

Der Stadtbaustein im DAfStb/BMBF-Verbund-
forschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“
Dossier zu Nachhaltigkeitsuntersuchungen – Teilprojekt A

von

Carl-Alexander Graubner

Thorsten Bleyer
Marten F. Brunk
Tobias Dreßen
Christian Fensterer
Christoph Gehlen
Andreas Haas
Norbert Hanenberg
Bruno Hauer
Josef Hegger
Ingo Heusler
Sylvia Keßler
Torsten Mielecke
Christian Piehl
Hans-Wolf Reinhardt
Carolin Roth
Peter Schießl
Hartwig N. Schneider
Joachim Schwarte
Herbert Sinnesbichler
Udo Wiens
Konrad Zilch

Herausgeber:

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V.
Budapester Straße 31
10787 Berlin
info@dafstb.de

© 2014 **Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V.**

Budapester Straße 31
10787 Berlin

Telefon: +49 30 2693-1320
Telefax: +49 30 2693-1319
Internet: www.dafstb.de
Email: info@dafstb.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronischen Systemen.

Die im Werk enthaltenen Inhalte wurden vom Verfasser und Verlag sorgfältig erarbeitet und geprüft. Eine Gewährleistung für die Richtigkeit des Inhalts wird gleichwohl nicht übernommen. Der Verlag haftet nur für Schäden, die auf Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens des Verlages zurückzuführen sind. Im Übrigen ist die Haftung ausgeschlossen.

Druck: schöne drucksachen GmbH, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier nach DIN EN ISO 9706

ISSN 0171-7197
ISBN 978-3-410-65266-3

Der Stadtbaustein im DAfStb/BMBF-Verbund-
forschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“
Dossier zu Nachhaltigkeitsuntersuchungen – Teilprojekt A

von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Dipl.-Ing. Thorsten Bleyer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Marten F. Brunk
Dr.-Ing. Tobias Dreßen
Dipl.-Ing. Christian Fensterer
Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen
Dipl.-Ing. Andreas Haas
Dipl.-Ing. Norbert Hanenberg
Prof. Dr. Bruno Hauer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger
Dr.-Ing. Ingo Heusler
Dipl.-Ing. Sylvia Keßler
Dr.-Ing. Torsten Mielecke
Dr.-Ing. Christian Piehl
Univ.-Prof. Dr.-Ing. h.c. Dr.-Ing. E.h. Hans-Wolf Reinhardt
Dr.-Ing. Carolin Roth
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Peter Schießl
Prof. Dr. Hartwig N. Schneider
Dr.-Ing. Joachim Schwarte
Dipl.-Ing. Herbert Sinnesbichler
Dr.-Ing. Udo Wiens
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Konrad Zilch

1. Auflage 2014

Herausgeber:
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. – DAfStb

(Leerseite)

Vorwort

Nachhaltig Bauen mit Beton – Ein gemeinsames Forschungsprojekt der deutschen Betonindustrie

1 Bedeutung der Betonbauweise im Umfeld der Nachhaltigkeit

Die Betonbauweise nimmt innerhalb des gesamten Bauwesens vor allem aufgrund der eingesetzten Mengen an Material, der großen Breite der Anwendungen und der in der Leistungsfähigkeit der Bauweise begründeten Entwicklungspotenziale eine herausragende technische und wirtschaftliche Stellung ein. So wurden im Jahr 2009 in Deutschland rund 38 Mio. m³ Transportbeton hergestellt, hinzukommen in gleicher Größenordnung Betonfertigteile und Betonwaren. Als Anwendungsbeispiele lassen sich Wohn- und Bürobauten mit Fundamenten, Decken, Wänden, Stützen, Treppen und Balkonen ebenso finden wie im Industriebau (Industriefußböden, Kühltürme), im landwirtschaftlichen Bauen (Ställe, Gülle- und Biogasbehälter) oder bei Infrastrukturmaßnahmen (Straßenbeläge, Schwellen und feste Fahrbahn bei Eisenbahnstrecken, Schleusen und Dämme im Wasserbau, Tunnel, Maste). Die Anwendungsmöglichkeiten werden zudem durch die Entwicklungen in der Betontechnik, wie z. B. den hochfesten Betonen, erweitert. Diese exemplarisch ausgewählten Zahlen und Beispiele verdeutlichen, dass eine nachhaltige Entwicklung insbesondere im Betonbau umgesetzt werden muss, wenn sie im Bauwesen allgemein auf breiter Ebene Wirkung entfalten soll.

2 DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“

Der im Jahr 2001 herausgegebene Sachstandbericht zum nachhaltigen Bauen mit Beton, der als Heft 521 in der Schriftenreihe des DAfStb erschienen ist, wurde zum Anlass genommen, einen Forschungsantrag für ein Verbundvorhaben zu erstellen und beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) einzureichen. Im Jahr 2005 schließlich wurde das DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhaben mit dem Titel „Nachhaltig Bauen mit Beton“ in einer ersten Phase bewilligt. Der Abschlussbericht zu dieser ersten Projektphase wurde im Jahr 2007 in der Schriftenreihe des DAfStb veröffentlicht (Heft 572). Die Anschlussfinanzierung der zweiten Projektphase erfolgte im November 2006.

Bei einer Gesamtlauzeit des Vorhabens von Mai 2005 bis Oktober 2009 über beide Phasen war das Vorhaben mit einem Gesamtvolumen von rd. 3,5 Mio. EUR ausgestattet. Der Anteil der Industriebeteiligung am Gesamtvolumen, bestehend aus finanziellen Zuwendungen der Baustoffindustrie (Zement- und Zusatzstoffindustrie, Transportbetonindustrie, Fertigteilindustrie), der Bauindustrie sowie der Bauenden Verwaltungen betrug dabei rd. 25 %.

Um das nachhaltige Bauen mit Beton zu fördern und in der Praxis zu verankern, müssen Grundsätze zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten bei der Planung, Ausführung, Nutzung und dem Rückbau von Betonbauwerken formuliert werden. Hierzu müssen

- Nachhaltigkeitsaspekte in bestehende Planungs- und Ausführungsgrundsätze integriert werden,
- bereits bestehende Bewertungsverfahren zum nachhaltigen Bauen auf die Bedürfnisse und Randbedingungen des Betonbaus zugeschnitten werden,
- den am Bau beteiligten Partnern Vorschläge für technische Lösungen insbesondere unter Berücksichtigung der Schnittstellen einzelner Lebenswegphasen zur Verfügung gestellt werden,
- Planungswerkzeuge und neue Informations- und Kommunikationstools akteursbezogen entwickelt werden, die den Transfer relevanter Informationen entlang des Lebensweges sicherstellen.

Um diese Forderungen erfüllen zu können, wurden innerhalb des Verbundforschungsvorhabens insgesamt sechs Forschungsschwerpunkte eingerichtet. Diese sind im Einzelnen:

- Teilprojekt A: Nachhaltigkeitsbeurteilung baulicher Lösungen aus Beton,
- Teilprojekt B: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau,
- Teilprojekt C: Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau,
- Teilprojekt D: Lebensdaueremanagementsystem,
- Teilprojekt E: Effiziente Sicherstellung der Umweltverträglichkeit,
- Teilprojekt F: Informationsplattform „Nachhaltig Bauen mit Beton“.

Wie bei durch den DAfStb koordinierten Verbundforschungsvorhaben üblich, wurden die Ergebnisse der Forschung in der Schriftenreihe veröffentlicht. Der Struktur der Forschungsprojekte folgend, wurden im Einzelnen die folgenden Abschlussberichte aus der zweiten Projektphase in die Schriftenreihe aufgenommen:

- Graubner, C.-A., et al.: Der Stadtbaustein im DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ – Dossier zu Nachhaltigkeitsuntersuchungen – Schlussbericht zum TP A im Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“. Berlin: Beuth – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2014), Nr. 588;
- Hauer, B., et al.: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau – Schlussbericht zum TP B im Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“. Berlin: Beuth – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2011), Nr. 584 (Beitrag 1);
- Brameshuber W., et al.: Effiziente Sicherstellung der Umweltverträglichkeit – Schlussbericht zum TP E im Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“. Berlin: Beuth – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2011), Nr. 584 (Beitrag 2);
- Hegger, J., et al.: Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau – Schlussbericht zum TP C im Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“. Berlin: Beuth – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2011), Nr. 585;

- Schießl, P., et al.: Lebenszyklusmanagementsystem zur Nachhaltigkeitsbeurteilung – Schlussbericht zum TP D im Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“. Berlin: Beuth – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2011), Nr. 586;
- Reinhardt, H.-W., et al.: Online-Informationssystem „NBB-Info“ – Schlussbericht zum TP F im Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“. Berlin: Beuth – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2011), Nr. 587.

3 Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton

Abgeleitet aus den Forschungsarbeiten hat der DAfStb in seiner Funktion als Regelwerksetzer über einen Zeitraum von 2008 bis 2013 an der Erstellung einer DAfStb-Richtlinie „Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton (GrunaBau)“ als weiteres zentrales Ergebnis aus dem Verbundvorhaben gearbeitet. In der „GrunaBau“ werden die wesentlich am Betonbau Beteiligten eine Unterstützung für eine Umsetzung nachhaltigen Bauens finden. Durch die Bündelung der gesamten Industrieinteressen im DAfStb (Tragwerkplaner, Baustoffhersteller, Bauindustrie, Behörden, private und öffentliche Bauherren) wird schließlich die Umsetzung der Leitlinien in die Normung und die Praxis sichergestellt. In der „GrunaBau“ werden die für den Betonbau maßgebenden Nachhaltigkeitskriterien konkretisiert, der erforderliche Informationsfluss zwischen den Beteiligten festgelegt und technische Empfehlungen zur Umsetzung des nachhaltigen Bauens mit Beton gegeben. Derzeit wird das Leitpapier noch in den verschiedenen Gremien des DAfStb beraten. Die Veröffentlichung als Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton wird im Jahr 2015 erwartet.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt dem BMBF, das die zweite Projektphase des Verbundvorhabens im Rahmen seines Programms „Forschung für Nachhaltigkeit (www.fona.de)“ unter dem Förderkennzeichen 0330780 gefördert hat.

Darüber hinaus haben sich folgende Drittmittelgeber in dankenswerter Weise an der Finanzierung der zweiten Projektphase des Forschungsverbundes beteiligt:

S	1	2
Z	Teilprojekt	Drittmittelgeber
1	A: Nachhaltigkeitsbeurteilung baulicher Lösungen aus Beton	- Bilfinger Berger AG
2	B: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau	- VGB-Forschungsstiftung - Bundesvereinigung Recycling-Baustoffe e.V.
3	C: Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau	- Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteiltbau e.V. - Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. - Institut für Stahlbetonbewehrung e. V. - Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. - Bilfinger Berger AG - Ed. Züblin AG - Audi AG - Bundesverband Spannbeton-Fertigdecken e.V.
4	D: Lebensdauermanagementsystem	- Autobahndirektion Süd - Landeshauptstadt München - Ed. Züblin AG - Bundesanstalt für Wasserbau - Torkret - Suspa-DSI - Hochtief AG - Max Bögl Softwareentwicklung
5	E: Effiziente Sicherstellung der Umweltverträglichkeit	- Bilfinger Berger AG - Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V.
6	F: Informationsplattform „Nachhaltig Bauen mit Beton“	- InformationsZentrum Beton GmbH

Die DAfStb-Hefte zu dem Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ sind Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerd Thielen gewidmet, der am 31. Oktober 2010 im Alter von nur 68 Jahren verstarb. Herr Professor Thielen war ein leidenschaftlicher Wissenschaftler und ein Wegbereiter für zukunftsfähige Bauweisen, die er maßgeblich mitgestaltet hat. Er verstand es in besonderer Weise, sein Wissen weiterzugeben, jüngere Menschen wissenschaftlich zu begleiten und sie zu fördern. Er hat die Betonbauweise in vielen nationalen und internationalen Gremien vertreten und den Weg für praxisgerechte Lösungen bereitet. Mit seinem ihm eigenen großen Engagement hat Gerd Thielen das Verbundforschungsvorhaben von seiner Initiierungsphase im Jahr 2002 bis zur Realisierung der ersten Projektphase im Jahr 2005 maßgebend gestaltet. Als Sprecher in der ersten Projektphase von 2005 bis 2006 hat er das Verbundforschungsvorhaben vertreten und die Weichen für die Fortsetzung gestellt.

Berlin, September 2014

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Peter Schießl, Ingenieurbüro Schießl · Gehlen · Sodeikat, München
(Sprecher des Verbundforschungsvorhabens)

Dr.-Ing. Udo Wiens, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V., Berlin
(Koordination des Verbundforschungsvorhabens)

**Der Stadtbaustein im DAfStb/BMBF-
Verbundforschungsvorhaben
„Nachhaltig Bauen mit Beton“
– Dossier zu
Nachhaltigkeitsuntersuchungen –
Teilprojekt A**

von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Dipl.-Ing. Thorsten Bleyer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Marten F. Brunk
Dr.-Ing. Tobias Dreßen
Dipl.-Ing. Christian Fensterer
Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen
Dipl.-Ing. Andreas Haas
Dipl.-Ing. Norbert Hanenberg
Prof. Dr. Bruno Hauer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger
Dr.-Ing. Ingo Heusler
Dipl.-Ing. Sylvia Keßler
Dr.-Ing. Torsten Mielecke
Dr.-Ing. Christian Piehl
Univ.-Prof. Dr.-Ing. h.c. Dr.-Ing. E.h. Hans-Wolf Reinhardt
Dr.-Ing. Carolin Roth
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Peter Schießl
Prof. Dr. Hartwig N. Schneider
Dr.-Ing. Joachim Schwarte
Dipl.-Ing. Herbert Sinnesbichler
Dr.-Ing. Udo Wiens
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Konrad Zilch

Das diesem Bericht zugrunde liegende DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 0330780A und mit Drittmitteln gefördert.
Projektträger: Forschungszentrum Jülich GmbH, Berlin
Projektleitung: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.
Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung übernehmen die Autoren.

Kurzfassung

Beim Bauen mit Beton ergibt sich im Laufe des Lebenszyklus eines Bauwerks auf mehreren Ebenen die Möglichkeit, Einfluss auf verschiedene Nachhaltigkeitsaspekte zu nehmen. Unter Beachtung der konkreten Bauaufgabe bieten die Verwendung von Sekundärstoffen in der Herstellung von Zement und Beton, die Nutzung ressourceneffizienter Tragwerke, energieoptimiertes Bauen unter Ausnutzung der materialinhärenten Eigenschaften oder ein Lebenszyklusmanagement mit optimierten Instandhaltungsmaßnahmen unterschiedliche Ansatzpunkte, dem Ziel nachhaltigen Bauens näher zu kommen.

Im vorliegenden Dossier werden verschiedene Nachhaltigkeitsaspekte anhand eines eigens entwickelten Referenzgebäudes, dem sogenannten „Stadtbaustein“, eingehend untersucht. Mit der detaillierten ökologischen und ökonomischen Analyse des Gebäudes werden folgende Einzelziele verfolgt:

- Konkretisierung des nachhaltigen Bauens mit Beton anhand des Stadtbausteins;
- Darstellung der Einflussmöglichkeiten auf die ökonomischen und ökologischen Aufwendungen von Gebäuden mit einer Tragstruktur aus Beton in den Bereichen „Entwurf“, „Baustoffherstellung“ und „Bemessung“;
- Darstellung des Anteiles der Tragstruktur aus Beton an der Gesamtökobilanz und den Lebenszykluskosten des Gebäudes;
- Weiterentwicklung der „Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton“ (GrunaBau) durch weitergehende Sensitivitätsanalysen bei den Eingangsgrößen auf Bauteil-, Tragwerks- und Gebäudeebene.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im vorliegenden Dossier zusammengefasst. Es richtet sich gleichermaßen an Forschungseinrichtungen, die sich mit dem nachhaltigen Bauen mit Beton befassen, an Fachplaner und Architekten, an Baustoffhersteller, Bauunternehmen sowie an Bauherren. Nach einer allgemeinen Beschreibung des Anforderungsprofils für den Stadtbaustein erfolgt die Darstellung der betrachteten Nutzungsprofile anhand eines ausgewählten Nutzungsszenarios. Dabei wird unterschieden in eine Standardvariante und eine Flexible Variante des Stadtbausteins, die jeweils Phasen der Büronutzung und der Wohnnutzung beinhalten.

Abstract

Multi-plane chances arising in building with concrete exert influence on different sustainable aspects in course of the life cycle of a building. Considering the precise construction task the application of secondary constituents and additions in the production of cement and concrete offer different starting-points to approach the aim of sustainable constructions, as well as the use for resource-efficient frames, energy optimized buildings under utilization of the material inherent characteristics or a life cycle management with optimized maintenance arrangements.

In the present dossier different aspects of sustainability are examined in detail with the help of a specifically developed reference building, the so-called “Stadtbaustein”. A detailed ecological and economic analysis of the building has been conducted with the following single-targets:

- sustainable concrete construction concretized with the help of the „Stadtbaustein“;
- demonstration of the chances of influence on the economic and ecological necessities of buildings with a load bearing structure made from concrete considering “planning”, “production of building material” and “design”;
- demonstration of the contribution of the structural load bearing structure made from concrete referring to the total ecobalance and the life cycle costing of the building;
- further development of the “Principles of building sustainable with concrete” (GrunaBau) by the means of advanced sensitivity analysis based on the input parameters consisting of the levels of building components, structural systems and the building itself.

The results of these examinations are concentrated in the present dossier. It is addressed similarly to research institutions, which are engaged in sustainable concrete construction, to designers and architects, to producer of building materials, to building companies as well as to house builders. After a general description of the requirement profile for the “Stadtbaustein” follows a presentation of the considered user profiles with the help of a selected user scenario. Thereby a standard variant and a flexible variant of the “Stadtbaustein” will be differentiated. Each version includes phases of residential and office use.

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZIELSETZUNGEN UND ADRESSATEN DES DOSSIERS	10
1.1	Übersicht.....	10
1.2	Begriffe.....	12
2	BESCHREIBUNG DES STADTBAUSTEINS	20
2.1	Anforderungsprofil Stadtbaustein	20
2.1.1	Allgemeine Beschreibung.....	20
2.1.2	Lastannahmen	21
2.1.3	Bauphysik	21
2.1.4	Technische Gebäudeausrüstung.....	22
2.2	Beschreibung der Nutzungsprofile	23
2.2.1	Allgemeine Beschreibung der Nutzungsszenarios	23
2.3	Tragstruktur	26
2.3.1	Allgemeine Beschreibung.....	26
2.3.2	Detailbeschreibung Variante Flexible Struktur	29
2.3.3	Detailbeschreibung Variante Standard.....	32
2.4	Bauteilkatalog	37
2.4.1	Allgemeines	37
2.4.2	Bauteilbeschreibungen	37
2.5	Baustoffe.....	42
2.6	Nutzbarkeitsdauer der Bauteile für die Lebenszyklusbetrachtung	42
3	ÖKOLBILANZ DES STADTBAUSTEINS – VARIANTENVERGLEICH ZWISCHEN STANDARDSTRUKTUR UND FLEXIBLEM KONZEPT	42
3.1	Allgemeines	42
3.2	Randbedingungen	43
3.2.1	Überblick über die beiden Varianten	43
3.2.2	Energiebedarf	44
3.2.3	Baustoffprofile für Beton und andere Baustoffe	51
3.3	Ergebnis der Ökobilanzierung	57
3.3.1	Allgemeines	57
3.3.2	Herstellung.....	57
3.3.3	Nutzungsphase.....	62
3.3.4	Beseitigungsphase	63
3.3.5	Gesamtbetrachtung	63
4	UNTERSUCHUNG DER VARIATION VON EINZELASPEKTEN BEI DER FLEXIBLEN STRUKTUR DES STADTBAUSTEINS	65
4.1	Untersuchte Variationen	65
4.2	Variation der zementgebundenen Baustoffe	66
4.2.1	Untergeschoss.....	66
4.2.2	Variation der Zementart für die Deckenfertigteilsysteme	68
4.2.3	Spannstahl.....	69
4.3	Variation der Ausbaukomponenten	69
4.4	Variation des energetischen Anforderungsniveaus	71
4.5	Variation Untergeschosse.....	78

4.5.1	Variation des statischen Systems.....	78
4.5.2	Variation der Deckendicken.....	79
4.6	Variation des Dauerhaftigkeitskonzepts der Untergeschosse.....	82
4.6.1	Allgemeines	82
4.6.2	Alternativkonzept zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit.....	82
4.6.3	Verteilung der Monitoringinstrumente in der Tiefgarage des Stadtbausteins	83
4.6.4	Anwendung des Lebensdauermanagements auf die Tiefgarage des Stadtbausteins.....	84
4.6.5	Auswirkung auf die Ökobilanz	87
4.7	Variation der Transportwege	88
5	LEBENSZYKLUSKOSTENRECHNUNG AM STADTBAUSTEIN – VARIANTENVERGLEICH ZWISCHEN STANDARDSTRUKTUR UND FLEXIBLEM KONZEPT	91
5.1	Allgemeines	91
5.2	Randbedingungen	91
5.2.1	Überblick über die Kostenarten	91
5.2.2	Parameter der Lebenszykluskostenrechnung	92
5.2.3	Kostenansätze	93
5.3	Ergebnis der Lebenszykluskostenrechnung.....	94
5.3.1	Erstellung.....	94
5.3.2	Nutzung und Umbau	96
5.3.3	Rückbau.....	100
5.3.4	Gesamtbetrachtung	100
5.3.5	Einfluss von Preissteigerung und Diskontierung auf den Barwert	100
5.4	Schlussfolgerungen	102
6	AUSGEWÄHLTE BEWERTUNGEN DER FUNKTIONALITÄT.....	102
6.1	Adaptivität	102
6.2	Thermische Behaglichkeit.....	105
7	ZUSAMMENFASSUNG	110
8	AUSBLICK	114
9	LITERATUR	116
ANHANG A	119	
A1	Bauteilaufbauten – Flexible Struktur.....	119
A1.1	Dachaufbauten	119
A1.2	Außenwandaufbauten.....	120
A1.3	Innenwandaufbauten	122
A1.4	Stützen und Unterzüge	125
A1.5	Geschossdecken	126
A1.6	Bodenplatte.....	128
A2	Bauteilaufbauten – Standard Büro	128
A2.1	Dachaufbau	128
A2.2	Außenwandaufbauten.....	128
A2.3	Innenwandaufbauten	128
A2.4	Stützen.....	129
A2.5	Geschossdecken	129
A2.6	Bodenplatte.....	130
A3	Bauteilaufbauten – Standard Wohnen.....	131
A3.1	Dachaufbau	131
A3.2	Außenwandaufbauten.....	131

A3.3	Innenwandaufbauten	132
A3.4	Stützen.....	134
A3.5	Geschossdecken	134
A3.6	Bodenplatte.....	135
ANHANG B		136
ANHANG C		137
C1	Energetisches Anforderungsniveau „EnEV“	137
C2	Energetisches Anforderungsniveau „HWB 15“	138

1 ZIELSETZUNGEN UND ADRESSATEN DES DOSSIERS

1.1 Übersicht

Beim Bauen mit Beton ergibt sich im Laufe des Lebenszyklus eines Bauwerks auf mehreren Ebenen die Möglichkeit, Einfluss auf verschiedene Nachhaltigkeitsaspekte zu nehmen. Unter Beachtung der konkreten Bauaufgabe können die Verwendung von Sekundärstoffen in der Herstellung von Zement und Beton, die Nutzung ressourceneffizienter Tragwerke, energieoptimiertes Bauen unter Ausnutzung der materialinhärenten Eigenschaften oder ein Lebenszyklusmanagement mit optimierten Instandhaltungsmaßnahmen unterschiedliche Ansatzpunkte bieten, dem Ziel nachhaltigen Bauens näher zu kommen. Vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung in Deutschland und dem damit verbundenen Strukturwandel in den Städten besitzt insbesondere die Anpassungsfähigkeit von Stadtstrukturen sowie die Flexibilität für Nutzungsänderungen innerhalb bestehender und zu erstellender Gebäudestrukturen eine große Bedeutung. Die Entwicklung von Gebäudekonzepten einschließlich des technischen Ausbaus mit hoher Anpassungsfähigkeit an geplante Nutzungsänderungen leistet einen wesentlichen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung. Im vorliegenden Dossier werden hierzu die Nutzungen „Wohnen“ und „Büro“ betrachtet. Anpassungsfähigkeit beinhaltet dabei auch, dass technische Anlagen und deren Teile mit vertretbarem Aufwand gewartet, Instand gesetzt, rückgebaut und umgebaut werden können. Nachhaltige Gebäude sind außerdem nutzergerechte Gebäude, das heißt, dass die Nutzer sich behaglich fühlen und ein gesundes Raumklima vorfinden. Zur Umsetzung dieser Anforderungen muss die Tragstruktur aus Beton so konzipiert werden, dass eine einfache Veränderung von Grundrissen und eine Anpassung der Haus- und Gebäudetechnik bei Nutzungsänderungen innerhalb der Gebäudelebensdauer möglich wird.

Im Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ wurde dieser Themenkomplex an einem eigens entwickelten Referenzgebäude, dem sogenannten Stadtbaustein, eingehend untersucht. Mit der detaillierten ökologischen und ökonomischen Analyse des Gebäudes sollen folgende Einzelziele erreicht werden:

- Konkretisierung des nachhaltigen Bauens mit Beton anhand des Stadtbausteins;
- Darstellung der Einflussmöglichkeiten auf die ökonomischen und ökologischen Aufwendungen von Gebäuden mit einer Tragstruktur aus Beton in den Bereichen „Entwurf“, „Baustoffherstellung“ und „Bemessung“;
- Darstellung des Anteiles der Tragstruktur aus Beton an der Gesamtökobilanz und den Lebenszykluskosten des Gebäudes;
- Weiterentwicklung der „Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton“ durch weitergehende Sensitivitätsanalysen bei den Eingangsgrößen auf Bauteil-, Tragwerks- und Gebäudeebene.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im vorliegenden Dossier zusammengefasst. Es richtet sich gleichermaßen an Forschungseinrichtungen, die sich mit dem nachhaltigen Bauen mit Beton befassen, an Fachplaner und Architekten, an Baustoffhersteller, Bauunternehmen sowie an Bauherren. Im anschließenden Abschnitt 2 wird zunächst der Untersuchungsgegenstand vorgestellt. Nach einer allgemeinen Beschreibung des Anforderungsprofils für den Stadtbaustein erfolgt die Darstellung der betrachteten Nutzungsprofile anhand eines ausgewählten Nutzungsszenarios. Dabei wird unterschieden in eine Standardvariante und eine Flexible Variante des Stadtbausteins, die jeweils Phasen der Büronutzung und der Wohnnutzung beinhalten.

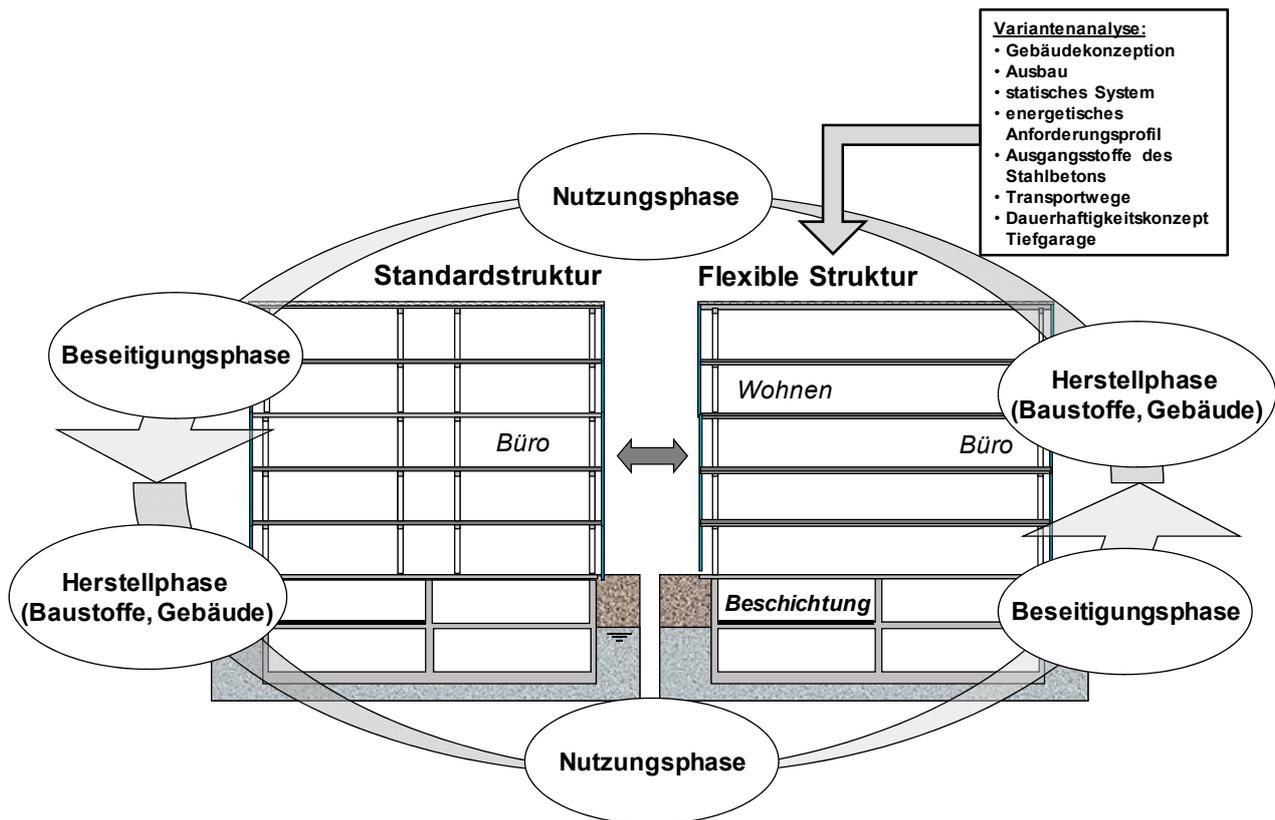


Bild 1.1: Das Referenzgebäude der Stadtbaustein – Gegenstand für die vergleichende Nachhaltigkeitsanalyse im Dossier

Für die beiden Varianten wurden jeweils Tragstrukturen entwickelt, die in Abschnitt 2.3 ausführlich beschrieben sind. Bauteilkataloge für Dach, Außen- und Innenwände, Decken und die Technische Gebäudeausrüstung erweitern die Tragstruktur zum kompletten Gebäude. In Abschnitt 3 wird eine ökologische Bilanz für das Gebäude unter Berücksichtigung der Umnutzungen über den gesamten Lebenszyklus erstellt. Verglichen werden die ökologischen Wirkungen für beide Varianten einschließlich der Umweltwirkungen, die durch den Betrieb entstehen. In Abschnitt 4 werden in einzelnen Variationsbetrachtungen die Einflussnahmemöglichkeiten durch verschiedene Maßnahmen betrachtet. Dazu zählt die Variation

- der zementgebundenen Baustoffe,
- der Ausbaukomponenten,
- des energetischen Anforderungsniveaus,
- des statischen Systems und der Deckendicken im Untergeschoss,
- des Dauerhaftigkeitskonzeptes im Untergeschoss und
- der Transportwege.

Der anschließende Abschnitt 5 ergänzt den Variantenvergleich zwischen Standardstruktur und Flexibler Struktur um eine Darstellung der Lebenszykluskosten. In Abschnitt 6 wird schließlich eine Bewertung der Adaptivität sowie der thermischen Behaglichkeit am Stadtbaustein vorgenommen, bevor das Dossier mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf weitere Entwicklungen schließt.

Es erfolgt kein Vergleich mit anderen Bauarten. Weiterhin wurden bei der Analyse des Stadtbausteins keine Betrachtungen der Freisetzung von gefährlichen Stoffen in die Innenraumluft, den Boden oder das Grundwasser angestellt. Generelle Informationen zur Freisetzung von gefährlichen Stoffen in den Boden und das Grundwasser sind in /1/ und /2/ zu diesem Verbundvorhaben enthalten.

Die in diesem Dossier durchgeführten Nachhaltigkeitsuntersuchungen an dem Referenzgebäude Stadtbaustein wurden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), den Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) und verschiedene Industrie- und Verbandspartner gefördert (Förderkennzeichen 0330702 und 0330780). Die einzelnen Teilberichte zu dem Verbundforschungsvorhaben sind in Heft 584, Heft 585, Heft 586 und Heft 587 in der Schriftenreihe des DAfStb erschienen. Die Ergebnisse finden auch Eingang in die „Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton (GrunaBau)“, die nach Abstimmung in den Gremien des DAfStb voraussichtlich im Jahr 2015 erscheinen werden.

1.2 Begriffe

Die nachfolgenden Begriffe wurden auszugsweise dem im Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ entwickelten Thesaurus entnommen (s. a. www.nbb-forschung.de). Die Begriffe werden entweder unmittelbar in diesem Dossier verwendet oder dienen dem besseren Verständnis der Gesamtzusammenhänge im Themenkomplex des nachhaltigen Bauens mit Beton. Die Quellenangaben sind ebenfalls im Thesaurus hinterlegt.

