukostenentwicklung/Ausgangssituation

Die Baukosten sind über den Betrachtungszeitraum von 1999 bis 2014 um 27,6 % gestiegen, im Bereich des Verbraucherpreisindex um 25,8 %. Die Preise für Bauleistungen in der KG 300 haben sich um 24,9 % erhöht. Bauleistungen der Kostengruppe 400 sind für die Baukostensteigerung der letzten Jahre mit 45,1 % verantwortlich. Die Preissteigerungen bei Bauleistungen haben eine Ursache im überproportionalen Anstieg von Materialpreisen um 31,6 %. (Neitzel 2015).

Für eine einheitliche Bewertung der Recherchen und Modellprojekte wurde als Datenbasis das Jahr 2014 gewählt, die Baukosten entsprechend Kostenindex umgerechnet.

6.1.2.2 Literaturswertung Erkenntnisse

In den letzten 20 Jahren wurden zahlreiche Untersuchungen zum preiswerten Wohnungsbau durchgeführt. Stellvertretend für zahlreiche Studien werden nachstehende Veröffentlichungen genannt:

- Stamm-Teske, Preis-werter Wohnungsbau 1990 - 1996: Eine Projektauswahl in Deutschland (Stamm-Teske 1996),
- Preiswerter Wohnungsbau in den Niederlanden 1993 – 1998 (Sunder-Plassmann, Stamm-Teske und Kupferschmied 1998),
- Baukonstruktive Innovationen für den Geschosswohnungsbau unter Nachhaltigkeitskriterien (Schmitz-Riol 1998),
- Preiswerter Wohnungsbau in Österreich (Stamm-Teske 2001),
- Systembauweisen im Wohnungsbau (Lindner und Erik Schmitz-Riol 2001),
- Optimierter Wohnungsbau (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014),
- Kostentreiber für den Wohnungsbau (Walberg , Gniechwitz und Halstenberg 2015).

Allen Untersuchungen ist gemeinsam, dass aufgrund der Unterschiedlichkeit der betrachteten Objekte keine direkte Vergleichbarkeit der Baukosten gegeben ist. Musterhafte Lösungen für preiswertes Bauen werden analysiert und evaluiert insbesondere im Hinblick auf die Rahmenbedingungen. Lebenszykluskosten fließen in die Betrachtungen nur bedingt ein, so dass lediglich Entstehungskosten von Gebäuden unterschiedlicher Baumaterialien, Baukonstruktionen und Bauverfahren miteinander verglichen werden.

Wesentliche Ergebnisse der Arbeiten werden im Anschluss auszugsweise dargestellt.

Stamm-Teske hat in seinem Buch „Preis-werter Wohnungsbau 1990 – 1996“ 100 deutsche Bauobjekte, die zwischen 1984 und 1996 realisiert wurden, analysiert. Die Projekte verbinden musterhafte Lösungen für die Zukunft eines preiswerten (nicht billigen) Bauens. Eine objektive Vergleichbarkeit der Projekte ist nicht gegeben.

Die Gründe für preiswertes Bauen in den Niederlanden sehen die Autoren (Sunder-Plassmann, Stamm-Teske und Kupferschmied 1998) zum einen durch die vom Staat festgelegten Kostenobergrenzen für soziale Kaufwohnungen sowie durch Nutzung nachstehenden Instrumentariums (siehe auch 3.2.2.3):

- Gesetze zur Bereitstellung von kostengünstigem Bauland und Festlegung von Kostenobergrenzen im sozialen Wohnungsbau
- Rationalisierungsmaßnahmen mit Hilfe kostenreduzierender Bautechniken und dem Einsatz industriell vorgefertigter Bauelemente
- Vereinfachungen im Ausstattungsstandard des sozialen Wohnungsbaus.

Die Autoren vorstehender Untersuchungen verweisen darauf, dass ein vorurteilsloser Blick auf den Wohnungsbau in den Niederlanden dem deutschen Wohnungsbau innovativen Antrieb geben könnte.

Die Analyse des österreichischen Wohnungsbaus (Stamm-Teske 2001) unterstreicht, dass zuverlässig vergleichbare Werte der Baukosten aufgrund unterschiedlicher Förderbedingungen, Kennzahlen oder unvollständiger Angaben der untersuchten Projekte nicht ableitbar sind. Daher wurden die aufbereiteten Projekte lediglich drei Preiskategorien zugeordnet, um Tendenzen für das Bauen abzuleiten.

In der Dissertation (Schmitz-Riol 1998) wird unterstrichen, dass die heute übliche Bautechnik im Geschoßwohnungsbau die vorhandenen technischen Potentiale zur Rationalisierung nicht ausschöpft. Er fordert eine Intensivierung der Forschungstätigkeit alternativer Wege zur Kostensenkung wie beispielsweise die Veränderung der Bauorganisationsstrukturen, Senkung des Qualitätsstandards, Vereinfachung normativer Regelungen oder Verstärkung des Wettbewerbsdrucks. Des Weiteren verweist er darauf, dass für Architekten, Planer die extrem breite Angebotspalette von Bausystemen schwer überschaubar und eine Vergleichbarkeit nahezu ausgeschlossen ist. Mit der Erarbeitung eines Bewertungskataloges in dieser Arbeit wurde eine praktikable Grundlage zur nachhaltigen Betrachtung von innovativen Bausystemen geschaffen, die im Ergebnis nicht nur den Vergleich zwischen Alternativen zulässt, sondern Wege zu einer weiteren Optimierung weist.

Eine im Auftrag der Deutschen Zementindustrie erstellten Studie (Lindner und Erik Schmitz-Riol 2001) befasst sich mit modernen und rationellen zementgebundenen Massivbausystemen in Fertigteilm Bauweise. Die untersuchten Konstruktionen unterliegen dabei einer bauteilorientierten Strukturierung. Auf Basis definierter zeitgemäßer Nachhaltigkeitskriterien wurden entsprechende Modellprojekte ausgewählt und analysiert. Auch in dieser Arbeit wurden lediglich Preisgruppen für kostengünstiges Bauen evaluiert, jedoch auch aufgrund der Häufigkeit der Anwendungen bestimmter Teilsysteme auf die Akzeptanz bei Bauherren und Planern verwiesen. Bezogen auf die untersuchten Einzelprojekte mit ihren verschiedenen verwendeten Bauelementen, Bausystemen und Bauweisen wurden positive Ansätze hervorgehoben. Im Ergebnis steht, dass die untersuchten Systeme nicht in jedem Fall preiswerter als traditionell errichtete Gebäude sind, jedoch Synergien durch den Einsatz vorgefertigter Elemente erschlossen werden können. Es wird explizit darauf verwiesen, dass industrielle Fertigungsmethoden nicht im Gegensatz zu kreativer individueller Gestaltung stehen, jedoch eine Auseinandersetzung der Architekten mit den Gesetzmäßigkeiten rationellen Bauens dringend geboten ist.

In einer Studie der ARGE eV (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014) wurden Holzbau- und Massivbauweisen auf Basis eines definierten „Typengebäudes Mehrfamilienhaus“ miteinander verglichen. Die Untersuchungen stellen heraus, dass Vollholzkonstruktionen 80 bis 100 % höhere Kosten als vergleichbare hochwertige Mauerwerkskonstruktionen aufweisen.

In „Kostentreiber für den Wohnungsbau“ (Walberg , Gniechwitz und Halstenberg 2015) werden die Einflüsse von Qualitätsansprüchen, Normungen, Vorschriften und kommunalen Auflagen im Hinblick auf die Kosten im Wohnungsbau und im mehrgeschossigen Wohnungsbau untersucht und Handlungsanleitungen für die Politik gegeben.

6.1.2.3 Baukostenvergleiche Mehrfamilienhäuser

Grundlagen bilden aktuelle Untersuchungen der ARGE für zeitgemäßes Bauen e. V. (Walberg, Brosius, et al. 2015), (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014) sowie eigene Berechnungen.

Die Berechnungen und Auswertungen der ARGE//eV beziehen sich auf ein Modellgebäude „Typengebäude Mehrfamilienhaus“ und spiegeln die Ergebnisse einer breiten Datenerhebung, nicht aber von Praxisbeispielen wieder. Die Kosten basieren auf dem Preisindex 2014. Dem gegenüber gestellt sind Baukostenermittlungen nach BKI 2014.

Ausgangspunkt für nachstehende Aussagen ist der Bericht der ARGE//eV (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014). Den Kostenbetrachtungen liegt ein Typengebäude Mehrfamilienhaus freistehend, 12 WE, durchschnittlich 73 m²/WE, überwiegend 3 - 4 Wohnräume/WE zu Grunde. Im Bereich Mauerwerk wurden Ziegel, Porenbeton, Leichtbeton und Kalksandstein untersucht, für den Bereich Beton Stahlbetonelementwände/Ortbetonwände und im Bereich Holz Fertigwände aus Holz. Die Außenwandsysteme sind als einschalige und mehrschalige Systeme angesetzt worden. Die Kosten beziehen sich auf die fertig gestellte Außenwand mit Innen- und Außenputz (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014).

Die Grundvariante stellt ein Modellgebäude auf Basis EnEV 2016 ohne Kellergeschoss, jedoch mit Kellerersatzräumen in den Außenanlagen und Aufzug dar. Die Zusatzvariante basiert auf der Grundvariante wird jedoch durch ein Kellergeschoss und entsprechenden Neben- und Funktionsräumen sowie einen Aufzugsschacht inkl. Aufzugsanlage mit 6 Haltestellen ergänzt.

Den BKI-Werten wurden Angaben zu Mehrfamilienhäuser mit 6 – 19 WE zugrunde gelegt (BKI, Baukosten Gebäude 2014).

Die Untersuchungen beschränken sich auf Angaben zu Außenwandbauteilen und m² Wohnfläche. Die Außenwandbauteile nehmen den größten Prozentanteil der Kosten der 2. Ebene an den Kosten des Bauwerks nach DIN 276 ein (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Prozentuale Aufteilungen der Außenwandanteile an den Baukosten Mauerwerk / Beton / Holzbau (Walberg, Brosius, et al. 2015)

Mehrfamilienhaus	Grundvariante			Zusatzvariante		
Außenwandanteil an den Baukosten (KG 300 – 400)						
Mauerwerk	23,1 %	24,1 %	25,4 %	20,9 %	21,6 %	22,8 %
Beton	24,9 %	25,9 %	25,7 %	22,4 %	23,3 %	23,9 %
Holz	23,4 %	26,5 %	29,4 %	20,7 %	23,4 %	26,1 %

Außenwände aus Mauerwerk werden in Deutschland am kostengünstigsten erstellt. Stahlbetonelement- und Ortbetonwände folgen in einem Abstand von knapp plus 34,00 €/qm AWF, Außenwände in Holzbauweise in einem Abstand von 49,00 €/qm AWF auf Stahlbetonwände (Meridianwerte), siehe Tabelle 17 (Walberg, Gniechwitz und Halstenberg 2015)

Tabelle 17: Kosten Außenwände Mehrfamilienhaus (Walberg, Brosius, et al. 2015) (BKI, Baukosten Bauelemente 2014)

Mehrfamilienhaus		
Außenwände	€/m ² AWF Studie ARGE//eV 2015 Von/Median/bis	€/m ² AWF BKI 2014 Von/Median/bis
Mauerwerk	292/321/362	
Beton	321/355/376	
Holz	343/370/435	
		233/327/502

6.1.2.3.1 Außenwandkonstruktionen aus Mauerwerk

Für die Bewertung der Außenwände aus Mauerwerk wurden die BKI-Baukosten Positionen, Leistungsbereiche 012, 013 und 023 herangezogen. Die Baukosten beziehen sich auf einen Quadratmeter Wandfläche ohne Berücksichtigung von Zulagen, Fenster- und Türöffnungen, Gerüstarbeiten usw. Im Interesse der Vergleichbarkeit wurde den unterschiedlichen Wandaufbauten ein einheitlicher U-Wert von 0,24 W/m²K (mit geringfügigen Abweichungen) zugrunde gelegt. Abweichungen von Dämmstärken gegenüber den Einzelpositionen wurden nicht eingerechnet, da die Baukostenabweichungen nur marginal sind. Untersucht wurden Wandaufbauten aus Poroton und Kalksandstein mit unterschiedlichen Wandstärken, Dämmmaterialien und Außenwandbekleidungen.

Nachstehende Beispiele stellen nur eine begrenzte Auswahl dar.

