
Stefan Winter, Markus Lechner, Claudia Köhler, Joachim Brech, Moritz Segers, Christian Schühle, Anne Niemann, Hermann Kaufmann, Lukas Lauss, Johanne Schöner, Rafael Gramm, Johannes Gantner, Thomas Kirmayr, Sebastian Schäller, Sandra Fleischmann, Friedrich Hermann, Ernest Berghofer, Thomas Auer, Fritz Frenkler

Bauen mit Weitblick – Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau



*Stefan Winter, Markus Lechner, Claudia Köhler, Joachim Brech, Moritz Segers,
Christian Schühle, Anne Niemann, Hermann Kaufmann, Lukas Lauss, Johanne Schöner,
Rafael Gramm, Johannes Gantner, Thomas Kirmayr, Sebastian Schäller,
Sandra Fleischmann, Friedrich Hermann, Ernest Berghofer, Thomas Auer, Fritz Frenkler*

Bauen mit Weitblick – Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau

F 3082

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2019

ISBN 978-3-7388-0297-9

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Abschlussbericht Forschungsvorhaben:

Bauen mit WEITBLICK

Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau



Forschungsstelle:

Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter
Arcisstraße 21
80333 München

Projektleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter
Markus Lechner M.Sc.
Claudia Köhler M.Sc.

Projektpartner

TUM - Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen

Prof. Dipl.-Ing. Thomas Auer

Lukas Lauss M.Sc.

Johanne Schöner M.Sc.

Dr.-Ing. Architekt Ernest Berghofer

TUM - Professur für Entwerfen und Holzbau

Prof. DI Hermann Kaufmann

Dipl.-Ing. Anne Niemann

Dipl.-Ing. Christian Schühle

TUM - Lehrstuhl für Industrial Design

Prof. Dipl. Des. Fritz Frenkler

Dipl.-Ing. Moritz Segers

Dr. rer. pol. Joachim Brech, Architektur und Sozialwissenschaft

Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP

MBA Thomas Kirmayr

Rafael Gramm M.Sc.

Johannes Gantner M.Sc.

Aude Bougain M.Sc.

Katja Breitenfelder Dipl.-Ing.(FH)

KoWo – Kommunale Wohnungsgesellschaft mbH Erfurt

Dipl.-Kaufmann Friedrich Hermann, Geschäftsführer, Wirtschaftsmediator (CCI)

Dr. Sebastian Schäller

Dipl.-Ing. (FH) Sandra Fleischmann

Max Bögl Modul AG

Andreas Schmid, Bereichsleiter maxmodul

Stefanie Mirbeth M.A.

Regnauer Fertigbau GmbH & Co. KG

Dipl.-Ing. Michael Regnauer

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Lindner

Claudia Schmid

Bearbeitungszeitraum

01.12.2015 bis 30.04.2018

gefördert von:

Forschungsinitiative Zukunft Bau

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Deichmanns Aue 31-37

52179 Bonn

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Förderkennzeichen SWD-10.08.18.7-15.55). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

München, 30.04.2018

Kurzfassung

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung der Methodik und die Bereitstellung eines Systembaukasten Geschosswohnungsbau, der industrialisierten sozialen Wohnungsbau mit hoher nachhaltiger Bauqualität ermöglicht. Dazu werden zunächst in einem Anforderungskatalog, basierend auf Förderkriterien und Baurecht der Länder, alle Leistungsanforderungen definiert. Der Anforderungskatalog stellt alle Informationen für zukünftige Weiterentwicklungen zur Verfügung. Aus den Anforderungen wurden die Funktions- und Produktstrukturen für einen Systembaukasten entwickelt.

Ein Systembaukasten ist ein Baukastensystem eines spezifischen Systems aus einer Anzahl von Bausteinen (Baugruppen), die anwendungsspezifisch ausgewählt und unter Beachtung von Verträglichkeit miteinander kombiniert werden. Sie besitzen normierte Gestalt- und Werkstoffeigenschaften, sind aufeinander abgestimmt, konkret und können wiederum aus (weniger komplexen) Bausteinen bestehen. Beim Konfigurieren werden die Bausteine verwendet, ohne ihre Gestalt zu verändern. Der ursprüngliche Ansatz zur Entwicklung eines einzigen Systembaukastens für den sozialen Wohnungsbau ist daher nicht realisierbar. Es kann immer nur ein Systembaukasten für ein spezifisches Bausystem (z.B. Betonfertigteile-Bauweise) entwickelt werden, da tragwerksplanerische, bauphysikalische und brandschutztechnische Eigenschaften unterschiedlicher Bausysteme stark differieren und eine vollständige Parametrisierung derzeit (noch) nicht zu bewältigen ist.