Abbruch	Methode, die auf der planmäßigen Zerstörung eines Bauwerks bzw. einzelner Bauteile basiert
Abfall	Substanzen oder Gegenstände, die der Eigentümer für die Beseitigung vorgesehen hat oder die er beseitigen muss
Abschneidekriterien	Festlegung der Stoffmenge, eines Energieflusses oder des Grades von Umweltrelevanz, die/der mit Prozessmodulen oder Produktsystemen verbunden sind, welche von einer Studie ausgeschlossen werden können
Adaptivität	Fähigkeit zur Anpassung an wechselnde Anforderungen der Nutzer
Angenommene Nutzbarkeitsdauer	Zeitspanne, in der ein Gebäude oder ein zusammengesetztes Bauteil erwartungsgemäß unter bestimmten Nutzungsbedingungen alle Anforderungen erfüllt
Anthropogener Treibhauseffekt	Der Treibhauseffekt bewirkt umgangssprachlich die Erwärmung eines Planeten durch Treibhausgase und Wasserdampf in der Atmosphäre. Ursprünglich wurde der Begriff verwendet, um den Effekt zu beschreiben, dass hinter Glasscheiben und dadurch im Innenraum eines verglasten Gewächshauses die Temperaturen ansteigen, solange die Sonne darauf scheint. Heute fasst man den Begriff viel weiter und bezeichnet, wegen ähnlicher physikalischer Grundlagen beider Vorgänge, den atmosphärischen Wärmestau der von der Sonne beschienenen Erde als atmosphärischen Treibhauseffekt. Der durch menschliche Eingriffe entstandene Anteil am atmosphärischen Treibhauseffekt wird anthropogener Treibhauseffekt genannt.
Auswertung (einer Ökobilanz)	Bestandteil der Ökobilanz, bei dem die Ergebnisse der Sachbilanz oder der Wirkungsabschätzung oder beide bezüglich des festgelegten Ziels und Untersuchungsrahmens beurteilt werden, um Schlussfolgerungen abzuleiten und Empfehlungen zu geben
Auswirkung	Positive oder negative Veränderung der ökologischen, ökonomischen und sozio-kulturellen/funktionalen Qualitäten, ganz oder teilweise verursacht durch Bauwerke, Bauteile oder Prozesse und Dienstleistungen innerhalb des Betrachtungszeitraumes unter Berücksichtigung der definierten Systemgrenzen
Auswirkung auf Gesundheit und Behaglichkeit	Auswirkung auf das menschliche Wohlbefinden, ganz oder teilweise verursacht durch Bauwerke, zusammengesetzte Bauteile oder Prozesse und Dienstleistungen während ihres Lebenszyklus
Auswirkungen (der Eutrophierung)	Bei Überdüngung (Eutrophierung) durch Nährstoffe in Gewässern (Flüssen, Seen, Meere) kommt es zu einem schnellen Algenwachstum. Damit dringt weniger Sonnenlicht in tiefere Schichten vor. Folge davon ist eine geringere Photosynthese und damit verbunden eine verminderte Sauerstoffproduktion. Ist nicht genügend Sauerstoff vorhanden, setzt eine anaerobe Zersetzung ein (ohne Sauerstoffzufuhr). Es bilden sich dann u. a. Schwefelwasserstoff (H ₂ S) und Methan (CH ₄).
Auswirkungen (des Smog)	Stickoxide und Ozon reizen die Schleimhäute und können zu chronischen Atemwegserkrankungen führen. Kohlenwasserstoffverbindungen können krebserregend sein. Stärkere körperliche Belastungen (auch Sport) sollen bei Smog-Alarm vermieden werden. Smog ist ein Problem vieler Großstädte. Photochemische

Ozonbildung in der Troposphäre steht stark im Verdacht, zu Wald-, Vegetations- und Materialschäden zu führen. Höhere Konzentrationen von Ozon sind human-toxisch.

Auswirkungen (des Ozonabbaus in der Stratosphäre) Durch die Zerstörung der Ozonschicht gelangt mehr UV-Licht auf die Erdoberfläche, was beim Menschen zu Hautschäden bis hin zum Hautkrebs führen kann. Bei fehlender Ozonschicht droht sogar Erblindung innerhalb weniger Stunden.

Auswirkungen (des Treibhauseffektes) Im Gegensatz zum auf geologischen Zeitskalen ablaufenden natürlichen atmosphärischen Treibhauseffekt mit seinen Regulationsmechanismen läuft der anthropogene Treibhauseffekt in extrem kurzer Zeit ab. Die Erhöhung der Konzentration der Treibhausgase in den letzten 100 Jahren (CO₂ um etwa 35 %, Methan um ca. 150 % durch Reisanbau, Rinderzucht und Müllfäulnis) führte zu einer Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur um ca. 0,8 K in den letzten 100 Jahren. Begründet wird der anthropogene Treibhauseffekt mit dem Anstieg der Treibhausgase auf das Doppelte des vorindustriellen Niveaus, wie es auch im IPCC-Bericht angegeben ist. Die Empfindlichkeit des Klimas auf CO₂-Änderungen wird als Klimasensitivität bezeichnet. Diese Klimasensitivität liegt bei den verschiedenen globalen Klimamodellen bei 1,5 °C bis 4,5 °C, wobei die meisten Modelle ca. 3 °C für eine Verdopplung der CO₂-Konzentration gegenüber den präindustriellen Werten berechnen. Die Ergebnisse der Klimamodelle zeigen auch die Zunahme von Wetterextremen, den Anstieg des Meeresspiegels und Veränderungen an der Eisbedeckung der Erde.

Auswirkungen (der Versauerung) Man unterscheidet (allgemein) Wirkungen auf Gebäude, Vegetation, Böden, Gewässer und die menschliche Gesundheit. Saurer Regen kann durch die Versauerung des Bodens Pflanzen schädigen und wurde ursächlich mit Baumschädigungen („Waldsterben“) in Verbindung gebracht. Durch die Übersäuerung des Bodens wird die natürliche Zusammensetzung des Bodens gestört. Es werden giftige Schwermetallionen freigesetzt, die die Feinwurzeln der Bäume absterben lassen. Dadurch entstehen Störungen im Wasser- und Nährstoffhaushalt des Baumes und seine Widerstandskraft nimmt stark ab. Diese Bäume sind nun anfälliger, was Krankheiten und natürliche Belastungen betrifft. Selbst Bodenfrost oder ein Schädlingsbefall können jetzt erhebliche Schäden anrichten. Auch Gewässer werden zunehmend durch Säureaustrag belastet. Dabei erfolgt der Säureeintrag weniger direkt über die sauren Niederschläge als eher indirekt über die Zuflüsse. Durch den Bodenabfluss und als Folge des Säureeintrags reichern sich im Wasser Metall-Kationen, z. B. Al₃⁺, an, die als Zellgifte wirken und zu einer Artenverarmung führen können. Saurer Regen greift insbesondere Sand- und Kalkstein an.

Barwert Wert, den Zahlungen zum Zeitpunkt der Bewertung besitzen

Bauhilfsstoffe Während der Bauphase eingesetzte Materialien, welche nicht unmittelbar Teil des Bauwerks werden

Bauprodukt Ware, die hergestellt oder bearbeitet/veredelt wurde, um in ein Bauwerk eingefügt zu werden

Bauteil aus Beton Rohbauteil ohne Komponenten aus Nichtbeton

Bauteile Abgeschlossener aus einer oder mehreren Komponenten bestehender Teil eines Gebäudes, dem eine spezifische Funktion zugeordnet ist

Bauwerke aus Beton Alles mit Beton Gebaute. Anmerkung: Dies beinhaltet sowohl die Tragstruktur von Gebäuden und Ingenieurbauten als auch bauliche und nicht bauliche Elemente aus Beton.

Behaglichkeit	Nutzerzufriedenheit bezüglich Raumklima, Hygiene und Lichtverhältnissen
Betriebsprozess	Jede zum planmäßigen Betrieb des Gebäudes notwendige Aktion. Anmerkung: relevante Betriebsprozesse sind z. B. Heizen, Lüften, Beleuchten und Entwässern
Beurteilung	Bestandteil in der Auswertungsphase, der dazu dient, das Vertrauen in die Ergebnisse der Ökobilanz zu stärken
Dauerhaftigkeit	Fähigkeit, technische Qualitätsmerkmale unter den in der Nutzung zu erwartenden Einflüssen bei angemessener Instandhaltung beizubehalten
Demontage	Rückbaumethode mit dem Ziel, ganze Bauteile (zur Wiederverwendung) zu gewinnen
Emissionen	Stoffabgabe in Luft, Einleitungen in Wasser und Verunreinigung von Boden
Endenergie	Energiegehalt der Energieträger, die über die Systemgrenze hinweg an das Gebäude geliefert werden, um die Nutzungsanforderungen (Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasserbereitung, Beleuchtung, andere Anforderungen) zu erfüllen
Energieaufwand für den Gebäudebetrieb	Auf ein Gebäude bezogener Energiebedarf in der Betriebs- und Nutzungsphase für den Betrieb von Kühlung, Heizung, Warmwasser, Beleuchtung, Gebäudeautomation und –steuerung
Entsorgung	Behandlung von Abfall, der nicht der Rückgewinnung dient
Entwurf	Ergebnis der Entwurfsplanung
Erneuerbare Ressource	Ressource, die nachwachsen und in menschlichem Zeithorizont erneuert oder gereinigt werden kann
Eutrophierung	Als Eutrophierung wird der Vorgang bezeichnet, bei dem an einem Standort eine Nahrungs- und Nährstoffanreicherung erfolgt. Dieser Begriff wird für den Vorgang der Überdüngung durch natürliche und anthropogen bedingte Anreicherung und die dadurch auftretende Störung des biologischen Gleichgewichtes verwandt. Man unterscheidet hierbei zwischen aquatischer und terrestrischer Eutrophierung in Abhängigkeit davon, ob der Schadstoffeintrag in Gewässer oder in Form luftgetragener Emissionen in Böden erfolgt.
Eutrophierungspotenzial (EP)	Das Eutrophierungspotenzial (engl. eutrophication potential, EP) eines Baustoffs, Bauteils oder Bauwerks beschreibt die zur Boden- bzw. Gewässerüberdüngung beitragende Gesamtwirkung der in der zugehörigen Sachbilanz aufgeführten Stoffflüsse durch Aufsummierung der Eutrophierungspotenziale der einzelnen Emissionen. Es wird als Phosphat-Äquivalent quantifiziert.
Funktionale Einheit	Quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit
Funktionalität	Grad, in dem die Gebäudeeigenschaften die Nutzungsanforderungen und die damit verbundenen Bedürfnisse der Akteure erfüllen
Funktionelles Äquivalent	Als Bezugsgröße dienendes quantifiziertes technisches oder funktionelles Leistungsmerkmal eines Gebäudes oder eines Bauteils
Gebäude	Gewöhnlicherweise geschlossenes, nicht mobiles Bauwerk, das hauptsächlich dem Schutz seiner Nutzer oder seiner Inhalte dient
Gebäudequalität	Fähigkeit des Gebäudes, alle vorausgesetzten Funktionen unter bestimmungs-

gemäßiger Nutzung zu erfüllen

Geplante Nutzungsdauer	Nutzungsdauer, die vom Auftraggeber im Anforderungsprofil angegeben ist
Inspektion	Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes einer Betrachtungseinheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung
Instandhaltung	Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann
Instandsetzung	Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserungen
Kapitalwert	Der Kapitalwert einer Investition ist die Summe der Barwerte aller durch diese Investition verursachten Zahlungen (Ein- und Auszahlungen).
Komponente	Bauprodukt, als selbständige Einheit hergestellt, um einer oder mehreren bestimmten Funktion(en) zu dienen
Kriterien zur soziokulturellen und funktionellen Qualität	<p>Kriterien zur soziokulturellen und zur funktionellen Qualität erfassen und beschreiben Auswirkungen des Bauwerks auf die Gesellschaft oder die Lebensqualität und beschreiben die Funktionalität des Bauwerkes. Folgende Kriterien sind bei der Nachhaltigkeitsbewertung zu berücksichtigen:</p> <ul style="list-style-type: none">– Thermischer Komfort im Sommer;– Thermischer Komfort im Winter;– Akustischer Komfort;– Innenraumluftqualität;– Umnutzungsfähigkeit (Adaptivität);– Gestalterische Qualität (z. B. Sichtbeton).
Kriterien zur ökologischen Qualität	<p>Kriterien zur ökologischen Qualität erfassen und beschreiben Auswirkungen des Gebäudes auf die Umwelt. Folgende Kriterien und dazugehörige Indikatoren aus der Ökobilanz sind bei der Nachhaltigkeitsbewertung zu berücksichtigen:</p> <ul style="list-style-type: none">– Treibhauseffekt, gemessen durch den Indikator „Treibhauspotenzial (GWP)“;– Ozonschichtabbau, gemessen durch den Indikator „Ozonabbaupotenzial (ODP)“;– Versauerung, gemessen durch den Indikator „Versauerungspotenzial (AP)“;– Überdüngung, gemessen durch den Indikator „Überdüngungspotenzial (EP)“;– bodennahe Ozonbildung, gemessen durch den Indikator „Sommer-smogpotenzial (POCP)“;– energetischer Ressourcenverbrauch, gemessen durch den Indikator „Verbrauch an erneuerbarer / nicht erneuerbarer Primärenergie“. <p>Folgende ergänzende Informationen sind keine Kriterien, können aber bei der Erstellung einer Nachhaltigkeitsbewertung mit Bezug auf das Bauwerk erforderlich sein:</p> <ul style="list-style-type: none">– Verbrauch an Wasser während der Errichtung und des Abbruchs (Trinkwasser, Brauchwasser);– Verbrauch an Materialien im Bauwerk (recykliert / nicht recykliert);– Verbrauch an Materialien im Bauwerk (recyklierbar / nicht recyklierbar);– Abfallmengen (aufgeschlüsselt nach Abfallgruppen) während der Errichtung, der Nutzung und des Abbruchs;– Nutzungsdauer der Bauteile.

Kriterien zur ökonomischen Qualität	<p>Kriterien zur ökonomischen Qualität erfassen und beschreiben Auswirkungen des Bauwerkes auf die wirtschaftlichen Bedingungen. Folgende Kriterien sind bei der Nachhaltigkeitsbewertung zu berücksichtigen:</p> <p>a) Lebenszykluskosten, bestehend aus:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Planungs- und Entwurfskosten; – Errichtungskosten; – Nutzungskosten; – Instandhaltung- und Instandsetzungskosten; – Kosten für den Rückbau; – Kosten für die Entsorgung. <p>b) Wertstabilität des Bauwerks</p> <p>Weitere Informationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Nutzungsdauer der Bauteile; – ggf. externe Kosten.
Lebensdauer eines Bauwerks	Angenommene Zeitspanne von der Errichtung des Bauwerks bis zu seiner Beseitigung
Lebensdauerbemessung	Bemessung der Dauerhaftigkeit des Bauwerks für eine bestimmte Lebensdauer
Lebensdauermanagementsystem	Grundlegende Struktur von Prozessen und Verfahren, durch die sichergestellt wird, dass die über die Lebensdauer an das Betonbauwerk gestellten Anforderungen an die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit eingehalten werden
Lebenswegbetrachtung	Die Ökobilanz betrachtet den gesamten Lebensweg eines Produktes, von der Rohstoffgewinnung und -erzeugung über die Energieerzeugung und Materialherstellung bis zur Anwendung, Abfallbehandlung und endgültigen Beseitigung. Durch einen systematischen Überblick und eine Vorausschau kann die Verlagerung einer möglichen Umweltbelastung zwischen den Abschnitten oder einzelnen Prozessen des Lebensweges identifiziert und möglicherweise vermieden werden.
Lebenszyklus	Alle aufeinander folgenden und miteinander verbundenen Lebensphasen eines Bauwerks
Lebenszykluskosten	Kosten eines Gebäudes oder eines zusammengesetzten Bauteils, die während dessen Lebenszyklus entstehen
Nachhaltige Entwicklung	Entwicklung, welche die Nachhaltigkeit zum Ziel hat
Nachhaltigkeit	Zustand, in dem Funktionen und Systemkomponenten des Ökosystems, der Gesellschaft und des Wirtschaftssystems für jetzige und zukünftige Generationen erhalten werden
Nachhaltigkeitsbeurteilung	Vergleich einer Nachhaltigkeitsbewertung mit einem Anforderungsprofil
Nachhaltigkeitsbewertung	Ermittlung und Dokumentation der Werte des Realisierungsprofils
Nachhaltigkeitsindikator	Kontinuierliche Mess- oder Rechengröße, die im Zuge einer Nachhaltigkeitsbewertung einem Nachhaltigkeitskriterium zugeordnet ist
Nachhaltigkeitskriterium	Einzelaspekt im Zuge einer Nachhaltigkeitsbetrachtung
Nicht erneuerbare Ressourcen	Ressourcen, die in einer bestimmten Menge vorliegen und in menschlichem Zeithorizont nicht wieder herstellbar sind
Nutzbarkeitsdauer	Zeitspanne nach Inbetriebnahme, während der ein Gebäude oder ein zusammen-

gesetztes Bauteil gestellte Qualitätsanforderungen erfüllt oder übertrifft

Nutzer	Person oder Organisation, für die ein Bauwerk entworfen wird
Nutzungsdauer	Zeitspanne zwischen Beginn und Ende der Nutzung eines Bauwerkes, eines Bauteils oder einer Komponente
Nutzungsphase	Tatsächliche, geplante oder prognostizierte Zeitspanne innerhalb der Nutzungsdauer mit gleichbleibender definierter Nutzung
Nutzungsszenario	Eine sich über die Nutzungsdauer erstreckende angenommene Abfolge von Nutzungsphasen
Ökobilanz	Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Bauwerkes, eines Bauteils oder eines Bauproduktes im Verlauf seines Lebenszyklus
Ökologische Auswirkung	Auswirkung auf die Umwelt, ganz oder teilweise verursacht durch Bauwerke, zusammengesetzte Bauteile oder Prozesse und Dienstleistungen während ihres Lebenszyklus
Ökologische Qualität	Eigenschaft von Gebäuden oder von Bauteilen bezüglich ihrer Umweltauswirkungen und Umweltaspekte
Ökologisches Baustoffprofil	Zusammenstellung von in ökobilanziellen Berechnungen unter einheitlich definierten Randbedingungen ermittelten umweltrelevanten Daten zur Herstellung von Baustoffen, Bauteilen oder Systemen unter Nutzung festgelegter Parameter (potentielle Umweltwirkungen oder aus Sachbilanzdaten aggregierter Größen)
Ökonomische Auswirkung	Auswirkung auf die Ökonomie, ganz oder teilweise verursacht durch Bauwerke, zusammengesetzte Bauteile oder Prozesse und Dienstleistungen, die zu deren Lebenszyklus in Bezug stehen
Ozonbildungspotenzial (POCP)	Das Ozonbildungspotenzial (engl. photochemical ozone creation potential, POCP) eines Baustoffs, Bauteils oder Bauwerks beschreibt die zur bodennahen Ozonbildung (Sommersmog) beitragende Gesamtwirkung der in der zugehörigen Sachbilanz aufgeführten Stoffflüsse. Es wird als R11 Äquivalent quantifiziert.
Primärenergie (erneuerbar)	Energie aus erneuerbaren Ressourcen
Primärenergie (nicht erneuerbar)	Energie aus nicht erneuerbaren Ressourcen
Primärenergie	Nichtkonvertierte, nicht transformierte Energie
Prozess	Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umwandelt
Prozessenergie	Zum Betreiben des Prozesses oder der Einrichtung innerhalb eines Prozessmoduls benötigter Energieinput, mit Ausnahme des Energieinputs für den Energieaufwand für die Bereitstellung dieser Prozessenergie
Qualität	Größe, die das Ausmaß einer bestimmten Eigenschaft des betrachteten Gegenstands zu vorgegebenen Anforderungen, Richtwerten oder Zielgrößen in Bezug stellt
Recycling	Prozess im Zuge der Rückgewinnung, mit dem Zweck, hierbei anfallendes überschüssiges Material für eine weitere Nutzung wieder aufzubereiten

Referenzmethode	Methode zur Ermittlung von Nachhaltigkeitskenngrößen, die stellvertretend für alle geeigneten Methoden steht
Ressourcen	Eine Ressource ist ein Mittel, um eine Handlung zu tätigen oder einen Vorgang ablaufen zu lassen. Eine Ressource kann ein materielles oder immaterielles Gut sein. Meist werden darunter Betriebsmittel, Geldmittel, Boden, Rohstoffe, Energie oder Personen verstanden, in der Psychologie auch Fähigkeiten, Charaktereigenschaften oder eine geistige Haltung, in der Soziologie auch Bildung, Gesundheit und Prestige. In Managementprozessen und in der Technik wird die Zuteilung von Ressourcen als Ressourcenallokation bezeichnet.
Robustheit	Fähigkeit des Tragwerkes, seine Funktion auch bei Schwankung der Umgebungsbedingungen aufrecht zu erhalten (z. B. gegen Änderung der Umgebungstemperatur oder außergewöhnliche Einwirkungen)
Rohstoff	Primäres oder sekundäres Material, das zur Herstellung eines Produktes verwendet wird
Rückbau	Teilprozess bei der Beseitigung eines Bauwerks bzw. Bauteiles
Rückgewinnung	Behandlung von Abfall, die den Zweck hat, andere Ressourcen zu ersetzen
Sachbilanz	Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines Bauwerks, Bauteils oder Bauproduktes im Verlauf seines Lebenszyklus umfasst
Sensitivitätsanalyse	Systematisches Verfahren zur Einschätzung der Wirkungen der getroffenen Auswahl an Methoden und Daten auf die Ergebnisse einer Studie
Sensitivitätsprüfung	Verfahren zur Überprüfung, ob die aus der Sensitivitätsanalyse gewonnenen Informationen für die Ableitung von Schlussfolgerungen und das Aussprechen von Empfehlungen relevant sind
Sommersmog	Als Smog (eine Wortkreuzung aus dem engl.: smoke + fog) wird eine durch Emissionen verursachte Luftverschmutzung bezeichnet, die insbesondere in Großstädten auftritt. Beim Sommersmog handelt es sich um einen oxidierenden Smog. Er tritt in den wärmeren Monaten des Jahres auf, wenn die einfallende UV-Strahlung in Verbindung mit Stickoxiden (NO _x) aus beispielsweise Autoabgasen oder Kraftwerken, Wasserstoffperoxid, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoff-Emissionen (Methan und andere organische Verbindungen ohne Methan, die NMVOC) zu erhöhten Konzentrationen an Photooxidantien (Ozon, Peroxiacetylnitrat, Aldehyden, HNO ₃) führt. Zur Bildung hoher Ozonkonzentrationen müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein: Das Vorhandensein der beiden Vorläuferstoffe NO _x und NMVOC, intensive Sonnenstrahlung und eine mehrere Tage andauernde stabile Schönwetterperiode, die zu einer Speicherung von Ozon innerhalb der atmosphärischen Mischungsschichten führt.
Soziale Auswirkung	Auswirkung auf die Gesellschaft oder die Lebensqualität, ganz oder teilweise verursacht durch Bauwerke, zusammengesetzte Bauteile (Bauwerksteile) oder Prozesse und Dienstleistungen während ihres Lebenszyklus
Stilllegung	Endgültige Außerbetriebnahme
Systemgrenze	Schnittstelle zwischen einem Gebäude oder zusammengesetzten Bauteil und der Umwelt oder anderen Produktsystemen
Szenario	Gesamtheit aller Annahmen für Lebenszyklusphasen. Anmerkung: Zeitliche Abfolge von Phasen, z. B. 2 x 20 Jahre Büronutzung, 60 Jahre Wohnungsnutzung

Thermisch-hygrische Behaglichkeit	Definiertes Toleranzfeld innerhalb dessen die Raumluftkonditionen von Nutzern als angenehm empfunden werden
Thermischer Komfort	Der thermische Komfort an Arbeitsplätzen bildet eine Grundlage für effizientes und leistungsförderndes Arbeiten. Darüber hinaus beeinflusst die Art, wie der thermische Komfort bereitgestellt wird, den Energieverbrauch in Büro- und Verwaltungsgebäuden erheblich. Die Akzeptanz des Raumklimas mit den Faktoren thermische Behaglichkeit, Luftqualität, Lärm und Beleuchtung wird grundsätzlich auf sehr unterschiedlichen Ebenen bewertet, wobei der thermische Komfort in engem Zusammenhang mit der Zufriedenheit am Arbeitsplatz steht.
Treibhauspotenzial (GWP)	Das Treibhauspotenzial (engl. global warming potential, GWP) eines Baustoffs, Bauteils oder Bauwerks beschreibt die zum anthropogenen Klimawandel (globale Erderwärmung) beitragende Gesamtwirkung der in der zugehörigen Sachbilanz aufgeführten Stoffflüsse. Es wird als CO ₂ -Äquivalent quantifiziert.
Umnutzung	Wechsel der definierten Nutzung innerhalb der Nutzungsdauer, ggf. unter Einbeziehung von Umbaumaßnahmen
Umnutzungsfähigkeit	Flexibilität und Anpassbarkeit an sich wandelnde Rahmenbedingungen
Umweltaspekt	Bestandteil der Tätigkeiten, Produkte oder Dienstleistungen einer Organisation, die auf die Umwelt einwirken können
Umweltbezogene Ausrichtung	Eine Ökobilanz bezieht sich auf die Umweltaspekte und -wirkungen eines Produktsystems. Üblicherweise liegen ökonomische und soziale Aspekte und Wirkungen außerhalb des Untersuchungsrahmens der Ökobilanz. Für eine umfassendere Einschätzung können auch andere Instrumente mit der Ökobilanz kombiniert werden.
Validierung	Überprüfung durch einen unabhängigen Gutachter auf Übereinstimmung des betrieblichen Umweltmanagements mit festgelegten Anforderungen
Variante	Eine von mehreren Ausführungsmöglichkeiten. Anmerkung: Diese kann z. B. den Entwurf, die Planung und die Konstruktion betreffen.
Verbesserung	Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit, ohne die von ihr geforderte Funktion zu ändern
Versauerung	In Europa wurde in den vergangenen Jahren eine zunehmende Versauerung der Niederschläge festgestellt („Saurer Regen“). Als Maß dient dabei der pH-Wert des Niederschlagwassers. Die für die Versauerung verantwortlichen Spurengase sind in erster Linie Stickoxide (NO _x) und Schwefeldioxid (SO ₂). Das Ausmaß der nachteiligen Wirkung der Versauerung kann höchst unterschiedlich ausfallen. Man unterscheidet (allgemein) Wirkungen auf Gebäude, Vegetation, Böden, Gewässer und die menschliche Gesundheit.
Versauerungspotenzial (AP)	Das Versauerungspotenzial (engl. acidification potential, AP) eines Baustoffs, Bauteils oder Bauwerks beschreibt die zur Versauerung beitragende Gesamtwirkung der in der zugehörigen Sachbilanz aufgeführten Stoffflüsse. Es wird als SO ₂ Äquivalent quantifiziert.
Wartung	Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats
Wiederverwertung	Prozess der Rückgewinnung, durch den Produkte oder Komponenten, die zu Abfall geworden sind, für den gleichen Zweck, für den sie hergestellt wurden, nutzbar gemacht werden

Wirkungsabschätzung	Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung potentieller Umweltwirkungen eines Bauwerks, Bauteils oder Bauproduktes dient
Wirtschaftlichkeit auf Basis der Lebenszykluskosten	Qualitätsmerkmal eines Gebäudes oder eines zusammengesetzten Bauteils in Bezug auf seine ökonomischen Auswirkungen und Eigenschaften
Zusammengesetztes Bauteil	Ein oder mehrere, in das Bauwerk eingefügte, Komponenten aus Beton. Bauteil aus mehreren in das Bauwerk eingefügte Komponenten
Zwischenprodukt	Output aus einem Prozessmodul, der der Input in andere Prozessmodule ist und der eine weitere Bearbeitung innerhalb des Systems erfordert

2 BESCHREIBUNG DES STADTBAUSTEINS

2.1 Anforderungsprofil Stadtbaustein

2.1.1 Allgemeine Beschreibung

Zur Entwicklung von Gebäudekonzepten, die ein möglichst hohes Maß an Veränderbarkeit und Anpassungsfähigkeit mitbringen, sind flexible Gebäudestrukturen die grundlegende Voraussetzung. Entgegen der Betrachtung einzelner Fachdisziplinen mit ihren unterschiedlichen Verfahrensweisen und Lösungsansätzen werden die jeweiligen Einflussgrößen in einer integralen Planung von Architekt, Tragwerksplaner und Gebäudetechniker identifiziert und in einem gemeinsamen Lösungsprofil beschrieben.

Zur methodischen Überprüfung der jeweiligen Forschungsansätze wurde in /46/ eine Projektionsfläche entwickelt, die alle gemeinsamen Arbeitsrichtungen und Zielsetzungen beschreibt und überprüfbar macht, der Stadtbaustein (vgl. Bild 2.1). Die Einführung des Stadtbausteins als Bezugsgröße einer exemplarischen Gebäudeeinheit ermöglicht eine klare Definition der Problemstellungen.

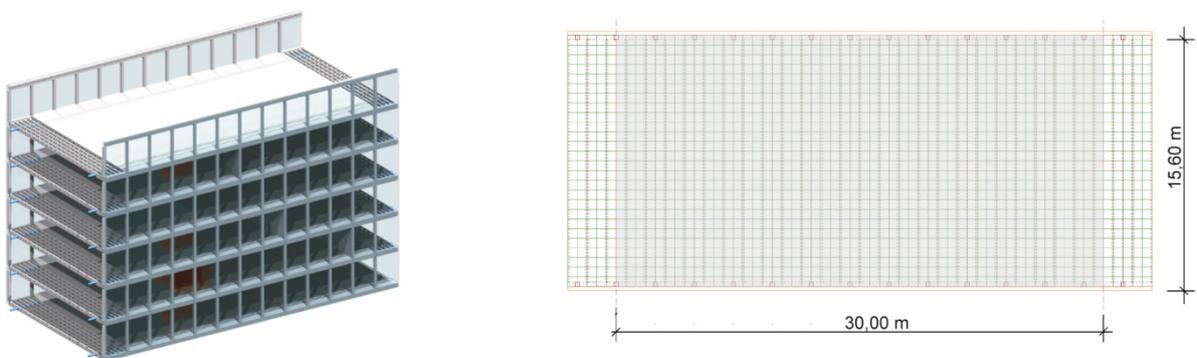


Bild 2.1: Der Stadtbaustein

Zur Sicherstellung der Flexibilität innerhalb des Gebäudekonzeptes sind die möglichen Nutzungen und Nutzungskombinationen sowie ihre räumliche und technische Ausformulierung gezielt zu beschreiben. Die Nutzungsanforderungen bezüglich der Raumabmessungen, der Raumhöhe, der Lage im Gebäude, der Erschließungsmöglichkeiten, der Belichtung, der Belüftung und der Temperierung sowie der bauphysikalischen Parameter, wie beispielsweise dem Schallschutz, bilden eine wichtige Grundlage. Mit den definierten Annahmen ergibt sich ein theoretisches Fallbeispiel, anhand dessen konkrete Anforderungen abgeleitet und die möglichen Lösungsansätze für bauliche Strukturen entwickelt werden können. Bild 2.1 zeigt den Stadtbaustein, der im Folgenden näher erläutert wird.

Geschosse:	Gebäude bis 22,00 m → 6 Obergeschosse → 2 Untergeschosse (Tiefgarage)
Geschosshöhe:	lichtes Raummaß von 2,75 m bis 3,00 m (Büro- und Wohnnutzung) → H = 3,50 m (Obergeschosse) → H = 2,63 m (2. Untergeschoss) / 3,13 m (1. Untergeschoss)
Gebäudetiefe:	Anordnung einer Mittelgarage im Untergeschoss → 15,60 m lichte Gebäudetiefe Weitere Anforderungen bestehen bzgl. der natürlichen Belichtung und Belüftung.
Nutzfläche:	ca. 450 m ² je Geschoss
Gebäudetechnik:	Anforderungen an die Heizungs-, Kühlungs-, Lüftungs-, Sanitär- und Elektrotechnik in Anlehnung an „EnEV“ 2007

2.1.2 Lastannahmen

Für die Bemessung der Tragelemente wurden für den Hochbau übliche Lastannahmen angesetzt. Die Eigengewichte der Bauteile ergeben sich dabei aus den in Abschnitt 2.3 und 2.4 beschriebenen Bauteilaufbauten. Um eine möglichst große Flexibilität hinsichtlich der Nutzung zu erzielen, sind die Decken für eine Nutzlast von 5,0 kN/m² bemessen. Im Bereich der Tiefgarage wurde zusätzlich eine Anpralllast sowie eine Belastung von 5,0 kN/m² auf dem Gelände vor den Außenwänden berücksichtigt. Zur Ermittlung der Schneelast wurde eine Geländehöhe von 300 m in der Schneelastzone 2 angenommen. Der resultierende Winddruck/-sog wurde für die Windzone 2 und die Gebäudeabmessungen nach dem vereinfachten Ansatz für Bauwerke bis 25 m Höhe gemäß DIN 1055-4 /5/ ermittelt. Ein gesonderter Erdbebennachweis wurde nicht geführt (Erdbebenzone 0 nach DIN 4149 /11/). Tabelle 2.1 fasst die Lastannahmen zusammen.