Tabelle 18: Kosten Außenwandkonstruktionen Mauerwerk

Lfd. Nr.	Wandaufbau	In €/m ² AWF brutto
1	Kalkzementputz, 10 mm Poroton T 18, 365 mm Hartschaum, ESP 035, 68 mm Armierungsputz/mineralischer Oberputz	189,00
2	Kalkzementputz, 10 mm Kalksandstein, 240 mm Hartschaum, ESP 035, 130 mm Armierungsputz/mineralischer Oberputz	166,00
3	Kalkzementputz, 10 mm Kalksandstein, 175 mm Hartschaum, ESP 035, 133 mm Armierungsputz/mineralischer Oberputz	148,00
4	Kalkzementputz, 10 mm Poroton T 18, 365 mm Mineralwolle WLG 035, 75 mm Verblendmauerwerk, Vormauerziegel 2000 kg/m ³ DIN 105, 71 mm	284,00
5	Kalkzementputz, 10 mm Poroton T 18, 240 mm Mineralwolle WLG 040, 103 mm Verblendmauerwerk, Vormauerziegel 2000 kg/m ³ DIN 105, 71 mm	247,00
6	Kalkzementputz, 10 mm Kalksandstein, 240 mm Mineralwolle WLG 040, 145 mm Verblendmauerwerk, Kalksandstein, 113 mm	265,00
7	Kalkzementputz, 10 mm Kalksandstein, 175 mm Mineralwolle WLG 040, 148 mm Verblendmauerwerk, Kalksandstein, 113 mm	246,00

Anmerkungen: Ohne Berücksichtigung von Öffnungen, Gerüstarbeiten bzw. zusätzliche Leistungen.

6.1.2.3.2 Kosten Außenwandkonstruktionen aus Beton

Für die Kostenermittlung gelten die Abschnitt 6.1.2.3.1 genannten Bedingungen.

Tabelle 19: Kosten Außenwandkonstruktionen Beton

Lfd. Nr.	Wandaufbau	In €/m ² AWF brutto
1	Sichtbetonqualität Innenseite Beton armiert, 250 mm Hartschaum, ESP 035, 140 mm Armierungsputz/mineralischer Oberputz	266,00

Anmerkungen: Ohne Berücksichtigung von Öffnungen, Gerüstarbeiten bzw. zusätzliche Leistungen.

6.1.2.3.3 Kosten Außenwandkonstruktionen aus Holz

Die nachstehenden Baukosten basieren auf BKI Baukosten Positionen 2014.

Tabelle 20: Kosten Außenwandkonstruktionen Holz nach Kostenkennwerten 3. Ebene DIN 276 (BKI, Baukosten Positionen 2014)

LB/Nr.	Position	Einheit	€/m ² AWF Von/Median/bis
331.33.00	Holzwand, Rahmenkonstruktion		
.02	Sandwich-Wandplatten, d= 30 cm, Vorsatzschalen, Dämmung, Tragschale, Bewehrung	m ²	130/130/150
.01	Holzrahmenkonstruktion, Konstruktionsvollholz, Dämmung, Beplankung mit Holzwerkstoffplatten	m ²	97/110/140
02	Geschosshohe Holz-Fertigteilwände, d=391-395 mm, KVH-Träger, Zelluloseeinblasdämmung WLG 040, d=360 mm, OSB-Platten, d=15 mm, Holzweichfaserplatten, d = 16 mm	m ²	140/160/170
03	Geschosshohe Holz-Fertigteilwände, d=356-384 mm, Doppelstegträger, Zelluloseeinblasdämmung, d=356 mm, OSB-Platten, d=15 mm, DWD-Platten, d=16 mm, innenseitig GK-Platten, d=12,5 mm, malerfertig gespachtelt	m ²	170/190/200
331.35.00	Holzwand, Fachwerk incl. Ausfachung		
81	Fachwerk, Holz	m ²	100/180/230

Anmerkungen: Ohne Berücksichtigung von Öffnungen, Gerüstarbeiten bzw. zusätzliche Leistungen.

6.1.2.3.4 Kosten Außenwandkonstruktionen aus Stahl

Die nachstehenden Baukosten basieren auf BKI Baukosten Positionen 2014.

Tabelle 21: Kosten Außenwandkonstruktionen aus Stahl nach Kostenkennwerten 3. Ebene DIN 276 (BKI, Baukosten Positionen 2014)

LB/Nr.	Position	Einheit	€/m ² AWF Von/Median/bis
331.41.00	Metallwand, Rahmenkonstruktion	m ²	
331.41.01	Stahlkonstruktionswände, Profilstahl, feuerverzinkt, grundiert, d=140-160 mm, Kleinteile, Kopf- und Fußplatten	m ²	32/58/74

Anmerkungen: Ohne Berücksichtigung von Öffnungen, Gerüstarbeiten bzw. zusätzliche Leistungen.

6.1.2.3.5 Fazit

Die Kosten für Außenwandbauteile aus Mauerwerk weisen je nach Ausführung große Spannweiten auf. Die Werte für einfach verputztes KS- Mauerwerk liegen im Mittel bei 157 €/m² AWF, für Porotonmauerwerk bei 189 €/m² AWF. Bei Ausführung von Porotonwänden mit Verblendmauerwerk aus Vollziegeln im Außenbereich liegen die durchschnittlichen Baukosten bei 266 €/m² AWF, bei Kalksandsteinmauerwerk mit Verblendmauerwerk aus Kalksandstein bei 256 €. Die durchschnittlichen Baukosten für Mauerwerk nach BKI 2014 liegen 31 % unter den Medianwerten der Untersuchung der ARGE//eV (321 €/m² AWF).

Die Kosten für Außenwandbauteile aus Beton stehen bei 272 €/m² AWF. Danach weisen Wandaufbauten mit Betontragschalen höhere Kosten als Mauerwerk auf.

Die Kosten für Außenwandkonstruktionen aus Holz liegen nach diesen Untersuchungen zwischen 110 und 190 €/m² AWF der Meridianwerte. Der Durchschnitt der Meridianwerte liegt bei 154 €/m² AWF, das entspricht einer Abweichung von 240 % gegenüber den Untersuchungen der ARGE//eV (370 €/m² AWF).

Außenwandkonstruktionen aus Stahl (Sandwichkonstruktionen) liegen bei 58 €/m² AWF und offerieren somit preiswerte Alternativen für Außenwandkonstruktionen.

Die z. T. erheblichen Abweichungen haben ihre Ursache im Betrachtungsfokus. Die nach BKI ermittelten Werte basieren auf reinen Wandflächen ohne Einrüstungen, Öffnungsanteile u. a., also ohne Zulagen, die Baukosten des Typenprojektes Mehrfamilienhauses der ARGE//eV beinhalten alle notwendigen Leistungen für die Erstellung von Außenwänden.

6.1.2.4 Baukostenvergleiche Wohnflächenbasis

Die Baukosten können durch nachstehende Faktoren (Leistungen) weiter beeinflusst werden, siehe Tabelle 22. Hieraus ergeben sich erhebliche Kosteneinsparpotentiale.

Tabelle 22: Kostenspannen von Baukosten der Grund- und Zusatzvarianten pro m² Wohnfläche (Wfl) (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014)

Grundvariante des Typengebäudes:

(EnEV ab 2016, ohne Kellergeschoss und ohne Aufzug)

	von/Median/bis
Grundkosten Kostengrupp 300 und 400 inkl. Küchen und in den Außenanlagen integrierten Kellerersatzräumen	1.346/1.432/1.527 €/m ² Wfl

Besondere Gründung:

	von/Median/bis
geringe zusätzliche Gründungsmaßnahmen z. B. Sohlenverstärkung ggf. mit ergänzenden Einzelfundamenten	9/18/24 €/m ² Wfl
aufwändige zusätzliche Gründungsmaßnahmen z. B. besondere Flachgründung ggf. mit Tiefgründungselementen	31/46/55 €/m ² Wfl
sehr aufwändige zusätzliche Gründungsmaßnahmen z. B. Tiefgründung ggf. in Verbindung mit einer schwierigen Einbausituation	72/107/138 €/m ² Wfl

Keller:

	von/Median/bis
Kellergeschoss z. B. mit Neben- und Abstellräumen (keine Aufenthaltsräume)	83/122/159 €/m ² Wfl

Garage/Parkpalette/Tiefgarage:

	von/Median/bis
Garage Einzel- bzw. Gemeinschaftsgarage	28/41/53 €/m ² Wfl
Parkpalette Gemeinschaftsgarage, oberirdisch - freistehend	43/59/70 €/m ² Wfl
Tiefgarage Gemeinschaftsgarage unterirdisch - gebäudebezogen	247/292/348 €/m ² Wfl

Aufzug:

	von/Median/bis
Aufzugsanlage z. B. Aufzugstyp 1 mit fünf bis sechs Haltestellen	51/68/82 €/m ² Wfl

Altengerechtes/barrierefreies Bauen:

	von/Median/bis
Maßnahmen zum Erreichen des Anspruchs „altengerecht“ z. B. Türbreiten, Fensterausbildung, Balkon- bzw. Terrassenanschlüsse, bodengleiche Dusche, Bewegungsmelder, Notrufsystem, Handläufe etc.	59/80/104 €/m ² Wfl
Maßnahmen zum Erreichen des Anspruchs „barrierefrei“ DIN 18040 (Rollstuhl) z. B. Aufzugstyp 2/3, Küchenmöblierung, Sanitärobjekte, Bedienelemente, Bodenindikatoren, Orientierungshilfen, Ausbildung der Verkehrsflächen, Bodenbeläge etc.	197/242/296 €/m ² Wfl

Dachbegrünung:

	von/Median/bis
Dachbegrünung In der Größenordnung von 100 % der Dachflächen	28/41/53 €/m ² Wfl

Außenwandkonstruktion:

	von/Median/bis
Ausführung mit Verblendmauerwerk In der Größenordnung von 100 % der Außenwandflächen	63/78/91 €/m ² Wfl

Baustellenlogistik:

	von/Median/bis
Anspruchsvolle Baustellenlogistik z. B. im stark verdichteten städtischen Raum mit schwieriger Baustellensituation (keine oder nur geringe Flächen für die Materiallagerung, stark eingeschränkten Liefer- und Parkmöglichkeiten, Einsatz von schwerem Gerät nur bedingt möglich etc.)	107/137/164 €/m ² Wfl

Energetischer Standard:

	von/Median/bis
EnEV 2014 Im Vergleich zum energetischen Standard „EnEV ab 2016“	-71/-98/-136 €/m ² Wfl
Effizienzhaus 70 Im Vergleich zum energetischen Standard „EnEV ab 2016“	32/52/78 €/m ² Wfl
Effizienzhaus 55 Im Vergleich zum energetischen Standard „EnEV ab 2016“	105/135/177 €/m ² Wfl
Effizienzhaus 40 Im Vergleich zum energetischen Standard „EnEV ab 2016“	211/253/304 €/m ² Wfl

Außenanlagen:

	von/Median/bis
geringe Erstellungsmaßnahmen z. B. Durchführung lediglich der wichtigsten Arbeiten (Geländeausgleich, Ausbildung von Erschließungs- und Terrassenflächen etc.)	29/40/48 €/m ² Wfl
aufwändige Erstellungsmaßnahmen z. B. barrierereduzierte Ausgestaltung teilweise unter Einbeziehung von besonderen Grün- und Freiflächen ggf. mit besonderen Aktivitäts-, Themen- oder Ruheplätzen	77/96/121 €/m ² Wfl
sehr aufwändige Erstellungsmaßnahmen z. B. altersgerechte/barrierefreie Ausgestaltung unter Einbeziehung von besonderen Grün- und Freiflächen ggf. mit Aktivitäts-, Themen- oder Ruheplätzen	159/178/203 €/m ² Wfl

Baunebenkosten:

	von/Median/bis
Baunebenkosten (Kostengruppe 700) Bezug auf die KG 300 bis 600	15,6/19,9/24,6 €/m ² Wfl

Über die aufgelisteten Kostenbereiche hinaus können bei einzelnen Bauvorhaben weitere spezifische Kosten beispielsweise durch städtebauliche Auflagen oder nutzerspezifische Erfordernisse anfallen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass in Einzelfällen ggf. auch kostenintensive Abrissarbeiten oder Altlastenbeseitigungen vor dem eigentlichen Baubeginn erforderlich sind.

Die Kosten für Kellergeschosse stellen mit 122 €/m² Wfl einen großen Kostenfaktor beim Bauen und sind daher bei der Umsetzung baulicher Maßnahmen zu überdenken, ggf. auf ebenerdige Ersatzlösungen auszuweichen. Gleiches gilt für Maßnahmen des ruhenden Verkehrs. Die Ausführung von Tiefgaragen mit einem Meridianwert von 292 €/m² Wfl steht Einzel- und Gemeinschaftsgaragen mit einem Meridianwert von 41 €/m² Wfl gegenüber. Die städtebauliche Situation und kommunale Auflagen beeinflussen diesen Baukostenfaktor entscheidend. Auch das altersgerechte Bauen stellt einen wesentlichen Kostenaspekt dar. Um den Anspruch „altersgerecht“ zu erfüllen, sind Mehraufwendungen von 80 €/m² Wfl im Mittel aufzuwenden, für barrierefreie Wohnungen 242 €/m² Wfl. Aufzugsanlagen sollten grundsätzlich in Mehrfamilienhäusern ausgeführt werden, da sie langfristig der alternden Bevölkerung entgegenkommen.