Im Vorhaben wurden typisierte Wohnungen (BG-W) mit Hilfe einer ‚Baugruppen‘ – Systematik entwickelt, die zu Baugruppen-Gebäude (BG-G) oder Baugruppen-Typengeschosse (BG-T) zusammengefasst werden. Eine digitale Definition einer Baugruppen muss entsprechend der entwickelten Methodik alle Elemente der Baukonstruktion (Schächte, Trennwände, Decken, Dachdecken) und der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) umfassen. Weiterhin müssen alle zur Fertigung der Baugruppen erforderlichen Daten enthalten sein, um eine vollständige Werkstattplanung für die ausführenden Firmen zur Verfügung stellen zu können. Eine Baugruppe ist eine Planungseinheit und damit eine ideale Anwendung des Building Information Modelling (BIM), da die Daten einmal für wiederholende Anwendungen generiert werden (im Gegensatz zum heutigen ‚One-Design‘). Eine Parametrisierung in Teilbereichen, z.B. Fensterformate, Fassadenausführung oder Deckenspannweiten ist möglich. Eine weitgehende Vorfertigung in den jeweiligen Bausystemen ist sinnvoll, aber nicht zwingend erforderlich. Ein Systembaukasten besteht real in einer unterschiedlich ausgeprägten Mischung aus Vorfertigung, Vorkonfektionierung und örtlicher Ergänzung.

Entsprechend der im Vorhaben entwickelten Methodik wurden durch die beteiligten Partner Systembaukästen in Beton-Raummodul-Bauweise und in hybrider Tafelbauweise aus Holztafeln für Wände

und Dach sowie Decken aus Spannbeton-Hohldielen mit jeweils maximierter Vorfertigung generiert. Damit konnte nachgewiesen werden, dass sich der erforderliche Wohnungsmix in Mittelgang-, Laubengang-, Punkthaus- und Spännergebäuden herstellen lässt. Die architektonische Gestaltungsfreiheit bleibt durch Teilparametrisierung und die Ergänzung durch Anbau-Baugruppen wie Balkone oder Laubgänge (BG-A) und Erschließungen (BG-E) erhalten. In mehreren Optimierungszyklen wurden Prozessanalysen durchgeführt, die insbesondere die Einsparpotentiale im Bereich der von Planungs- und Produktionsoptimierung durch Wiederholungseffekte aufzeigen konnten. Zusätzliche Einsparpotentiale entstehen durch hohe Stückzahlen gleicher Bauprodukte. Eine Beschränkung dieser Effekte ist durch die derzeitige Marktlage (Knappheit an Baustoffen, Produktionskapazitäten, Arbeitskraft) begründet. Die ursprünglich angestrebte Kostengrenze von 1.200 €/m² vermietbare Fläche brutto für die Kostengruppen 300, 400 und 700 nach DIN 276 konnte noch nicht nachgewiesen werden. Es erscheint unter Berücksichtigung der aktuellen konjunkturellen Lage realistisch, durch die beschriebenen Industrialisierungsschritte zumindest ein stabiles Preisniveau von unter 1.600 €/m² erreichen zu können. Durch weitere künftige Optimierungen des industriellen Bauens ist eine weitere Senkung in Richtung der Zielvorgabe denkbar.

Ergänzend wurden weitere Teilaspekte zur Kostensenkung untersucht: So wurde ein Systembaukasten für behindertenfreundliche und -gerechte Bäder mit austauschbaren Installations-Baugruppen entwickelt. Weiter wurde nachgewiesen, dass eine Luftwechselrate von 0,2 /h aus feuchtetechnischen Gründen ausreichend ist und dass Elektro-Direktheizungen in Deutschland inzwischen bei hochgedämmten Gebäuden und der fortschreitenden Veränderung des Energiemix unter Berücksichtigung der regulatorischen Randbedingungen ausführbar sind. Umfangreiche Untersuchungen von Lebenszykluskosten und Lebenszyklusanalysen anhand von Referenzgebäuden runden zusammen mit der Darstellung der einsatzfähigen digitalen Werkzeuge die Ergebnisse ab.