Tabelle 2.1: Lastannahmen für den Stadtbaustein

Lastart	Norm	Belastung
1	2	3
Ausbaulast	DIN 1055-1 /3/	$\Delta g_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$ auf den Decken ¹⁾
Nutzlast	DIN 1055-3 /4/	$q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$ auf den Decken
Nutzlast	DIN 1055-3 /4/	$q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$ auf dem Gelände
Schneelast	DIN 1055-5 /7/	$s_i = 0,75 \text{ kN/m}^2$ auf dem Dach
Windlast	DIN 1055-4 /5/	$w_k = 1,20 \text{ kN/m}^2$ auf den Fassadenflächen
Anpralllast	DIN 1055-9 /8/	$F_{x,k} = 0,04 \text{ MN}$
Erd-/Wasserdruck	DIN 4085 /9/ ²⁾	³⁾
¹⁾ nicht im Bereich der Tiefgarage ²⁾ unter Beachtung von DIN 1054 /10/ ³⁾ Der Erd- und Wasserdruck wurde in Abhängigkeit der Randbedingungen für den Baugrund ermittelt.		

Für den Baugrund wurden folgende Randbedingungen angesetzt:

- Reibungswinkel $\varphi = 32,5^\circ$
- Kohäsion $c = 0 \text{ MN/m}^2$
- Wichten $\gamma / \gamma' = 19 / 11 \text{ kN/m}^3$
- Grundwasserstand $z = -3,35 \text{ m}$ unter GOK

2.1.3 Bauphysik

Die Anforderungen an die Bauphysik ergeben sich im Wesentlichen aus den gültigen Normen, Richtlinien, Gesetzen und Verordnungen. In Tabelle 2.2 sind die klassischen vier Bereiche der Bauphysik den Regelungen sowie den Anforderungen zugeordnet. Detaillierte Beschreibungen der Anforderungen sind den entsprechenden Regelwerken zu entnehmen. Die dort aufgeführten Mindestanforderungen können dabei teilweise deutlich übererfüllt werden.

Tabelle 2.2: Bauphysikalische Anforderungen an den Stadtbaustein

Bauphysikalischer Bereich	Regelwerk / Norm	Anforderung
1	2	3
Brandschutz	DIN 4102 /12/ Landesbauordnungen	In Abhängigkeit der Bauteile
Schallschutz	DIN 4109 /13/	Luft- und Trittschalldämmwerte in Abhängigkeit der Bauteile
Wärmeschutz	DIN 4108 /14/, „EnEV“ 2007 /6/	Begrenzung des Primärenergie- und des Transmissionswärmebedarfs, sommerlicher Wärmeschutz etc.
Feuchteschutz	DIN 4108 /14/, DIN 18195 /15/	Schutz gegen Tauwasser, Schlagregen, Bodenfeuchte, drückendes und nichtdrückendes Wasser

Das energetische Anforderungsniveau in der Ausgangslage wird durch die zum Zeitpunkt der Berechnungen gültige Energieeinsparverordnung bestimmt.

2.1.4 Technische Gebäudeausrüstung

2.1.4.1 Allgemeines

Die Gebäudetechnik ist für die Errichtung einer nachhaltigen Immobilie, sei es ein Büro- oder Wohngebäude, von besonderer Bedeutung, da die Planung der haustechnischen Anlagen einen großen Einfluss auf die Investitions- und Betriebskosten hat. Aufgrund des Zusammenhangs der installierten Technik, deren Auslegung, dem Energiebedarf einer Immobilie sowie der Behaglichkeit in den Räumen, hat die Gebäudetechnik auch einen direkten Einfluss sowohl auf die ökologische als auch soziale Performance eines Bauwerks.

Die Entwicklung geeigneter Leitungsführungskonzepte für den Stadtbaustein wurde getrennt nach den Gewerken Raumlüft- und Klimatechnik, Wärme- und Heizungstechnik, Sanitärtechnik sowie für die Elektro- und Datentechnik durchgeführt. Dabei wurde die Reihenfolge der Gewerke mit abnehmenden Leitungsdurchmessern gewählt, da es nicht zielführend ist, Leitungsführungskonzepte zu entwickeln, die für die geringen Leitungsdurchmesser, wie bspw. Elektroleitungen, durchsetzbar sind, jedoch an den großen Rohrdurchmessern der Lüftungsleitungen scheitern. Außerdem wurde die Kreuzungsproblematik in der Deckenkonstruktion überprüft.

Die Anforderungen an das Raumklima und somit auch an die eingebaute technische Gebäudeausrüstung ergeben sich im Wesentlichen aus den allgemein gültigen Normen, Richtlinien und Verordnungen. Angaben zu der technischen Gebäudeausrüstung des Stadtbausteins werden in den folgenden Abschnitten gemacht.

2.1.4.2 Lüftungs- und Klimatechnik

Die Lüftungs- und Klimaanlage hat die Aufgabe, die Raumlüftqualität sowie die thermische Behaglichkeit im Raum so zu beeinflussen, dass die im Vorfeld getroffenen Randbedingungen für die jeweilige Nutzung des Raumes bzw. des Gebäudes erfüllt werden. Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage wurden den entsprechenden Regelwerken entnommen.

Für den Stadtbaustein wurden zur Erzielung einer größtmöglichen Flexibilität über den gesamten Lebenszyklus „ungünstige“ Randbedingungen gewählt, um einen möglichst großen Leitungsquerschnitt in der Deckenkonstruktion zu erhalten.

Randbedingungen:

- Gruppenbüro-Nutzung
- Hohe Belegungsdichte
- Hohe Raumlüftqualität (IDA 1)
- Zentrale Lüftung als Zu- und Abluftanlage
- Quelllüftung
- Gemäßigte Luftgeschwindigkeit im Kanal
- Kreisquerschnitt der Lüftungsleitung

2.1.4.3 Wärme- und Heizungstechnik

Für die Beheizung des Bürogebäudes wurde eine Warmwasserheizung mit Zweirohrsystem gewählt, welche in Deutschland für Vielraumgebäude eine bevorzugte Gebäudeheizung darstellt. Um dem heutigen Standard von Niedrigtemperaturheizungen Rechnung zu tragen, wird die Heizanlage mit einer Temperatur von 55/45 °C betrieben. Die Wärmeübergabe erfolgt über freie Raumheizflächen. Alternativ ist eine Beheizung der Räume durch eine Flächenheizung möglich. Beispielsweise kann eine Fußbodenheizung in die Abdeckplatten der Deckenkonstruktion eingebaut werden.

Die Dimensionierung der Heizwasserleitungen erfolgt überschlägig mit Hilfe von empfohlenen Basiswerten für die Fließgeschwindigkeit in den Rohrleitungen.

2.1.4.4 Sanitärtechnik

In Bezug auf die Gebäudetechnik ergeben sich für die Sanitärräume konzentrierte Installationen von Kalt- und Warmwasserleitungen, Entwässerung, Elektroversorgung, Heizung sowie eine Entlüftung der innen liegenden Räume.

Für die Trinkwasserversorgung ist eine Kaltwasser-Strangleitung in die Deckenkonstruktion integriert. Der Warmwasserbedarf wird durch Kleindurchlauferhitzer als Untertischmontage gedeckt. Alternativ lassen sich auch Kalt- und Warmtrinkwasserleitungen verlegen, da die Rohrdurchmesser trotz Rohrdämmung gering sind.

Das Abwasser wird über ein Abwasserrohr DN 100 mit einem entsprechenden Gefälle abgeführt.

2.1.4.5 Elektro- und Datentechnik

Die Ausstattung des Bürogebäudes mit Elektro- und Datentechnik ist aufgrund der hohen Anzahl der Leitungen und dazugehöriger Leitungsquerschnitte für die Entwicklung der Leitungsführungskonzepte von entscheidender Bedeutung. Hierbei ist die Anzahl der Leitungen für die Beleuchtung sowie für die Lichtschaltersteckdosen gering, sodass ihre Unterbringung in der Gebäudekonstruktion leicht möglich ist. Anders verhält es sich dagegen bei der Verteilung der Kabel für das EDV-Datennetz. Heute ist eine komplette Vernetzung der Bürogeräte über Datennetzwerk üblich. Zu diesem Zweck werden alle Geräte, wie z. B. Drucker, Telefone und PCs, an achtadrige, abgeschirmte Kabel angeschlossen, die ausgehend von einem zentral angeordneten Datenschrank zu den einzelnen Geräten führen.

Von der Ausbildung einer Funk-LAN oder eines Bluetooth wurde hier Abstand genommen, da ihre Übertragungsraten für den vollständigen Ersatz des Kabel-Netzwerkes unzureichend sind. Sollte jedoch während der Nutzung des Gebäudes die Kapazität des installierten Kabel-Netzwerkes überschritten werden, so könnte zur Deckung des Mehrbedarfs die zusätzliche Installation eines Funk-Netzwerkes erwogen werden.

Der Hauptanschluss der Büroarbeitsplätze an die Elektro- und Datentechnik erfolgt innerhalb der Bodenkonstruktion über Elektrogitter. Je nach Ausführung der Fassade können auch Brüstungskanäle unterhalb der Fensterbank verwendet werden. Die vertikale Verteilung der Elektroanschlüsse für die Beleuchtung kann beispielsweise in den Trockenbauwänden erfolgen.

2.2 Beschreibung der Nutzungsprofile

2.2.1 Allgemeine Beschreibung der Nutzungsszenarios

Innerhalb des Nutzungszeitraums von 100 Jahren wurden für den Stadtbaustein, zum Vergleich von Tragstrukturen für flexible Nutzung mit Standardlösungen, drei Nutzungsphasen definiert (Bild 2.2). Nach Ersterstellung wird das Gebäude zunächst 20 Jahre als Büro genutzt. Im Anschluss kommt es zu größeren Umbaumaßnahmen mit der Neuaufteilung des Grundrisses und einer weiteren 20-jährigen Büronutzung. In der dritten Phase soll der Stadtbaustein weitere 60 Jahre als Wohngebäude genutzt werden.

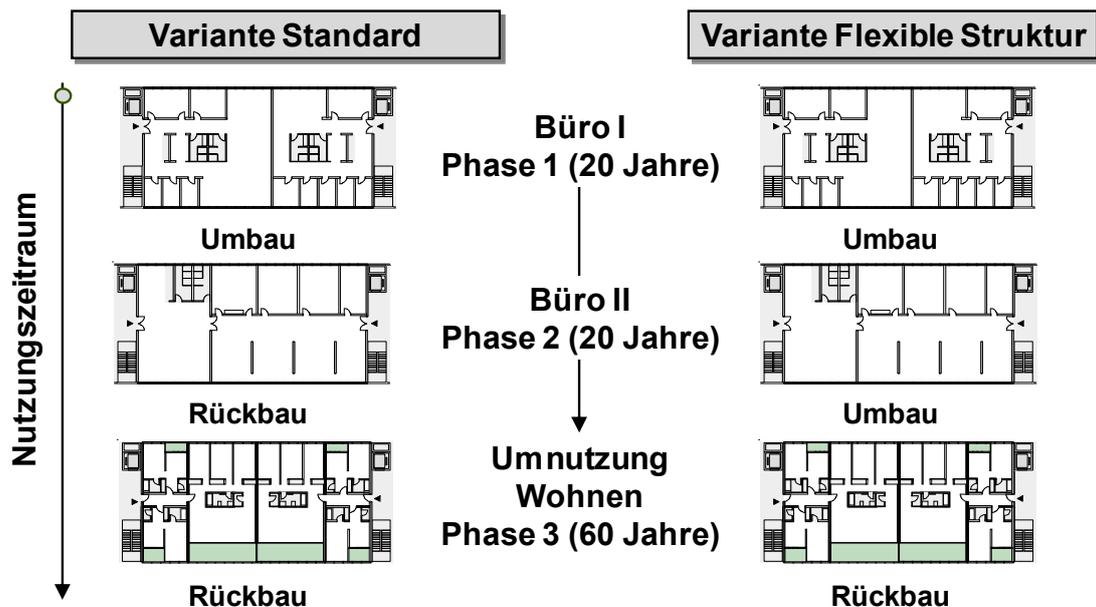


Bild 2.2: Nutzungsszenario des Stadtbausteins

Bei Gebäuden mit Büronutzung ist ein Nutzerwechsel häufig mit einer Neuaufteilung der Räume und daher mit Umbaumaßnahmen verbunden. Moderne Bürogebäude bieten heute die Möglichkeit, auf solche Nutzerwechsel zu reagieren. Anders verhält es sich dagegen bei einem Wechsel von einem Büro- zu einem Wohngebäude. Hier ist bei einer Standardlösung im Allgemeinen ein Rückbau unvermeidbar. Eine flexible Gebäudestruktur bietet dagegen die Möglichkeit, auch auf eine Umnutzung von Büro- zur Wohnnutzung zu reagieren. Die hohe Lebensdauer von Betonkonstruktionen kann so effektiver ausgenutzt werden.

Phase 1: Büro I (0-20 Jahre)

Der erste Nutzungszeitraum von 20 Jahren wird in der gewählten Nutzungsanforderung mit einem Zellen- und Teambürogrundriss in zwei Nutzungseinheiten bespielt, die in allen drei Funktionszonen (Büro-, Kern-, Bürozone) über die Gebäudetiefe hinweg durch verschiedene Bürofunktionen gestaltet ist. Die Funktionseinheiten - Sanitär, Teeküche, etc.- befinden sich hierbei in der Gebäudemitte. Die Anteiligkeit geschlossener und offener Raumgefüge in Größe und Lage variieren dabei im linken und rechten Teil des Bürogeschosses. Innerhalb dieser Nutzungseinheiten werden weitergehende, kleinteilige Änderungen (auch in Abhängigkeit möglicher unterschiedlicher Ausbausysteme) nicht untersucht. Die Alterung und gegebenenfalls die Erneuerung der Oberflächen untergeordneter Bauteile werden dabei in der Ökobilanzierung berücksichtigt.

Phase 2: Büro II (20-40 Jahre)

Der Nutzungszeitraum der zweiten 20 Jahre wird nach der vollständigen Freiräumung des gesamten Bereiches zwischen den beiden Erschließungs- und Versorgungsanlagen mit einer veränderten typologischen Bürolandschaft belegt. Im Sinne einer modernen Bürokonzeption steht hier die optimale Infrastruktur für eine offene und flexible Bürolandschaft zur Verfügung. Im weitesten Sinne kann man hier von einem Grundrissbeispiel einer Teameinheit sprechen: Team Center oder Business-Center. Es gibt nicht mehr die eindeutige Trennung einzelner bürospezifischer Funktionszonen. Die Offenheit der Struktur und die unterschiedlichen Arbeitsplatzangebotsformen - offen und geschlossen, Einzel- und Gruppenarbeitsplätze - sind hier nur als Ausschnitt angedeutet; es ist Teil eines größeren Bürokomplexes. Innerhalb dieser einen Nutzungseinheit befinden sich die Funktionseinheiten - Sanitär, Teeküche, etc.- in konzentrierter Form im Zusammenspiel mit Empfang und Sekretariat am eigentlichen Zutritt zu dieser Büroeinheit. Innerhalb dieser Nutzungseinheiten werden weitergehende, kleinteilige Änderungen (auch in Abhängigkeit möglicher unterschiedlicher Ausbausysteme) nicht untersucht. Die Alterung und gegebenenfalls die Erneuerung der Oberflächen untergeordneter Bauteile werden dabei in der Ökobilanzierung berücksichtigt.

Phase 3: Wohnen (40-100 Jahre)

Der dritte und letzte Nutzungszeitraum erstreckt sich innerhalb einer Nutzungsfunktion über den insgesamt längsten Zeitraum von 60 Jahren. Die Prozesse der Nutzung und Veränderung auch hinsichtlich einer nicht zu kalkulierenden Fluktuation der Nutzer oder Nutzergruppen werden auch hier über dem Lebenszyklus anteilig, wie bei Szenario 2 und 3, in Form einer Standardannahme berücksichtigt. Es wurden insgesamt

sechs Wohneinheiten je Geschoss angeordnet, wobei hierbei drei unterschiedliche Wohnangebote jeweils doppelt vorhanden sind. In der mittleren Gebäudezone befinden sich dabei alle Versorgungseinheiten und der Erschließungsbereich. Dem zugeordnet sind die 2-Zimmer-Wohnungen mit einseitiger Belichtungssituation, Küche- und Badeinheit und jeweils einer großen Wohneinheit mit zweiseitiger Orientierung der Wohnflächen, Einzelzimmer und Wohnraum, räumlich getrennt durch einen internen Flur und die Versorgungseinheiten. Die Freiflächen sind optional angelegt, im Flächennachweis bisher nicht berücksichtigt.

Anmerkung: Die Beschreibung der drei Nutzungsphasen über den Gesamtzeitraum von 100 Jahren bezieht sich auf die zu untersuchende Gebäudestruktur des Stadtbausteins in der Grundanlage einer flexiblen Gebäudeeinheit. In Vereinfachung der Vorgehensweise wird die jeweils vorausgesetzte Grundrisslösung über die gesamten Geschosse des Stadtbausteins angenommen, um somit dem Vergleichsobjekt der Standardlösung in der Grundannahme und der Vergleichbarkeit zu entsprechen. Die Mischung verschiedenster Nutzungsprofile, die durch die Flexible Struktur ermöglicht werden könnte, wird hier nicht methodisch erfasst. Sie kann in ihren Optionen nur qualitativ beschrieben werden, ist aber eigentlich der Grundgedanke einer zukunftsweisenden, nachhaltigen Bauweise. Die bezogen auf eine jeweils definierte Nutzungsgröße nahezu vollständige Freiheit einer Grundrissanordnung hinsichtlich der notwendigen technischen Versorgung je Geschoss führt zu einer optimierten Planung einer spezifischen Nutzungseinheit, die unabhängig in Bezug auf die weiteren Geschosse entwickelt werden kann. Das statische Gerüst im Zusammenspiel mit der Versorgungsfreiheit der Lage der technischen Gebäudeausrüstung verändert die Nutzungstypologie des Geschossbaus. Er ist nun weniger bezogen untereinander, sondern besteht aus autarken Einheiten, die dem städtischen Kontext entsprechend gestapelt werden können. In diesem Sinne, auf die zukünftigen Veränderungen innerhalb einer Gebäudestruktur bezogen, ist der Stadtbaustein hinsichtlich dieses Aspektes aus sich heraus nachhaltig. Er lässt schon sehr viel von dem zu, was wir von zukünftigen Entwicklungen heute noch nicht abbilden können.

Die Nutzungen innerhalb des Stadtbausteins können durch die Standard-Nutzungsprofile der Normenreihe DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden“ /16/ abgebildet werden (Bild 2.3). Sie stellen die Standard-Randbedingungen der Nutzung dar und beinhalten unter anderem Richtwerte für die Nutzungszeiten, die Raumkonditionierung, die Beleuchtung sowie interne Wärmequellen.

Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)		Nr. 2			
Nutzungszeiten		von	bis		
tägliche Nutzungszeit	Uhr	7:00	18:00		
jährliche Nutzungstage $d_{\text{nutz,a}}$	d/a	250			
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543			
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207			
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	5:00	18:00		
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{\text{op,a}}$	d/a	250			
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00		
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)					
Raum-Solltemperatur Heizung $\vartheta_{\text{i,h,soll}}$	°C	21			
Raum-Solltemperatur Kühlung $\vartheta_{\text{i,c,soll}}$	°C	24			
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $\vartheta_{\text{i,h,min}}$	°C	20			
Maximaltemperatur Auslegung Kühlung $\vartheta_{\text{i,c,max}}$	°C	26			
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $\Delta\vartheta_{\text{i,NA}}$	K	4			
Feuchteanforderung	–	mit Toleranz			
Mindestaußenluftvolumenstrom \dot{V}_A					
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	40			
flächenbezogen	m ³ /(h · m ²)	4			
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)		von	bis		
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	2	3		
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	4	8		
Beleuchtung					
Wartungswert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m	lx	500			
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m	0,84			
Minderungsfaktor k_A	–	0,92			
relative Abwesenheit C_A	–	0,3			
Raumindex k	–	1,25			
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_{tff}	–	0,7			
Personenbelegung					
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering	mittel	hoch	
		18	14	10	
Interne Wärmequellen					
		Vollnutzungsstunden (h/d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)		
			tief	mittel	hoch
Personen (70 W je Person)		6	4	5	7
Arbeitshilfen ^a		6	3	7	15
Wärmezufuhr je Tag ($q_{\text{I,p}} + q_{\text{I,fac}}$)	Wh/(m ² · d)		42	72	132
^a tief/mittel/hoch entspricht 50/100/150 W je Person für Arbeitshilfen					

Bild 2.3: Nutzungsrandbedingungen für ein Gruppenbüro nach DIN V 18599-10 /17/

2.3 Tragstruktur

2.3.1 Allgemeine Beschreibung

Variante Flexible Struktur

Das Tragsystem der Flexiblen Struktur zeichnet sich durch ein weitgespanntes Deckensystem über die gesamte Gebäudetiefe aus (s. Bild 2.4). Diese vorgespannte Fertigteildeckenkonstruktion lagert auf Randunterzügen, die als Zweifeldträger mit einer Stützweite von 2,40 m ausgebildet sind. Die Unterzüge leiten ihre Lasten auf Pendelstützen weiter. Die Aussteifung des Gebäudes erfolgt über beidseitig angeordnete Treppenhauskerne. Die Wände zum Treppenhaus werden als Stahlbetonfertigteile ausgeführt. Die Kerne selbst sind nicht Bestandteil der Untersuchung.

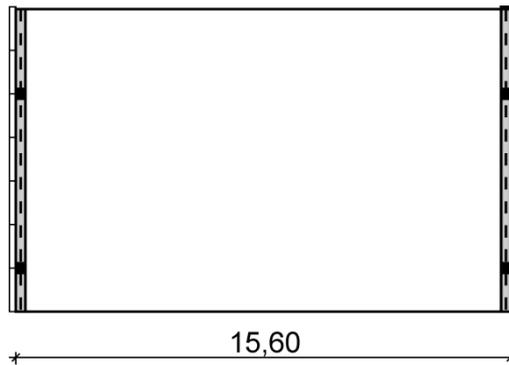


Bild 2.4: Tragsystem Obergeschosse der Variante Flexible Struktur – Phase 1 bis 3

Die Untergeschosse des Stadtbausteins werden in Ortbetonbauweise erstellt. Lasten aus den Obergeschossen werden ausschließlich in die Außenwände eingetragen. Sowohl bei der Decke über 1. UG, als auch bei der Decke über 2. UG handelt es sich um eine punktgestützte Flachdecke. Die Gründung erfolgt mittels einer Bodenplatte mit einer durchgehenden Dicke von 40 cm. Die Auflast aus den Innenstützen der Untergeschosse ist zur Aufnahme des Wasserdruckes erforderlich. Die Untergeschosse werden über die drei Phasen (100 Jahre) ausschließlich als Tiefgarage genutzt. Im ersten Untergeschoss soll jedoch eine flexible Stützenstellung vorgesehen werden, um auch hier eine flexible Nutzung bei einer lichten Rohbauhöhe von 2,85 m zu ermöglichen. Bild 2.5 zeigt das statische System der Untergeschosse. Im 1. UG ist eine mögliche alternative Stützenstellung dargestellt, die eine Entfernung der bisherigen Stützen erlaubt, falls diese stören. Analog den Obergeschossen wird die Zufahrt nicht vom Ausschnitt des Stadtbausteins erfasst.

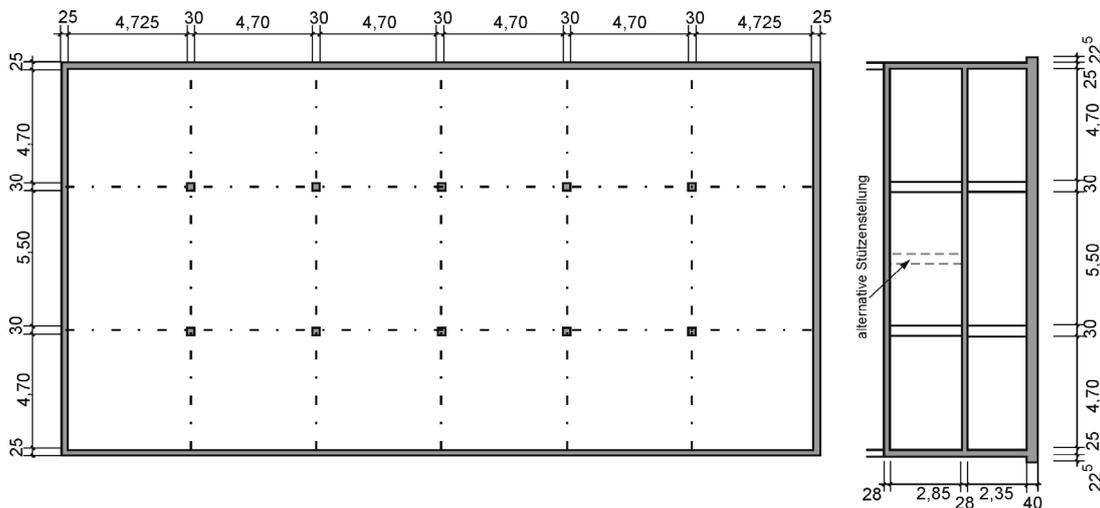


Bild 2.5: Tragsystem Untergeschosse der Variante Flexible Struktur – Phase 1 bis 3

Variante Standard

Für die Variante Standard wird als Tragstruktur für die Büronutzung eine Flachdecke mit $h = 26 \text{ cm}$ auf zwei Außen- und zwei Innenstützenreihen im Raster $6,00 - 3,60 - 6,00 \text{ m}$ vorgesehen (Bild 2.6).

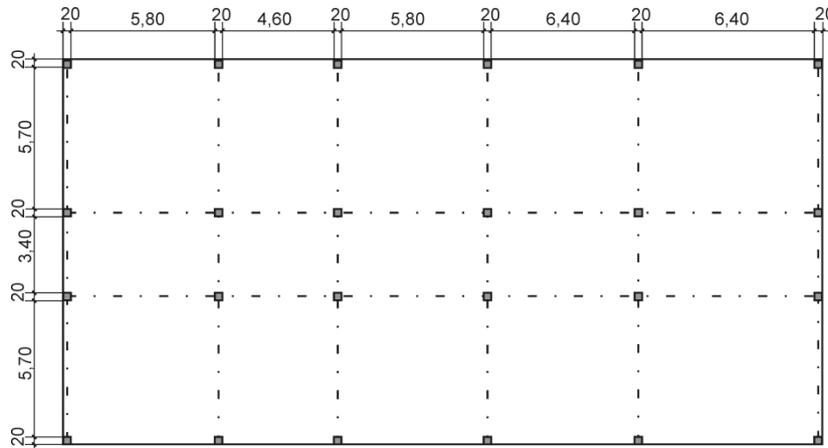


Bild 2.6: Tragsystem Obergeschosse der Variante Standard – Phase 1 und 2 (Büro)

Im Bereich der Untergeschosse erfolgt aufgrund der Nutzung als Tiefgarage eine Verschiebung der Stützenachsen. Zur Abfangung der Lasten aus den Obergeschossen werden daher Unterzüge in Längs- und Querrichtung angeordnet (Bild 2.7). Die höheren Lasten aus den Innenstützen erfordern im Bereich dieser Stützen Vouten in der Bodenplatte mit einer Gesamtdicke von 80 cm .

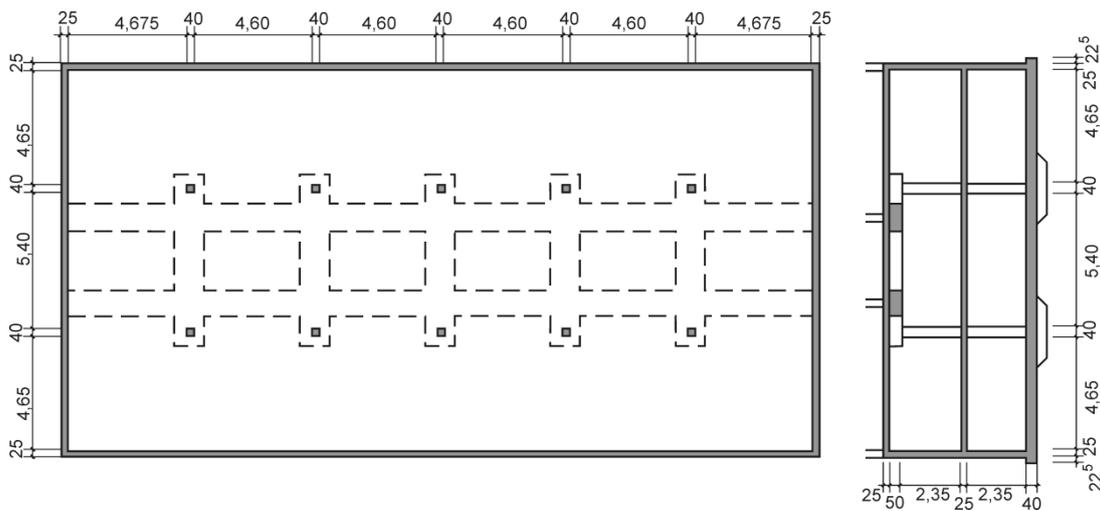


Bild 2.7: Tragsystem Untergeschosse der Variante Standard – Phase 1 und 2 (Büro)

Für die Wohnnutzung werden die Wohnungstrennwände als massive, tragende, unbewehrte Wände ausgeführt (Bild 2.8). Die Dicke der Decke beträgt hierbei 24 cm . Zur Abfangung der Lasten aus den Obergeschossen werden die Wände im Erdgeschoss als wandartige Träger ausgebildet, die auf zwei Längsunterzügen im 1. Untergeschoss auflagen. Die beiden Einzelstützen sowie eine kleinere Wandscheibe werden über Querunterzüge abgefangen. Bild 2.9 zeigt das Tragsystem der Untergeschosse für die Wohnnutzung. Die Aussteifung erfolgt wie bei der Flexiblen Struktur über die Treppenhauskerne. Die Variante Standard wird in Ort betonbauweise erstellt.

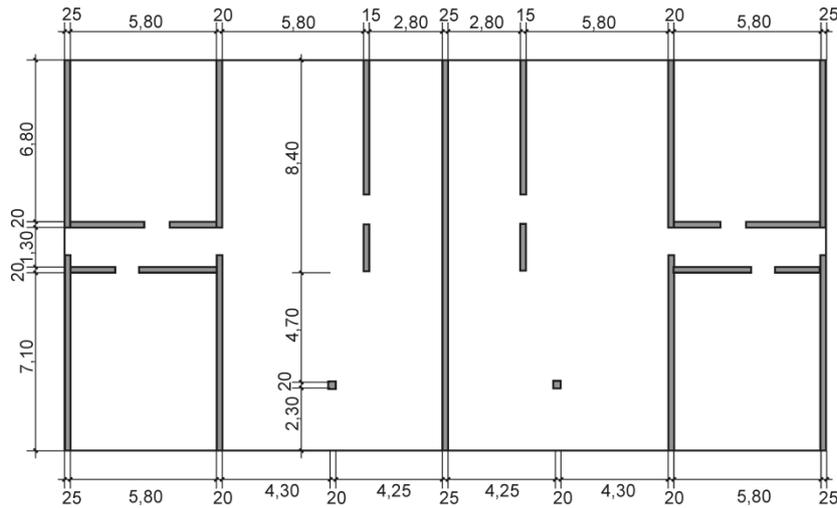


Bild 2.8: Tragsystem Obergeschosse der Variante Standard – Phase 3 (Wohnen)

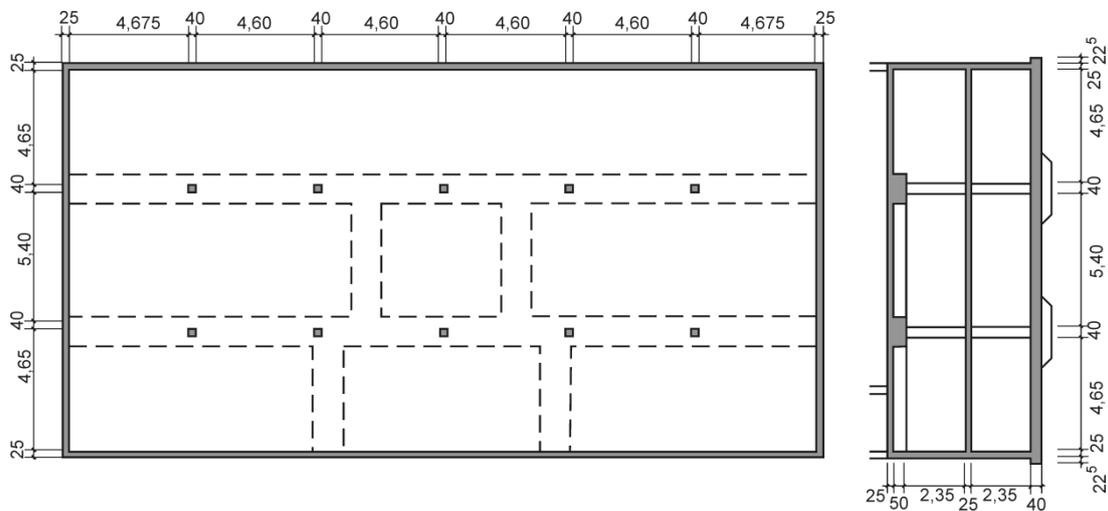


Bild 2.9: Tragsystem Untergeschosse der Variante Standard – Phase 3 (Wohnen)

Im Folgenden werden die einzelnen Elemente der Tragstruktur detailliert beschrieben. Die Expositionsklasse ist jeweils hinter der eingesetzten Betonfestigkeitsklasse in Klammern angegeben.