In Bebauungsplänen festgeschriebene Dachbegrünungen verteuern das Bauen um weitere 41 €/m² Wfl.

Auch die Baustellenlogistik hat wesentlichen Einfluss auf die Baukosten. Bei komplizierten innerstädtischen Lagen können Mehrkosten von 137 €/m² Wfl entstehen. Ursachen können u. a. zusätzliche Lärmschutzmaßnahmen, eingeschränkte Lagerflächen, Verkehrsleitmaßnahmen u. ä. sein. Auf die Mehrkosten für die Umsetzung energetischer Standards ab 2016 wird nur verwiesen, an dieser Stelle aber nicht näher eingegangen.

Zusätzlich zu den Kosten der KG 300 und 400 schlagen beim Bauen kommunale Auflagen in der KG 500 (Außenanlagen) zu Buche. Mit Meridianwerten von 40 bis 178 €/m² Wfl stellen auch sie eine Stellschraube beim kostengünstigen Bauen dar.

In nachstehender Tabelle sind die Baukostenkennwerte in €/m² Wfl gelistet.

Tabelle 23: Gegenüberstellung Baukosten pro Quadratmeter Wohnfläche des Typengebäudes Mehrfamilienhaus in Form der Grund- und Zusatzvariante und den BKI-Werten (Walberg, Brosius, et al. 2015), (BKI, Baukosten Bauelemente 2014)

Mehrfamilienhaus			
Bauteil/Material	Grundvariante	Zusatzvariante	
	€/m ² Wohnfläche Studie ARGE//eV 2015 Von/Median/bis	€/m ² Wohnfläche Studie ARGE//eV 2015 Von/Median/bis	€/m ² Nutzfläche BKI 2014 Von/Median/bis
Mauerwerk	1.331/1.414/1.508	1.483/1.576/1.682	
Beton	1.365/1.450/1.547	1.517/1.612/1.719	
Holz	1.332/1.481/1.676	1.503/1.673/1.895	
			960/1.030/1.180

Im Medianwert liegen die Baukosten (Grund- und Zusatzvariante) bei Holzbau zu Mauerwerk um ca. 4,7 bis 6,0 % und bei Holzbau zu Beton um 2,0 bis 3,8 % höher.

Die Baukosten pro Quadratmeter Wohnraum können nicht direkt mit den Nutzflächenberechnungen nach BKI verglichen werden, da diesen beiden Kennzahlen unterschiedliche Berechnungsansätze zugrunde liegen.

Die Untersuchungen unterstreichen, dass für die Erstellung von Außenwänden im Wohnungsbau der Mauerwerksbau, nach den Meridianwerten die wirtschaftlichste Konstruktionsart darstellt. Bei Mehrfamilienhäusern sind Außenwände aus Mauerwerk ca. 11 % kostengünstiger als die Stahlbetonkonstruktionen und ca. 15 % gegenüber Holzkonstruktionen herzustellen (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014).

Im Nachfolgenden sind die KG 300 und 400 für eine erweiterte Variante nach (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014) zusammengestellt.

Tabelle 24: Mehrkosten für eine erweiterte Variante Typengebäude Mehrfamilienhaus (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014)

Kostengruppe 300 und 400:

Grundkosten Kostengruppe 300 und 400 inkl. Küchen und in den Außenanlagen integrierten Kellerersatzräumen	1.432 €/m ² Wfl
Kellergeschoss z. B. mit Neben- und Abstellräumen (keine Aufenthaltsräume)	+ 122 €/m ² Wfl
Abzüglich der Kosten für die in der Grundvariante vorgesehenen Kellerersatzräume	- 28 €/m ² Wfl
Grundkosten Kostengruppe 300 und 400 inkl. Küchen und in den Außenanlagen integrierten Kellerersatzräumen	1.432 €/m ² Wfl
Kellergeschoss z. B. mit Neben- und Abstellräumen (keine Aufenthaltsräume)	+ 122 €/m ² Wfl
Abzüglich der Kosten für die in der Grundvariante vorgesehenen Kellerersatzräume	- 28 €/m ² Wfl

Tiefgarage Gemeinschaftsgarage unterirdisch - gebäudebezogen	+292 €/m ² Wfl
Abzüglich der Kosten in Bezug auf eine kombinierte Ausführung von Keller und Tiefgarage z. B. im Hinblick auf einer Optimierung des Bauprozesses (Baustelleneinrichtung, Maschineneinsatz etc.)	- 43 €/m ² Wfl
Aufzugsanlage z. B. Aufzugstyp 1 mit fünf bis sechs Haltestellen	+ 68 €/m ² Wfl
Anspruchsvolle Baustellenlogistik z. B. im stark verdichteten städtischen Raum mit schwieriger Baustellensituation (keine oder nur geringe Flächen für die Materiallagerung, stark eingeschränkte Liefer- und Parkmöglichkeiten, Einsatz von schwerem Gerät nur bedingt möglich etc.)	+ 137 €/m ² Wfl
Bauwerkskosten der erweiterten Variante des Typengebäudes (Kostengruppen 300 und 400 inkl. Küchen)	1.980 €/m ² Wfl

Kostengruppe 500 und 600:

Außenanlagen mit geringen Erstellungsmaßnahmen (Kostengruppe 500)	40 €/m ² Wfl
---	-------------------------

Die im Wohnungsbau relevanten Kosten im Bereich der Kostengruppe 600 „Ausstattung und Kunstwerke“ sind bereits in den aufgeführten Baukosten (KG 300 und 400) berücksichtigt. Hierbei handelt es sich i.d.R. um die Kosten der allgemeinen Ausstattung beispielsweise für die Küchen.

Kostengruppe 700:

Baunebenkosten (Kostengruppe 700) Ansatz: 19,9 % in Bezug auf die KG 300 bis 600	402 €/m ² Wfl
--	--------------------------

Zusammenstellung der Gesamtkosten:

Zusammenstellung der Gesamtkosten für die erweiterte Variante des Typgebäudes (Kostengruppe 300 bis 700)	2.422 €/m ² Wfl
---	----------------------------

Danach steigen die Baukosten der erweiterten Variante in der Kostengruppen 300 und 400 auf insgesamt 1.980 €/m² Wfl gegenüber der Grundvariante mit 1.432 €/m² Wfl.

Einen weiteren Kostenfaktor stellt die Marktlage dar. Analysen in Bezug auf die Marktlage in den verschiedenen Wohnungsbauregionen in Deutschland haben ergeben, dass zwischen den ländlichen Regionen, den Metropolregionen und städtischen Regionen sowie den TOP Standorten insgesamt deutlich unterschiedliche Kostenspannen und Median-Werte vorhanden sind (siehe Tabelle 25).

Tabelle 25: Bewertungsauf-/abschläge in Bezug auf die Marktlage (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014)

	von/Median/bis
TOP-Standorte (z. B. Berlin, Düsseldorf, Frankfurt, Hamburg, München, Stuttgart etc.)	+12,0/+ 20,9 /+44,8 €/m ² Wfl
Metropolregionen und städtische Regionen (z. B. Augsburg, Umland Berlin, Dresden, Umland Hamburg, Kassel, Münster etc.)	-19,2/+ 6,1 /+24,3 €/m ² Wfl
ländliche Regionen (z. B. LK Altenburg-Land, LK Dithmarschen, LK Elbe-Elster, LK Leer, LK Ludwigslust-Parchim, LK Rottweil etc.)	-31,7/- 8,0 /+20,9 €/m ² Wfl

6.2 Auswertung Modellprojekte/Kostenuntersuchungen

Den Untersuchungen liegen umfangreiche Datenerhebungen zugrunde. Insgesamt wurden in den unterschiedlichen Kategorien, Bauweisen, Bauelemente, Ausbauelemente 96 Datenblätter angelegt. Aufgrund unvollständiger Angaben konnte in der Auswertung nur auf eine beschränkte Auswahl zurückgegriffen werden.

Die ausgewählten Modellprojekte sind unter Absatz 5 beschrieben.

Die Baukosten wurden nach den Kostengruppen 300 und 400 pro Quadratmeter Wohnfläche erfasst. Die dargestellten Beispiele umfassen den Zeitraum 2010 bis 2014. Die Baukosten wurden über den Kostenindex auf das Jahr 2014 skaliert, um die Vergleichbarkeit mit den übrigen Daten zu gewährleisten.

6.2.1 Modellprojekte in Stahlbetonbauweise

Den recherchierten Beispielen liegen unterschiedliche Bauweisen zugrunde. Sie reichen vom Stahlbetonskelettbau über Wand- und Schottenbauweisen und belegen einen breiten Materialmix. Reine Fertigteilmbauten konnten nicht recherchiert werden, ein Indiz für die Durchsetzung der Komponentenbauweise auch in Deutschland. Zu konstatieren ist auch eine starke Vermischung von Stahlbetontragwerken mit Außenwandkonstruktionen aus Holz, Mauerwerk und Stahlbetonfertigteilen.

Die Baukosten der KG 300 und 400 weisen bezogen auf die Nutzfläche starke Schwankungen auf und liegen zwischen 1.613 bis 2.187 €/m² NF, im Meridian bei 1.819 €/m² NF. Hier ist eine deutliche Abweichung zum Meridianwert Baukosten/m² Wfl „Typengebäude Mehrfamilienhaus“ der ARGE//eV festzustellen. Die Baukosten der Modellprojekte in Betonbauweise liegen 387 €/m² NF höher, das entspricht einer Abweichung von 27 %. Allerdings ist die Datenbasis nicht direkt vergleichbar, da die Berechnungsgrundlagen von Wohn- und Nutzflächen divergieren.

6.2.2 Modellprojekte in Holzbauweise

Den Modellprojekten liegen unterschiedlichste Holzbauweisen zugrunde. Dabei handelt es sich im mehrgeschossigen Wohnungsbau meist um Pilotprojekte, die einer baulichen und konstruktiven weiteren Optimierung bedürfen. Wie bei den Modellprojekten in Betonbauweise zeichnen sich auch hier Kombinationen unterschiedlicher Baumaterialien ab, vor allem im Erschließungs- und Deckenbereich (Beton). Auch in den Fassaden herrscht ein breiter Materialmix. Bei den Objekten Bild 33 und Bild 37 handelt es sich um Sanierungsmaßnahmen mit Einsatz von Holzfertigteilelementen im Bereich der Aufstockung bzw. der Fassadenerneuerung. In die Untersuchung wurden abweichend von der zeitlichen Eingrenzung der Modellprojekte das Objekt Bild 32 aus dem Jahr 2008 einbezogen. Die Baukosten wurden entsprechend auf die Kostenbasis 2014 skaliert.

Die Neubaukosten bewegen sich in einer Spanne von 1.532 bis 2.920 €/m² NF, im Meridian bei 2.340 €/m² NF und liegen somit ca. 63 % über dem Meridianwert des „Typengebäudes Mehrfamilienhaus“ der ARGE//eV. Auch hier ist auf die unterschiedliche Bezugsgrößen Wohn- und Nutzfläche zu verweisen.

6.2.3 Modellprojekte in Stahlbauweise

Die erfassten Modellbeispiele basieren auf einem Einfamilienhaus und einem Stadthaus. Interessanterweise liegen die Gesamtbaukosten für das Einfamilienhaus mit 1.023 €/m² NF deutlich unter den Baukosten (KG 300 und 400) des Stadthauses mit 1.529 €/m² NF und denen des Modellgebäudes „Typengebäude Mehrfamilienhaus“ der ARGE//eV mit 1.276 €/m² NF (Meridianwert) (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014).

Es kann davon ausgegangen werden, dass der Stahlbau Potentiale zur Kostensenkung aufweisen kann. Aufgrund der geringen Anzahl der untersuchten Projekte ist das Zahlenmaterial jedoch nicht hinreichend belastbar und muss durch weitere Recherchen untersetzt werden.

6.2.4 Modellprojekte in Raumzellenbauweise

Den Untersuchungen konnten wegen fehlenden Datenmaterials keine Modellprojekte in Raumzellenbauweise im mehrgeschossigen Wohnungsbau zugrunde gelegt werden. Deshalb wurde auf Projektlösungen mit wohnähnlicher Nutzung zurückgegriffen. In die Untersuchung wurden eine Bettenstation, ein Flüchtlingswohnheim und ein Studentenwohnheim einbezogen.