Das Vorhaben zeigt zusätzlich, dass die unterschiedliche Förderpraxis und die Bauordnungen der Länder dringend zu vereinheitlichen und zu flexibilisieren sind, um industrielles Bauen zu unterstützen. Abschließend werden die Ergebnisse kritisch gewertet und es wird ein Vorschlag zur weiteren Entwicklung eines oder mehrerer ‚Open-Source-Systembaukastens‘ unterbreitet.

Abstract

The objective of the project is the development of a methodology and provision of a ‚system building set‘ to enable industrialized, social housing in a high, sustainable building quality. Based on the funding criteria for social housing and the building regulations of the Federal States a catalogue of requirements was defined at the beginning, containing all relevant performance requirements. The requirements catalogue provides all information necessary for further developments. Based on the requirements all functions and product structures necessary for a ‚system building set‘ were developed.

A ‚system building set‘ is a modular construction system of a specific system based on a number of building blocks (building assemblies), which are chosen application specific and combined, taking into account the compatibility of combination. The building assemblies provide standardized geometrical and material properties, are harmonized and may be combined out of (less complex) building blocks. When configured the shape of the building assemblies is fixed. The original attempt of the project to create one unique ‚system building set‘ therefore could not be realized, as a ‚system building set‘ can only be realized in a specific building system, e.g. prefabricated reinforced concrete. The static, building physic or fire safety design of different building systems is differing too far to handle a complete parametrisation.

During the project building blocks were developed using a building assembly systematic. They are arranged to „building assemblies - building“ (BG-G) containing groups of flats or complete “building assemblies – floor-types” (BG-T). A digital definition according to the developed methodology of a building assembly has to include all elements of the building construction (shafts, partition walls, slabs, roofs,...) and all building services. In addition it includes all relevant data to produce the building assemblies, i.e. it provides a complete production planning for the building producer. A building assembly is a complete planned unit and therefore an ideal application of Building Information Modelling (BIM). All data are created only once for repeating applications (in opposite to today’s ‚one-design‘). A partly parametrisation, e.g. size of windows, type of facade or span of slabs is possible. Of course a prefabrication as far as possible is meaningful, but not absolutely necessary. A ‚system building set‘ in real is represented by a case specific mix of prefabrication, pre-cutting and local finalisation.

Based on the developed methodology two ‚system building sets‘ were generated by the partners using a reinforced concrete module construction and a hybrid prefabricated panel construction out of timber frame elements for walls and roofs and prestressed reinforced concrete hollow-core slabs,

each system with specific optimized prefabrication. Using these ‚system building sets‘ it is possible to create all required mix of flats in middle-floor -, arcade-, center- and multi-apartment- buildings. The architectural freedom is given by a partial parametrisation and by additional building assemblies as for balconies, arcades (BG-A) or access-units (BG-E). In a number of optimisation cycles the processes were analysed to demonstrate the saving potential by optimisation of planning and production, especially due to effects of repetitions. Additional savings will occur based on high numbers of building products. A limitation of these effects is actual given by the market situation (shortcuts of building products, production capacities and workmanship). The initial targeted gross cost limitation to 1.200€/m² rentable area based on cost type 300, 400 and 700 (according to DIN 276) could not yet verified. But it seems realistic to be able to limit costs to less than 1.600 €/m² by the described steps of industrilisation. Due to additional future optimisations an additional cost reduction is feasible.

In addition further aspects of cost reduction was examined: A special ‚building system set‘ for bathrooms with replaceable installation building blocks, taking into account the special needs of handicapped people, was developed. Also the sufficiency of a air-change rate of 0,2 /h to ensure moisture safety was proofed as well as the possibility to use direct electrical heating, taking into account highly insulated buildings, building regulations and the developing change of the primary energy-mix in Germany. Also a number of Life Cycle Cost and Life Cycle Assessment calculations based on reference buildings proofed the suitability of the concepts. In addition it was demonstrated, which digital tools are available and applicable for ‚system building sets‘.

The project demonstrates in addition the urgent need to harmonize and flexibilize the different financial stimulation rules for social housing projects and the building regulations in the Federal States of Germany to support industrial building.