2.3.2 Detailbeschreibung Variante Flexible Struktur

2.3.2.1 Decken Obergeschosse

Für die Decken über dem Erdgeschoss bis zum 4. Obergeschoss wird eine vorgespannte Fertigteilsteplatte gemäß Bild 2.10 verwendet. Mit einer Höhe von nur 47 cm hat sie eine glatte Deckenuntersicht und bietet zwischen den Stegen Platz für die Integration von Gebäudetechnikleitungen. Um eine flexible Leitungsführung zu ermöglichen, sind Öffnungen in den Stegen vorgesehen. Trotz des geringen Eigengewichts ist das Deckensystem bei einer Spannweite von 15,60 m zur Begrenzung der Verformung vorzuspannen. Um die großen Vorspannkräfte einleiten zu können und die Tragfähigkeit der Betondruckzone sicher zu stellen, muss eine hohe Betonfestigkeitsklasse verwendet werden ($\geq C50/60$). Auf diese Weise kann der Druckgurt auf eine Breite von 30 cm im Abstand von 60 cm reduziert werden, sodass ausreichend Platz zwischen den Stegen vorhanden ist. Wegen der Öffnungen sowie der Schubübertragung zur unteren Platte ist in den Stegen eine hohe Querkraftbewehrung anzuordnen. Die Stahlmenge für die Stahleinbauteile zur Verbindung der einzelnen Platten untereinander sowie der Verbindung mit den Unterzügen wurden der Stegplatte zugeordnet.

Den oberen Abschluss des Stadtbausteins bildet eine 32 cm hohe Spannbetonhohlplatte. Zusätzlich zum Beton der Fertigteile wurden der Verguss sowie die erforderlichen Ringanker inkl. der Bewehrung berücksichtigt. Die Baustoffmengen für die Decken sind in Tabelle 2.3 zusammengestellt.

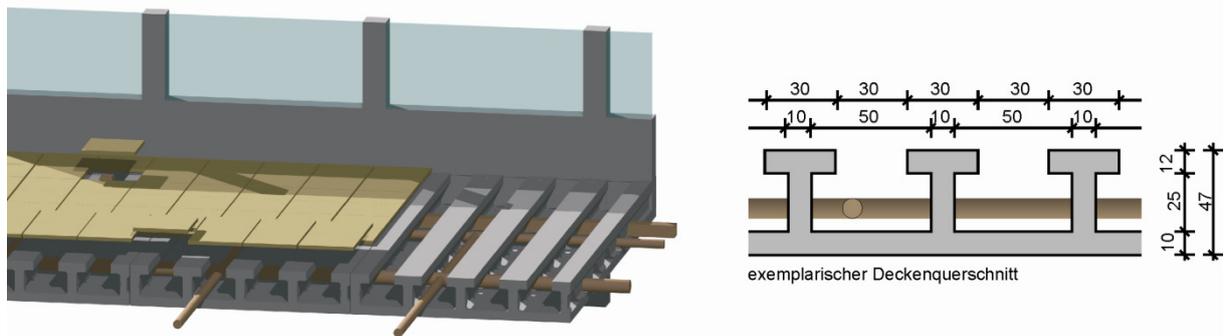


Bild 2.10: Deckenkonstruktion mit integrierter Leitungsführung für die Flexible Struktur

Menge: 2.340 m² Fertigteilstegplatte
 468 m² Spannbetonhohlplatte
 Gesamt: 2.808 m² Decken-/Dachfläche

Tabelle 2.3: Baustoffzusammenstellung Deckensystem Obergeschoss – Variante Flexible Struktur

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C50/60 (XC1)	m ² Stegplatte	m ³ /m ²	0,2017
Betonstahl	BSt 500 S/M	m ² Stegplatte	kg/m ²	25,36
Spannstahl	St 1570/1770	m ² Stegplatte	kg/m ²	8,52
Stahleinbauteile	S 500	m ² Stegplatte	kg/m ²	4,70
Beton	C50/60 (XC1)	m ² Hohlplatte	m ³ /m ²	0,1050
Verguss	C20/25 (XC1)	m ² Hohlplatte	m ³ /m ²	0,0245
Betonstahl	BSt 500 S	m ² Hohlplatte	kg/m ²	1,73
Spannstahl	St 1570/1770	m ² Hohlplatte	kg/m ²	9,06

2.3.2.2 Unterzüge Obergeschoss

Die Unterzüge werden als Zweifeldträger mit einer Feldlänge von 2,40 m und einem Querschnitt von 24 cm x 36 cm ausgeführt. In Abhängigkeit der Belastung variiert dabei die eingesetzte Betonfestigkeitsklasse und die Bewehrungsmenge. Tabelle 2.4 gibt einen Überblick über die eingesetzten Baustoffmengen. Die Unterzüge wurden dabei in Abhängigkeit der Betonfestigkeit in zwei Gruppen aufgeteilt.

Menge: 120 m Unterzug EG-1. OG
 240 m Unterzug 2.-5. OG
 Gesamt: 360 m Unterzug

Tabelle 2.4: Baustoffzusammenstellung Unterzüge Obergeschoss – Variante Flexible Struktur

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C40/50 (XC1)	m Unterzug EG-1. OG	m ³ /m	0,0864
Betonstahl	BSt 500 S	m Unterzug EG-1. OG	kg/m	14,13
Beton	C30/37 (XC1)	m Unterzug 2.-5. OG	m ³ /m	0,0864
Betonstahl	BSt 500 S	m Unterzug 2.-5. OG	kg/m	14,13

2.3.2.3 Stützen Obergeschosse

Die Pendelstützen werden als Fertigteile mit einem Querschnitt von 24 cm x 24 cm ausgeführt. Wie bei den Unterzügen sind die eingesetzte Betonfestigkeitsklasse und die Bewehrungsmenge der Belastung anzupassen. Tabelle 2.5 zeigt die eingesetzten Baustoffmengen. Die Stützen wurden dabei in Abhängigkeit der Betonfestigkeit in zwei Gruppen aufgeteilt, wobei der Bewehrungsgrad jeweils einen Mittelwert über drei Geschosse darstellt.

Menge: 264 m Stütze EG-2. OG
 264 m Stütze 3.-5. OG
 Gesamt: 528 m Stütze

Tabelle 2.5: Baustoffzusammenstellung Stützen Obergeschosse – Variante Flexible Struktur

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C40/50 (XC1)	m Stütze EG-2. OG	m³/m	0,0576
Betonstahl	BSt 500 S	m Stütze EG-2. OG	kg/m	19,23
Beton	C30/37 (XC1)	m Stütze 3.-5. OG	m³/m	0,0576
Betonstahl	BSt 500 S	m Stütze 3.-5. OG	kg/m	5,37

2.3.2.4 Wände Obergeschosse

Die Wände zum Treppenhaus werden als Stahlbetonfertigteile mit einer Dicke von h = 25 cm hergestellt. Die Wände dienen neben dem bauphysikalischen Zweck als Teil des Aussteifungssystems. Tabelle 2.6 zeigt die eingesetzten Baustoffmengen.

Gesamt: 670,8 m² Stahlbetonfertigteilwände

Tabelle 2.6: Baustoffzusammenstellung Wände Obergeschosse – Variante Flexible Struktur

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30 (XC1)	m² Wand	m³/m²	0,2500
Betonstahl	BSt 500 M	m² Wand	kg/m²	9,96

2.3.2.5 Decken Untergeschosse

Die punktgestützten Flachdecken der beiden Untergeschosse mit Flexibilisierungsoption im 1. UG haben eine Dicke von 28 cm. Aufgrund der unterschiedlichen Umgebungsbedingungen wurden zwei verschiedene Betonfestigkeiten verwendet (Tabelle 2.7). Ein Vergleich mit einem Verzicht auf die flexible Stützenstellung im 1. Untergeschoss ist in Abschnitt 4.5.1 aufgeführt.

Menge: 468 m² Decke über 1. UG
 468 m² Decke über 2. UG
 Gesamt: 936 m² Decke

Tabelle 2.7: Baustoffzusammenstellung Decken Untergeschosse – Variante Flexible Struktur

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30 (XC1)	m² Decke 1. UG	m³/m²	0,2800
Betonstahl	BSt 500 S	m² Decke 1. UG	kg/m²	22,79
Beton	C35/45 (XD3)	m² Decke 2. UG	m³/m²	0,2800
Betonstahl	BSt 500 S	m² Decke 2. UG	kg/m²	28,54

2.3.2.6 Stützen Untergeschosse

Die Pendelstützen werden mit einem Querschnitt von 30 cm x 30 cm ausgeführt. Tabelle 2.8 zeigt die eingesetzten Baustoffmengen.

Gesamt: 52 m Stütze

Tabelle 2.8: Baustoffzusammenstellung Stützen Untergeschosse – Variante Flexible Struktur

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30 (XC1)	m Stütze UG	m ³ /m	0,0900
Betonstahl	BSt 500 S	m Stütze UG	kg/m	9,13

2.3.2.7 Wände Untergeschosse

Die Wände der Untergeschosse haben eine Dicke von h = 25 cm. Sie sind Teil der Weißen Wanne. Tabelle 2.9 zeigt die eingesetzten Baustoffmengen.

Gesamt: 474 m² Stahlbetonwände

Tabelle 2.9: Baustoffzusammenstellung Wände Untergeschosse – Variante Flexible Struktur

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30 (XC2)	m ² Wand	m ³ /m ²	0,2500
Betonstahl	BSt 500 M	m ² Wand	kg/m ²	16,08

2.3.2.8 Bodenplatte

Die Bodenplatte bildet den unteren Abschluss des Stadtbausteins. Sie hat eine Dicke von h = 40 cm. Sie leitet die Lasten in den Baugrund ein und bildet zusammen mit den Außenwänden der Untergeschosse die Weiße Wanne. Tabelle 2.10 zeigt die eingesetzten Baustoffmengen.

Gesamt: 468 m² Bodenplatte

Tabelle 2.10: Baustoffzusammenstellung Bodenplatte – Variante Flexible Struktur

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C35/45 (XD3)	m ² Bodenplatte	m ³ /m ²	0,4000
Betonstahl	BSt 500 M	m ² Bodenplatte	kg/m ²	58,50

2.3.3 Detailbeschreibung Variante Standard

Für das Vergleichsobjekt Standard werden heute übliche Ortbetonkonstruktionen verwendet. Die Bauteile werden im Folgenden getrennt für die Büro- und Wohnnutzung erläutert.

2.3.3.1 Büronutzung

2.3.3.1.1 Decken Obergeschosse

Die Flachdecke für die Büronutzung hat eine Dicke von h = 26 cm. Aufgrund der unterschiedlichen Belastung auf Geschossdecke und Dach wird in Tabelle 2.11 zwischen diesen beiden Decken unterschieden.

Menge: 2.340 m² Ortbetonflachdecke (EG-4. OG)

468 m² Ortbetonflachdecke (5. OG)

Gesamt: 2.808 m² Decken-/Dachfläche

Tabelle 2.11: Baustoffzusammenstellung Decken Obergeschosse – Standard Büro

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30	m ² Decke (EG-4. OG)	m ³ /m ²	0,2600
Betonstahl	BSt 500 S/M	m ² Decke (EG-4. OG)	kg/m ²	24,12
Beton	C25/30	m ² Decke (5. OG)	m ³ /m ²	0,2600
Betonstahl	BSt 500 S/M	m ² Decke (5. OG)	kg/m ²	17,72

2.3.3.1.2 Stützen Obergeschosse

Die Stützen werden als Pendelstützen ausgebildet. In Abhängigkeit der Belastung und des Durchstanzwiderstandes sind die Abmessungen anzupassen. Der Regelquerschnitt beträgt 30 x 30 cm (vgl. Tabelle 2.12).

Menge: 119,7 m Stütze b/h = 30/30 cm
6,3 m Stütze b/h = 30/36 cm
18,9 m Stütze b/h = 32/32 cm
6,3 m Stütze b/h = 36/36 cm

Gesamt: 151,2 m Stütze

Tabelle 2.12: Baustoffzusammenstellung Stützen Obergeschosse – Standard Büro

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30	m Stütze 30 x 30	m ³ /m	0,0900
Betonstahl	BSt 500 S	m Stütze 30 x 30	kg/m	17,49
Beton	C25/30	m Stütze 30 x 36	m ³ /m	0,1080
Betonstahl	BSt 500 S	m Stütze 30 x 36	kg/m	40,14
Beton	C25/30	m Stütze 32 x 32	m ³ /m	0,1024
Betonstahl	BSt 500 S	m Stütze 32 x 32	kg/m	16,22
Beton	C25/30	m Stütze 36 x 36	m ³ /m	0,1296
Betonstahl	BSt 500 S	m Stütze 36 x 36	kg/m	52,73

2.3.3.1.3 Treppenhauswände

Die Baustoffmengen für die Treppenhauswände entsprechen Abschnitt 2.3.2.4.

Gesamt: 654 m² Stahlbetonwand (Ortbeton)

2.3.3.1.4 Decken Untergeschosse

Die Baustoffmengen entsprechen im Wesentlichen den in Abschnitt 2.3.2.5 genannten Mengen. Zur Abfangung der Lasten aus den Obergeschossen ist im 1. UG eine Abfangkonstruktion erforderlich (Tabelle 2.13). Die angeordneten Längs- und Querunterzüge sind in den Baustoffmengen der Decke über dem 1. Untergeschoss berücksichtigt. Beide Decken haben eine Dicke von h = 0,25 m.

Menge: 468 m² Decke über 1. UG
468 m² Decke über 2. UG

Gesamt: 936 m² Decke

Tabelle 2.13: Baustoffzusammenstellung Decken Untergeschosse – Standard Büro

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30 (XC1)	m ² Decke 1. UG	m ³ /m ²	0,3558
Betonstahl	BSt 500 S	m ² Decke 1. UG	kg/m ²	34,45
Beton	C35/45 (XD3)	m ² Decke 2. UG	m ³ /m ²	0,2500
Betonstahl	BSt 500 S	m ² Decke 2. UG	kg/m ²	21,11

2.3.3.1.5 Stützen Untergeschosse

Die Pendelstützen werden mit einem Querschnitt von 40 cm x 40 cm ausgeführt. Tabelle 2.14 zeigt die eingesetzten Baustoffmengen.

Gesamt: 52 m Stütze

Tabelle 2.14: Baustoffzusammenstellung Stützen Untergeschosse – Standard Büro

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30 (XC1)	m Stütze UG	m ³ /m	0,1600
Betonstahl	BSt 500 S	m Stütze UG	kg/m	65,60

2.3.3.1.6 Wände Untergeschosse

Die Baustoffmengen für die Wände im Untergeschoss entsprechen Abschnitt 2.3.2.7.

Gesamt: 654 m² Stahlbetonwand (Ortbeton)

2.3.3.1.7 Bodenplatte

Im Bereich der Stützen ist die Dicke der Bodenplatte auf 80 cm erhöht. Tabelle 2.15 zeigt die eingesetzten Baustoffmengen.

Gesamt: 468 m² Bodenplatte

Tabelle 2.15: Baustoffzusammenstellung Bodenplatte – Standard Büro

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C35/45 (XD3)	m ² Bodenplatte	m ³ /m ²	0,4534
Betonstahl	BSt 500 M	m ² Bodenplatte	kg/m ²	62,99

2.3.3.2 Wohnnutzung**2.3.3.2.1 Decken Obergeschosse**

Aufgrund der Vielzahl tragender Innenwände kann die Dicke der Flachdecke für die Wohnnutzung auf h = 24 cm reduziert werden. Tabelle 2.16 zeigt den Baustoffbedarf getrennt für die Geschossdecken und die oberste Decke (Dach).

Menge: 2.340 m² Ortbetonflachdecke (EG-4. OG)

468 m² Ortbetonflachdecke (5. OG)

Gesamt: 2.808 m² Decken-/Dachfläche

Tabelle 2.16: Baustoffzusammenstellung Decken Obergeschosse – Standard Wohnen

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30	m ² Decke (EG-4. OG)	m ³ /m ²	0,2400
Betonstahl	BSt 500 S/M	m ² Decke (EG-4. OG)	kg/m ²	13,24
Beton	C25/30	m ² Decke (5. OG)	m ³ /m ²	0,2400
Betonstahl	BSt 500 S	m ² Decke (5. OG)	kg/m ²	11,53

2.3.3.2 Stützen Obergeschosse

Im betrachteten Wohnungsgrundriss werden zwei Stützen je Geschoss angeordnet. In Abhängigkeit der Belastung haben die Stützen einen Querschnitt von 20 x 20 cm bzw. 25 x 25 cm. Die in Tabelle 2.17 angegebenen Stahlmengen sind jeweils Mittelwerte über die betrachteten Geschosse.

Menge: 21,0 m Stützen b/h = 20/20 cm (2.-5. OG)
 10,5 m Stützen b/h = 25/25 cm (EG-1. OG)
 Gesamt: 31,5 m Stützen

Tabelle 2.17: Baustoffzusammenstellung Stützen Obergeschosse – Standard Wohnen

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30	m Stütze (EG-1. OG)	m ³ /m	0,0400
Betonstahl	BSt 500 S/M	m Stütze (EG-1. OG)	kg/m	11,00
Beton	C25/30	m Stütze (2.-5. OG)	m ³ /m	0,0625
Betonstahl	BSt 500 S/M	m Stütze (2.-5. OG)	kg/m	23,33

2.3.3.2.3 Tragende Innenwände

Die tragenden Innenwände werden als unbewehrte Wände mit Dicken von 15 bzw. 20 cm der Festigkeitsklasse C25/30 ausgeführt (vgl. Tabelle 2.18).

Menge: 685,1 m² unbewehrte Ortbetonwände h = 20 cm
 193,7 m² unbewehrte Ortbetonwände h = 15 cm
 Gesamt: 878,8 m² unbewehrte Ortbetonwände

Tabelle 2.18: Baustoffzusammenstellung Wände Obergeschosse – Standard Wohnen

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30	m ² Wand h = 20 cm	m ³ /m ²	0,2000
Beton	C25/30	m ² Wand h = 15 cm	m ³ /m ²	0,1500

2.3.3.2.4 Abfangung

Die Innenwände im Erdgeschoss werden als wandartige Träger ausgebildet. Die Dicke der Wände beträgt 20 und 25 cm der Festigkeitsklasse C25/30 (Tabelle 2.19). Die angeordneten Längs- und Querunterzüge sind in den Baustoffmengen der Decke über dem 1. Untergeschoss berücksichtigt.

Menge: 41,0 m² Stahlbetonwände h = 20 cm
 170,1 m² Stahlbetonwände h = 25 cm
 Gesamt: 211,1 m² Stahlbetonwände

Tabelle 2.19: Baustoffzusammenstellung Wände Obergeschosse – Standard Wohnen

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30 (XC1)	m ² Wand	m ³ /m ²	0,2000
Betonstahl	BSt 500 M	m ² Wand	kg/m ²	29,42
Beton	C25/30 (XC1)	m ² Wand	m ³ /m ²	0,2500
Betonstahl	BSt 500 M	m ² Wand	kg/m ²	21,27

2.3.3.2.5 Treppenhauswände

Die Baustoffmengen für die Treppenhauswände entsprechen den in Abschnitt 2.3.2.4 genannten Mengen.

Gesamt: 752,7 m² Stahlbetonwand (Ortbeton)

2.3.3.2.6 Decken Untergeschosse

Die Baustoffmengen entsprechen im Wesentlichen Abschnitt 2.3.2.5. Zur Abfangung der Lasten aus den Obergeschossen ist im 1. UG eine Abfangkonstruktion erforderlich (Tabelle 2.20).

Menge: 468 m² Decke über 1. UG

468 m² Decke über 2. UG

Gesamt: 936 m² Decke

Tabelle 2.20: Baustoffzusammenstellung Decken Untergeschosse – Standard Wohnen

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30 (XC1)	m ² Decke 1. UG	m ³ /m ²	0,3496
Betonstahl	BSt 500 S	m ² Decke 1. UG	kg/m ²	34,59
Beton	C35/45 (XD3)	m ² Decke 2. UG	m ³ /m ²	0,2500
Betonstahl	BSt 500 S	m ² Decke 2. UG	kg/m ²	21,11

2.3.3.2.7 Stützen Untergeschosse

Die Pendelstützen werden mit einem Querschnitt von 40 cm x 40 cm ausgeführt. Tabelle 2.21 zeigt die eingesetzten Baustoffmengen.

Gesamt: 52 m Stütze

Tabelle 2.21: Baustoffzusammenstellung Stützen Untergeschosse – Standard Wohnen

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30 (XC1)	m Stütze UG	m ³ /m	0,1600
Betonstahl	BSt 500 S	m Stütze UG	kg/m	64,96

2.3.3.2.8 Wände Untergeschosse

vgl. Abschnitt 2.3.3.1.6.

2.3.3.2.9 Bodenplatte

Im Bereich der Stützen ist die Dicke der Bodenplatte auf 80 cm erhöht. Tabelle 2.22 zeigt die eingesetzten Baustoffmengen.

Gesamt: 468 m² Bodenplatte

Tabelle 2.22: Baustoffzusammenstellung Bodenplatte – Standard Wohnen

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C35/45 (XD3)	m ² Bodenplatte	m ³ /m ²	0,4534
Betonstahl	BSt 500 M	m ² Bodenplatte	kg/m ²	62,11

2.4 Bauteilkatalog

2.4.1 Allgemeines

Von entscheidender Bedeutung für die Ökobilanz eines Gebäudes sind neben der Tragstruktur der Ausbau und die Technische Gebäudeausrüstung (TGA). Auf Basis einer Bauteildatenbank des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt wurden übliche Bauteilaufbauten definiert. Über die Bauteildaten der verschiedenen Hüllflächen (Boden, Wände, Fenster, Dach) hinaus sind alle wesentlichen Bauteile im Gebäudeinneren erfasst und vereinfacht dargestellt.

Im Folgenden wird exemplarisch für jeden Bauteiltyp der Aufbau von innen nach außen detailliert beschrieben sowie das Leitungssystem der Technischen Gebäudeausrüstung aufgeführt. Diese Aufbauten wurden für die Berechnungen in Abschnitt 3 zu Grunde gelegt. Zur Untersuchung des Einflusses der eingesetzten Baustoffe wurde darüber hinaus eine Parameterstudie mit einer Variation der Bauteilaufbauten durchgeführt, aus denen eine günstige und eine ungünstige Variante abgeleitet wurden (vgl. Abschnitt 4.3). Eine Gesamtübersicht über die verwendeten Bauteilaufbauten ist im Anhang dargestellt.

2.4.2 Bauteilbeschreibungen

2.4.2.1 Dach

Es wurde ein typischer Flachdachaufbau mit einer extensiven Begrünung betrachtet (Dach Typ III). Tabelle 2.23 zeigt den Aufbau des Dach Typs III für die Variante Flexible Struktur. In der Variante Standardstruktur wird die Tragschicht als Stahlbetondecke ausgeführt.

Tabelle 2.23: Dach Typ III: Nichtbelüftetes ungenutztes Flachdach mit extensiver Begrünung

Bezeichnung		Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-		-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1		2	3	4	5	6
Oberfläche		Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	1300	-	-
Vorbehandlung		Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Tragschicht		Spannbetonhohlplatte VMM SCD 32,0	0,32		1,28	310
Ausgleichschicht		Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5
Dampfsperre		Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5
Gefälledämmung		XPS 30 WLG 035	0,18	30	0,035	5,4
Dachabdichtung		Polymerbitumenschweißbahn 2-lagig	0,01	1200	0,17	12
extensive Begrünung	Wurzelschutzschicht	ECB-Bahn	0,0018	970	-	1,75
	Schutzschicht	Fasermatte aus Polypropylen	0,004	75	-	0,3
	Dränschicht	Blähton-schüttung	0,03	1000	-	30
	Filterschicht	Filtervlies aus Polypropylen	0,001	100	-	0,1
	Vegetationsschicht		0,05	1000	-	50

2.4.2.2 Außenwand

Für die Variante Flexible Struktur sowie die Büronutzung (Phase 1 und 2) der Variante Standardstruktur wurde ein Außenwandaufbau mit einer Stahlbetontragschicht und hinterlüfteter Natursteinfassade mit 15 cm Wärmedämmung verwendet. Für die Variante Standardstruktur wurde für die Phase 3 (Wohnnutzung) dagegen ein im Wohnungsbau üblicher Aufbau mit einem Kalksandsteinmauerwerk als Tragschicht sowie einem Wärmedämmverbundsystem gewählt. Tabelle 2.24 und Tabelle 2.25 zeigen den Aufbau der Außenwand Typen IV und VII.

Tabelle 2.24: Außenwand Typ IV: Stahlbetonfertigteile mit hinterlüfteter Natursteinfassade

Bezeichnung		Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-		-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1		2	3	4	5	6
Oberfläche		Kalkgipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht		Stahlbetonwände Fertigteile	0,2	2300	2,1	460
Dämmung		Mineralfaserplatte	0,15	150	0,035	23
Luftschicht		-	0,02	-	-	-
Fassadenbekleidung		Naturstein freihängend	0,04	2600	2,3	104

Tabelle 2.25: Außenwand Typ VII: Kalksandsteinmauerwerk mit WDVS

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Kalkgipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht	Kalksandsteinmauerwerk	0,20	1800	0,99	360
Dämmung	WDVS 035 Polystyrol	0,15	40	0,035	6
Fassadenbekleidung	Isolierputz, mineral. Außenputz	0,03	1800	0,8	54

2.4.2.3 Innenwand

Für die Flexible Struktur wurden mit Ausnahme der tragenden Treppenhauswände nur leichte Innenwände als Gipskartonständerwandkonstruktion angesetzt. In Abhängigkeit der Anforderung an die Schalldämmung sind dabei unterschiedliche Aufbauten erforderlich. Tabelle 2.26 zeigt exemplarisch den Aufbau einer beidseitig doppelt beplankten Innenwand, wie sie etwa für Trennwände im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich eingesetzt wurden.

Tabelle 2.26: Innenwand Typ II: beidseitig doppelte Beplankung

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Bekleidung	2 x Gipskartonplatte	0,025	800	0,25	20
Tragschicht	Metallständer (verzinktes Stahlblech)	0,05	7800	50	1,8
Dämmung	Mineralwolle	0,04	100	0,04	4
Bekleidung	2 x Gipskartonplatte	0,025	800	0,25	20
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-

Für die Variante Standard wurden bei der Wohnnutzung außerdem Innenwände mit massiver Tragschicht aus bewehrtem und unbewehrtem Beton sowie Mauerwerk eingesetzt. Ihr Aufbau ist ebenfalls im Anhang enthalten.

2.4.2.4 Decken Obergeschosse

Kernstück der Flexiblen Struktur ist das in Abschnitt 2.3.2.1 beschriebene Deckensystem. Für die Abdeckung der Fertigteildeckenkonstruktion wurden zwei grundsätzliche Alternativen betrachtet. Zum einen die Verwendung von Calciumsulfatplatten mit Abmessungen von 60 x 60 x 4 cm, die wahlweise mit einer Fußbodenheizung ausgestattet sind und zum anderen die Verwendung von großformatigen Stahlbetonfertigteilplatten mit einer Dicke von 6 cm. In Tabelle 2.27 ist der Deckenaufbau für die erste Alternative dargestellt. Mit Ausnahme der Sanitärräume und Flure wurde in der Büronutzung Teppich, in der Wohnnutzung Parkett als Bodenbelag gewählt.

Tabelle 2.27: Aufbau der Decken im Obergeschoss Typ II-1, Variante mit Calciumsulfatplatten und Teppichboden

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Deckenkonstruktion	Stahlbetonfertigteilsystemdecke	0,47	2300	2,1	464
Trittschall	systemabhängig	0,005	150	0,055	0,4
Boden Doppelboden	Calciumsulfatplatten 60 x 60 x 4 cm	0,04	2100	1,2	84
Bodenaufbau	Teppichboden	0,005	300	-	1,5

Für die Variante Standardstruktur wurde eine 25 cm starke Ortbetondecke mit schwimmendem Estrich vorgesehen. Im Fall der Büronutzung ist außerdem eine abgehängte Decke zur Führung der Leitungen erforderlich. Der Aufbau ist im Anhang dargestellt.

2.4.2.5 Technische Gebäudeausrüstung

Auszugsweise sind in den folgenden Tabellen 2.28 bis 2.32 die erforderlichen TGA-Elemente für das Szenario 1: Büro I (0-20 Jahre) aufgelistet.

Tabelle 2.28: Lüftungsanlage (runder Querschnitt- Wickelfalzrohr)

Bezeichnung	Material	Querschnitt	Menge		Gewicht	
			[m]	[St]	[kg/m]	[kg/St]
1	2	3	4	5	6	7
Lüftungskanal – Zuluft	verzinktes Feinblech	0,15	71,10		2,60	
Lüftungskanal – Zuluft	verzinktes Feinblech	0,08	81,50		1,20	
T-Stück – Zuluft	verzinktes Feinblech	0,15/0,15		14		2,34
T-Stück – Zuluft	verzinktes Feinblech	0,15/0,08		4		1,71
T-Stück – Zuluft	verzinktes Feinblech	0,08/0,08		2		1,08
Winkel – Zuluft	verzinktes Feinblech	0,15/0,15		4		2,11
Winkel – Zuluft	verzinktes Feinblech	0,08/0,08		5		0,97
Lüftungskanal – Abluft	verzinktes Feinblech	0,15 x 0,15	80,40		2,60	
Lüftungskanal – Abluft	verzinktes Feinblech	0,10 x 0,10	24,00		1,80	
Lüftungskanal – Abluft	verzinktes Feinblech	0,08 x 0,08	33,20		1,20	
Lüftungskanal – Abluft	verzinktes Feinblech	0,06 x 0,06	12,00		1,00	
T-Stück – Abluft	verzinktes Feinblech	0,15/0,15		4		2,34
T-Stück – Abluft	verzinktes Feinblech	0,15/0,10		8		1,88
T-Stück – Abluft	verzinktes Feinblech	0,08/0,06		4		0,90
Winkel – Abluft	verzinktes Feinblech	0,15/0,15		4		2,11
Winkel – Abluft	verzinktes Feinblech	0,08/0,08		4		0,81
Zuluftdurchlässe				26		
Abluftdurchlässe				15		

Tabelle 2.29: Heizungsanlage

Bezeichnung	Material	Querschnitt	Menge		Gewicht	
			[m]	[St]	[kg/m]	[kg/St]
-	-	[m]	[m]	[St]	[kg/m]	[kg/St]
1	2	3	4	5	6	7
Universalrohr (stabil)	Rohr: Metall-Kunststoff-Verbundrohr (PE-X/Al/PE) Dämmung: PE-Schaum mit Feuchtigkeitssperre PE-Folie	0,20	234,00		0,19	
Anschlussrohr		0,20	52,80		0,456	
T-Stück	entzinkungsbeständiges Sondermessing	0,20		80		0,13
Winkel (90°)	entzinkungsbeständiges Sondermessing	0,20		80		0,10
Kupplung	entzinkungsbeständiges Sondermessing	0,20		160		0,058

Tabelle 2.30: Trinkwasser-Installation

Bezeichnung	Material	Querschnitt	Menge		Gewicht	
			[m]	[St]	[kg/m]	[kg/St]
-	-	[m]	[m]	[St]	[kg/m]	[kg/St]
1	2	3	4	5	6	7
Universalrohr (stabil)	Rohr: Metall-Kunststoff-Verbundrohr (PE-X/Al/PE) Dämmung: PE-Schaum mit Feuchtigkeitssperre PE-Folie	0,20	20,00		0,19	
T-Stück	entzinkungsbeständiges Sondermessing	0,20		10		0,13
Winkel (90°)	entzinkungsbeständiges Sondermessing	0,20		4		0,10
Kupplung	entzinkungsbeständiges Sondermessing	0,20		14		0,058

Tabelle 2.31: Abwasser-Installation

Bezeichnung	Material	Querschnitt	Menge		Gewicht	
			[m]	[St]	[kg/m]	[kg/St]
-	-	[m]	[m]	[St]	[kg/m]	[kg/St]
1	2	3	4	5	6	7
Abflussrohr WC	RAU-PP	0,10	16,50		1,436	
Abflussrohr	RAU-PP	0,04	6,00		0,835	

Tabelle 2.32: Elektro-/EDV-Installation

Bezeichnung	Material	Querschnitt	Menge		Gewicht	
			[m]	[St]	[kg/m]	[kg/St]
-	-	[m]	[m]	[St]	[kg/m]	[kg/St]
1	2	3	4	5	6	7
Gitterkanal	Edelstahl	2,20 x 0,06	255,00		1,81	
Stützfüße	Edelstahl			200		1,74

2.5 Baustoffe

Aus den im vorherigen Abschnitt genannten und in Anhang A im Detail aufgeführten Bauteilaufbauten können die in den Varianten des Stadtbausteins verwendeten Baustoffe entnommen werden. Hinzu kommen ergänzende Bauteile wie Fenster und Türen mit den darin enthaltenen Baustoffen, die zur vollständigen Abbildung des Stadtbausteins notwendig sind.