Die Baukosten der KG 300 und 400 liegen zwischen 1.220 und 2.217 €/m² NF. Die Spannweite ist nutzungsbedingt. Der Meridian-Wert liegt bei 1.719 €/m² NF und damit 20 % über dem Meridianwert des Modellgebäudes „Typengebäude Mehrfamilienhaus“ der ARGE//eV.

6.2.5 Schlussfolgerungen

Die Baukosten pro Quadratmeter Nutzfläche liegen im Meridianwert bei Stahlbetonbauweisen bei 1.819 €/m² NF, bei Holzbauweisen bei 2.340 €/m² NF und bei Stahlbauweisen bei 1.276 €/m² NF. Dies könnte den Schluss zulassen, dass Stahlbauweisen gefolgt von Stahlbetonbauweisen und Holzbauweisen bei der Erstellung von Gebäuden am günstigsten sind. Auch die Raumzellen- bzw. Modulbauweise liegt mit 1.719 €/m² NF unter den Baukosten von Gebäuden in Stahlbetonbauweise. Grundsätzlich scheint sich die Tendenz zu bestätigen, dass Holzfertigbauweisen kostenaufwändiger als Stahlbetonbauweisen sind. Die Ergebnisse zu Stahlbau- und Modulbauweisen sind aufgrund der Objektanzahl und Nutzungsabweichungen nicht verallgemeinerungsfähig. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Objekte in Größe, Ausstattung usw. sowie der Anzahl der untersuchten Objekte sind keine belastbaren Aussagen zu den Baukosten zu treffen. Die Studie unterstreicht jedoch aufgrund der baukostenseitig großen Differenzen der einzelnen Bauweisen, dass durch eine Vielzahl von Faktoren große Kostenpotentiale erschlossen werden können.

Wesentliche Kriterien bei der Entscheidungsfindung für die Umsetzung einer Baumaßnahme sind jedoch nicht nur Kosten, die mit dem Entwurf (u. a. Wahl der Materialien, dem Bausystem) und dem Bau verbunden sind, sondern auch die Kosten bei der späteren Nutzung, Instandhaltung, Umbauten, Rückbau und Recycling.

Die Kosten hängen u. a. vom Bautyp, dem Standort und der nationalen wirtschaftlichen Situation, einschließlich der Arbeits- und Materialkosten, aber auch der Bereitschaft zur Akzeptanz von Hindernissen und Beschränkungen im Zusammenhang mit dem Bau ab (Walrafen 2015).

Wohnbauten verfügen mit Blick auf die Zukunft über einen (positiven/hohen) Stellenwert, wenn sie sich anpassungsfähig an sich ändernde Wohnformen und Wünsche der Nutzer zeigen, aber auch neue Nutzungsformen, wie u. a. Büro/Verwaltung..., zulassen.

Des Weiteren ergeben sich neue Kriterien aus Nachhaltigkeitsforderungen wie z. B.

- die bei der Produktion aufgewendete Energie,
- die CO₂-Bilanz,
- die Verantwortung zum Einsparen von Ressourcen.

Wirtschaftlichkeit ist daher nicht allein als Entscheidungskriterium im Sinne der Baukosten (Entwurf, Bau, Material) auszulegen. Es gilt, sich auch auf Gesamtbetriebskosten („Total Cost of Ownership“) auszurichten, d. h. auch auf die Kosten in der Nutzung des Gebäudes während der spezifischen Lebensdauer. Damit verbunden sind Begriffe wie

- CO₂-Fußabdruck,
- Energieeinsparung,
- Recycling,
- Treibhausgasemission,
- Abfallverringerung,
- Grüne Gebäude (Walrafen 2015).

Eine derartige Gesamtbetrachtung ist nicht Gegenstand der Beauftragung. Vorliegende Untersuchungen können daher nur einen Beitrag zur Kosteneffizienz leisten.

Des Weiteren ist festzuhalten, dass aufgrund der Unterschiedlichkeit der Modellprojekte weder eine vergleichende Bewertung innerhalb der Bauweisen noch untereinander vorgenommen werden kann.

Dies setzt Untersuchungen an „baugleichen“ Objekten in unterschiedlichen Bauweisen voraus, um alle Einflussfaktoren zu erfassen.

6.3 Identifikation von Potentialen zur Kostensenkung

6.3.1 Potentiale im Planungsprozess

Kostengünstig und dennoch qualitativ zu bauen, ist eine Herausforderung für Bauherren und Planer.

Auch im heutigen, weltweiten Massenwohnungsbau zeichnen sich Tendenzen zur Individualisierung des Wohnens und Gestaltens ab. Diese bilden Ansatzpunkte auch für kostengünstiges Bauen.

Der Massenwohnungsbau verlangt ebenso wie kostengünstiges Bauen nach offenen Systemen sowohl in Funktion, Konstruktion und Gestaltung, um sich ändernden Bedarfen anpassen zu können. In der funktionalen Ebene sind festgeschriebene Grundrisslösungen die Regel, ein konvergentes Wohndesign (Hamid, Hung und Beng 2015). Durch ein divergentes Wohnungsdesign ist die Anpassung an künftige Entwicklungen sowie auf den Lebensstil und das Budget der Bewohner möglich. Dieser Grundansatz ist auch auf kostengünstiges Bauen übertragbar, indem lediglich Bad und Küchenbereich infolge definierter Ver- und Entsorgungsschächte angeboten und für die Raumunterteilung flexible Ausbausysteme bereitgestellt werden.

Der Flexibilisierung der Grundrisse zur schnelleren Anpassung an Markterfordernisse kommt eine große Bedeutung zu.

Dies unterstreicht auch die Notwendigkeit, den Gestaltungsprozess vom Künstler (Geniegestalter) zur kooperativen Teamarbeit werden zu lassen. So ist zu bemängeln, dass von wenigen Ausnahmen abgesehen, die meisten Projekte Unikate bleiben und so keine Optimierung im Bauen zustande kommt (Stamm-Teske 2001). Durch das Duplizieren einer baulichen Anlage in ähnlicher oder gleicher Form könnten die zuvor gesammelten Erfahrungswerte positiv für weitere nachfolgende Vorhaben genutzt werden.

Des Weiteren werden durch die Trennung von Planung und Erstellung Optimierungspotenziale verschwendet. Einer integralen Planung, ähnlich den Bauteams in den Niederlanden, stehen allerdings VOB (Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen) und Handwerkerordnung entgegen.

Kostengünstiger Wohnungsbau bedingt Flächeneffizienz. Sie reduziert Baukosten und kann durch entsprechende Planungs- und Baukonzepte optimiert werden wie beispielsweise

- kompakte Baukörper,
- Minimierung von Verkehrsflächen,
- Abstellräume im Erdgeschoss bei Verzicht auf Keller,
- Barrierefreiheit im EG und 1. OG.

Weitere Potentiale zur Kostensenkung im Planungsprozess stellen nachstehende Kriterien dar (Neitzel 2015):

- optimale Nutzung des Grundstücks,
- Erschließungslösungen für Nebenräume,
- Lösungen für den ruhenden Verkehr,
- Flexibilität der Grundrisse,
- standardisierte Bausysteme,
- Einsatz vorgefertigter Elemente.

Eine unzureichende Ausführungsplanung, schlechte Baustellenkoordination und mangelhafte Bauüberwachung sind Ursachen für Kostensteigerungen bei der Errichtung baulicher Anlagen.

Kosteneinsparungen sind diesbezüglich zu erzielen durch

- eine umfassende und detaillierte Planung vor Baubeginn unter Einbindung von Bauherren, Architekt, Planern und Generalunternehmer bzw. ausführende Unternehmen (Widerspruch Vergaberecht) sowie
- Nutzung von Synergieeffekten, d. h. dass Spezialisten Leistungen in größeren Serien bei vorgegebenen Taktfolgen und mit großer Maßgenauigkeit erbringen und damit das Zusammenwirken der Gewerke hochgradig effizient ist.

6.3.2 Potentiale der Bautechnik

An die Bautechnik werden Anforderungen in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Errichtungsgeschwindigkeit gestellt. Die Fertigteilbauweise, insbesondere die Betonfertigteilbauweise, hat sich hierbei weltweit durchgesetzt.

„Bauen im industriellen Maßstab mit Fertigteiltechnik ist ausgerichtet auf die Massenproduktion von Bauelementen, ebenso auf die Optimierung von Bemessungs- und Konstruktionsverfahren, Baustoffen und Bauverfahren (Fernández-Ordóñez 2008). Es wird unterschieden zwischen Prozess- und Produkttechnologie. Die Grade industrieller Fertigungssysteme reichen von geschlossenen industriellen Systemen über die teilweise Verwendung industriell produzierter Komponenten bis hin zu offenen Systemen.

Der klassische Prozessablauf in der Vorbereitung und Umsetzung von Bauvorhaben muss allerdings auf den Prüfstand gestellt werden. In der Dissertation (Palotz 2004) „Eine neue Ökonomie für den Wohnungsbau“ wurden Grundlagen für eine systematische Untersuchung und Bewertung des Bauprozesses auf übertragbare Strategien zum kosten- und flächensparenden Bauen geschaffen. Die Arbeit basiert auf dem klassischen Prozessmuster von der Entwicklung bis zur Ausführung. Das Resümee zeigt, dass es keine Reduzierung der Kosten bei gleichzeitiger hoher Qualität des Wohnens geben kann, ohne dass die städtebauliche Qualität an übergeordnete Rahmenbedingungen gekoppelt ist.

Die heute übliche Bautechnik im Geschosswohnungsbau schöpft die vorhandenen technischen Potentiale zur Rationalisierung nicht aus. Modellhafte Lösungen erfahren kaum eine Duplizierung und damit keine Rationalisierung der Prozessparameter. Durch Analyse des Bauablaufes können Behinderungen bei zukünftigen Realisierungen vermieden, der Bauablauf optimiert und Teilabläufe standardisiert werden. Standardisierung von Bauprozessen leistet einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Abläufe auf der Baustelle und wirkt sich positiv auf die Bauzeit aus. Je öfter gleiche oder ähnliche Objekte realisiert werden und je größer der Anteil standardisierter Bauprozessabläufe bei einem Vorhaben ist, desto kürzer wird die zur Ausführung benötigte Bauzeit.

Der klassische Bauprozess ist damit weit entfernt von einem industriellen Modell. Der Weg, durch große Serien Kosten einzusparen, hatte im Wohnungsbau uniforme Produkte/Gebäude zur Folge.

Der Wunsch nach baulicher Freiheit in den Entwürfen muss mit Massenproduktion und Flexibilität kombiniert werden. Die Automation wird daher in der Zukunft bei den Bauprozessen eine größere Rolle spielen als bisher. Der Prozess zur Forschung und Entwicklung entsprechender Vorfertigungsstrukturen und -strategien, Verlagerung der Baustellenprozesse in die Vorfertigung, muss stärker aktiviert werden, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit und Exportfähigkeit der deutschen Bauindustrie im 21. Jahrhundert sowie eine Verbesserung der Arbeitsverhältnisse im Bauwesen sicher zu stellen. Digitale Dokumente sind eine wesentliche Grundvoraussetzung für Rationalisierungsprozesse im Bauwesen.

6.3.3 Identifikation Typologien

93 % der Mehrfamilienhäuser in Deutschland haben 1 – 2 Vollgeschosse, siehe Tabelle 26. 75 % der Mehrfamilienhäuser werden als Einzelhaus errichtet, siehe Tabelle 27.

Eine Reduzierung von Bauland-Inanspruchnahme durch Komplexität der baulichen Anlagen und Nachverdichtungen in bestehende Wohnsiedlungen können einen wesentlichen Beitrag zur Kostenreduzierung leisten. Den höchsten Anteil beim Bau von Mehrfamilienhäusern in Deutschland, bezogen auf die Baustoffe, besitzt der Ziegel (31 %) dicht gefolgt vom Kalksandstein (29 %), während Stahlbeton (19 %) sowie Porenbeton (11 %) (siehe auch Bild 4) einen deutlich geringeren aber noch gewichtigen Anteil aufweisen. Die übrigen Baustoffe sind aus prozentualer Sicht von eher untergeordneter Bedeutung (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014).

Der Trend wird auch durch die untersuchten Modellprojekte bestätigt. Sie stellen mehrheitlich Solitäre und Zeilenbebauungen dar.