Finally the results are critical commented and a proposal for the development of one or more ‚open-source - system building sets‘ is given.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	III
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund des Forschungsvorhabens	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Vorgehensweise und Methodik	6
2 Serieller und industrieller Wohnungsbau	11
2.1 Begriffsdefinitionen	11
2.2 Entwicklung, Stand heute	13
2.3 Vorbehalte gegen serielles, industrialisiertes Bauen	13
3 Anforderungen Systembaukasten	17
3.1 Allgemeines	17
3.2 Vorgehensweise	20
3.3 Gruppierung von Anforderungen	22
3.3.1 Anforderungen aus Betreiber- und Nutzersicht	22
3.3.2 Anforderungen aus gesetzlichen Vorgaben, Richtlinien, Normen	23
3.3.3 Gestalterische und architektonische Anforderungen	26
3.3.4 Technische und konstruktive Anforderungen	28
3.4 Anforderungskatalog - Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau	29
3.4.1 Ausstattungsstandards	29
3.4.2 Allgemeine Anforderungen	30
3.4.3 Planerische Systemgrenzen	32
3.4.4 Grundrisse, Wohnungen und Funktionsbereiche	35
3.4.5 Ausführung und Materialität	42
3.4.6 Architekturelemente	43
3.4.7 Konstruktive Systemgrenzen	45
3.4.8 Technische und energetische Anforderungen	54
4 Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau	61
4.1 Allgemeines	61
4.2 Theoretische Grundlagen	62
4.3 Produktarchitektur Systembaukasten	65
4.3.1 Funktionsstruktur des Systembaukastens (funktionale Produktbeschreibung).....	65

4.3.2	Produktstruktur des Systembaukastens (physische Produktbeschreibung)	66
4.4	Konkrete Lösungsprinzipien	76
4.4.1	Baugruppensystematik	76
4.4.2	Typengeschosssystematik	89
4.5	Planungsinstrument Systembaukasten – Bausystemkonfigurator	93
4.5.1	Allgemeines	93
4.5.2	Der Bauherrn-Konfigurator (Endanwender-Sicht)	93
4.5.3	Der Bausystem-Konfigurator (Hersteller-Sicht)	93
4.5.4	Der Planungs-Konfigurator (Architektur-Sicht)	94
4.5.5	Der Konfigurator im Beschaffungsprozess	95
5	Anwendung des Systembaukastens	101
5.1	Vorstellung der Bausysteme	101
5.1.1	Bausystem Flächenelemente	101
5.1.2	Bausystem Raummodule	104
5.2	Umsetzung der Baugruppensystematik durch Flächenelemente	107
5.2.1	Maßsystematik der Flächenelemente	107
5.2.2	Entwurf von Baugruppen	108
5.2.3	Variabilität einer baugruppenorientierten Planung mit Flächenelementen	113
5.2.4	Entwicklung von additiven Architekturelementen	122
5.2.5	Fazit Baugruppensystematik	128
5.3	Umsetzung der Baugruppensystematik durch Raummodule als Baugruppe-Typengeschoss (BG-T)	130
5.3.1	Maßsystematik der Raummodule	130
5.3.2	Entwurf von Typengeschossen	131
5.3.3	Variabilität einer typengeschossorientierten Planung mit Raummodulen	137
5.3.4	Entwicklung von additiven Architekturelementen	141
5.3.5	Fazit Typengeschosssystematik (BG-T)	143
5.4	Planung virtuelles Referenzgebäudemodell	145
5.4.1	Allgemeines	145
5.4.2	Bausystem Flächenelemente	145
5.4.3	Bausystem Raummodule	148
5.4.4	Auswertung	152
5.5	Anwendung des Systembaukastens für konkrete Grundstückssituationen	155
5.5.1	Grundstücksauswahl und Randbedingungen	155
5.5.2	Bausystem Flächenelemente	157
5.5.3	Bausystem Raummodule	163
6	Systembad für den Systembaukasten	171
6.1	Ermittlung und Identifikation von Randbedingungen	171
6.2	Kriterien für ein neues Badkonzept im industriellen Wohnungsbau	174
6.3	Entwicklung eines modularen Baukastensystems für Bäder	176