Für den Bereich des Stahl- und Spannbetons werden Betone der Druckfestigkeitsklassen C20/25, C25/30, C30/37, C40/50 und C50/60 sowie die erforderliche Bewehrung eingesetzt. Die Betonausgangsstoffe (Zement, Gesteinskörnung, Betonzusatzstoffe, Betonzusatzmittel, Wasser) sind im Beton entsprechend der Rezeptur (siehe Abschnitt 3.2.3.1) enthalten. Im Bereich der Tiefgarage werden darüber hinaus Oberflächenschutzsysteme eingesetzt.

Die Liste der übrigen Baustoffe reicht von anderen Tragschichten (z. B. Mauerwerk) über Bekleidungen (z. B. Gipskartonplatten), Abdichtungen (z. B. Bitumenbahnen), Dämmschichten (z. B. Glaswolle und Mineralfaserplatten) und Oberflächen (z. B. Putze und Anstriche) bis hin zu Materialien der technischen Gebäudeausrüstung (z. B. Polypropylen-Rohre). In Abschnitt 3.2.3.4 ist eine genaue Auflistung dargestellt, in denen auch die Quellen der verwendeten ökologischen Baustoffdaten aufgeführt sind.

2.6 Nutzbarkeitsdauer der Bauteile für die Lebenszyklusbetrachtung

Für die Lebenszyklusbetrachtung muss nicht nur die Herstellung aller Bauteile bei der Errichtung des Gebäudes berücksichtigt werden, sondern auch deren Instandhaltung bzw. der Austausch einzelner Komponenten im Verlauf des gesamten Lebenswegs. Nutzbarkeitsdauern einzelner Baustoffe werden in Anhang 6 des Leitfadens „Nachhaltiges Bauen“ /40/ angegeben. Dabei ist zu beachten, dass weiter außen liegende Materialien in der Regel ebenfalls erneuert werden müssen, wenn eine innen liegende Schicht ausgetauscht werden muss. Wird beispielsweise die Trittschalldämmung erneuert, so geht dies mit dem Austausch des darüber liegenden Estrichs sowie des Bodenbelags einher. Die Nutzbarkeitsdauern, die den Berechnungen zugrunde liegen, sind in Anhang B dargestellt.

3 ÖKOBILANZ DES STADTBAUSTEINS – VARIANTENVERGLEICH ZWISCHEN STANDARDSTRUKTUR UND FLEXIBLEM KONZEPT

3.1 Allgemeines

Zur Abschätzung der Umweltwirkungen des Stadtbausteins wurde eine Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 erstellt. Da das Erkenntnisinteresse vorrangig auf der Variantenoptimierung innerhalb des Verbundforschungsvorhabens lag, wurden die Ökobilanzen abweichend von der Norm keiner externen Begutachtung unterzogen, wie dies die vorgenannten Normen für veröffentlichte Ökobilanzen vorschreiben.

Das Ziel der Untersuchung ist es darzustellen, wie die flexible Gebäudestruktur bei einem vorgegebenen Nutzungsszenario im Vergleich zur Standardstruktur nach herkömmlicher Bauweise abschneidet. In weiteren Variationen des Stadtbausteins werden die Auswirkungen verschiedener Einzelaspekte auf das Gesamtergebnis untersucht (Abschnitt 4).

Die funktionelle Einheit bildet dabei ein Gebäude mit vorgegebener Nutzungsanforderung, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben. Die Gesamtbetrachtungsdauer beträgt 100 Jahre. Der Untersuchung liegt eine Abfolge von Nutzungen nach Abschnitt 2.2 zugrunde, bei dem das Gebäude zunächst als Bürogebäude mit einer klassischen Zellenstruktur genutzt wird. Nach 20 Jahren werden die Büros zu einer modernen Bürolandschaft mit geändertem Grundriss umgestaltet. Zum Jahr 40 wird das Gebäude dann komplett als Wohngebäude umgenutzt. Die Standardstruktur des Stadtbausteins erlaubt dabei keinen Umbau zum Wohngebäude und muss nach Rückbau neu errichtet werden. Die Tragstruktur der flexiblen Variante bleibt hingegen bestehen.

Im Rahmen der Ökobilanz wird jeweils inklusive der Vorketten die Herstellung und Entsorgung der bei Neubau, Umbau und Rückbau verwendeten Baustoffe erfasst. Bauprozesse, Hilfsmaterialien und Verschnitt sowie Transporte zur und von der Baustelle werden nicht berücksichtigt. Der Einfluss von Transporten zur Baustelle wird jedoch bei der Variation der Transportwege (Abschnitt 4.7) aufgezeigt.

Basisdatenbank der Ökobilanzierung ist die Datenbank Ökobau.dat, die das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung auf dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen bereitstellt (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung - Referat Nachhaltiges Bauen (Berlin) 2009) /31/. Spezielle Baustoff- und Entsorgungsprofile (insbesondere für Beton) wurden mit Hilfe der Datenbank und Software GaBi 4 (PE, LBP 2007) /32/ selbst modelliert. Die benötigten Informationen wurden von Herstellern und Verbänden bereitgestellt bzw. der Literatur entnommen. Beide Arten von Baustoffprofilen sind kompatibel, da die Ökobau.dat unter Verwendung der Software GaBi 4 erstellt wurde und daher dieselben Hintergrundprozesse enthält. Die Entsorgungsdatensätze wurden nach den Empfehlungen der DGNB /37/ den einzelnen Baustoffen zugeordnet. Hierbei ist zu beachten, dass nur für Metalle und Komponenten der Technischen Gebäudeausrüstung passend zugeschnittene Entsorgungsdatensätze bestehen. Für Beton wurde im Rahmen des Projekts ein spezifischer Entsorgungsdatensatz erstellt, der von den Angaben in der Ökobau.dat abweicht (s. a. /47/). Für die restlichen Baustoffe handelt es sich um durchschnittliche Datensätze. Diese liefern zwar über die Summe der Baustoffe eines Gebäudes ausreichend genaue Ergebnisse, können jedoch nicht verwendet werden, um zwei konkrete Baustoffe einander gegenüberzustellen. Für Baustoffe mit einem Anteil nachwachsender Rohstoffe (z. B. Holzwerkstoffplatten, Parkett) ist zu beachten, dass in der Ökobau.dat bei der Herstellung eine CO₂-Gutschrift für die Kohlendioxidaufnahme der Pflanzen beim Wachstum angerechnet wird. Bei der Entsorgung wird eine Verbrennung im Heizkraftwerk mit Gutschriften für Elektrizität und Wärme angesetzt. Dabei werden entstehende Emissionen mit den eingesparten Emissionen der heutigen Energieversorgung verrechnet. Dies kann dazu führen, dass Materialien mit nachwachsenden Rohstoffen insgesamt eine negative Wirkungsbilanz haben, also z. B. mehr CO₂ vermeiden, als sie verursachen. Für den Stromverbrauch zum Betrieb von Beleuchtung, Kühlung, Belüftung etc. wird der deutsche Strom-Mix nach Ökobau.dat verwendet. Der Betrieb der Gasheizung wurde nach Angaben aus Gemis (Datensatzname: Gas-Heizung DE 2005) /38/ unter Berücksichtigung von Energieverbrauch, direkten Emissionen, Hilfsenergie und einem pauschalen Anteil für die Herstellung des Heizkessels modelliert.

3.2 Randbedingungen

3.2.1 Überblick über die beiden Varianten

In Abschnitt 2.3 und Abschnitt 2.4 sind die Ausführungsvarianten für die Bauteile des Stadtbausteins beschrieben. Für den Vergleich zwischen den Varianten Flexible Struktur und Standardstruktur sowie zur Darstellung des Einflusses der Tragstruktur auf die Gesamtbilanz wurde dazu eine Standardausführungsvariante des Stadtbausteins definiert. Dadurch kann eine Vergleichbarkeit sichergestellt werden. Eine Variation der Ausführungsvarianten zur Ermittlung der Bandbreite der Umweltwirkungen erfolgt in Abschnitt 4.3.

In Tabelle 3.1 ist die für die nachfolgenden Berechnungen festgelegte Bauteilzusammenstellung des Stadtbausteins in den Varianten Flexible Struktur und Standardstruktur beschrieben. Es ist bei der Definition darauf geachtet worden, dass soweit möglich vergleichbare Bauteile ausgewählt wurden. Details zu den Vergleichsvarianten sind in Anhang A enthalten.

Die definierten Standardausführungsvarianten zeigen, dass bei wesentlichen Ausbaumaterialien einheitliche Lösungen für die Varianten Standardstruktur und Flexible Struktur gefunden werden konnten. Komponenten wie die Technische Gebäudeausrüstung (TGA), die Fenster und der Bodenbelag sind identisch in beiden Varianten gewählt. Auch der Aufbau des Daches ist identisch. Es ist jeweils ein ungenutztes Flachdach mit extensiver Begrünung verwendet worden. Unterscheidungen treten beim Dach in der Wahl des Tragsystems auf. In der Variante Flexible Struktur ist eine Spannbetonhohlplatte mit einer Bauteilhöhe von 32 cm gewählt worden, während im Dach der Variante Standardstruktur eine Stahlbetondecke von 25 cm verbaut worden ist. Gleiches gilt für die Deckensysteme in den Standardausführungsvarianten. Hier wird eine 25 cm Stahlbetondecke in der Variante Flexible Struktur durch ein Spannbetonfertigteilssystem mit 45 cm Bauteilhöhe ersetzt. Der darauf aufbauende Fußbodenunterbau wird dementsprechend von Zementestrich auf Calciumsulfatplatten umgestellt. Eine größere Differenz besteht bei den Wandaufbauten zwischen den Varianten. In der Variante Flexible Struktur werden überwiegend Trockenbauinnenwände verwendet. Demgegenüber besitzt die Standardstruktur tragende Innenwände aus Stahlbeton und unbewehrtem Beton. Die übrigen Trennwände werden in der Büronutzung als Trockeninnenbauwände analog zur Flexiblen Struktur ausgeführt. Für die Außenwände werden in der Variante Flexible Struktur Stahlbetonfertigteile verwendet. Dies entspricht dem verwendeten System in der Variante Standardstruktur bei Büronutzung. Im Neubau für die Wohnnutzung werden Kalksandsteinwände mit einem Wärmedämmverbundsystem gebraucht.

Tabelle 3.1: Vergleichsvarianten der Ökobilanz des Stadtbausteins

Variante	Standardstruktur	Flexible Struktur
1	2	3
TGA	Leitungssystem für die Lüftung Leitungssystem für die Heizung Trinkwasser-Installation Abwasser-Installation Elektro-/EDV-Installation	Leitungssystem für die Lüftung Leitungssystem für die Heizung Trinkwasser-Installation Abwasser-Installation Elektro-/EDV-Installation
Fenster	Fenster Typ I: Wärmeschutzverglasung	Fenster Typ I: Wärmeschutzverglasung
Innenwand	Innenwand Typ II, III, IV, V: Gipskartonständerwände (Büro 1+2) Innenwand Typ STB1 - STB6, MW: Stahlbeton, unbewehrter Beton und Kalksandsteinmauerwerk (Wohnen)	Innenwand Typ II, III, IV, V: Gipskartonständerwände
Bodenbelag	Büro: Teppich Wohnen: Parkett Sanitärbereiche/Flur: Fliesen bzw. Natur- stein	Büro: Teppich Wohnen: Parkett Sanitärbereiche/Flur: Fliesen bzw. Natur- stein
Dach	Dach Typ VI: begrüntes Flachdach, Stahlbetonplatte (Büro 1+2) Dach Typ VII: begrüntes Flachdach, Stahlbetonplatte (Wohnen)	Dach Typ III: begrüntes Flachdach, Spannbetonhohlplatte
Stützen, Unterzüge	Stütze Typ Ia – Id, IIa, IIb: Ortbetonbauweise	Stütze Typ IV und V: Ortbetonbauweise Unterzug Typ I und II: Fertigteile
Decke	Decke Typ IV: Stahlbeton	Decke Typ I: Stahlbetonfertigteilsystem
Außenwand	Außenwand Typ IV: Stahlbetonfertigteile mit Natursteinfassade (Büro 1+2) Außenwand Typ VII: Kalksandsteinmau- erwerk mit Wärmedämmverbundsystem (Wohnen)	Außenwand Typ IV: Stahlbetonfertigteile mit Natursteinfassade
Tiefgarage	Decke Typ V-b und VII-bw, Außenwand Typ I, Stütze Typ VII, Bodenplatte Typ II: Ortbetonbauweise mit Abfangungen der Obergeschosse (Büro 1+2) Decke Typ V-w und VII-bw, Außenwand Typ I, Stütze Typ VIII, Bodenplatte Typ III: Ortbetonbauweise mit Abfangun- gen der Obergeschosse (Wohnen)	Decke Typ V und VII, Außenwand Typ I, Stütze Typ VI, Bodenplatte Typ I: Ortbe- tonbauweise mit Flexibilisierungsoption
	Oberflächenschutz OS 11a	Oberflächenschutz OS 11a

Die Untergeschosse werden in beiden Varianten in Ortbetonbauweise erstellt. Für die Flexible Struktur wird jedoch eine variable Stützenstellung im 1. UG ermöglicht, sodass sich Bauteilstärken und Bewehrungsmenge unterscheiden. Für die Nutzung der Untergeschosse als Tiefgarage wird zunächst für beide Varianten ein konservatives Instandhaltungskonzept mit Vollbeschichtung mit dem Oberflächenschutzsystem OS 11a gewählt. Alternativ dazu wurden Variantenbetrachtungen mit Teilflächenbeschichtung und Monitoring-System sowie unterschiedlichen Chlorideinwirkungen und unterschiedlichen Betonzusammensetzungen durchgeführt (s. Abschnitt 4.6).

3.2.2 Energiebedarf

Zur Berechnung des Energiebedarfs des Stadtbausteins wird das Anforderungsniveau der Energieeinsparverordnung /6/ zugrunde gelegt und für alle drei Nutzungsphasen angewandt. Hauptzweck der Berechnungen ist die Bereitstellung energetischer Kennwerte zur weiteren Verwendung in der Ökobilanz dieses Dossiers.

Die Berechnungen für die Büro-Szenarien erfolgen nach der Normenreihe DIN V 18599 /16/ und für das Wohn-Szenario nach DIN V 4108-6:2003-06 /48/. Die unterschiedlichen Berechnungsvorschriften führen dazu, dass beim Bürogebäude der Energiebedarf für Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung berücksichtigt wird, für die Wohnnutzung im Stadtbaustein jedoch nur die Aufwendungen für Heizung und Trinkwarmwasser bilanziert werden können. Zwar wird nach der neuen „EnEV“ 2009 die Möglichkeit gegeben, auch Wohngebäude nach DIN V 18599 /16/ zu berechnen, allerdings fehlt derzeit eine belastbare Datengrundlage und eine entsprechende Software zur Berechnung der Lüftungs-, Beleuchtungs- und Kühlenergie für Wohngebäude. Aufgrund dieser Umstände ist eine Ausweisung der Kühl-, Lüftungs- und Beleuchtungsenergie für das Szenario Wohnen derzeit nicht sinnvoll: Der unmittelbare Vergleich der Rechenresultate des Büro- und Wohnszenarios ist daher nicht möglich.

Bei den Berechnungen werden die beiden unterschiedlichen Tragstrukturen betrachtet, die Variante Standard und die Variante Flexible Struktur. Aufgrund der unterschiedlichen Tragstrukturen ergeben sich unterschiedliche lichte Höhen der Geschosse und damit unterschiedliche Luftvolumen (Nettovolumen), die bei den energetischen Berechnungen eine Rolle spielen. Bei der Wohnnutzung kann dieser Umstand nicht berücksichtigt werden, da hier das Nettovolumen aus dem feststehenden Bruttovolumen ermittelt wird. Des Weiteren wird für die Variante Standardstruktur aufgrund der massiven Innenwände von einer schweren Bauart ausgegangen, während für die Variante Flexible Struktur von einer mittelschweren (Büro) bzw. leichten Bauart (Wohnen) ausgegangen wird, da hier die Zwischenwände in Leichtbauweise erstellt werden (pauschale Einstufung der Bauschwere nach DIN V 18599-2 bzw. DIN V 4108-6). In Tabelle 3.2 sind die geometrischen Kenndaten des Stadtbausteins dargestellt.

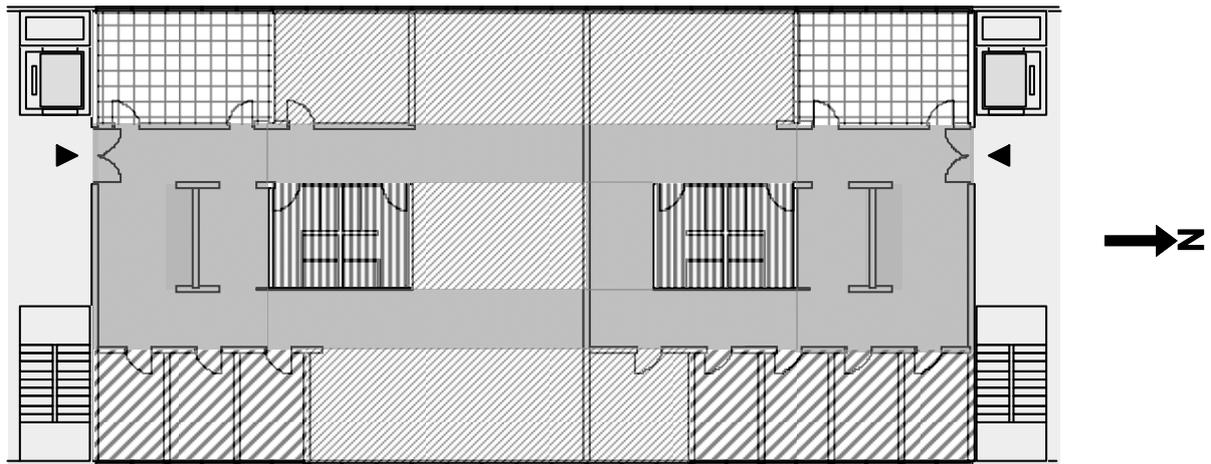
Tabelle 3.2: Gebäudegeometrie des Stadtbausteins

Nettogrundfläche gesamt (mit TG) [m ²]	3.600	
Nettovolumen gesamt (mit TG) [m ³]	Standard	11.115
	Flexible Struktur	10.440
Bruttovolumen gesamt (mit TG) [m ³]	12.682	
Nettogrundfläche thermisch konditioniert (EG – 5. OG) [m ²]	2.700	
Nettovolumen thermisch konditioniert (EG – 5. OG) [m ³]	Standard	8.775
	Flexible Struktur	8.100
Bruttovolumen thermisch konditioniert V _e (EG – 5. OG) [m ³]	9.828	
Wärmeübertragende Hüllfläche A [m ²]	2.196	
A/V _e -Verhältnis [m ⁻¹]	0,22	
Fensterflächenanteil	0,50	

Als Berechnungsgrundlage wird von einer Fassade mit einem Fensterflächenanteil von 50 % ausgegangen. Für die energetischen Berechnungen nach DIN V 18599 /16/ (Büronutzung) ist die Einteilung des Stadtbausteins in entsprechende Nutzungszonen und Beleuchtungsbereiche erforderlich. Die Ermittlung der Zonen-Bruttovolumen erfolgt anhand der prozentualen Aufteilung der Nettogrundflächen der Zonen. Die gewählten Szenarien Büro I und Büro II gelten sowohl für die Tragstruktur Standard als auch für die Tragstruktur Flexible Struktur, so dass jeweils die gleiche Zoneneinteilung und die gleichen Beleuchtungsbereiche vorliegen.

Büro I: 0 – 20 Jahre

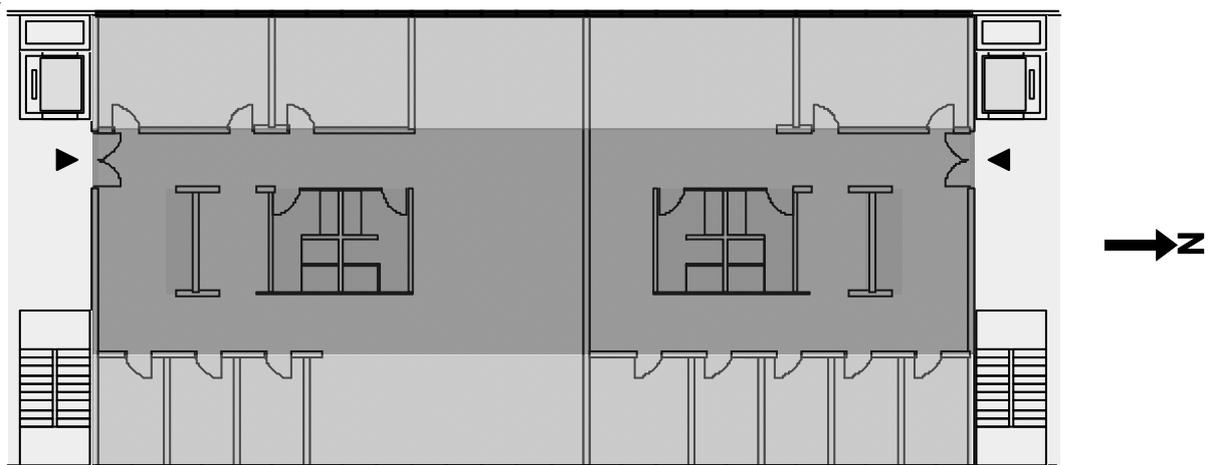
Die erste Phase beinhaltet eine Büronutzung für den Zeitraum der ersten zwanzig Jahre nach Errichtung des Gebäudes. Bild 3.1 und Bild 3.2 zeigen die getroffenen Festlegungen zur Einteilung der Zonen (Nutzungsprofile) sowie zu den Beleuchtungsbereichen des Stadtbausteins.



Zonenlegende

- /// Einzelbüro
- ▧ Gruppenbüro
- ||||| WC und Sanitarräume in Nichtwohngebäuden
- ▨ Besprechung, Sitzung, Seminar
- Verkehrsflächen

Bild 3.1: Zonierung nach DIN V 18599 /16/ für **Büro I**



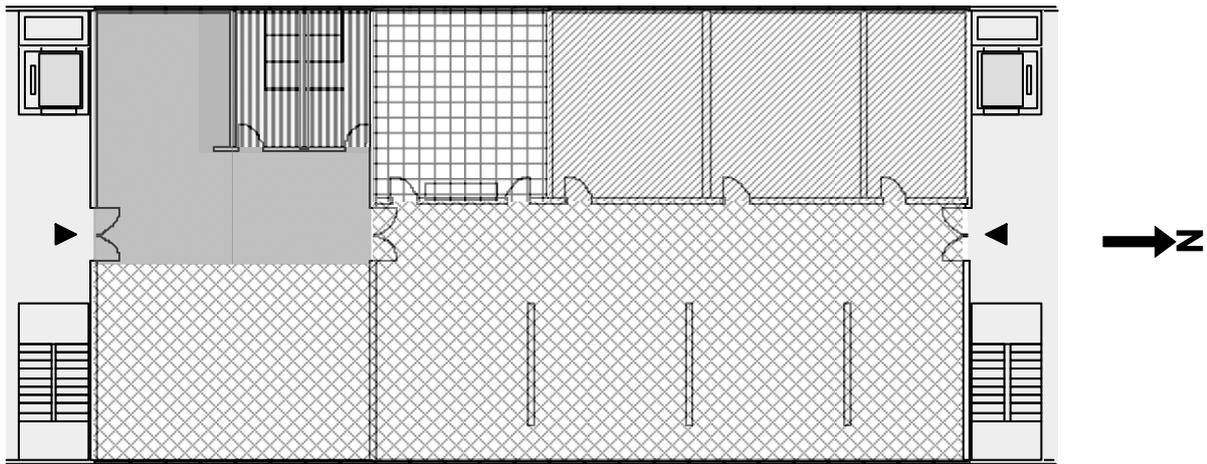
Legende Beleuchtungsbereiche

- Tageslicht Ost/West
- kein Tageslicht

Bild 3.2: Beleuchtungsbereiche nach DIN V 18599 /16/ für **Büro I**

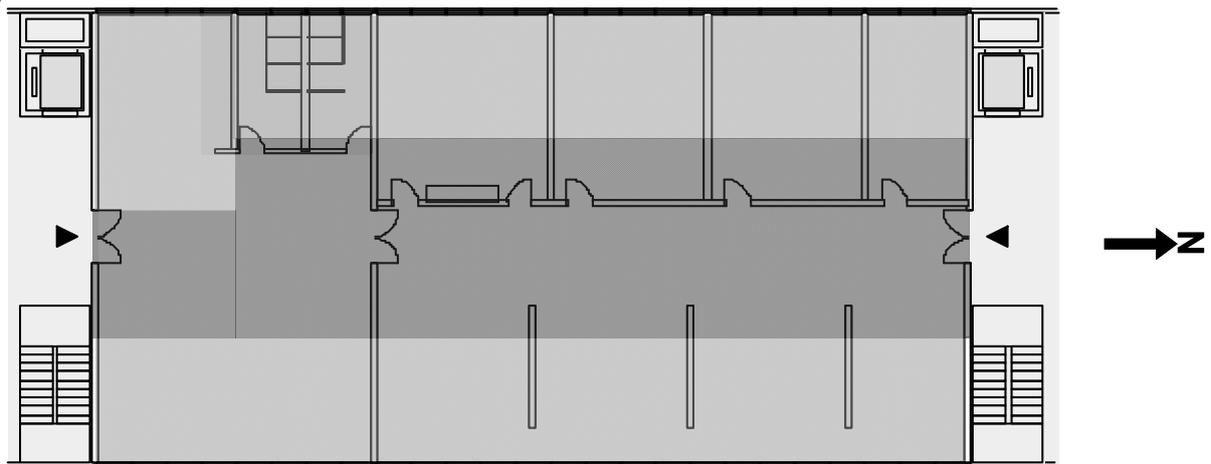
Büro II: 21 – 40 Jahre

Die zweite Phase beinhaltet eine geänderte Büronutzung für den Zeitraum vom 21sten bis 40sten Jahr nach Errichtung des Gebäudes. Bild 3.3 und Bild 3.4 zeigen die getroffenen Festlegungen zur Einteilung der Zonen (Nutzungsprofile) sowie zu den Beleuchtungsbereichen des Stadtbausteins.



- Zonenlegende
- ⊠ Großraumbüro
 - ▨ Gruppenbüro
 - ▤ WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden
 - ▧ Besprechung, Sitzung, Seminar
 - Verkehrsflächen

Bild 3.3: Zonierung nach DIN V 18599 /16/ für **Büro II**



- Legende Beleuchtungsbereiche
- Tageslicht Ost/West
 - kein Tageslicht

Bild 3.4: Beleuchtungsbereiche nach DIN V 18599 /16/ für **Büro II**

Bei der Ermittlung der Beleuchtungsbereiche (siehe Bild 3.2) ergeben sich fassadennahe, mit Tageslicht versorgte Bereiche durch die Fenster an der Ost- bzw. Westfassade und Bereiche, die nicht mit Tageslicht versorgt werden, im Kernbereich des Geschosses. Die Tageslichtversorgung ist nach DIN V 18599 /16/ für die Ost- und Westorientierung gleich ausgeprägt, so dass hier ein einheitlicher Beleuchtungsbereich angesetzt werden kann. Die Beleuchtungstiefe, von der Fassade ausgehend, hängt von der Höhe des Fenstersturzes und der Höhe der Nutzebene ab, die sich aus dem jeweiligen Nutzungsprofil der Zonen ergibt. Im Bereich der Gruppenbüros wurde angenommen, dass in vier Meter Abstand zur Fassade zum Teil mobile Trennwände, Trennschränke oder dergleichen vorhanden sind, so dass sich die gleiche Beleuchtungstiefe wie für die Einzelbüros ergibt. In Bild 3.4 sind die Beleuchtungstiefen etwas größer, da größere Raumtiefen vorhanden sind. Im linken oberen Bildrand liegt keine Bürozone, sondern Verkehrsfläche mit der Nutzebene auf Fußbodenniveau. Dadurch erhöht sich die Beleuchtungstiefe an dieser Stelle gegenüber den Bürobereichen.

Die Nutzungsphase „Wohnen“ wird nach DIN V 4108-6 berechnet. Hierbei wird mit einem Einzonenmodell gerechnet. Die Beleuchtungsenergie kann nicht berechnet werden, es erfolgt daher keine Aufteilung in Beleuchtungsbereiche.

Weitere Randbedingungen der Berechnung

Die wesentlichen Randbedingungen der Berechnungen für die Büronutzung finden sich in Tabelle 3.3 und für die Wohnnutzung in Tabelle 3.4. Die haustechnischen Anlagen werden beim Anforderungsniveau „EnEV“ 2007 /6/ in Anlehnung an die Referenztechnologie gemäß Energieeinsparverordnung (Stand 24. Juli 2007) ausgelegt.

Tabelle 3.3: Berechnungsrandbedingungen Büronutzung beim Anforderungsniveau „EnEV“

Rechengröße/System		Ausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
1	2	3
Wärmedurchgangskoeffizient U	Außenwand	0,26 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Dach	0,18 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Decke gegen Tiefgarage	0,31 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Fenster	1,30 W/(m²K)
Gesamtenergiedurchlassgrad g_{\perp}	Fenster	0,65
Lichttransmissionsgrad der Verglasung τ_{D65}	Fenster	0,78
Luftdichtheit		Kategorie I (nach Tabelle 4 der DIN V 18599-2 :2007-02)
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL, Vers, SA}$ nach DIN V 18599-4 /18/	Blendschutz vorhanden	0,15
Sonnenschutzvorrichtung	Art	Außenjalousie (45°) grau
	Ausführung	beweglich (variabel)
	Aktivierung	in Abhängigkeit der solaren Einstrahlung manuell betätigt oder zeitgesteuert
Beleuchtungsart		direkte Beleuchtung mit verlustarmem Vorschaltgerät und stabförmiger Leuchtstofflampe
Regelung der Beleuchtung	Präsenzkontrolle	manuelle Kontrolle (ohne Präsenzmelder)
	tageslichtabhängige Kontrolle	manuelle Kontrolle
Heizung		<p><u>Wärmeerzeuger:</u> Niedertemperaturkessel, Gebläsebrenner, Erdgas, Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle, Wasserinhalt > 0,15 l/KW</p> <p><u>Wärmeverteilung:</u> Zweirohrnetz, außen liegende Verteilerleitungen im unbeheizten Bereich, innen liegende Steigstränge, innen liegende Anbindeleitungen, Systemtemperatur 55/45 °C, hydraulisch abgeglichen, Δp konstant, Pumpe auf Bedarf ausgelegt, Pumpe mit intermittierendem Betrieb, keine Überströmventile</p> <p><u>Wärmeübergabe:</u> freie Heizflächen an der Außenwand, P-Regler (2K), keine Hilfsenergie</p>
Warmwasser	zentral	<p><u>Wärmeerzeuger:</u> gemeinsame Wärmeerzeugung mit Heizung</p> <p><u>Wärmespeicherung:</u> indirekt beheizter Speicher (stehend), Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle</p> <p><u>Wärmeverteilung:</u> mit Zirkulation, Δp konstant, Pumpe auf Bedarf ausgelegt</p>
Raumlufttechnik		<p><u>Zu- und Abluftanlage ohne Nachheiz- und Kühlfunktion:</u> spezifische Leistungsaufnahme Zuluftventilator: $P_{SFP} = 1,6 \text{ KW}/(\text{m}^3/\text{s})$ spezifische Leistungsaufnahme Abluftventilator: $P_{SFP} = 1,25 \text{ KW}/(\text{m}^3/\text{s})$ Wärmerückgewinnung über Kreislaufverbund-Kompaktwärmeübertrager: Rückwärmzahl $\eta_t = 0,45$, ungeregelte Pumpe</p>

Rechengröße/System		Ausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
1	2	3
Raumkühlung		<u>Kältesystem:</u> Kaltwasser Fan-Coil 14/18 °C Kaltwassertemperatur; Brüstungsgerät <u>Kaltwasserkreis Raumkühlung:</u> 10 % Überströmung, spezifische elektrische Leistung der Verteilung $P_{d,spez} = 35 \text{ W}_{el}/\text{KW}_{Kälte}$, hydraulisch abgeglichen, geregelte Pumpe, Pumpe hydraulisch entkoppelt, saisonale sowie Nacht- und Wochenendabschaltung
Kälteerzeugung		<u>Erzeuger:</u> Kolben/Scrollverdichter mehrstufig schaltbar, R134a, luftgekühlt, Kaltwassertemperatur 6/12 °C <u>Kaltwasserkreis Erzeuger:</u> 30 % Überströmung, spezifische elektrische Leistung der Verteilung $P_{d,spez} = 25 \text{ W}_{el}/\text{KW}_{Kälte}$, hydraulisch abgeglichen, unregelmäßige Pumpe, Pumpe hydraulisch entkoppelt, saisonale sowie Nacht- und Wochenendabschaltung, Verteilung außerhalb der konditionierten Zone
Nutzungsrandbedingungen		Werte nach den Tabellen 4-8 der DIN V 18599-10 /17/

Tabelle 3.4: Berechnungsrandbedingungen Wohnnutzung beim Anforderungsniveau „EnEV“

Rechengröße/System		Ausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
1	2	3
Wärmedurchgangskoeffizient U	Außenwand	0,26 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Dach	0,18 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Decke gegen Tiefgarage	0,31 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Fenster	1,30 W/(m²K)
Gesamtenergiedurchlassgrad g_{\perp}	Fenster	0,65
Lichttransmissionsgrad der Verglasung τ_{D65}	Fenster	0,78
Luftdichtheit		$n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$
Sonnenschutzvorrichtung		Außenjalousie (45°) grau
Heizung		<u>Wärmeerzeuger:</u> Niedertemperaturkessel, Erdgas, Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle <u>Wärmeverteilung:</u> außen liegende Rohrleitungen im unbeheizten Bereich, Systemtemperatur 55/45 °C, hydraulisch abgeglichen <u>Wärmeübergabe:</u> freie Heizflächen an der Außenwand, P-Regler (2K)
Warmwasser	zentral	<u>Wärmeerzeuger:</u> gemeinsame Wärmeerzeugung mit Heizung <u>Wärmespeicherung:</u> Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle <u>Wärmeverteilung:</u> mit Zirkulation
Raumluftechnik		<u>Zu- und Abluftanlage ohne Nachheiz- und Kühlfunktion:</u> Nachweis der Dichtheit nach „EnEV“ 2007 /6/, Anlagenluftwechselrate mit Standardwerten nach DIN 4701
Nutzungsrandbedingungen		DIN V 4108-6 :2003-06

Berechnungsergebnisse

Die folgenden Berechnungsergebnisse fließen in die ökologische Bilanzierung des Stadtbausteins bei Betrachtung einer 100-jährigen Nutzung ein. Aufgrund der unterschiedlichen Berechnungsmethoden für die Büro- bzw. Wohnnutzung (DIN V 18599 /16/ bzw. DIN V 4108-6 /48/) liegen den flächenbezogenen Energiebedarfswerten unterschiedliche Bezugsflächen zugrunde. Bei der Büronutzung handelt es sich um die thermisch konditionierte Nettogrundfläche von 2.700 m². Bei der Wohnnutzung beträgt die Bezugsfläche 0,32 m²/m³ (32 %) des Bruttovolumens, das sind 3.145 m².