Tabelle 26: Fertigstellung im Wohnbau in Deutschland im Jahr 2013 (Statistisches Bundesamt 2013)

Geschossigkeit	Anzahl	proz. Anteil
1 Vollgeschoss	40.767	39,453 %
2 Vollgeschosse	54.964	53,192 %
3 Vollgeschosse	5.554	5,375 %
4-5 Vollgeschosse	1.732	1,676 %
6-7 Vollgeschosse	301	0,291 %
8-12 Vollgeschosse	12	0,012 %
13 und mehr Vollgeschosse	1	0,001 %

Tabelle 27: Verteilung errichteter Mehrfamilienhäuser (Neubau) nach ihren Einbausituationen - Haustyp in Deutschland im Jahr (Statistisches Bundesamt 2013)

Haustyp	Anzahl	proz. Anteil
Einzelhaus	77.600	75 %
Doppelhaus	13.197	13 %
gereihtes Haus	10.690	10 %
sonstiger Haustyp	1.844	2 %
Gesamt	103.331	100 %

6.3.4 Potentiale der Siedlungsstruktur/Topografie/Erschließung

Siedlungsstruktur, Topografie und Erschließung stellen ein gesondertes, sehr umfangreiches Feld für Kostensenkungspotentiale dar. Die klassischen Bebauungsformen gehen dabei mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen einher (siehe Tabelle 28):

Tabelle 28: Bebauungsformen

Bebauung	
Blockrandbebauung	Geschlossene, flächenhafte Bebauungsform, als einheitliche Baumaßnahme oder Reihung von Einzelgebäuden, hohe Verdichtungsmöglichkeiten, deutliche Unterscheidung der Außen- und Innenräume in Funktion und Gestaltung
Zeilenbebauung	Offene, flächenhafte Bebauungsform, als Gruppierung gleicher oder variierten Haustypen oder von Gebäuden unterschiedlicher Konzeption, verschwindende Differenzierung von Außen- und Innenräumen
Scheibenhausebauung	Solitäre Gebäudeform mit meist großer Längen- und Höhenausdehnung, keine Differenzierung von Innen- und Außenraum, Raumbildung nur andeutungsweise
Großformbebauung	Erweiterung und Verbindung von Scheibenhäusern zu Großformen, solitäre Bauform oder großmaßstäbliche Flächenbebauung, Möglichkeit zur Ausbildung von Großräumen, geringe Differenzierungsmöglichkeiten von Innen- und Außenräumen
Punkthochhäuser	Ausgeprägte solitäre Bauform, frei im Raum bzw. in der Fläche stehend, keine Raumbildung möglich, oft in Verbindung mit flächenhaften Strukturen

Die Auswertung der Modellprojekte lässt keine verallgemeinerungsfähigen Rückschlüsse auf Siedlungsstrukturen zu. Dennoch unterstreichen die Beispiele die Tendenz zu Geschößanzahl und Gebäudetyp von Mehrfamilienhäusern im bundesweiten Trend. In Deutschland wurden 2013 93 % der Mehrfamilienhäuser in zweigeschossiger Bauweise ausgeführt, 3-geschossige Gebäude lagen bei ca. 5 % und Mehrfamilienhäuser mit ≥ 4 Geschossen bei ca. 2 %. 75 % dieser Mehrfamilienhäuser wurden als einzelstehende Gebäude geplant (siehe Tabelle 26).

In Anbetracht fehlender Bauflächen, nicht nur in Metropolregionen, ist hier ein erster Ansatz für Optimierung und Erschließung von Kostenpotentialen zu sehen. Offene „Komplexität“ und Nachverdichtungen erschlossener Standorte können hier einen Beitrag zur Kostensenkung leisten.

Ein Grundstein zur Erschließung von Kostenpotentialen wird mit der Bebauungsplanung gelegt. Bebauungspläne definieren Art und Weise der Bebauung und haben somit einen unmittelbaren Einfluss auf Baukosten von Gebäuden sowohl in der Vorgabe der Grundflächen-, der Geschößflächenzahl wie auch in der Geschößigkeit, der Dachform, der Erschließung, der Anordnung von Nebenflächen und sonstigen kommunalen Aufgaben. Sie definieren vor Planungsbeginn eines Gebäudes:

- Siedlungsstruktur (Privat/öffentlicher Außenraum, Nutzungsvielfalt,
- Erschließung (ruhender Verkehr, Wegenetz, Gebäudeerschließung,
- Kommunikation (Erschließungsbereich, gemeinschaftliche Einrichtungen, Schutz der Privatheit),
- Freiflächen,
- Kubatur.

Auch die Bauweise wird bereits im Bebauungsplan festgelegt. Es wird zwischen offener und geschlossener Bauweise unterschieden. In der offenen Bauweise werden die Gebäude mit seitlichem Grenzabstand errichtet, in der geschlossenen Bauweise ohne. Die Festlegungen werden durch die Bebauungsplanung vorgegeben bzw. sind durch die baulichen Gegebenheiten (innerstädtisches Bauen) bedingt. Die Bauweisen nehmen unterschiedlichen Einfluss auf Grund- und Geschößflächenzahl und damit auf die Flächeneffizienz von Wohnungsbaustandorten. Insbesondere in Metropolregionen ist aufgrund fehlender Bauflächen über effiziente Nachverdichtungen bereits erschlossener Standorte bzw. bei Neuerschließungen über optimale Erschließungs-, Bebauungs- und Freiflächenstrukturen nachzudenken.

Kostengünstiges Bauen muss daher schon in der Erarbeitung von Bebauungsplänen verankert sein und sich den standortbedingten Faktoren anpassen. Im Umkehrschluss sind aber nicht alle Standorte für kostengünstiges Bauen geeignet, z. B. aufgrund besonderer Schutzmaßnahmen, aufwändiger Lösungen für den ruhenden Verkehr und Abstellflächen, der Topographie, innerstädtischer Lagen in Metropolregionen.

Daneben spielen Flächen für private und öffentliche Freiflächen, Flächen für Kommunikationen eine nicht unwesentliche Rolle.

Es gilt, positive Lösungsansätze aufzugreifen und im Mehrfamilienhausbau umzusetzen. Nachfolgende Bilder zeigen Beispiele für verdichtetes Bauen mit einem hohen Vernetzungsgrad zwischen privaten und öffentlichen Freiräumen.



Bild 42: Terrassenhäuser Universitätsviertel Essen



Bild 43: Nachverdichtung innerstädtische Bebauung,
Foto: Schettler Architekten Weimar



Bild 44: Treskow-Höfe Berlin, Quartier mit 414 Wohnungen, eine Kindertagesstätte, zwei Senioren-Wohngemeinschaften sowie Einzelhandelsflächen; Visualisierung: HOWOGE/Ligne Architekten/CN Architekten



Bild 45: Wohn- und Geschäftshaus Berlin, HKA Hastrich
Keuthage Architekten, Foto: Stefan Dauth



Bild 46: Sao Paulo, 2014, Foto Janorschke

In der Literatur sind zahlreiche Veröffentlichungen zu praktischen Entscheidungshilfen hinsichtlich Wohndichte und Bebauungsform zu finden auch im Hinblick auf energieeffiziente Quartiere und Gebäude. Eine detaillierte Untersuchung übersteigt die Aufgabenstellung.

Gleiches gilt für die Erschließungssysteme. Hier wird unterschieden zwischen Rastersystemen, Zeilenbau mit Wohnwegen, Stichstraßen, Wohnwegen mit Zeilenbau von Stichstraßen ausgehend, Schleifen, Einhang- und Rucksackerschließungen. Die Erschließungsformen werden durch innere und äußere Erschließung, Kamm- und organische Erschließung charakterisiert. Auch hier erfolgt die Weichenstellung bereits mit der Erarbeitung eines Bebauungsplanes.

7 Evaluierung der Ergebnisse

Dauerhafte Strategien zur Kostensenkung bedürfen eines politischen Rückhalts. Es geht nicht nur um die Initiierung des Prozesses, sondern um dessen Aufrechterhaltung durch Einführung periodischer Berichterstattungen und einer regelmäßigen Zusammenführung von Ideen und Projekten.

Dabei sind Zukunftsszenarien zu entwickeln. Regularien zur Kostenkontrolle und Preisbildung sind bei der Entwicklung rationeller Planungs- und Baumethoden, auf dem Gebiet der Baukosten, gegeben (Palotz 2004). Es gilt, sie an den Forderungen der Nachhaltigkeit auszurichten, um Kostenpotentiale zu erschließen.

Über globale Vorgaben bei der Erstellung von Entwicklungsprogrammen könnte Bauherren bzw. Projektträgern die Erarbeitung zukunftsgerichteter, integrativer und lokal maßgeschneiderter Pläne abverlangt werden, die an den Kriterien eines sozialen Wohnungsbaus ausgerichtet sind. Die staatliche Förderung sollte an die städtebauliche Qualifizierung gebunden werden, über Modellprojekte wohnungspolitische und städtebauliche Aufgabenstellungen stärker verknüpft und in den Förderfocus gestellt werden.

In der Bauwirtschaft muss der klassische Prozessablauf in der Vorbereitung und Umsetzung von Bauvorhaben auf den Prüfstand gestellt werden. Standardisierte und normierte Routineaufgaben und –prozesse stehen gegenwärtig Kreativität und Innovationen konträr gegenüber.

Auch Normen, Standards und unterschiedliches Bauordnungsrecht in den Ländern bedürfen einer kritischen Auseinandersetzung. Sie beeinflussen entscheidend Baukosten. Dazu zählen vor allem höhere Energieeffizienz im Gebäudebereich, höhere Anforderungen im Schallschutz und Brandschutz sowie im barrierefreien bzw. barrierearmen Bauen. Allein die Anforderungen der EnEV 2014, die ab 2016 für Neubauten gelten, führen zu einer 10 %igen Verteuerung der Baukosten (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014).

Ein Verzicht auf die Umsetzung derartiger Vorschriften kann aber nicht zielführend sein, wenn an der Umweltpolitik der Bundesregierung festgehalten werden soll. Grundlagen zur Kostensenkung können bereits im Entwurf u. a. durch rationale Planungsansätze, Flächeneffizienz, Einsatz von vorgefertigten Elementen, klare Trennung von Rohbau- und Ausbaustruktur, Trag- und Hüllkonstruktion sowie rationalisierter Bauweisen geschaffen werden.

In der Erarbeitung tragfähiger Lösungen für kostengünstiges Bauen kann das Bauen mit vorgefertigten Bauteilen nur einen Beitrag leisten. Kostenvorteile durch vorgefertigte Elemente können in Abhängigkeit der Projektgröße, des architektonischen Entwurfs, dem Herstellungsverfahren, der Montagetechnologie und der Fachkräfte erschlossen werden. Die Vorteile eines vorgefertigten Gebäudes liegen dabei, neben niedrigen Kapital- und Entwicklungskosten, in der „massenhaften“ und damit preiswerten Produktion der baulichen Komponenten.

Die Weichenstellung für kostengünstiges Bauen wird bereits im Entwurf eines Gebäudes gelegt. Umplanungen auf Fertigteilbau sind nicht nur mit einem erhöhten Planungs- sondern auch Kostenaufwand verbunden.

Es erscheint sinnvoll, Modellprojekte regional zu analysieren, die Konstruktionen zu rationalisieren und Grundbaukästen zu entwickeln. Dabei geht es nicht um die stereotype Kopie des Massenwohnungsbaus sondern vielmehr um die intelligente Entwicklung von wandlungs- und anpassungsfähigen Baustrukturen. Flexibilität in der Grundrissgestaltung geht dabei mit einer Flexibilität der Fassade einher. Offene Bausysteme ermöglichen einen Mix unterschiedlicher Materialien und vorgefertigter Elemente zur Herausbildung einer anspruchsvollen Architektur. Des Weiteren können so regionale Vorteile infolge von Herausbildung spezifischer Bauweisen und Bautechnologien bei der Errichtung von Gebäuden genutzt werden.

Eine Grundvoraussetzung für kostengünstiges Bauen ist dabei, dass bereits in der Planungsphase die Auseinandersetzung mit vorgefertigten Konstruktionen stattfindet und der Entwurf konsequent auf das Bauen mit Fertigteilen ausgerichtet wird. Der Architekt sollte seine Aufgabe nicht in der solitären Zurschaustellung seine Aufgabe sehen, sondern in der konsequenten Umsetzung eines Baukastensystems. Dass dies nicht mit dem Verlust architektonischer Qualität einhergehen muss, zeigen gebaute Beispiele. In Deutschland und Europa ist der Trend hin zu offenen Systemen, d. h. zu Komponentenbauweisen zu verzeichnen. Leider ist festzustellen, dass trotz positiver Ansätze in Deutschland, v. a. Modellprojekte nicht konsequent weiter verfolgt und rationalisiert werden, um damit Effizienzen in der Planung, Detaillierung, in der Baudurchführung und damit auch in den Kosten zu erschließen. Die durch den Massenwohnungsbau geprägte Einstellung zum vorgefertigten Bauen kann und muss auf der Basis der heutigen Komponentenbauweise in eine neue Qualität überführt werden.