6.3.1	Modulare Ordnung.....	176
6.3.2	Konstruktiver Aufbau	179
6.3.3	Systematik für die Planung von Systembädern	181
6.4	Überprüfung des Konzepts durch Planung von Badtypen für das Referenzgebäude	182
7	Technische Gebäudeausrüstung und Energieplanung für den mehrgeschossigen sozialen Wohnungsbau	187
7.1	Einleitung.....	187
7.2	Ermittlung und Identifikation von Randbedingungen	189
7.3	Wohnraumlüftung – Lüftung zum Feuchteschutz	190
7.3.1	Hintergrund der Untersuchungen	190
7.3.2	Baurechtliche und normative Anforderungen	191
7.3.3	Hypothese unter Randbedingungen	192
7.3.4	Ergebnisse der Lüftungssimulationen mit WUFI®-Plus	193
7.3.5	Empfehlung zur Lüftung im sozialen Wohnungsbau	195
7.4	Untersuchte Energieversorgungskonzepte und deren primärenergetische Analyse	196
7.4.1	Hintergrund der Untersuchungen	196
7.4.2	Untersuchte TGA-Systemvarianten für Energieerzeugung, Energieverteilung und Energieabgabe	197
7.4.3	Ergebnisse und Erkenntnisse der Variantenstudie	203
7.5	Bewertung von kosteneffizienten Umsetzungsmöglichkeiten der technischen Anforderungen.....	208
7.5.1	Technische Gebäudeausrüstung im Systembaukasten.....	208
7.5.2	Heizungssysteme	208
7.5.3	Lüftungssysteme	214
7.5.4	Auswahl Versorgungssysteme	217
7.6	Dimensionierung und Auslegung der TGA-Systemkomponenten anhand drei Energieversorgungsvarianten für den Systembaukasten	218
7.6.1	Hintergrund der Untersuchungen	218
7.6.2	Heizungstechnik zur Raumwärmeversorgung	219
7.6.3	Bereitstellung des Trinkwarmwasserbedarfs	227
7.6.4	Wohnraumlüftung	233
7.6.5	Planung der Technikzentralen.....	236
7.7	Entwicklung eines Technischachts zur Energieverteilung	241
7.7.1	Seriell und industriell vorgefertigter Versorgungsschacht.....	241
7.8	Rückkopplungen der Gebäudetechnik für den Systembaukasten	245
8	Prozessoptimierung und Digitalisierung Systembaukasten.....	249
8.1	Einleitung - Ermittlung und Identifikation von Randbedingungen – Fragestellung/Problemstellung.....	249
8.2	Digitalisierung im Planungsprozess: Prüfung von Anforderungen an das Bedarfsmodell mit dem Solibri Model Checker (SMC).....	255

8.2.1 Hintergrund der Untersuchung	255
8.2.2 Einsatz eines BIM-Modells in der Planung von Referenzgebäuden	256
8.2.3 Allgemeines zum Einsatz des Solibri Model Checkers (SMC).....	256
8.2.4 Prüfen von Anforderungen an das Bedarfsmodell mithilfe des Solibri Model Checkers (SMC)	258
8.2.5 Diskussion der Ergebnisse	267
8.2.6 Fazit.....	269
8.3 Konfiguration von Bausystemen - Prinzipien zur Entwicklung von Gebäudekonfiguratoren für Bausysteme	270
8.3.1 Marktanalyse	270
8.3.2 Prototypische Umsetzung.....	272
8.3.3 Fazit.....	275
8.4 Prozessoptimierung - Prozessanalyse	277
8.4.1 Hintergrund der Untersuchungen	277
8.4.2 Prozessanalysen bei den Projektpartnern	278
9 Lebenszykluskostenanalyse und Ökobilanz Systembaukasten.....	281
9.1 Allgemein – Fragestellung/Problemstellung.....	281
9.2 Bewertungs- und Untersuchungsmethoden.....	282
9.3 Ermittlung und Identifikation von Randbedingungen	285
9.4 EnEV – Modell.....	293
9.4.1 Referenzgebäude Regelfall	293
9.4.2 Referenzgebäude Suffizienz	296
9.5 Lebenszykluskostenrechnung (LCC)	298
9.5.1 Referenzgebäude Regelfall	298
9.5.2 Referenzgebäude Suffizienz	301
9.5.3 Effekt Diskontierungsfaktor.....	303
9.5.4 Effekt Betrachtungsdauer	304
9.5.5 Effekt Personenanzahl	306
9.6 Ökobilanz (LCA)	307
9.6.1 Referenzgebäude Regelfall	307
9.6.2 Referenzgebäude Suffizienz	309
9.7 Einordnung und Beurteilung der Kosten	311
10 Zusammenfassung, Empfehlungen und Fazit.....	313
Glossar	329
Literaturverzeichnis.....	333
Abbildungsverzeichnis.....	337
Tabellenverzeichnis.....	345

Anhang	347
A Auswertung der Förderrichtlinien für den sozialen Wohnungsbau der Bundesländer (Stand 12/2017).....	349
B Planungsrandbedingung der Referenzgebäude	362
C Systembad – Badtypen	365
D Technische Gebäudeausrüstung	377
E Grundrisskatalog Bausystem Flächenelemente	383