In den Bildern 3.5 bis 3.7 ist der Energiebedarf für die beiden Tragstrukturen bei den Nutzungsszenarien Büro I, Büro II und Wohnen dargestellt. Anhand der Grafiken sind praktisch keine Unterschiede zwischen dem Bedarf an Nutz- / End- bzw. Primärenergie (nicht erneuerbar) zwischen der Tragstruktur Standard und der Tragstruktur Flexibel zu erkennen. Die unterschiedliche Bauschwere bzw. das unterschiedliche Nettovolumen wirken sich hinsichtlich der Energiebedarfswerte bei dem gewählten normierten Berechnungsverfahren kaum aus, so dass die Unterschiede zwischen der Tragstruktur Standard und Flexibel gering bleiben. Hinsichtlich des Energiebedarfs während des Gebäudebetriebs entstehen demnach durch die Varianten Standard oder Flexibel keine maßgeblichen Vor- oder Nachteile.

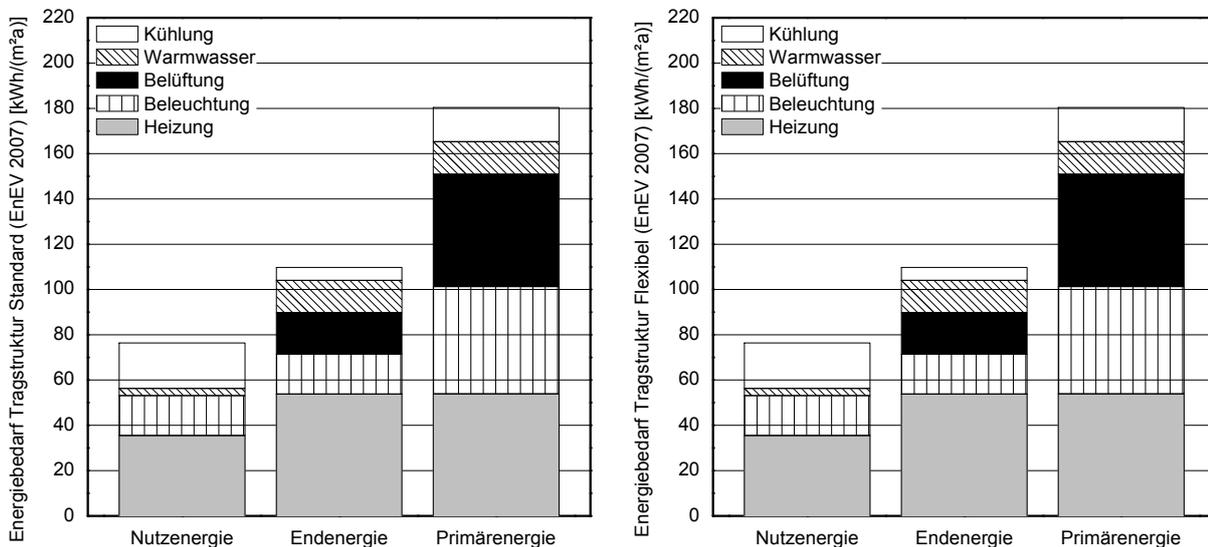


Bild 3.5: Energiebedarf Stadtbaustein in der Nutzungsphase **Büro I**, dem energetischen Anforderungsniveau „EnEV“ und der Tragstruktur Standard (links) bzw. Flexible Struktur (rechts); tabellarische Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse in Anhang C1

In der Phase Büro II (Bild 3.6) steigt der Energiebedarf für Beleuchtung, Belüftung und Kühlung gegenüber der Phase Büro I. Dies hängt mit der veränderten Raumanordnung zusammen, die eine energetisch ungünstigere Zonierung und Einteilung in Beleuchtungsbereiche zur Folge hat.

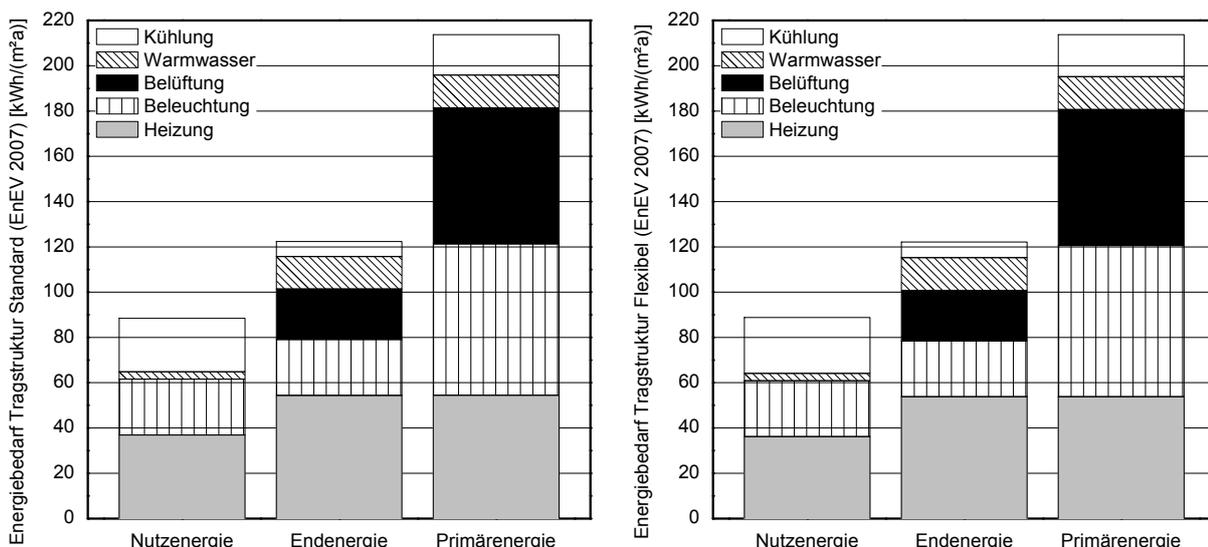


Bild 3.6: Energiebedarf Stadtbaustein in der Nutzungsphase **Büro II**, dem energetischen Anforderungsniveau „EnEV“ und der Tragstruktur Standard (links) bzw. Flexible Struktur (rechts); tabellarische Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse in Anhang C1

Bei der Berechnung der Wohnnutzung (Bild 3.7) werden gemäß „EnEV“ die Aufwendungen für Beleuchtung, Kühlung und Belüftung nicht bilanziert. Die energetischen Unterschiede wären hier zwischen der Tragstruktur Standard und der Tragstruktur Flexibel aber voraussichtlich ebenfalls gering. Der Energiebedarf für

Heizung und Warmwasserbereitung kann nicht unmittelbar den Werten der Büronutzung gegenübergestellt werden, da unterschiedliche Berechnungsrandbedingungen vorliegen (z. B. unterschiedliche Flächenbezüge bei Büro- und Wohnnutzung, Raumsolltemperatur 20 °C bei Wohngebäudeberechnung und 21 °C bei Bürogebäudeberechnung; höherer Warmwasserbedarf in Wohngebäuden gegenüber Bürogebäuden).

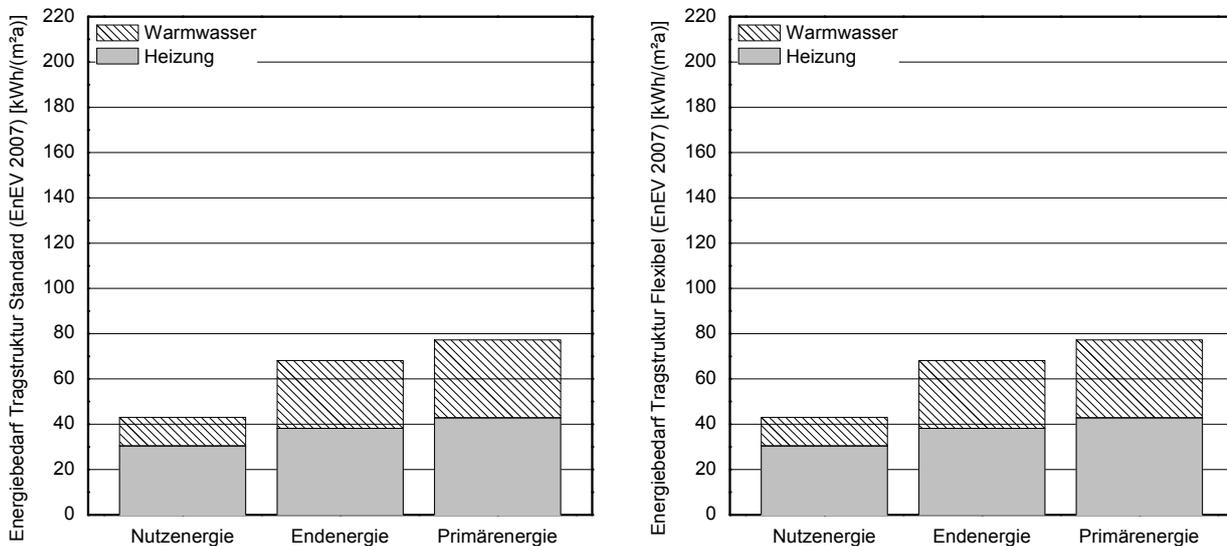


Bild 3.7: Energiebedarf Stadtbaustein in der Nutzungsphase **Wohnen**, dem energetischen Anforderungsniveau „EnEV“ und der Tragstruktur Standard (links) bzw. Flexible Struktur (rechts); tabellarische Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse in Anhang C1

Im Anhang C1 finden sich tabellarische Zusammenstellungen der Berechnungsergebnisse.

3.2.3 Baustoffprofile für Beton und andere Baustoffe

3.2.3.1 Beton

Als Bezugsgröße für die Baustoffprofile dient 1 m³ Beton, als Bezugsjahr das Jahr 2006. Das Baustoffprofil wurde für 1 m³ Transportbeton entwickelt und wird im Folgenden hier auch für den in den Fertigteilen eingesetzten Beton verwendet. Das System wird durch den Ansatz „cradle to gate“ beschrieben. Das bedeutet, dass die Aufwendungen für die Herstellung des Betons von der Entnahme aller Stoffe und Energieträger aus der Natur bis zur Auslieferung des Transportbetons am Werk betrachtet werden. Der Transport zum Kunden liegt außerhalb der Systemgrenzen. Bei der Fertigteilherstellung wurde von einer eigenen Betonherstellung im Fertigteilwerk ausgegangen, so dass die Aufwendungen bis zum Einbau des Betons in die Schalung betrachtet werden. Der Einfluss des Transportes vom Transportbetonwerk zur Baustelle wird in Abschnitt 4.7 dargestellt.

Für die Erstellung der Bauteilanalysen wurden die Baustoffprofile für die Betondruckfestigkeitsklassen C20/25, C25/30 und C30/37 in das Vorhaben eingespeist /31/, /39/, /47/. Für diese Druckfestigkeitsklassen wurde jeweils das Baustoffprofil für einen durchschnittlichen Beton berechnet, d. h. dass von einer durchschnittlichen Zusammensetzung der Betone in der Menge und in der Art der Ausgangsstoffe ausgegangen wurde. Ergänzend wurden in konsistenter Weise die Baustoffprofile für die härtesten Betone C35/45 bis C100/115 ausgehend von typischen Rezepturen entwickelt /47/. Dabei waren neben den Baustoffprofilen für die Betondruckfestigkeitsklassen C20/25, C25/30 und C30/37 insbesondere diejenigen Profile für die Betone der Druckfestigkeitsklassen C40/50 und C50/60 für die Untersuchungen von Interesse. Die Baustoffprofile für die weiteren Betondruckfestigkeitsklassen wurden in einer Variantenanalyse genutzt (siehe Abschnitt 4.5).

Es wird insgesamt von durchschnittlichen Transportaufwendungen der Ausgangsstoffe für die Betonherstellung (Entfernungen, Transportmittel, Aufwand pro Tonne und Kilometer) sowie für die Bereitstellung der Energieträger und des benötigten Stroms ausgegangen. Es wurden Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie BTB (Betonzusammensetzung, Aufwand im Betonwerk, Transportentfernungen), des Bundesverbandes Mineralische Rohstoffe e. V. MIRO (Aufwendungen für Splittgewinnung) und

des europäischen Betonzusatzmittelverbandes EFCA (Ökobilanzen der Betonzusatzmittelherstellung) genutzt. Um die Zementherstellung zu berücksichtigen, wurde das Baustoffprofil eines deutschen Durchschnittszements verwendet, der für das Bezugsjahr 2006 berechnet wurde /47/, /49/. Für die Bereitstellung der Flugasche wurden unter Vernachlässigung der sehr geringen Aufwendungen für die Lagerung nur die Transporte berücksichtigt, deren Abschätzung mit VGB Powertech abgestimmt wurde. Die im Programm GaBi 4 /32/ enthaltene Datenbank wurde genutzt, um die Bereitstellung von Sand und Kies zu berücksichtigen. Die Energieträger (Strom und Diesel) sowie die Transportaufwendungen wurden ebenfalls auf Grundlage der im Programm GaBi 4 enthaltenen Datenbank modelliert.

Folgende Zusammensetzung der Betone wurde für die betrachteten Betondruckfestigkeitsklassen angenommen (Tabelle 3.5):

Tabelle 3.5: Zusammensetzung der betrachteten Betone

Betonausgangsstoff	C20/25	C25/30	C30/37	C40/50	C50/60
Gesteinskörnungen [kg/m ³]	1880	1820	1790	1800	1770
... davon Sand [kg/m ³]	658	636	627	630	620
... davon Kies [kg/m ³]	846	820	805	810	796
... davon Splitt [kg/m ³]	376	364	358	360	354
Zement [kg/m ³]	260	290	320	375	415
Wasser [kg/m ³]	170	176	170	160	160
Flugasche [kg/m ³]	40	60	80	55	50
Betonverflüssiger [kg/m ³]	1,30	1,16	1,28	1,88*	-
Fließmittel [kg/m ³]	-	-	-	-	2,08*

* auf PCE-Basis

Damit ergaben sich die in Tabelle 3.6 dargestellten Baustoffprofile für Transportbeton, die entsprechend des Ansatzes „cradle to gate“ noch nicht die Transporte vom Werkstor zur Baustelle berücksichtigen.

Tabelle 3.6: Ökobilanzielle Baustoffprofile für 1 m³ Beton der Betondruckfestigkeitsklassen C20/25, C25/30, C30/37 (/31/, /39/, /47/) sowie C40/50 und C50/60

Parameter	Einheit	C20/25	C25/30	C30/37	C40/50	C50/60
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	1024	1108	1196	1379	1494
Primärenergie erneuerbar	MJ	19,3	20,9	22,5	25,6	27,7
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	196	217	237	276	303
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	5,3·10 ⁻⁶	5,8·10 ⁻⁶	6,3·10 ⁻⁶	7,3·10 ⁻⁶	7,9·10 ⁻⁶
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,36	0,38	0,42	0,48	0,52
Eutrophierungspotenzial (EP)	kg PO ₄ -Äq.	0,050	0,054	0,058	0,067	0,072
Ozonbildungspotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,036	0,039	0,043	0,049	0,053

Die Analyse des Einflusses unterschiedlicher Zementarten auf die Ökobilanzen ist in den Abschnitten 4.2.1, 4.2.2 und 4.6 enthalten.

3.2.3.2 Betonstahl

Das Baustoffprofil von 1 t Betonstahl wurde ausgehend von den Werksdaten eines typischen deutschen Stahlwerks erstellt. Es handelt sich um ein Elektrostahlwerk, in dem der Stahl aus Schrott erschmolzen sowie anschließend gewalzt wird. Betrachtet wurden neben den Aufwendungen im Werk die Vorketten, d. h. die Bereitstellung der benötigten Energieträger (insbesondere Strom), der Einsatzstoffe (neben Schrott: Kohle, Kalk, Legierungen), der benötigten Betriebs- und Hilfsstoffe (u. a. Elektroden) sowie die anfallenden Transporte zum Werk. Bilanziert wurde bis zur Auslieferung des Stahls am Werkstor, Bezugsjahr ist das Jahr 2007. Soweit vorhanden wurden die Vorketten der Datenbank GaBi 4 entnommen. Die Daten zur Herstellung einer Legierung sowie der Elektroden wurden aufgrund von Herstellerangaben in ihren wesentlichen Umweltwirkungen selber modelliert. Das sich damit ergebende Baustoffprofil für Betonstahl zeigt Tabelle 3.7.

Tabelle 3.7: Ökobilanzielle Baustoffprofile für 1 t Betonstahl

Parameter	Einheit	Werte
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	9581
Primärenergie erneuerbar	MJ	838
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	676
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	84,8 · 10 ⁻⁶
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	1,37
Eutrophierungspotenzial (EP)	kg PO ₄ -Äq.	0,120
Ozonbildungspotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,162

Die Daten für Primärenergie (nicht erneuerbar) sowie Treibhauspotenzial stehen in sehr guter Übereinstimmung mit den Daten für Betonstahl der Datenbank GaBi 4, die übrigen Daten sind in guter Übereinstimmung. Die Werte für Primärenergie und Treibhauspotenzial unterscheiden sich um weniger als 5 % von den Werten der Datenbank GaBi 4. Die Werte für Ozonabbau- und Versauerungspotenzial sind um rund 20 % höher, das Ozonbildungspotenzial weist 13 % tiefere Werte auf. Lediglich das Eutrophierungspotenzial zeigt mit einem über 40 % höheren Wert einen sehr großen Unterschied zum Datensatz der Datenbank GaBi 4 auf.

Aufgrund fehlender Daten wurde für den Spannstahl derselbe Datensatz verwendet wie für Betonstahl. Für Spannstahl kann aber im Gegensatz zum Bewehrungsstahl nicht davon ausgegangen werden, dass er aus Schrott im Elektroofen erschmolzen wird. Vielmehr ist auf Grund der unbekanntenen Handelsbeziehungen davon auszugehen, dass ein nennenswerter Teil aus integrierten Stahlwerken mit Hochofen stammt. Auf Grund des weltweiten Produktionsmix kann man von einem Verhältnis von 70 % Stahl aus dem Hochofenprozess zu 30 % aus dem Elektrostahlverfahren ausgehen. Unter dieser Annahme wurde für eine Sensitivitätsanalyse folgender Datensatz für Spannstahl verwendet (Tabelle 3.8):

Tabelle 3.8: Ökobilanzielles Baustoffprofil für 1 t Spannstahl

Parameter	Einheit	Werte
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	19107
Primärenergie erneuerbar	MJ	856
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	1415
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	4,23 · 10 ⁻⁵
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	3,814
Eutrophierungspotenzial (EP)	kg PO ₄ -Äq.	0,340
Ozonbildungspotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,586

Bei diesen Daten ist zu berücksichtigen, dass mit der Herstellung des Stahlknüppels sowie der anschließenden Behandlung im Walzwerk die wesentlichen Schritte in der Betonstahlherstellung berücksichtigt sind, jedoch weitergehende Verfahrensschritte wie das Schweißen der Betonstahlmatten nicht berücksichtigt wurden. Entsprechend wurden auch die weiteren besonderen Schritte in der Herstellung des Spannstahls in dieser Betrachtung vernachlässigt. Die Darstellung beschreibt ferner lediglich die mit der Herstellung des Stahls unmittelbar verbundenen potentiellen Umweltwirkungen. Nicht berücksichtigt werden sowohl Gutschriften, durch die das Recyclingpotenzial des Stahls am Ende des Lebensweges einbezogen werden könnten, als auch zusätzliche Belastungen, die durch die nicht vollständige massebezogene Umsetzung des eingesetzten Stahlschrotts in neuen Stahl durch das Elektrostahlverfahren eingerechnet werden könnten.

3.2.3.3 Oberflächenschutzsystem

Das Baustoffprofil für das Aufbringen des Oberflächenschutzsystems OS 11a wurde im Rahmen des Projekts mit Hilfe der Software GaBi 4 /32/ selbst modelliert, da weder in der Datenbank Ökobau.dat /31/ noch von Seiten der Hersteller Ökobilanzen verfügbar sind. Folgende Arbeitsschritte bzw. Komponenten wurden berücksichtigt

1. Untergrundvorbehandlung durch Kugelstrahlen:
Das Kugelstrahlen erfolgt im geschlossenen Kreislauf. Es wird die vollständige Wiederverwendung des Strahlguts angenommen. In der Modellierung wird näherungsweise nur der Stromverbrauch des Geräts (10 kW elektrische Leistungsaufnahme) berücksichtigt. Direkte Emissionen (z. B. Staub) werden nicht berücksichtigt.

2. Grundieren der Oberfläche:
Die Grundierung erfolgt mit einem lösemittelfreien zweikomponentigen Epoxidharz. In der Modellierung der Ökobilanz wird hierfür der Datensatz „RER: Epoxidharz (EP) PlasticsEurope“ /35/ verwendet. Der Datensatz bezieht sich auf die Bereitstellung von Harzkomponenten durch die chemische Industrie. Er berücksichtigt nicht die Weiterverarbeitung zum jeweiligen Bauprodukt (z. B. Mischen mit Zusätzen, Verpacken, Liefern). Es ist bei dem Datensatz zu beachten, dass er nicht die Herstellung des Härterers enthält. Daher wird entsprechend der Empfehlung des Datenbereitstellers /35/ das Zwei-Komponenten-System durch 100 % Epoxidharz ersetzt. Direkte Emissionen bei der Verarbeitung des Epoxidharzes sind durch die Modellierung nicht abgedeckt.
3. Absandung des frischen Epoxidharzes:
Das frische Epoxidharz wird mit feuergetrocknetem Quarzsand 03/07 abgestreut. In der Ökobilanz wird der Sand durch den Prozess „DE: Quarzsand (Körnung 0/2) PE“ dargestellt. Dieser Prozess berücksichtigt laut Dokumentation der Datenbank GaBi 4 /32/ den Abbau, das Abschlämmen und das mehrstufige Sieben des Sandes. Die energieaufwendige Trocknung ist nicht enthalten.
4. Aufbringen der Schwimmschicht:
Es wird eine Schwimmschicht aus reinem Bindemittel aufgetragen, die die hauptsächlich wirksame Oberflächenschutzschicht darstellt. Es kommen Zwei- oder Drei-Komponenten-Systeme auf Epoxidharz-, Polyurethan- oder Polymethylmethacrylatbasis infrage /36/. Hier wurde eine Zwei-Komponenten-Polyurethan-Schwimmschicht gewählt, da diese in OS 11a-Systemen diverser kommerzieller Anbieter Verwendung findet. Polyurethan (PUR) entsteht aus der Verbindung der Komponenten Polyol und Diisocyanat. Es wurde in Anlehnung an das Technische Datenblatt und Sicherheitsdatenblatt Stopur EZ 505 /41/ von einem Masseverhältnis Polyol+Amine : Füllstoffe : Diisocyanat gleich 40 : 60 : 200 ausgegangen. Die Polyol/Amin Komponente wurde durch den Datensatz „RER: Polyetherpolyol PlasticsEurope“ /33/ und das Diisocyanat durch „RER: Diphenyl-methan-4.4-diisocyanat (MDI) PlasticsEurope“ /34/ abgebildet. Die Datensätze beziehen sich auf die Bereitstellung der Komponenten durch die chemische Industrie und berücksichtigen nicht die Weiterverarbeitung zum Bauprodukt (z. B. Mischen mit Zusätzen, Verpacken, Liefern). Für die Füllstoffe wurde ersatzweise der Datensatz „RER: Talkum Pulver (Füller) PE“ angesetzt. Direkte Emissionen bei der Verarbeitung des Harzes sind durch die Modellierung nicht abgedeckt.
5. Aufbringen der Verschleißschicht:
Es wird die Verschleißschicht aufgetragen, die aus einer Mischung aus Harz und Quarzsand besteht. Die Modellierung entspricht dem unter Punkt 2 und 3 geschilderten Vorgehen.
6. Abstreuen der frischen Verschleißschicht:
Die frische Verschleißschicht wird mit Quarzsand 03/07 abgestreut. Die Modellierung entspricht dem unter Punkt 3 geschilderten Vorgehen.
7. Aufbringen der Kopfversiegelung:
Abschließend wird das System mit einem lösemittelfreien 2-komponentigen Epoxidharz versiegelt. Die Modellierung entspricht dem unter Punkt 2 geschilderten Vorgehen.

Bei der Verarbeitung anfallende Produktreste und deren Entsorgung wurden nicht berücksichtigt. Bezüglich der Mengenanteile der einzelnen Komponenten lagen Angaben des Kiwa Polymer Instituts /42/ für drei unterschiedliche Produkte vor, die zusammen mit einer eigenen Abschätzung für den Prozess Nr. 1 „Vorbehandlung“ in Tabelle 3.9 dargestellt sind.

Tabelle 3.9: Mengen der Oberflächenschutzsysteme Variante 1 bis 3

	System	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3
	1	2	3	4
1	Vorbehandlung	8 m ² /h	8 m ² /h	8 m ² /h
2	Grundierung	350 g/m ²	300 g/m ²	300 g/m ²
3	Absandung QS 03/08	800 g/m ²	800 g/m ²	700 g/m ²
4	Schwimmschicht	2.000 g/m ²	2.000 g/m ²	1.800 g/m ²
5	Verschleißschicht + Quarzsand	1.830 g/m ² Bindemittel 370 g/m ² QS	1.550 g/m ² Bindemittel 310 g/m ² QS	1.670 g/m ² Bindemittel 330 g/m ² QS
6	Absandung QS 03/08	ca. 5 – 6 kg/m ²	ca. 5 – 6 kg/m ²	ca. 5 – 6 kg/m ²
7	Deckversiegelung	600 g/m ²	600 g/m ²	500 g/m ²

In Tabelle 3.10 sind die Beiträge der einzelnen Prozesse zum Ökopprofil des OS 11a dargestellt. Das Epoxidharz hat an jeder Wirkungskategorie mit rund zwei Dritteln den größten Anteil. Der Anteil des Stromverbrauchs beim Kugelstrahlen des Quarzsands und des Füllers liegt jeweils meist deutlich unter 5 %. Der Beitrag des Polyurethans hat am Ökopprofil einen Anteil von ca. einem Viertel und wird hauptsächlich durch das Isocyanat bestimmt. Zu beachten ist bei den Berechnungen, dass die Datensätze, die durch PlasticsEurope zur Verfügung gestellt werden (/33/, /34/, /35/), keine Angaben zum Ozonabbaupotenzial enthalten. Ihr Beitrag ist daher gleich Null. Aufgrund dieser Datenlücke ist der Gesamtwert des Ozonabbaupotenzials des OS 11a unvollständig und wird daher im Folgenden nicht ausgewiesen.

Tabelle 3.10: Relativer Beitrag der einzelnen Prozesse zum Ökopprofil des OS 11a (hier: Produkt 1)

Prozess	Strom	Epoxidharz	Quarzsand	Polyurethan			Summe
				Isocyanat	Polyol	Füller	
1	2	3	4	4	5	7	8
Massenanteil	-	24 %	58 %	12 %	2 %	3 %	100 %
Wirkungskategorie							
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	3 %	69 %	1 %	22 %	4 %	1 %	100 %
Primärenergiebedarf erneuerbar	10 %	62 %	0 %	14 %	8 %	5 %	100 %
Primärenergiebedarf gesamt	3 %	69 %	1 %	22 %	4 %	1 %	100 %
Treibhauspotenzial	3 %	75 %	1 %	18 %	3 %	1 %	100 %
Versauerungspotenzial	2 %	68 %	1 %	25 %	4 %	1 %	100 %
Ozonabbaupotenzial	73 %	- ¹⁾	4 %	- ¹⁾	- ¹⁾	24 %	100 %
Eutrophierungspotenzial	1 %	76 %	1 %	12 %	10 %	1 %	100 %
Ozonabbaupotenzial	1 %	71 %	1 %	22 %	4 %	1 %	100 %
¹⁾ keine Angaben für die Hauptkomponenten verfügbar							

Die Ökopprofile sind in Tabelle 3.11 dargestellt:

Tabelle 3.11: Ökopprofile der Oberflächenschutzsysteme Variante 1 bis 3

Wirkungskategorie	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3
1	2	3	4
PE n. e. [MJ]	518	475	464
PE e. [MJ]	7	6	6
PE ges.[MJ]	525	482	470
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	31	28	28
AP [kg SO ₂ -Äq.]	0,089	0,082	0,080
ODP [kg R11-Äq.]	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾
EP [kg Phosphat-Äq.]	0,015	0,014	0,014
POCP [kg Ethen-Äq.]	0,0085	0,0078	0,0076
¹⁾ keine Angaben für die Hauptkomponenten verfügbar			

Die drei Produktvarianten des Oberflächenschutzsystems unterscheiden sich nur geringfügig in ihrem Ökopprofil; dabei haben die Produkte mit einer größeren Menge an Epoxidharz jeweils höhere Werte. Im Weiteren wird für den Stadtbaustein das Produkt 1 stellvertretend für das Oberflächenschutzsystem OS 11a verwendet. Hierbei ist zu bedenken, dass die Modellierung eine Näherung darstellt. Für den zugehörigen Entsorgungsdatensatz wird „Bauschutttaufbereitung“ aus der Datenbank Ökobau.dat verwendet, da das ausgehärtete Oberflächenschutzsystem als normaler Bauschutt zu entsorgen ist /43/. Nicht verarbeitete Produktreste sind jedoch nach den Angaben der Sicherheitsdatenblätter (z. B. /44/) gesondert als Farb- und Lackabfälle, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten, zu entsorgen.