Einer integralen Planung, d. h. eine frühzeitigen Einbeziehung der am Bau Beteiligten, stehen jedoch die VOB (Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen) und Handwerkerordnung entgegen. Durch die Trennung von Planung und Erstellung werden Optimierungspotenziale verschenkt.

Die Reduzierung kostengünstigen Bauens auf definierte Baumaterialien, -verfahren und Bauweisen ist nicht zielführend. Die untersuchten Modellprojekte dokumentieren eine vielfältige Verknüpfung von Materialien und Konstruktionselementen, Bauweisen und damit Erschließung von Kostenpotentialen. Die Effizienz einer Bauweise wird beispielsweise regional stark beeinflusst durch Verfügbarkeit, Tradition und damit Erfahrung in der Umsetzung.

Die Betonbauweise hat aufgrund ihrer Dauerhaftigkeit und der Brandbeständigkeit des Materials wesentliche Vorteile gegenüber anderen Bauweisen. Holzbauweisen punkten mit ihrem grünen Fußabdruck, der aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit geeigneter Bauhölzer in Deutschland hinterfragt werden muss. Die Stahlbauweise ist in Deutschland im Wohnungsbau unterrepräsentiert. Sie bietet aber ebenso wie die Holzbauweise Möglichkeiten, den Wohnungsbau zu rationalisieren und kostengünstig zu gestalten.

Im Bauprozess bestehen erhebliche Potenziale zur Kostensenkung durch die Prozessoptimierungen sowohl im Planungs-, Herstellungs-, Transport- und Montageprozess. Neben Stückzahlen spielen Automation, Transportentfernungen, Baustellenkoordination, Baustellenüberwachung sowie die Erfahrungen der Mitarbeiter eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Die Verlagerung der Baustellenprozesse in die Vorfertigung trägt nicht nur zur Qualitätsverbesserung der Bauprodukte bei. Sie leistet einen wichtigen Beitrag zur Baukostensenkung und Arbeitssicherheit. Die Verknüpfung dieser Prozesse über die Planung bis zum Facility-Management durch ein durchgängiges Building Information Modelling ist eine zukunftssträchtige Aufgabenstellung in Prozess zur Erschließung von Kostenpotentialen.

Eine alleinige Betrachtung der Baukosten ist für die Identifizierung von Kostenpotentialen für preiswertes Bauen nicht aussagefähig. Die Gesamtheit der Lebenszykluskosten von der Errichtung, über die Nutzung, Umnutzung, Abbruch/Rückbau bis zum Recycling beeinflusst nachhaltig die Wirtschaftlichkeit einer Baumaßnahme. Die Analyse der Baukosten kann daher nur ein Aspekt kostengünstigen Bauens sein. Die Objekte unterscheiden sich durch Standortbedingungen, Größe, Grundrissgestaltung, Ausstattung, Lebenszyklen u. a.

Baukostenvergleiche können daher kein realistisches Abbild effizienter Kostenpotentiale darstellen, Detailbetrachtungen jedoch Aufschlüsse zu kostengünstigen Ansätzen im preiswerten Bauen erbringen.

Baukosten treffen eine Aussage zu Investitions-, nicht zu Lebenszykluskosten.

Auf Baukostenebene hat sich eine deutliche Verschiebung der Roh- und Ausbaukosten vollzogen. Die Ausbaukosten liegen gegenwärtig bei ca. 54,1 %, gegenüber 46,3 % im Jahr 2000. Die Ursachen sind vor allem in den erhöhten Anforderungen im Bereich der energetischen Standards, des Schall- und Brandschutzes sowie im barrierefreien bzw. barrierearmen Bauen sowie in kommunalen Auflagen zu suchen.

Im Ausbaubereich liegen entscheidende Ressourcen für kostengünstiges Bauen, insbesondere durch Vorfertigung. Eine klare Trennung von Roh- und Ausbaukonstruktion trägt daher zu einer nachhaltigen Entwicklung bei. Sie ermöglicht bei Modernisierungen, Umnutzungen einen unkomplizierten Austausch bzw. eine unkomplizierte Anpassung an neue Erfordernisse. Im Interesse nachhaltigen Bauens sollte auch eine Trennung von Trag- und Hüllkonstruktion umgesetzt werden. Sie erlaubt nicht nur Anpassungen an sich ändernde ästhetische Anforderungen. Die konstruktive Ausbildung schließt Wärmebrücken aus und damit ggf. kostenintensive Nacharbeiten.

Unter dem Aspekt einer geforderten Flexibilität der Grundrisse im Hinblick auf Anpassungsfähigkeit an demografische aber auch städtebauliche Erfordernisse bieten Skelettkonstruktionen die größten Freiheitsgrade. Aber auch Wandbauweisen können durch intelligente Anordnungen der Wände eine Flexibilisierung der Grundrisse erreichen.

Die Vielzahl der aufgeführten Faktoren mit Einfluss auf die Baukosten wird durch funktionale und städtebauliche Faktoren ergänzt. Eine Flexibilität der Trennwandstrukturen zur Anpassung an individuelle Wohnbedürfe kann vor allem im Rahmen des Gesamtlebenszyklus eines Gebäudes Vorteile generieren. Auch städtebauliche Konzepte haben unmittelbaren Einfluss auf die Baukosten. Dies betrifft neben kompakten Gebäuden und Komplexen vor allem Lösungen für den ruhenden Verkehr (Tiefgarage Stellplatz), Abstellflächen (Keller, ebenerdige Lösungen) sowie Nachverdichtungen in bereits erschlossenen Gebieten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass objektive und regionale Einflüsse Baukosten in unterschiedlichster Art und Weise beeinflussen und ein alleiniger Vergleich nach BKI nicht zielführend ist. Oberste Priorität muss die Entwicklung und Qualifizierung von Baukastensystemen auf der Grundlage vorhandener Modelllösungen und ungeachtet der Materialität sein. Dafür sind in der Förderpolitik entsprechende Weichenstellung und Anreize zur Multiplikation zu treffen.

Es ist eine Intensivierung der Forschungstätigkeit zu alternativen Wegen zur Kostensenkung, wie beispielsweise die Veränderung der Bauorganisationsstrukturen, der Qualitätsstandards, normativer Regelungen, einer durchgängigen Datenmodellierung aller am Planungs-, Herstellungs- und Bauprozess Beteiligten zu befördern. Modellprojekte sind zu qualifizieren und die Idee eines offenen Modulbaukastens zu unterstützen. Die Qualifizierung von Modellbaukästen unterschiedlicher Bauweisen und Materialien könnte auf dem Weg zum kostengünstigen Bauen einen entscheidenden Beitrag leisten. Hier sollte eine gezielte Förderung ansetzen.

Im Ergebnis der Studie kann festgestellt werden, dass die untersuchten Fertigbausysteme nicht in jedem Fall preiswerter als traditionell errichtete Gebäude sind, jedoch Synergien durch den Einsatz vorgefertigter Elemente erschlossen werden können. Es wird explizit darauf verwiesen, dass industrielle Fertigungsmethoden nicht im Gegensatz zu kreativer individueller Gestaltung stehen, jedoch eine Auseinandersetzung der Architekten mit den Gesetzmäßigkeiten rationellen Bauens dringend geboten ist.

Voraussetzung für eine weitere Qualifizierung des Bauens sollten bundeseinheitliche Regelungen im Bauordnungsrecht darstellen. Auch erscheint die Diskussion um eine Vereinfachung der Normung in Anbetracht auf deutsche Standards nicht zielführend zu sein.

Die Ergebnisse der Studie können in Prämissen zusammengefasst werden:

- Vorgefertigtes Bauen ist im Bereich der Ausbildung fest zu verankern.
- Die Bauplanungsprozesse sind einer Optimierung zu unterziehen.
- Die Automatisierung in der Vorfertigung ist verstärkt auszubauen.
- Die Baustellenprozesse sind stärker in die Vorfertigung zu verlagern (Arbeitskräfte-Entwicklung).
- Planungs-, Herstellungs-, Bauprozesse und des Facility-Management sind durch Building Information Modelling zu vernetzen.
- Schwerpunkt der FuE-Tätigkeit muss die Entwicklung preiswerter, nachhaltiger Systembauweisen mit industrieller Grundstruktur (Basissystem) sein.
- Durch Rationalisierung von Modellprojekten kann ein wichtiger Beitrag zur Beförderung von offenen Baukastensystemen geleistet werden.
- Kostengünstiges Bauen entscheidet sich über den Lebenszyklus eines Gebäudes, nicht alleinig über die Baukosten.

Daraus können für die Player im Bauwesen nachfolgende Handlungsfelder abgeleitet werden.

7.1 Handlungsanleitungen Architekten/Planer

- Es muss ein Umdenken vom solitären Bauen zum kostengünstigen Bauen stattfinden.
- Die Komponentenbauweise muss in eine neue Qualität überführt werden.
- Architekten müssen die Gesetzmäßigkeiten rationellen Bauens bereits im Entwurf beachten.
- Für einen kostengünstigen Einsatz vorgefertigter Elemente wird bereits im Entwurf der Grundstein gelegt.
- Bauen mit vorgefertigten Elementen setzt eine umfassende und detaillierte Planung vor Baubeginn voraus.
- In die Entwurfsplanung sind frühzeitig Hersteller und ausführende Unternehmen einzubinden.
- Durch Einsatz vorgefertigter Bauelemente und Bautechnologien sind verstärkt Synergieeffekte zu erschließen.

7.2 Handlungsanleitungen Bauwirtschaft

- Das serielle Bauen ist weiter zu rationalisieren und neu zu interpretieren. Rationelle Bauweisen und effektive Bauverfahren und Bauleistungen sind Stärken des industriellen Siedlungsbaus.
- Modellprojekte sind zu analysieren, Konstruktionen zu rationalisieren und „offene“ Bausatzlösungen zu entwickeln.
- Durch Trennung von Planung und Erstellung werden Optimierungspotentiale verschwendet. Einer integralen Planung steht die VOB auf Grund des Vergabeverfahrens entgegen.

- Eine vorurteilsfreie Übernahme bewährter Konstruktionslösungen aus dem Gewerbebau führt zu Erschließung von Kostenpotentialen (Sockel-, Galeriekanäle, Ständerwandsysteme...).
- Es sind an den Kriterien des sozialen Wohnungsbaus zukunftsgerichtete, integrative und lokal maßgeschneiderte Pläne für kostengünstiges Bauen zu entwickeln.
- Kostendämpfungspotentiale werden bereits in der Planung definiert.

7.3 Handlungsanleitungen Kommunen

- Bebauungsplanungen müssen den Erfordernissen kostengünstigen Bauens Rechnung tragen (Vorgabe von Grundflächen-, Geschößflächenanzahl, Geschossigkeit, Dachform, Begrünung, Erschließung, Anordnung von Nebenflächen, ruhendem Verkehr usw.).
- In der Stadtentwicklungsplanung sollte die Nachverdichtung der großen Wohnsiedlungen, Brachflächen und Baulücken befördert werden.
- Im Interesse eines sparsamen Umganges mit Bauland ist verdichteten Bebauungsformen gegenüber Ein- und Zweifamilienhäusern Vorrang einzuräumen.

7.4 Handlungsanleitungen Bund/Land

- Qualitätsverbesserung im Wohnungsbau muss wirtschaftlich tragbar sein. Ein Zusammenspiel von Kostensenkung und Förderung ist unerlässlich.
- Zukunftsszenarien sind an der Nachhaltigkeit, nicht allein an den Baukosten auszurichten.
- Die Einbindung kostengünstiges Bauen in gesamtstädtische Konzepte ist zu einer Fördervoraussetzung zu erheben.
- Für eine frühzeitige Verknüpfung von Planung und Ausführung sind rechtliche Rahmenbedingungen zu schaffen (Förderung von Modellvorhaben).
- Es sind zeitgemäße Formen rationellen Bauens auf Basis von Modellprojekten zu befördern.
- In der Ausbildung von Architekten und Ingenieuren ist das serielle Bauen fest zu verankern.
- Kostengünstiges Bauen ist über Kriterien zu definieren und zu fördern (städtebaulich, architektonisch, funktional, konstruktiv...).
- Die Förderung energetischer Maßnahmen sollte beibehalten werden. Durch Ausweitung des Förderfokus auf Gebäudeensemble, Quartiere können hier jedoch Kostenpotentiale erschlossen werden.
- Über Modellprojekte sollten wohnungspolitische und städtebauliche Aufgabenstellungen stärker verknüpft und gefördert werden.
- Das Zusammenspiel unterschiedlicher Förderinstrumentarien ist zu koordinieren.
- Eine durchgängige Datenmodellierung aller am Planungs- Herstellungs- und Bauprozess Beteiligten ist zu befördern (BIM).
- Dauerhafte Strategien zur Kostensenkung sollten durch periodische Berichterstattungen und regelmäßige Zusammenführung von Ideen und Projekten gefördert werden.
- Vorgefertigtes Bauen sollte auf Basis einer „offenen“ Bauweise in eine neue Qualität überführt werden.
- Voraussetzungen für eine Qualifizierung des Bauens sind bundeseinheitliche Regelungen im Bauordnungsrecht.
- Die Forschungstätigkeit in den Bereichen Bauorganisationsstrukturen, Qualitätsstandards, normativer Regelungen, einer durchgängigen Datenmodellierung ist unter dem Aspekt kostengünstiges Bauen auszubauen.