3.2.3.4 Weitere Baustoffe

Die Ökopprofile für alle weiteren Baustoffe, die im Stadtbaustein Verwendung finden, wurden aus der Datenbank Ökobau.dat 2010 /31/ entnommen. Die Daten beinhalten die Herstellung der Baustoffe inkl. aller Vor-

ketten. Die Systemgrenze bildet das fertige Produkt am Werkstor. Transporte vom Werk zur Baustelle sind nicht berücksichtigt. Den Baustoffen ist jeweils ein passendes Ökoprofil für die Entsorgung zuzuordnen. In Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Deutschen Gütesiegels „Nachhaltiges Bauen“ /37/ erfolgt die Zuordnung nach folgendem Prinzip: Metallen wird das entsprechende Recyclingpotenzial zugeordnet. Mineralischen Baustoffen wird der Entsorgungsdatensatz „Bauschutt aufbereitung“ zugeordnet. Materialien mit einem Heizwert ist die entsprechende thermische Verwertung in einer Müllverbrennungsanlage (MVA) zuzuordnen. Hier besteht mit den vier Datensätzen „Holz, naturbelassen in MVA“, „Spanplatte in MVA“, „Verbrennung von Allteppichböden in MVA“ und „Verbrennung von Hausmüll in MVA“ nur eine näherungsweise Zuordnungsmöglichkeit. Allen Komponenten der Technischen Gebäudeausrüstung steht ein jeweils passender Entsorgungsdatensatz zur Verfügung. Für alle sonstigen Materialien, die deponiert werden dürfen, stehen die beiden Datensätze „Bauschuttdeponie“ und „Hausmülldeponie“ zur Verfügung. In Tabelle 3.12 sind alle im Projekt verwendeten Datensätze der Ökobau.dat aufgelistet.

Tabelle 3.12: Auflistung der genutzten Ökobilanzen aus Ökobau.dat 2009 /31/

Ökobilanz Herstellung	zugeordnete Ökobilanz Entsorgung
1	2
Aluminium Blech	Recyclingpotenzial Aluminiumblech
Aluminium-Flügelrahmenprofil, pulverbeschichtet	Fenster als Ganzes: Bauschutt Aufbereitung
Aluminium-Rahmenprofil, pulverbeschichtet	Fenster als Ganzes: Bauschutt Aufbereitung
Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet 1m	Fenster als Ganzes: Bauschutt Aufbereitung
Betondachsteine	Bauschutt Aufbereitung
Bitumenbahnen G 200 S4 (untere Lage)	Verbrennung von Hausmüll in MVA
Blähton Körnung	Bauschutt Aufbereitung
Edelstahlrohr	End of life - Edelstahlrohr
EPDM Schaum (Rohrisolierung)	End of life - EPDM Schaum (Rohrisolierung)
EPS	Verbrennung von Hausmüll in MVA
Fenster-Beschlag für Doppelflügel Fenster	Fenster als Ganzes: Bauschutt Aufbereitung
Gipsfaserplatte	Bauschutt Aufbereitung
Gipskartonplatte	Bauschutt Aufbereitung
Gipsputz (Gips) 1kg	Bauschutt Aufbereitung
Glasvlies	Bauschutt Aufbereitung
Innenfarbe Dispersionsfarbe (scheuerfest)	Bauschutt Aufbereitung
Kalk-Gips-Innenputz 1kg	Bauschutt Aufbereitung
Kalk-Innenputz 1kg	Bauschutt Aufbereitung
Kalksandstein	Bauschutt Aufbereitung
Kies 2/32	Bauschutt Aufbereitung
Kupferrohr (blank)	End of life - Kupferrohr (blank)
Luftschicht	ohne Entsorgung
Lüftungskanal (verzinktes Stahlblech)	End of life - Lüftungskanal (verzinktes Stahlblech)
Mauerziegel Durchschnitt	Bauschutt Aufbereitung
Mehrschichtparkett	Spanplatte in MVA 1kg
Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	Bauschutt Aufbereitung
Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	Bauschutt Aufbereitung
Natursteinplatte, hart, Fassade	Bauschutt Aufbereitung
Natursteinplatte, hart, Innenboden	Bauschutt Aufbereitung
Normalputz 1kg	Bauschutt Aufbereitung
PE/PP Vlies	Verbrennung von Hausmüll in MVA
PE-HD mit PP-Vlies zur Abdichtung	Verbrennung von Hausmüll in MVA
PEX-Alu-Rohr	End of life - PEX-Alu-Rohr
Sand 0/2	Bauschutt Aufbereitung
Sperrholzplatte 1m ³	Spanplatte in MVA 1kg
Stahl Feinblech (20µm bandverzinkt)	Recyclingpotenzial Stahl Feinblech, verzinkt

Ökobilanz Herstellung	zugeordnete Ökobilanz Entsorgung
1	2
Steinzeugfliesen, glasiert 1kg	Bauschutt Aufbereitung
Textiler Bodenbelag (GK 33, LC 2-3) gemäß EN 1307	Verbrennung von Alteppichböden in MVA
Transparente Füllungen (Fensterglas)	Fenster als Ganzes: Bauschutt Aufbereitung
XPS-Dämmstoff	Verbrennung von Hausmüll in MVA
Zementestrich	Bauschutt Aufbereitung

3.3 Ergebnis der Ökobilanzierung

3.3.1 Allgemeines

Die Ergebnisse der Ökobilanzierung sollen zunächst getrennt für die Herstellphase, die Nutzungsphase und die Beseitigungsphase dargestellt werden. In Abschnitt 3.3.5 folgt anschließend die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus. In der Herstellphase wird die Planung nicht betrachtet. Die Lebensphase der Herstellung bezieht sich nur auf die Errichtung der Flexiblen Struktur bzw. des Standard-Bürogebäudes im Jahr 0. Die Nutzungsphase erstreckt sich vom ersten bis zum letzten Jahr und beinhaltet auch die Umnutzungen im Jahr 20 und im Jahr 40. Für die Standardstruktur bedeutet dies den Abriss des Bürogebäudes nach der zweiten Phase sowie den Neubau eines Wohngebäudes. Die Beseitigungsphase umfasst dann den Rückbau der Flexiblen Struktur bzw. des Standard-Wohngebäudes im Jahr 100 und dessen Entsorgung (Bild 3.8).

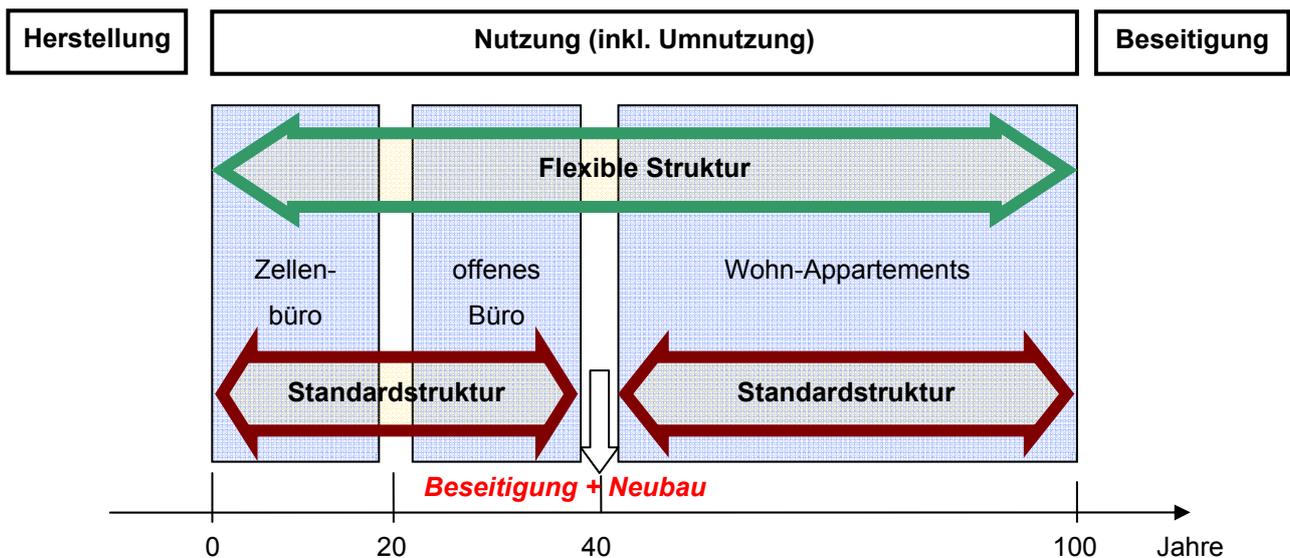


Bild 3.8: Lebenszyklusphasen für die Flexible Struktur und die Standardstruktur

3.3.2 Herstellung

3.3.2.1 Herstellung der Tragstruktur der Obergeschosse

Um einen Vergleich der Standard-Tragsysteme mit der Flexiblen Struktur zu erhalten, wurden die Mengen und Wirkungskategorien prozentual aufgetragen, wobei die Flachdecke auf Stützen (Standard Büro) zu 100 % gesetzt wurde. Zunächst werden die Obergeschosse des Stadtbausteins separat, anschließend die gesamte Tragstruktur inklusive Untergeschosse betrachtet.

Bild 3.9 zeigt die ermittelten Beton- und Stahlmengen. Mit abnehmendem Betonverbrauch steigt die Menge an erforderlichem Stahl. Die Standardtragstruktur für den Wohnungsbau mit dem hohen Anteil tragender Wände führt zu einem hohen Beton- und geringem Stahlverbrauch. Die Flexible Struktur mit einem Minimum an vertikalen Traggliedern weist dagegen einen rd. 1,5mal höheren Stahlverbrauch im Vergleich zur Variante Standard Büro auf. Gleichzeitig wird etwa 20 % weniger, jedoch überwiegend höherfester Beton benötigt.

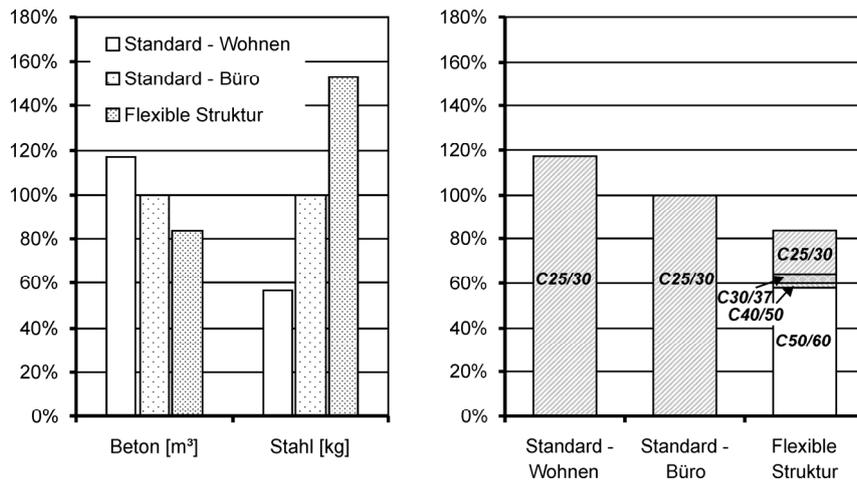


Bild 3.9: Massen für die drei Tragstrukturen getrennt für Stahl und Beton; sowie Verteilung der Betongüte

Die Bilder 3.10 und 3.11 zeigen die Ergebnisse der ökologischen Bewertung der Tragstruktur. Gegenüber den heute üblichen Standardtragwerken für den Büro- und Wohnungsbau ergeben sich für die Flexible Struktur mit Ausnahme der erneuerbaren Primärenergie um etwa 10-40 % größere Umweltauswirkungen. Der Anteil erneuerbarer Primärenergie liegt nur bei etwa 5 % der Gesamtprimärenergie, sodass dieser hier nicht gesondert ausgewiesen wird. Die Umweltauswirkungen der drei untersuchten Tragsysteme liegen im Bereich von $\pm 20\%$.

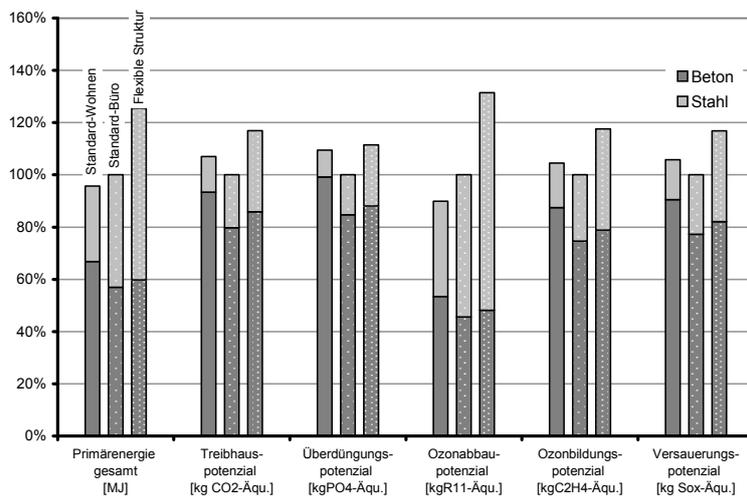


Bild 3.10: Wirkungskategorien der drei Tragstrukturen (ohne UG) getrennt für Stahl und Beton

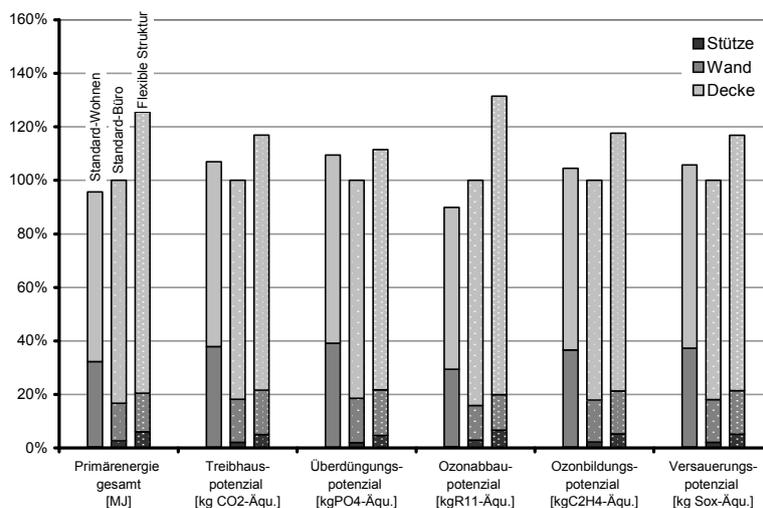


Bild 3.11: Wirkungskategorien der drei Tragstrukturen (ohne UG) getrennt für die unterschiedlichen Bauteile

Es wird deutlich, dass die Decken bei allen Wirkungskategorien den größten Teil ausmachen (Bild 3.11). Dies ist bei den im Bürobau üblichen Skelett-Tragwerken besonders ausgeprägt. Die Deckentragsysteme sind somit bzgl. der ökologischen Bewertung wie auch bei der Planung von Tragstrukturen für flexible Nutzung von entscheidender Bedeutung. Bei allen Tragwerkstypen dominiert der Anteil des Betons mit etwa 50-90 % der Gesamtwirkungen je nach Indikator (Bild 3.10).

3.3.2.2 Herstellung der gesamten Tragstruktur des Stadtbausteins

Betrachtet man die Tragstruktur des Stadtbausteins inklusive der Untergeschosse, die als Tiefgarage genutzt werden, so lässt sich feststellen, dass sich die Schwankungen in den Umweltwirkungen der unterschiedlichen Tragsysteme reduzieren (Bild 3.12 und Bild 3.13). Die Anteiligkeiten der Baustoffe und Bauteile ändern sich dagegen kaum.

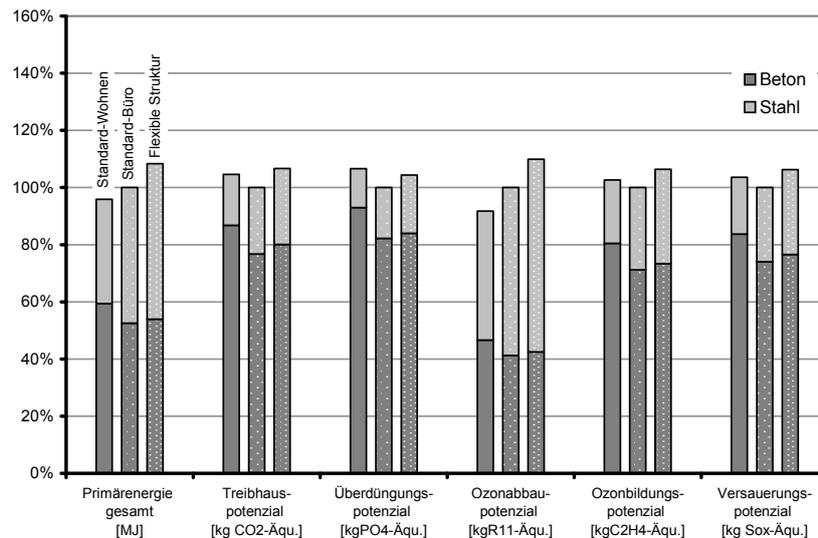


Bild 3.12: Wirkungskategorien der drei Tragstrukturen (inkl. UG) getrennt für Stahl und Beton

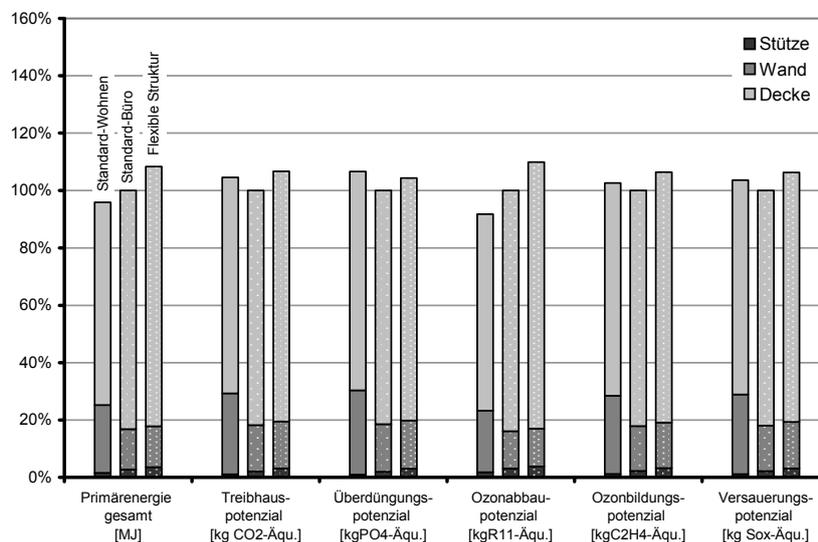


Bild 3.13: Wirkungskategorien der drei Tragstrukturen (inkl. UG) getrennt für die unterschiedlichen Bauteile

Durch das stützenfreie und leichtere Tragsystem der Flexiblen Struktur kann im Bereich der Untergeschosse sowie der Gründung eine einfache und ressourcenschonende Konstruktion ausgeführt werden. Im Gegensatz dazu entsteht durch die bei den Standardtragstrukturen erforderliche Abfangung der Lasten aus den Obergeschossen ein erheblicher Mehraufwand. Die Umweltwirkungen der drei untersuchten Tragsysteme liegen bei Betrachtung des gesamten Stadtbausteins im Bereich von $\pm 6-7\%$.

Bild 3.14 zeigt deutlich, dass die einzelnen auf Deutschland für das Jahr 2008, bezogenen Umweltwirkungen (Normalisierung) für die Tragwerkserstellung in ihrem Anteil stark variieren. So spielt beispielsweise das Ozonabbau-potenzial im Vergleich zum Treibhaus-potenzial eine eher untergeordnete Rolle (Faktor 10^3).

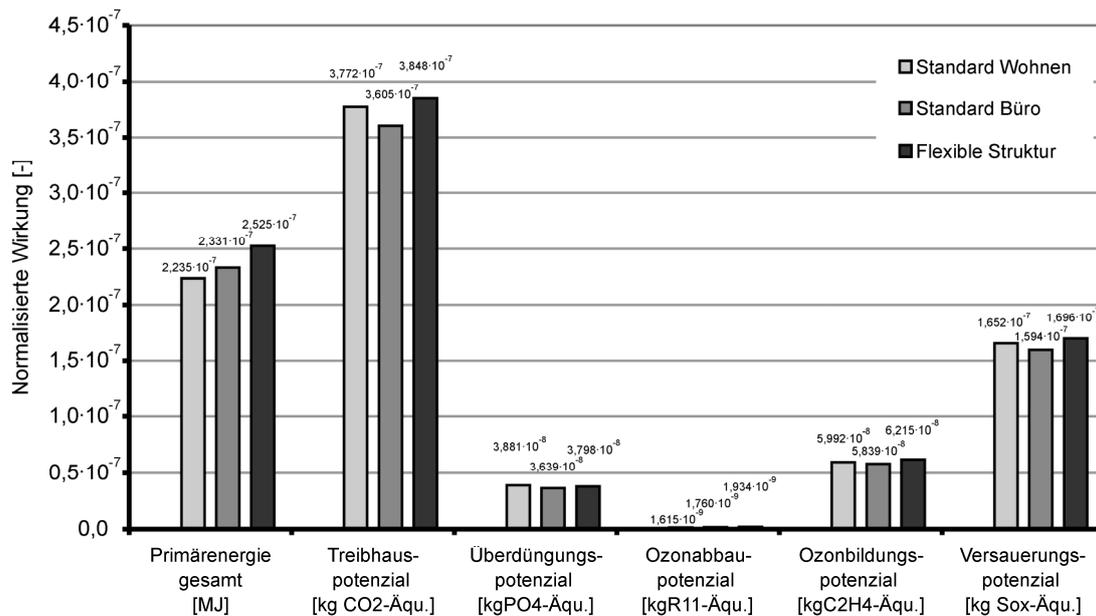


Bild 3.14: Auf die Gesamtwirkungen in Deutschland bezogene Wirkungskategorien der drei Tragstrukturen

3.3.2.3 Tragstruktur und Ausbau

In der Herstellung ergeben sich für die Standardstruktur Büro etwas günstigere Werte als für die flexible Lösung. Das Treibhauspotenzial liegt mit 791 t CO₂-Äquivalent für die Flexible Struktur geringfügig höher als für die herkömmliche mit rund 782 t CO₂-Äquivalent. Beim Primärenergiebedarf ist der Unterschied mit rund 9138 GJ zu 8530 GJ etwas deutlicher. Insgesamt beläuft sich der Mehraufwand für die Flexible Struktur auf nicht mehr als 10 % (vgl. Tabelle 3.13). Dies liegt darin begründet, dass der Mehraufwand für die weit gespannten Decken der flexiblen Stadtbausteinvariante bereits in der Erstellung teilweise kompensiert wird durch Einsparungen an der Tiefgarage. Hier ist bei der Standardstruktur eine Abfangung notwendig, die die Lasten der Mittelstützen verteilt. Dies macht sich in einem größeren Erstellungsaufwand für die Tiefgarage unter dem Standardgebäude bemerkbar (vgl. Bild 3.16). Insgesamt haben die Decken von allen Bauteilen den größten Anteil an der Ökobilanz, gefolgt von den Wänden (vgl. Bild 3.15). Die Tragstruktur macht, bezogen auf die Herstellphase, etwa 60 % des Treibhauspotenzials aus, der Rest entfällt auf die Ausbaukomponenten (vgl. Bild 3.17).

Tabelle 3.13: Ökopprofil der Flexiblen Struktur und der Standardstruktur Büro für die Herstellphase (Tragstruktur und Ausbau)

Wirkungskategorie	Flexible Struktur	Standardstruktur	Differenz zur Standardstruktur
1	2	3	4
Primärenergie nicht erneuerbar (PE n.e.) [MJ]	9.137.546	8.530.364	+7 %
Primärenergie erneuerbar (PE e.) [MJ]	404.005	376.149	+7 %
Primärenergie gesamt (PE ges.) [MJ]	9.457.212	8.827.172	+7 %
Treibhauspotenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äqv.]	791.005	782.417	+1 %
Versauerungspotenzial (AP) [kg SO ₂ -Äqv.]	2.679	2.707	-1 %
Ozonabbau-potenzial (ODP) [kg R11-Äqv.]	0,0377	0,0342	+10 %
Euthrophierungspotenzial (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	280	286	-2 %
Ozonbildungspotenzial (POCP) [kg Ethen-Äqv.]	212	217	-2 %

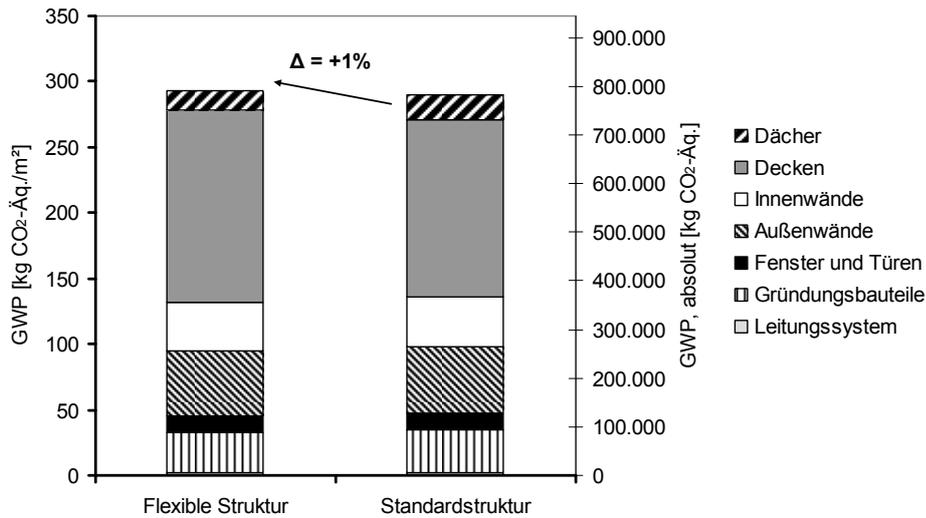


Bild 3.15: Treibhauspotenzial in der Herstellphase für die Flexible- und die Standardstruktur Büro – getrennt nach Bauteilen

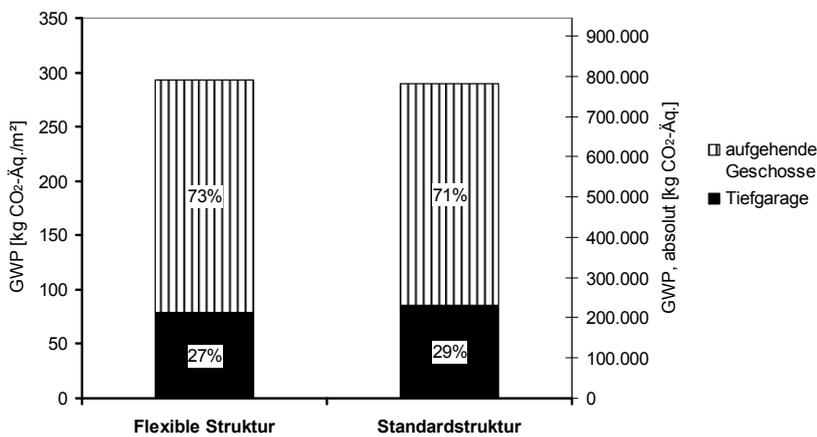


Bild 3.16: Treibhauspotenzial in der Herstellphase für die Flexible- und die Standardstruktur – getrennt nach Ober- und Untergeschossen

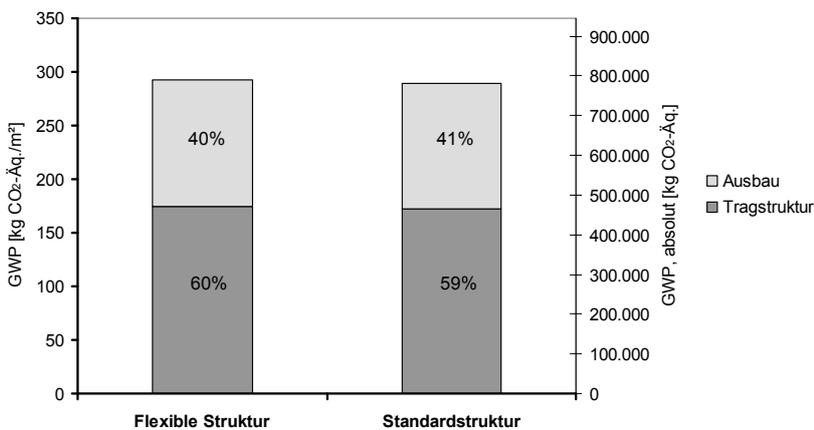


Bild 3.17: Treibhauspotenzial in der Herstellphase für die Flexible- und die Standardstruktur – getrennt nach Ausbau und Tragstruktur

3.3.3 Nutzungsphase

Die Nutzungsphase umfasst den Betrieb und die Instandhaltung des Gebäudes vom ersten bis zum letzten Jahr des Lebenszyklus einschließlich der Umnutzungen im 20. und 40. Jahr. In der Nutzungsphase dominiert der Gebäudebetrieb deutlich die Ökobilanz des Stadtbausteins (vgl. Bild 3.18). Mit der zukünftig zu erwartenden weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen im Gebäudebereich wird sich der Einfluss der Betriebsaufwendungen zunehmend reduzieren. Durch die seit 01.10.2009 eingeführte „EnEV“ 2009 verringert sich der Primärenergiebedarf um etwa 30 % gegenüber der „EnEV“ 2007 /6/, für die neue EnEV ist eine weitere Verschärfung der Anforderungen an den Primärenergiebedarf um 30 % geplant. Damit spielt die Tragstruktur zukünftig eine größere Rolle bei der Nachhaltigkeitsbewertung.

Die Betriebsaufwendungen unterscheiden sich für die beiden Varianten nur marginal (vgl. Tabelle 3.14). Bezogen auf Tragstruktur und Ausbau erweist sich die Flexible Struktur als deutlich günstiger. Beim Treibhauspotenzial liegt sie mit rund 1.057 t CO₂-Äquivalent deutlich unter der Standardstruktur mit 1.529 t CO₂-Äquivalent. Hier macht sich natürlich vor allem der Abriss des Bürogebäudes mit Neubau eines Wohngebäudes bemerkbar, da er bei der Flexiblen Struktur nicht notwendig ist. In nahezu allen Wirkungskategorien erweist sich die Flexible Struktur als günstiger (vgl. Tabelle 3.15). Einzig beim Versauerungspotenzial liegt die Flexible Struktur nicht besser, was im Wesentlichen auf den Wechsel der Fassadenverkleidung bei den Außenwänden zurückzuführen ist.

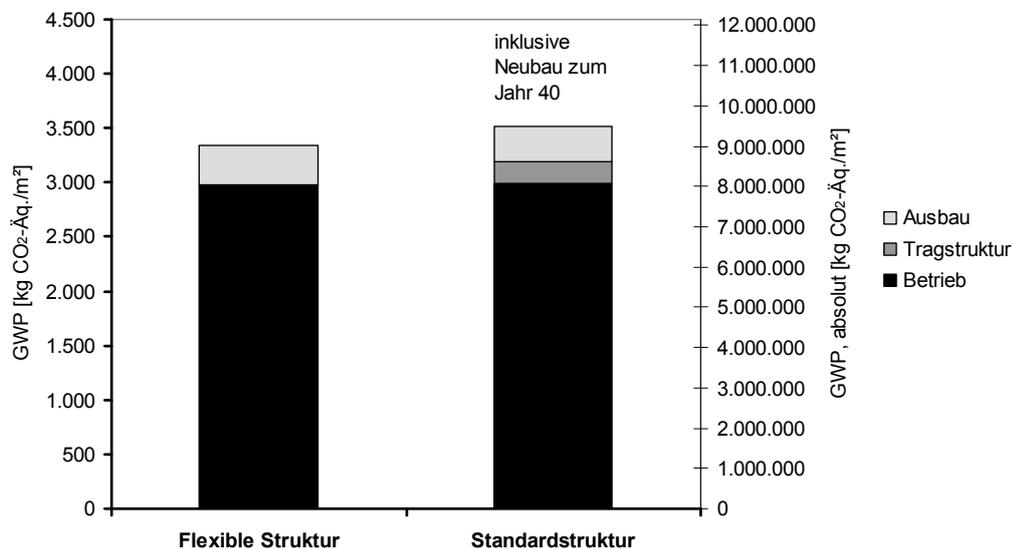


Bild 3.18: Treibhauspotenzial in der Nutzungsphase (100 Jahre) für die Flexible- und die Standardstruktur

Tabelle 3.14: Ökopprofil der Flexiblen- und der Standardstruktur für die Nutzungsphase (nur Betriebsaufwendungen)

Wirkungskategorie	Flexible Struktur	Standardstruktur	Differenz zur Standardstruktur
1	2	3	4
Primärenergie nicht erneuerbar (PE n. e.) [MJ]	131.184.626	131.555.668	-0,3 %
Primärenergie erneuerbar (PE e.) [MJ]	3.039.534	3.036.734	+0,1 %
Primärenergie gesamt (PE ges.) [MJ]	134.224.166	134.592.413	-0,3 %
Treibhauspotenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äqv.]	8.041.149	8.062.728	-0,3 %
Versauerungspotenzial (AP) [kg SO ₂ -Äqv.]	9.509	9.520	-0,1 %
Ozonabbaupotenzial (ODP) [kg R11-Äqv.]	0,6409	0,6403	+0,1 %
Euthrophierungspotenzial (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	838	839	-0,2 %
Ozonbildungspotenzial (POCP) [kg Ethen-Äqv.]	859	861	-0,2 %

Tabelle 3.15: Ökopprofil der Flexiblen- und der Standardstruktur für die Nutzungsphase (nur Bauwerk, ohne Betriebsaufwendungen)

Wirkungskategorie	Flexible Struktur	Standardstruktur	Differenz zur Standardstruktur
1	2	3	4
Primärenergie nicht erneuerbar (PE n. e.) [MJ]	17.864.092	20.143.883	-11 %
Primärenergie erneuerbar (PE e.) [MJ]	1.397.037	2.034.214	-31 %
Primärenergie gesamt (PE ges.) [MJ]	18.295.735	20.766.264	-12 %
Treibhauspotenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äqv.]	1.056.854	1.529.296	-31 %
Versauerungspotenzial (AP) [kg SO ₂ -Äqv.]	5.972	5.743	4 %
Ozonabbaupotenzial (ODP) [kg R11-Äqv.]	0,0375	0,0519	-28 %
Euthrophierungspotenzial (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	725	831	-13 %
Ozonbildungspotenzial (POCP) [kg Ethen-Äqv.]	395	449	-12 %

3.3.4 Beseitigungsphase

Bezogen auf den Rückbau können aufgrund der zur Verfügung stehenden Entsorgungsdatensätze nur allgemeine Aussagen zum Vergleich beider Varianten getroffen werden. Insgesamt sind am Ende des Lebenszyklus nach 100 Jahren bei der Flexiblen Struktur ca. 33.600 t Material zu entsorgen und bei dem Standard-Wohngebäude rund 42.700 t (s. Tabelle 3.16). Die Flexible Struktur hat rund ein Viertel weniger tragendes Material, dafür 6 % mehr Ausbaumaterial, was sich im Wesentlichen durch die leichten Innenwände sowie durch die optimierten Decken begründen lässt. Aus dieser Massendifferenz lässt sich ableiten, dass die Aufwendungen für die Entsorgung der flexiblen Variante geringer sind. Insgesamt sind die Aufwendungen für die Entsorgung auch deutlich geringer als für Herstellung und Betrieb, so dass sie in der Gesamtbetrachtung eine untergeordnete Rolle spielen. Die Entsorgungsprozesse gehen in die Ökobilanz in Abschnitt 3.3.5 (Gesamtbetrachtung) mit ein. Für die Aufbereitung von Beton wurde ein entsprechender Datensatz entwickelt (s. a. /47/).