Abbildungsverzeichnis

Bild 1.	Dessau Törten (2015).....	13
Bild 2.	Weissenhofsiedlung Stuttgart 1927 (Architekturausstellung 2002)	13
Bild 3.	Neubauwohnungen – jährlicher Bedarf (Statistika 2015)	16
Bild 4.	Überwiegend verwendete Baustoffe bei Mehrfamilienhäusern (Neubau) in Deutschland 2013 (Statistisches Bundesamt 2014).....	16
Bild 5.	Bestandteile (Prozesse) des Fertigteilhaussystems (Kott, 2015)	20
Bild 6:	Verbindungen im Fertigteilhaussystem mit Wand- und Deckenplatten (Künzel und Kott 2002)	21
Bild 7:	Schalungsroboter zur Fixierung von Aussparungen und Leitungen (Kuch, Schwabe und Palzer 2010)	21
Bild 8:	Umlaufanlage zur Herstellung von flächenhaften Bauteilen (Kuch, Schwabe und Palzer 2010)	22
Bild 9:	Schalung zur Herstellung von Wendeltreppen (Kuch, Schwabe und Palzer 2010).....	22
Bild 10:	Batterieschalung für die gemeinsame Fertigung von Wand- und Deckenplatten (Kinast Maschinensysteme GmbH 2010)	22
Bild 11:	Horizontale Montage mit Turmdrehkran, geschossweise (Bachmann, Steinle und Hahn 2009)	23
Bild 12:	Vertikale Montage mit Autokran, feldweise (Bachmann, Steinle und Hahn 2009)	23
Bild 13:	193 Seniorenappartements in Deurne bei Antwerpen, Bauvorhaben der Royal BAM Group, Fertigstellung 2012 (RoyalBAMGroup 2013).....	25
Bild 14:	Tunnelschalung (Schmitt und Heene 1988)	26
Bild 15:	Flexible Tunnelschalung, Patent der Royal BAM Group (RoyalBAMGroup 2013).....	26
Bild 16:	Verfahrensablauf Deckenhubprozesse (Künzel und Kott 2008).....	26
Bild 17:	5-Tage-Technologie, Strangsanierung Küchen-/Badbereich (IFF Weimar e. V. 1998)	29
Bild 18:	Installationsmodul mit integriertem Brandschott (IFF Weimar e. V. 2013), Foto Rebel.....	30
Bild 19:	Sanierungsstand Plattenbau in Thüringen, Umfrage (Janorschke, Rebel und Nowak 2015)	31
Bild 20:	Sanierungsbedarf der inneren Sanierung der Plattenbauwohngebäude in Thüringen nach Dringlichkeit (Janorschke, Rebel und Nowak 2015).....	31
Bild 21:	Rückbautechnologien unter bewohnten Bedingungen (Palzer, Janorschke und Rebel 2010).....	32
Bild 22:	Weltausstellung 1967 in Montreal, Habitat (inhabitat 2015)	33
Bild 23:	Zweigeschossige Mehrfamilienhäuser in Pegnitz (Brech und Schmid 2015).....	33
Bild 24:	Freiheitsgrade Bauweisen	34
Bild 25:	Darstellung der Entwicklung der Baukostenverteilung anhand der Jahre 2000 und 2014 (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014)	43
Bild 26:	„Sächsisches Wohnhaus“ am Markt Rudolstadt Schettler Architekten, Weimar; Foto: Claus Bach Weimar	46
Bild 27:	Projektgemeinschaft ifau und Jesko Fezer HEIDE & VON BECKERATH, R50 in Berlin Kreuzberg, Foto: Andrew Alberts	46
Bild 28:	Nullemissionshaus Boyenstraße, Berlin, Deimel Oelschläger Architekten; Foto: Andrea Kroth, Berlin	46
Bild 29:	Studentenwohnheim Upper West Side in Ulm, bogevichs buero architekten & stadtplaner gmbh Foto: Jens Weber, München	46
Bild 30:	Berlin, Pettenkofer Straße, HKA Hastrich-Keuthage Architekten, Foto: Stefan Dauth	46
Bild 31:	Experimentelles Wohnen – Wohnhäuser für Studierende, Deutscher Bauherrenpreis 2014, Architektur Contor Müller Schlüter, Wuppertal, Foto: Tomas Riehle.....	46
Bild 32:	Mehrfamilienhaus Berlin-Prenzlauer Berg – Projekt e3, Foto: Bernd Borchardt, Berlin	48
Bild 33:	Treehouses Bebelallee, Hamburg, blauraum, Foto: Dominik Reipka.....	48
Bild 34:	WOODCUBE, IBA-Hamburg Foto: Ingrid Lützkendorf	48
Bild 35:	CSH CaseStudy, IBA-Hamburg, Foto: © Christian Lohfink, planpark architekten.....	48
Bild 36:	Achtgeschossiges Holzhaus, Bad Aibling Foto: © Huber & Sohn GmbH & Co.KG	48
Bild 37:	Fassaden-Sanierung Beguinenstraße Foto: Holger Kappler.....	48
Bild 38:	Stadthäuser München Riem Foto: © Bucher-Beholz-Architekten	49
Bild 39:	Loft – Einfamilien – Haus, Berlin Foto: RSB Rudolstädter Systembau GmbH.....	49
Bild 40:	Neubau Wohngebäude Studentisches Wohnen, Jena Foto: © KLEUSBERG GmbH & Co. KG, Rüdiger Mosler Architekturfotografie	50

Bild 41:	3-geschossige Bettenstation, Münster Foto: BOLLE System- und Modulbau GmbH	50
Bild 42:	Terrassenhäuser Universitätsviertel Essen	73
Bild 43:	Nachverdichtung innerstädtische Bebauung, Foto: Schettler Architekten Weimar	73
Bild 44:	Treskow-Höfe Berlin, Quartier mit 414 Wohnungen, eine Kindertagesstätte, zwei Senioren- Wohngemeinschaften sowie Einzelhandelsflächen; Visualisierung: HOWOGE/Ligne Architekten/CN Architekten.....	73
Bild 45:	Wohn- und Geschäftshaus Berlin, HKA Hastrich Keuthage Architekten, Foto: Stefan Dauth.....	73
Bild 46:	Sao Paulo, 2014, Foto Janorschke	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Typisierte Bauweisen und Kapazitäten in den alten Bundesländern (Nagel 2015).....	15
Tabelle 2:	Anteile der Bauweisen der Wohnbausubstanz in Ostdeutschland 1980, (E. Künzel 2002)	15
Tabelle 3:	Eigenschaften der Fertigungsmethoden (Kuch, Schwabe und Palzer 2010).....	21
Tabelle 4:	Technologischer Ablauf zur Herstellung eines Geschosses, (Schmitt und Heene 1988)	25
Tabelle 5:	Vergleich zwischen traditioneller und modularer Sanierung (B&O 2015).....	30
Tabelle 6:	Vor- und Nachteile des vorgefertigten Bauens gegenüber monolithischen Bauweisen	38
Tabelle 7:	Übersicht Montageleistungen im Fertigteilbau (Walrafen 2015).....	40
Tabelle 8:	Lebensdauerzyklen von Technischen Ausrüstungen (VDI 2012).....	43
Tabelle 9:	Gesellschaftliche Entwicklungen in der Zukunft (van Acker 2012).....	45
Tabelle 10:	Übersicht der Modellprojekte in Betonbauweisen	47
Tabelle 11:	Übersicht der Modellbeispiele in Holzbauweise	49
Tabelle 12:	Bewertung der wirtschaftlichen Faktoren einzelner Bauweisen aus Sicht der Bauherren, Planer und der Bauwirtschaft.....	52
Tabelle 13:	Bewertung der subjektiven Faktoren einzelner Bauweisen aus Sicht der Bauherrn, Planer und der Bauwirtschaft	55
Tabelle 14:	Einflüsse auf ein Bauprojekt.....	57
Tabelle 15:	Nachhaltigkeitskriterien im Bauwesen.....	57
Tabelle 16:	Prozentuale Aufteilungen der Außenwandanteile an den Baukosten Mauerwerk / Beton / Holzbau (Walberg, Brosius, et al. 2015)	60
Tabelle 17:	Kosten Außenwände Mehrfamilienhaus (Walberg, Brosius, et al. 2015) (BKI, Baukosten Bauelemente 2014)	60
Tabelle 18:	Kosten Außenwandkonstruktionen Mauerwerk.....	61
Tabelle 19:	Kosten Außenwandkonstruktionen Beton	61
Tabelle 20:	Kosten Außenwandkonstruktionen Holz nach Kostenkennwerten 3. Ebene DIN 276 (BKI, Baukosten Positionen 2014).....	62
Tabelle 21:	Kosten Außenwandkonstruktionen aus Stahl nach Kostenkennwerten 3. Ebene DIN 276 (BKI, Baukosten Positionen 2014).....	62
Tabelle 22:	Kostenspannen von Baukosten der Grund- und Zusatzvarianten pro m ² Wohnfläche (Wfl) (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014)	63
Tabelle 23:	Gegenüberstellung Baukosten pro Quadratmeter Wohnfläche des Typengebäudes Mehrfamilienhaus in Form der Grund- und Zusatzvariante und den BKI-Werten (Walberg, Brosius, et al. 2015), (BKI, Baukosten Bauelemente 2014)	65
Tabelle 24:	Mehrkosten für eine erweiterte Variante Typengebäude Mehrfamilienhaus (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014).....	66
Tabelle 25:	Bewertungsauf-/abschläge in Bezug auf die Marktlage (Walberg, Gniechwitz, et al. 2014).....	67
Tabelle 26:	Fertigstellung im Wohnbau in Deutschland im Jahr 2013 (Statistisches Bundesamt 2013)	71
Tabelle 27:	Verteilung errichteter Mehrfamilienhäuser (Neubau) nach ihren Einbausituationen - Haustyp in Deutschland im Jahr (Statistisches Bundesamt 2013)	71
Tabelle 28:	Bebauungsformen	71

Literaturverzeichnis

- Achterberg, Gerhard, und Hans-Otto Eikenbusch. *Systemschaltungen im Wohnungsbau - Institut für Bauforschung e. V.* Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1978.
- Architekturausstellung. „Neues Bauen International 1927/2002“ Stuttgart.“ 2002.
- B&O. *Wohnungsmodernisierung*. 06 2015. <http://www.bo-wohnungswirtschaft.de/cms/index.php/Wohnungsmodernisierung.html>.
- Bach, Michael, Interview geführt von Volker Stange. *Fa. PKT-Systeme GmbH* (2015).
- Bachmann, Hubert, Alfred Steinle, und Volker Hahn. „Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau.“ In *Betonkalender 2009*. Berlin: Ernst & Sohn, 2009.
- Batzke, Ulrich. „Stahlbau – einfach vom Feinsten: Wohnwelten.“ 2015.
- Bayerisches Staatsministerium. „Holz zeitlos schön.“ 26. 03 2015. <http://www.holz-zeitlos-schoen.bayern.de/broschueren/barrierefrei/Holz-zeitlos-schoen.pdf> (Zugriff am 03 2015).
- BBSR. *Nutzung von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen*. 2011. <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html>.
- BKI. „Baukosten Bauelemente.“ Stuttgart: BKI Baukosteninformationszentrum, 2014.
- . „Baukosten Gebäude.“ Stuttgart: BKI Baukosteninformationszentrum, 2014.
- . „Baukosten Positionen.“ Stuttgart: BKI Baukostenonformationszentrum , 2014.
- Brech, Joachim, und Andreas Schmid. „Maßgeschneiderte Konfektion.“ *PLANEN UND BAUEN MIT „IBOS MODULAR“ DES UNTERNEHMENS MAX BÖGL. MÜNCHNER KOLLOQUIUM MODULARISIERUNG IM HAUSBAU 25.02.2015*, 2015.
- Bundesverband Bausysteme e. V. „Bauen mit vorgefertigten Raumsystemen.“ Wiesbaden: Arbeitskreis Bauen mit vorgefertigten Raumsystemen in der Studiengemeinschaft für Fertigtbau e. V., 1998.
- DESTATIS. *Bautätigkeit und Wohnungen*. Statistisches Jahrbuch, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2014.
- Difu. „Difu-Berichte 4/1996 - Standards im öffentlich gefördertern Wohnungsbau: ein deutsch-französischer Vergleich.“ Deutsches Institut für Urbanistil gGmbH, 1996.
- DIN 276. „DIN 276-1:2008-12: Kosten im Bauwesen - Teil 1: Kosten im Hochbau.“ Beuth Verlag, 12 2008.
- Dnaber. *Wikipedia, Gagfah*. 05. 03 2015. <http://de.wikipedia.org/wiki/Gagfah> (Zugriff am 03 2015).
- Dreßler-vom Hagen, Heike. *IKZ-Haustechnik*. 07 2001. <http://www.ikz.de/1996-2005/2001/07/0107068.php>.
- Fechner, Stefan. „Gegenüberstellung des Deckenhubverfahrens mit der Ortbetonbauweise anhand eines ausgeführten Beispiels.“ *Bachelorarbeit*. 2014.
- Fernández-Ordóñez, David. „Erschwinglicher Wohnungsbau mit Fertigteilterchnik.“ *BMI - Betonwerk International*, 01 2008.
- Furter, Fabian, und Patrick Schoeck-Ritschard. *Göhner wohnen: Wachstumseuphorie und Plattenbau. hier+jetzt*, 2013.
- GdW Bauherrenpreis. „Deutscher Bauherrenpreis Modernisierung 2013.“ *Hohe Qualität - tragbare Kosten im Wohnungsbau*. Berlin: Arbeitsgruppe KOOPERATION GdW-BDA-DST, 2013.
- GdW. *Kooperationsmodelle für Bau- und Wohnungsunternehmen beim Bauen im Bestand*. GdW Arbeitshilfe 68, GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V., 2013.
- Hamid, Zuhairi Abd., Fo Chee Hung, und hock Beng. „Innovatives Design und ansprechende Ästhetik durch Betonfertigteiltbauweise.“ *BWI - BetonWerk International*, 03 2015.
- Holz_e.V., Arbeitsgemeinschaft. „Holzbausysteme. Informationsdienst Holz, holzbau handbuch Reihe 1, Teil 1, Folge 4.“ Düsseldorf, 12. 2000.
- Hub, Alexander. *Integriertes Konzept zur nachhaltigen Errichtung von Gebäuden in massiver Bauweise*. Dissertation, Stuttgart: Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen, 2012.
- IEMB. *Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in Platten-bauweise*. Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 1993.
- IFF Weimar e. V. Installationsmodul mit integriertem Brandschott. Deutschland Patent DE 202012008399 U1. 16. 05 2013.

- IFF Weimar e. V. „Menschengerechte Gestaltung der Arbeitsbedingungen bei der Sanierung und Umgestaltung von Wohngebäuden in Fertigteilbauweise in den Neuen Bundesländern (MeGASU).“ Forschungsbericht, 1998.
- Informationsdienst-Holz.de. 06. 06. 2015. <http://informationsdienst-holz.de/index.php?id=>.
- inhabitat. 2015. <http://www.inhabitat.com/wp-content/uploads/habitat67.jpg>.
- Janorschke, Barbara, Birgit Rebel, und Rainer Nowak. „Weiterentwicklung der Typenmodernisierung im industriell gefertigten Wohnungsbestand.“ Weimar, 03. 2015.
- Jeder Qm Du. „Platte damals, Ursprünge des industriellen Bauens.“ 15. 04. 2015. <http://www.jeder-qm-du.de/platten-doku/platten-wissen/detail/urspruenge-des-industriellen-bauens/> (Zugriff am 04. 2015).
- Kempe, Andreas. 2015.
- Kinast Maschinensysteme GmbH. 2010. (Zugriff am Juni 2015).
- Kirchner, Peter. „Die Klimadecke - Bauen für heute und morgen.“ Elbe Seminar, 19. 03. 2015.
- Kober, Torsten. „Hybride Bauweisen. Stahlbeton- und Holzbau - eine Zukunftsoption. Vortrag zum Holzbauforum 2015.“ Berlin, 03. 03. 2015.
- Kott, Matthias, und Jens Nitsche. *Konstruktive und fertigungstechnische Entwicklung eines tragenden großformatigen Verbundbauteils mit einem Kalziumsilikat-Wärmedämmstoff für Fertigdächer im Wohn- und Wirtschaftsbau - Zweischicht-Fertigteil*. Forschungsbericht, Weimar: IFF Weimar e. V., 2007.
- Kuch, H., J.-H. Schwabe, und U. Palzer. *Herstellung von Betonwaren und Betonfertigteilen*. Düsseldorf: Verlag Bau+Technik, 2010.
- Künzel, E. „Die Platte, eine Erfahrung der DDR?“ *Platte Plus*, 2002.
- Künzel, Eberhard, und Matthias Kott. „Effizientes Bauen mittels Hubmontagetechnologie.“ *BFT International*, 2008: 7.
- Künzel, Eberhard, und Matthias Kott. *Produktionsintegrierter Umweltschutz im Bereich des Hochbaus der Beton- und Fertigteilindustrie*. Weimar: IFF Weimar e.V., 2002.
- Langen, M. „Der Holzbau auf dem Wege in die Städte.“ *Bauen mit Holz*, 01. 2015.
- Lindner, Gerhhard, und Erik Schmitz-Riol. „Systembauweise im Wohnungsbau.“ Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2001.
- Malykin, Vitaliy. *Bauwirtschaft und Bauunternehmen in Russland*. 09. 03. 2013. <http://www.design4u.org/russland-gus/politik-und-geschehnisse-russland/bauwirtschaft-und-bauunternehmen-in-russland-2012/> (Zugriff am 04. 2015).
- Meier, Ron. *Wikipedia, Werkbundsiedlung Breslau*. 11. 05. 2014. http://de.wikipedia.org/wiki/Werkbundsiedlung_Breslau (Zugriff am 10. 03. 2015).
- Nagel, Tobias. „Großwohnsiedlungen.“ 03. 2015. <http://machmaplazda.com/> (Zugriff am 03. 2015).
- Neitzel, Michael. „Baukosten senken, aber wie?“ *Architekturqualität im kostengünstigen Wohnungsbau*. Bochum: Arbeitsbericht aus der Baukostensenkungskommission, 16. 04. 2015.
- Neubauer, Robert. „Erfahrungsbericht.“ 2015.
- Nicolai, P. „Wikipedia, Informationen zu "Amsterdamer Schule (Architektur)".“ 24. 08. 2014. http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Amsterdamer_Schule_%28Architektur%29&action=info (Zugriff am 04. 2015).
- Oebbeke, Alfons. *Bauindustrie: "Wohnungsneubau bleibt hinter dem mittelfristigen Bedarf zurück"*. 05. 2015. <http://www.baulinks.de/webplugin/2015/0891.php4> (Zugriff am 05. 2015).
- Palotz, Thomas. „Eine neue Ökonomie für den Wohnungsbau.“ Dissertation an der Universität Duisburg, 2004.
- Palzer, Ulrich, Barbara Janorschke, und Birgit Rebel. *Abbruch und Rückbau von Fertigteilwohngebäuden*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 2010.
- Pilipenko. „Vortrag IFF Tagung.“ 2015.
- PRO KELLER e.V. „Kellerbau-Info.“ <http://www.prokeller.de/>, 2015.
- Prochiner, Frank. „- Homes 24 -.“ *Zukunftsorientierte Fertigungs- und Montagekonzepte im industriellen Wohnungsbau*. München, 03. 2006.
- RoyalBAMGroup. *Baupalette*. 19. 02. 2013. <http://www.bam.eu/sites/default/files/domain-106/documents/baupalette-2010-4-106-1361266020120822893.pdf> (Zugriff am 2015).
- Sansculotte. *Wikipedia, Neues Bauen*. 26. 12. 2014. http://de.wikipedia.org/wiki/Neues_Bauen (Zugriff am 03. 2015).

- Schmitt, H., und A. Heene. *Hochbaukonstruktion - Die Bauteile und das Baugefüge - Grundlagen des heutigen Bauens*. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1988.
- Schmitz-Riol, Erik. *Baukonstruktive Innovationen für den Geschosswohnungsbau unter nachhaltigen Kriterien*. Dissertation, Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 1998.
- Schwarm, Dieter. „Rationelles Bauen mit Betonfertigteilen.“ DBZ, 03 2000.
- Seidel, und Werner. „Der Eisenbau. Vom Werdegang einer Bauweise.“ *Bautechnik*, 1992: 187.
- Stamm- Teske, Walter. „Preis-werter Wohnungsbau 1990 - 1996: Eine Projektauswahl in Deutschland.“ *Bau und Technik*, 1996.
- Stamm-Teske, Walter. „Preiswerter Wohnungsbau in Österreich.“ *Bau + Technik Verlag*, 2001 .
- Statistika. *Prognose zum jährlichen Neubaubedarf für den Wohnungsbau in Ost- und Westdeutschland im Zeitraum von 2010 bis 2025 (in Wohneinheiten)* . 04 2015. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/199863/umfrage/prognose-zum-wohnungsbedarf-in-ost-und-westdeutschland> (Zugriff am 04 2015).
- Statistisches Bundesamt. „Bauen und Wohnen.“ *Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff; Lange Reihe ab 2000*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 02. 09 2014.
- . „Bautätigkeit und Wohnungen.“ *Bautätigkeit*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 29. 08 2013.
- Stefan. *Wikipwdia, Deutscher Werkbund*. 05. 03 2015. http://de.wikipedia.org/wiki/Deutscher_Werkbund (Zugriff am 03 2015).
- Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. „Bauen mit Brettsper Holz. Tragende Massivholzelemente für Wand, Decke und Dach. In: Informationsdienst Holz. holzbau handbuch | REIHE 4 | TEIL 6 | FOLGE 1.“ 2008.
- Suikka, Arto. „Betonfertigteile in der Bauindustrie Finnlands.“ 20 2009.
- Sunder-Plassmann, Benedikt, Walter Stamm-Teske, und Indra Kupferschmied. *Preiswerter Wohnungsbau in den Niederlanden 1993 - 1998*. Düsseldorf: Bau und Technik, 1998.
- Teves, Christoph. „Industrialisierung - Mit Volldampf in die Moderne.“ 15. 03 2015. http://www.planet-wissen.de/laender_leute/nordrhein_westfalen/arbeitersiedlungen/index.jsp.
- van Acker, Arnold. „Herausforderungen und Chancen für die Fertigteilindustrie.“ *BWI - BetonWerk International*, 2012.
- VDI. „VDI 2067, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen.“ *Beuth Verlag GmbH*, 09 2012.
- Walberg , Dietmar, Timo Gniechwitz, und Michael Halstenberg. „Kostentreiber für den Wohnungsbau.“ *Untersuchung und Betrachtung der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Gesteungskosten und auf die aktuelle Kostenentwicklung von Wohnraum in Deutschland*. Kiel: ARGE//eV, 04 2015.
- Walberg, Dietmar, Oliver Brosius, Thorsten Schulze, und Antje Cramer. „Massiv- und Holzbau bei Wohngebäuden.“ *ARGE//eV*, 01 2015.
- Walberg, Dietmar, Timo Gniechwitz, Thorsten Schulze, und Antje Cramer. „Optimierter Wohnungsbau.“ *Untersuchung und Umsetzungsbetrachtung zum bautechnisch und kostenoptimierten Mietwohnungsbau in Deutschland*. Kiel: ARGE//eV, 08 2014.
- Walrafen, Joost. „Wirtschaftliche Vorteile von Betonteilen im Vergleich zu anderen Baualternativen.“ *BWI - BetonWerk International*; 2/2015, 2015.
- Weidemüller, Dagmar, Klaus-Dieter Beißwenger, Bernd Hunger, und Ralf Protz. „Weiterentwicklung großer Wohnsiedlungen.“ *Kompetenzzentrum Großsiedlungen e.V.*, 2015.
- Wien. *Sozialer Wohnungsbau und Werkbundsiedlung*. 2015. <http://www.wien.info/de/sightseeing/architektur-design/sozialer-wohnbau>.
- ZDB_e.V. „Holz im Wandel der Erfordernisse für das Bauen.“ 2015. http://www.holzbau-deutschland.de/mit_holz_bauen/holzbau_im_wandel/ (Zugriff am 04. 03 2015).
- Ziegel Elementbau. *Ziegelementbau*. 06 2015. http://www.ziegelementbau.de/content/technik/download/image_online.pdf (Zugriff am 2015).