Tabelle 3.16: Baurestmassen der Flexiblen- und der Standardstruktur in der Beseitigungsphase

Baurestmasse	Flexible Struktur	Standardstruktur	Differenz zur Standardstruktur
1	2	3	4
Tragstruktur [kg]	27.760.686	37.129.861	-25 %
davon Beton [kg]	27.760.686	31.128.171	-11 %
Ausbau [kg]	5.873.885	5.542.618	+6 %
Summe Gebäude [kg]	33.634.571	42.672.479	-21 %

3.3.5 Gesamtbetrachtung

In der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus über 100 Jahre mit den angegebenen Umnutzungen stellt sich die Flexible Struktur insgesamt als die, unter ökologischen Gesichtspunkten, zu favorisierende Lösung dar. Betrachtet man alle Prozesse (Bereitstellung und Entsorgung von Baumaterial und Gebäudebetrieb), so werden die Unterschiede zwischen den Varianten durch den relativ hohen Anteil des Anlagenbetriebs nivelliert, der für beide Varianten aufgrund des gleichen energetischen Anforderungsniveaus nahezu identisch ist. Vergleicht man beide Varianten ohne Berücksichtigung des Anlagenbetriebs, so sind insbesondere die Einsparungen beim Treibhauspotenzial von einem Fünftel bemerkenswert. In den anderen Wirkungskategorien sind die Vorteile etwas weniger deutlich (vgl. Tabelle 3.17).

Tabelle 3.17: Ökopprofil der Flexiblen- und der Standardstruktur im gesamten Lebenszyklus (ohne Betrieb)

Wirkungskategorie	Flexible Struktur	Standardstruktur	Differenz zur Standardstruktur
1	2	3	4
Primärenergie nicht erneuerbar (PE n. e.) [MJ]	26.798.688	28.668.333	-7 %
Primärenergie erneuerbar (PE e.) [MJ]	1.797.852	2.406.927	-25 %
Primärenergie gesamt (PE ges.) [MJ]	27.553.312	29.589.275	-7 %
Treibhauspotenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äqv.]	1.906.028	2.403.960	-21 %
Versauerungspotenzial (AP) [kg SO ₂ -Äqv.]	8.829	8.722	1 %
Ozonabbaupotenzial (ODP) [kg R11-Äqv.]	0,0750	0,0854	-12 %
Euthrophierungspotenzial (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	1.095	1.280	-14 %
Ozonbildungspotenzial (POCP) [kg Ethen-Äqv.]	619	689	-10 %

Die Nutzungsphase macht bei dem langen angenommenen Lebenszyklus rund 90 % des Treibhauspotenzials aus. Innerhalb der Nutzungsphase dominiert wiederum der Betrieb der Anlagen gegenüber der Instandhaltung der Baukonstruktion. Die Entsorgungsphase ist mit nur 1 % Anteil am Lebenszyklus am wenigsten bedeutend (vgl. Bild 3.19).

Die Vorteile der Flexiblen Struktur aus Herstellphase, Nutzungsphase und Beseitigungsphase ergeben sich auf Materialebene hauptsächlich durch die Einsparung an tragenden Bauteilen, die dadurch erreicht wird, dass die Tragstruktur der flexiblen Variante über 100 Jahre genutzt werden kann, während die Standardstruktur bei einer Umnutzung von Büros zu Wohnen abgerissen und neu errichtet werden muss. Bei den Ausbaumaterialien ergeben sich für die Flexible Struktur dagegen etwas ungünstigere Werte, die im Wesentlichen auf die Fassade zurückzuführen sind. Wie in Abschnitt 4.3 gezeigt wird, wirkt sich die Wahl der Ausbaumaterialien und deren Austauschzyklus sehr stark auf das Gesamtergebnis der Ökobilanz aus. Welche der beiden Varianten in der Nutzungsphase in Bezug auf den Ausbau günstiger ist, kann sich ändern, wenn z. B. die aufwendige Natursteinfassade des Stadtbausteins durch ein anderes Material ersetzt wird (s. Bild 4.4). Dieser Aspekt sollte bereits bei der Planung berücksichtigt werden.

Ähnlich wie für die Herstellphase machen auch bezogen auf den gesamten Lebenszyklus die Decken den größten Teil der Ökobilanz aus, gefolgt von den Wänden (s. Bild 3.21).

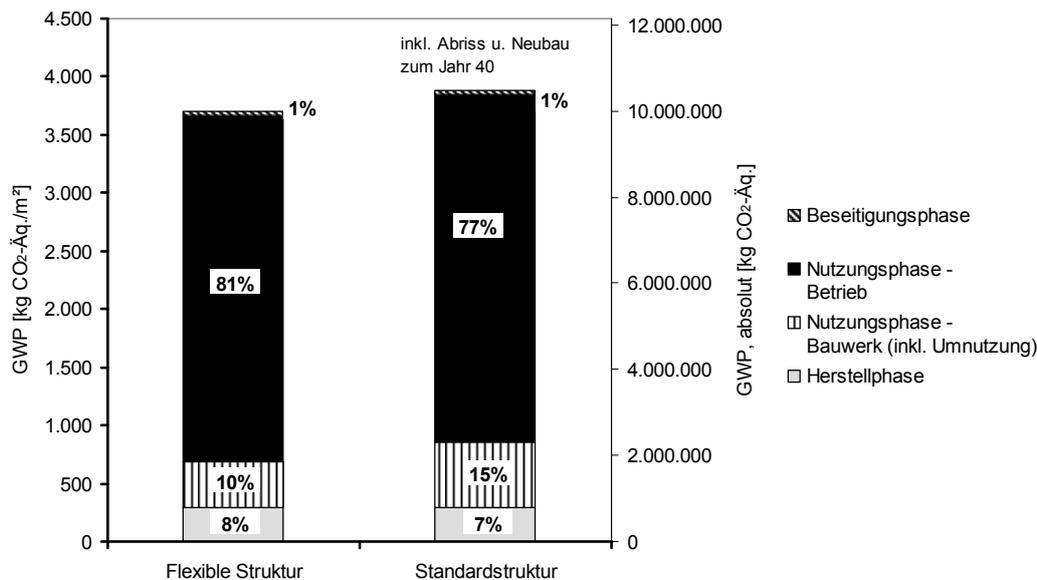


Bild 3.19: Treibhauspotenzial über den gesamten Lebenszyklus für die Flexible Struktur und die Standardstruktur

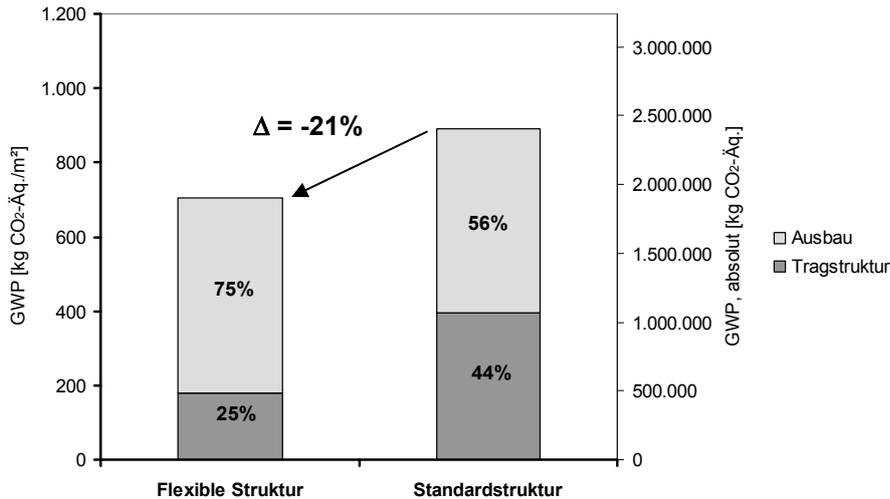


Bild 3.20: Treibhauspotenzial über den gesamten Lebenszyklus für die Flexible- und die Standardstruktur (ohne Betrieb)

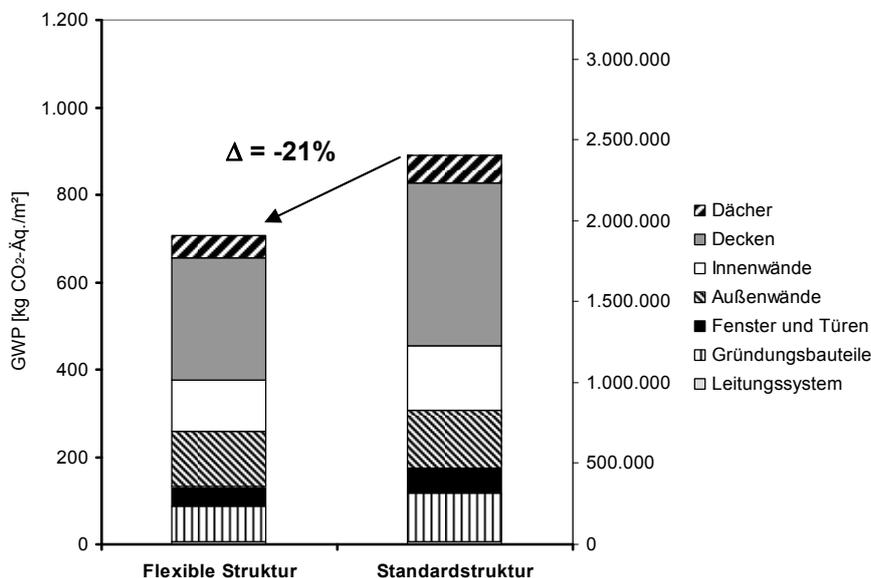


Bild 3.21: Treibhauspotenzial über den gesamten Lebenszyklus für die Flexible- und die Standardstruktur (ohne Betrieb)

4 UNTERSUCHUNG DER VARIATION VON EINZELASPEKTEN BEI DER FLEXIBLEN STRUKTUR DES STADTBAUSTEINS

4.1 Untersuchte Variationen

Auf der Grundlage der einzelnen Baustoffprofile, Mengenangaben und gewählten energetischen Konzepte werden in den folgenden Abschnitten weitergehende Variantenbetrachtungen für den Stadtbaustein mit der flexiblen, adaptiven Struktur angestellt und deren Einfluss auf die Ökobilanz von Bauteilen, der Tragstruktur und des Stadtbausteins als gesamtes Gebäude dargestellt. Dabei werden im Einzelnen folgende Varianten betrachtet:

- Veränderungen der Zementart für die Bauteile des Untergeschosses und der Fertigteilsysteme;
- Veränderung des Herstellungsverfahrens von Spannstahl;
- Veränderungen der Ausbaukomponenten;
- Betrachtung unterschiedlicher energetischer Anforderungsniveaus;
- Variation des statischen Systems und der Deckendicken im Untergeschoss;
- Anwendung unterschiedlicher Konzepte zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit der Tiefgarage im Untergeschoss.

4.2 Variation der zementgebundenen Baustoffe

4.2.1 Untergeschoss

Um zu untersuchen, wie stark sich die Wahl der Zementart in der Betonrezeptur auf die Ökobilanz des Gebäudes auswirkt, wurden Variantenrechnungen für die Tiefgarage durchgeführt. Die Ausgangsvariante stellt die Tiefgarage des flexiblen Stadtbausteins dar. Diese wird in Ortbeton der Festigkeitsklassen C25/30 (Stützen, Außenwand, Decke über 1. UG) und C35/45 (Bodenplatte, Decke über 2. UG) hergestellt. Neben der Tragstruktur aus Stahlbeton werden im Tiefgaragengeschoss nur wenige weitere Materialien für den Ausbau verwendet. Dies sind im Wesentlichen eine Polystyrolämmung der Decke über dem ersten Untergeschoss, ein Oberflächenschutzsystem OS 11a auf der Bodenplatte und der Decke über dem zweiten Untergeschoss sowie Innenanstriche von Stützen und Wänden. Die Systemgrenze zu den Obergeschossen des Stadtbausteins bildet die Oberkante der Tragkonstruktion der Decke über dem ersten Untergeschoss, das heißt, die Fußbodenbeläge im Erdgeschoss gehören nicht mehr zur Betrachtung.

Für die Vergleichsvarianten werden dieselben Betonfestigkeitsklassen und -mengen verwendet wie für die Basisvariante. Die Betone enthalten jedoch andere Zementarten. Während in der Ausgangsvariante ein durchschnittlicher Zement angesetzt wird, wird in den Vergleichsvarianten ein Portlandzement CEM I bzw. ein Hochofenzement CEM III/A verwendet. Zu beachten ist dabei allerdings, dass die Verwendung hütten-sandhaltiger Zemente regional begrenzt und damit ein CEM III/A nicht in allen Teilen Deutschlands gleichermaßen verfügbar ist. Zudem würden weite Transportwege für den Hütten-sand die Ökobilanz wieder verschlechtern. Durch die Wahl der Zementarten kann die Ökobilanz des Transportbetons stark beeinflusst werden, wie Tabelle 4.1 zeigt. Am deutlichsten ist der Unterschied beim Treibhauspotenzial mit einer Abweichung von +22 % (CEM I) bzw. -27 % (CEM III/A) im Vergleich zum Durchschnittszement ausgeprägt. Die Untersuchung soll zeigen, wie sich die Wahl der Zementart in der Betonrezeptur auf die Bauwerksebene auswirkt.

Tabelle 4.1: Relative Unterschiede im Baustoffprofil von Transportbetonsorten gleicher Festigkeit mit unterschiedlicher Zementart

Wirkungskategorie	Transportbeton C25/30 (Durchschnittszement)	Transportbeton C25/30 CEM I	Transportbeton C25/30 CEM III/A
1	2	3	4
Primärenergie nicht erneuerbar (PE n. e.) [MJ]	100 %	111,0 %	85,7 %
Primärenergie erneuerbar (PE e.) [MJ]	100 %	100,2 %	96,8 %
Primärenergie gesamt (PE ges.) [MJ]	100 %	110,8 %	85,9 %
Treibhauspotenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äqv.]	100 %	121,9 %	73,0 %
Versauerungspotenzial (AP) [kg SO ₂ -Äqv.]	100 %	115,9 %	80,5 %
Ozonabbau-potenzial (ODP) [kg R11-Äqv.]	100 %	106,6 %	89,8 %
Euthrophierungspotenzial (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	100 %	115,6 %	81,0 %
Ozonbildungspotenzial (POCP) [kg Ethen-Äqv.]	100 %	118,4 %	77,5 %

Tabelle 4.2: Ökobilanz der Tiefgarage für die Herstellphase im Vergleich unterschiedlicher Zementarten (Tragstruktur mit Ausbau)

Wirkungskategorie	Variante Durchschnittszement	Variante CEM I	Variante CEM III/A
1	2	3	4
Primärenergie nicht erneuerbar (PE n. e.) [MJ]	1.969.528	2.048.427	1.866.399
Primärenergie erneuerbar (PE e.) [MJ]	72.239	72.267	71.812
Primärenergie gesamt (PE ges.) [MJ]	2.039.135	2.118.062	1.935.578
Treibhauspotenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äqv.]	214.130	244.904	176.165
Versauerungspotenzial (AP) [kg SO ₂ -Äqv.]	433	473	385
Ozonabbau-potenzial (ODP) [kg R11-Äqv.]	0,0092	0,0094	0,0088
Euthrophierungspotenzial (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	59	65	52
Ozonbildungspotenzial (POCP) [kg Ethen-Äqv.]	48	53	42

In Tabelle 4.2 ist das Ergebnis für alle Wirkungskategorien für die Herstellphase der Tiefgarage dargestellt (Tragstruktur mit Ausbau). Die Variante mit Hochofenzement CEM III/A stellt die günstigste Variante dar, die Variante mit Portlandzement CEM I diejenige mit den höchsten Umweltwirkungen.

Die relativen Unterschiede gegenüber der Variante Durchschnittszement sind in Tabelle 4.3 angegeben. Das Treibhauspotenzial der Vergleichsvarianten liegt um 14 % höher bzw. um 18 % niedriger. Bei der nicht erneuerbaren Primärenergie sowie dem Ozonabbaupotenzial liegen die Unterschiede bei etwa ± 5 %, für die anderen Wirkungskategorien sind Abweichungen in einer Größenordnung von rund 10 % erkennbar.

Dehnt man die Betrachtung auf den gesamten Lebenszyklus der Tiefgarage von 100 Jahren inklusive Rückbau aus, der auch Instandsetzungen und die Beseitigung am Lebensende beinhaltet, so bleiben die absoluten Unterschiede zwischen den Varianten identisch, da derselbe Lebensweg mit denselben Materialmengen für das Ausbaumaterial vorliegt. Die relativen Unterschiede, die allein durch die Wahl der Zementart bedingt werden, fallen jedoch im Bezug auf den Lebenszyklus kleiner aus (Tabelle 4.4). Die Varianten weichen von der Ausgangsvariante mit dem Durchschnittszement beim Treibhauspotenzial nur noch um rd. +6 % (CEM I) bzw. -8 % (CEM III/A) ab, in den übrigen Wirkungskategorien um Werte zwischen rd. 0 % bis +4 % (CEM I) bzw. -1 % bis -4 % (CEM III/A).

Tabelle 4.3: Relative Unterschiede in der Ökobilanz der Tiefgarage für die Herstellphase im Vergleich unterschiedlicher Zementarten (Tragstruktur mit Ausbau)

Wirkungskategorie	Variante Durchschnittszement	Variante CEM I	Variante CEM III/A
1	2	3	4
Primärenergie nicht erneuerbar (PE n. e.) [MJ]	100 %	104,0 %	94,8 %
Primärenergie erneuerbar (PE e.) [MJ]	100 %	100,0 %	99,4 %
Primärenergie gesamt (PE ges.) [MJ]	100 %	103,9 %	94,9 %
Treibhauspotenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äqv.]	100 %	114,4 %	82,3 %
Versauerungspotenzial (AP) [kg SO ₂ -Äqv.]	100 %	109,1 %	88,7 %
Ozonabbaupotenzial (ODP) [kg R11-Äqv.]	100 %	102,7 %	95,8 %
Euthrophierungspotenzial (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	100 %	109,3 %	88,6 %
Ozonbildungspotenzial (POCP) [kg Ethen-Äqv.]	100 %	109,7 %	88,1 %

Tabelle 4.4: Relative Unterschiede in der Ökobilanz der Tiefgarage für den Lebenszyklus im Vergleich unterschiedlicher Zementarten (Tragstruktur mit Ausbau)

Wirkungskategorie	Variante Durchschnittszement	Variante CEM I	Variante CEM III/A
1	2	3	4
Primärenergie nicht erneuerbar (PE n. e.) [MJ]	100 %	101,2 %	98,4 %
Primärenergie erneuerbar (PE e.) [MJ]	100 %	100,0 %	99,7 %
Primärenergie gesamt (PE ges.) [MJ]	100 %	101,2 %	98,5 %
Treibhauspotenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äqv.]	100 %	106,2 %	92,3 %
Versauerungspotenzial (AP) [kg SO ₂ -Äqv.]	100 %	103,1 %	96,2 %
Ozonabbaupotenzial (ODP) [kg R11-Äqv.]	100 %	102,5 %	96,0 %
Euthrophierungspotenzial (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	100 %	102,7 %	96,7 %
Ozonbildungspotenzial (POCP) [kg Ethen-Äqv.]	100 %	103,7 %	95,5 %

Der grafische Vergleich am Beispiel des Treibhauspotenzials über den Lebenszyklus für die Betrachtung der Tragstruktur einschließlich des Ausbaus der Tiefgarage, d. h. inkl. Beschichtung, Farbanstrich und Wärmedämmung, zeigt deutlich den Unterschied der Varianten (Bild 4.1).

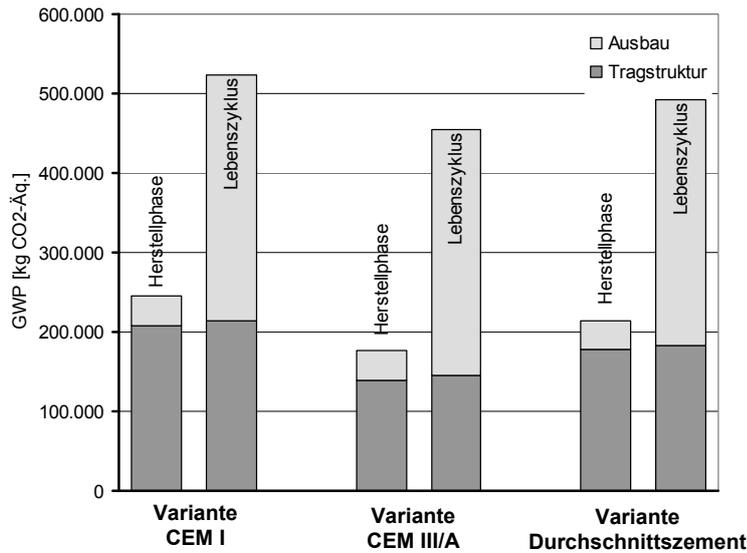


Bild 4.1: Treibhauspotenzial für die Tiefgarage unter Verwendung verschiedener Zemente für den Beton der Ort betonbauteile (Tragstruktur und Ausbau)

Über den Lebenszyklus gewinnen bei der Tiefgarage die Bekleidungsmaterialien für den Ausbau erheblich an Bedeutung. Sie machen zwar bei der Erstellung nur 1 % der Gesamtmasse des Baumaterials aus. Jedoch wird in der Betrachtung der Oberflächenschutz auf den befahrenen Parkdecks im 10-Jahresturnus erneuert. Dies führt dazu, dass über den Lebenszyklus betrachtet der Anteil der Bekleidungen an der Ökobilanz den der Tragstruktur übersteigt (vgl. auch Abschnitt 4.6).

4.2.2 Variation der Zementart für die Deckenfertigteilsysteme

Für die in Abschnitt 3 durchgeführten Untersuchungen wurden für Fertigteile und Ort betontragwerke generische Betonprofile verwendet. Zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Zementarten auf die Umweltwirkungen wurde für das Deckenfertigteilsystem eine Variation der verwendeten Zementarten für den Beton C50/60 durchgeführt. Hierbei wurden zwei verschiedene Portlandkompositzemente sowie ein Portlandzement betrachtet; Bild 4.2 zeigt das Ergebnis der Untersuchung. Die Werte für den Durchschnittszement sind zu 100 % gesetzt worden.

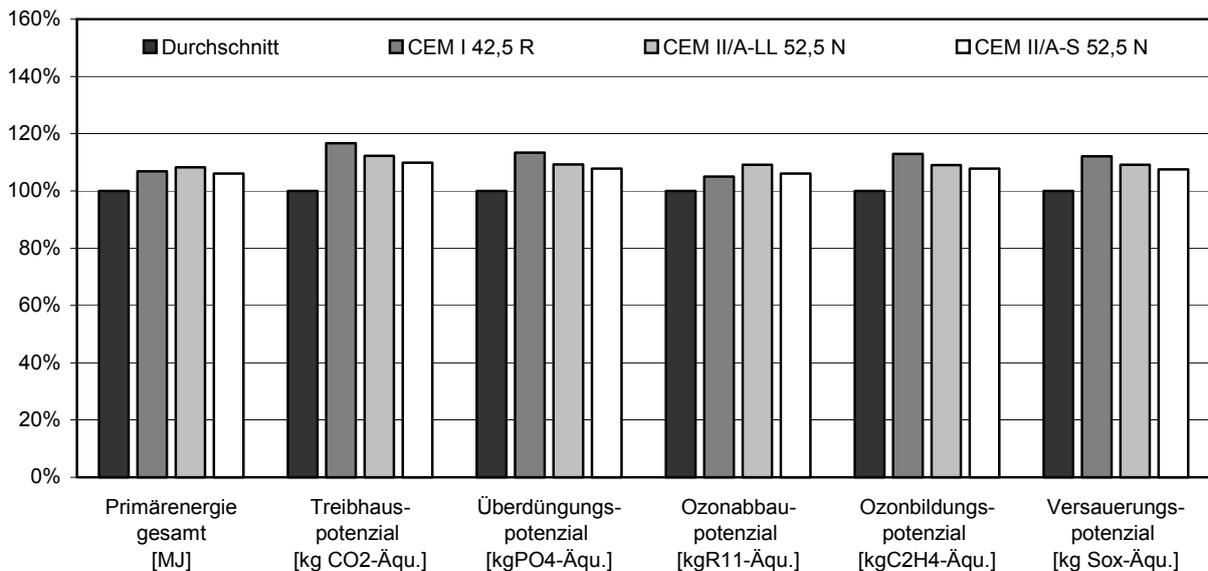


Bild 4.2: Wirkungskategorien für das Fertigteildeckensystem aus Abschnitt 2.3.2.1 unter Verwendung verschiedener Zemente für den Beton der Festigkeitsklasse C50/60

Die Umweltwirkungen des Deckensystems werden durch die im Beton eingesetzte Zementart beeinflusst. In der Herstellung der Fertigteile werden üblicherweise schnell erhärtende Zemente eingesetzt, um eine hohe Frühfestigkeit des Betons zu erreichen. Dem entspricht beispielsweise ein Zement CEM I 42,5 R eher als der Durchschnittszement, der über alle Zementarten in Deutschland gemittelt ist. Dabei ergeben sich, bezogen auf das Fertigteildeckensystem bei Einsatz des Betons C50/60 mit dem Zement CEM I 42,5 R im Vergleich zum Beton mit dem Durchschnittszement, höhere potenzielle Umweltwirkungen, die bis zu 17 % im Falle des Treibhauspotenzials ausmachen können.

Die betrachteten Betone unter Verwendung der Zemente CEM I 42,5 R und CEM II/A-LL 52,5 N bzw. CEM II/A-S 52,5 N sind im Fertigteile in äquivalenter Weise einsetzbar. Im Hinblick auf die meisten Umweltwirkungen führt die Verwendung von CEM II/A-Zementen zu geringeren potenziellen Umweltwirkungen als die Verwendung des CEM I-Zements. Die Unterschiede können bis 7 %-Punkte betragen. Sie sind jedoch beim Indikator „Primärenergie“ nur sehr gering, und das Ozonabbaupotenzial ist unter Verwendung der CEM II-Zemente leicht höher als unter Verwendung des CEM I-Zements. Hier schlägt sich der höhere elektrische Energiebedarf nieder, der zur Mahlung der CEM II-Zemente erforderlich ist.

4.2.3 Spannstahl

Der in Deutschland verwendete Betonstahl stammt fast ausschließlich aus dem Elektrostahlverfahren. Dagegen wird beim Spannstahl neben dem Elektrostahlverfahren vermehrt das Hochofenstahlverfahren eingesetzt. Für die in Abschnitt 3 durchgeführten Untersuchungen wurde für den Spannstahl das gleiche ökologische Baustoffprofil angenommen wie für den Betonstahl. Die beiden Stahlherstellverfahren unterscheiden sich jedoch in ihren ökologischen Wirkungen. Der Einfluss des Herstellverfahrens auf die Umweltwirkungen wurde daher auf der Ebene des Bauteils für das in Abschnitt 2.3.2.1 dargestellte Deckensystem untersucht. In Bild 4.3 sind die Umweltwirkungen für die beiden Fälle (Spannstahl zu 100 % aus Elektrostahlerzeugung bzw. zu 70 % aus der Hochofenstahlerzeugung und zu 30 % aus der Elektrostahlerzeugung) dargestellt.

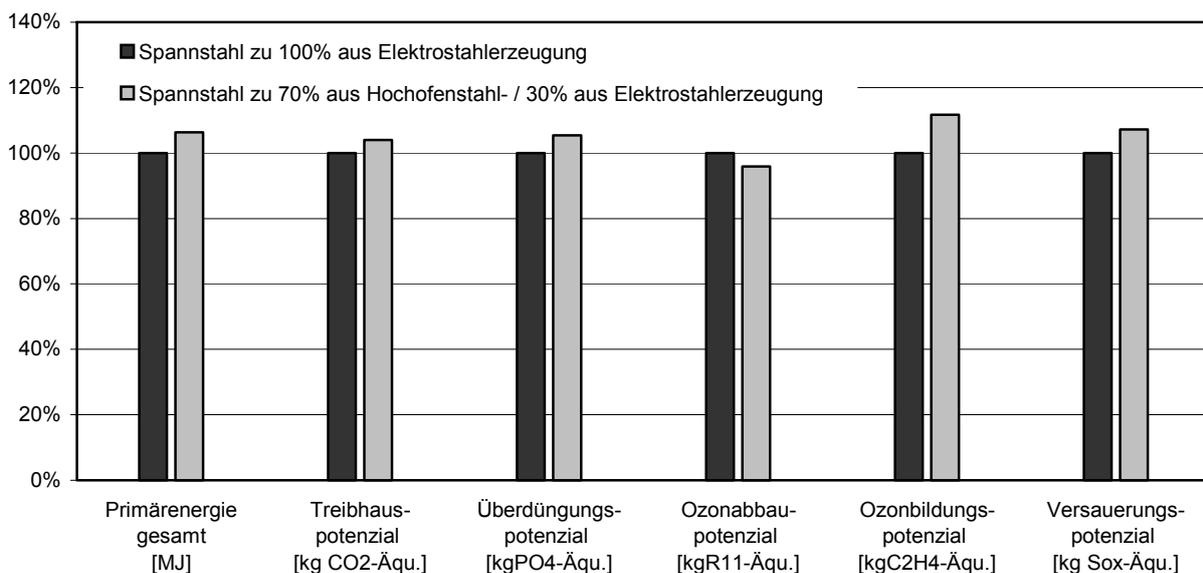


Bild 4.3: Wirkungskategorien für das Fertigteildeckensystem aus Abschnitt 2.3.2.1 unter Variation des Herstellungsverfahrens für den verwendeten Spannstahl

Die Herstellung des Spannstahls im Hochofenverfahren bedingt mit Ausnahme des Ozonabbaupotenzials etwas höhere Umweltwirkungen bezogen auf das Deckenfertigteil. Bei den für Stahl- und Spannbeton besonders relevanten Umweltwirkungen Primärenergie, Treibhaus- und Versauerungspotenzial liegen die Werte etwa 5-10 % höher.

4.3 Variation der Ausbaukomponenten

Wie in den vorangegangenen Abschnitten gezeigt, stehen eine Vielzahl von Baustoffen bzw. Bauteilen insbesondere für den Ausbau eines Gebäudes zur Verfügung. Mit dieser Untersuchung soll aufgezeigt werden, welchen Einfluss die unterschiedlichen Ausführungsvarianten auf die Ökobilanz des Stadtbausteins haben und welche Streuungen sich dadurch ergeben.

Zur Abschätzung der Streuung der Umweltwirkungen wurden Bauteilvarianten zu drei unterschiedlichen Gebäuden kombiniert (Tabelle 4.5). Neben dem flexiblen Stadtbaustein aus Abschnitt 3 als Basisvariante dienen eine günstige und eine ungünstige Variation des Ausbaus dazu, die Bandbreite der Umweltwirkungen aufzuzeigen. Die Definition der Gebäude erfolgte anhand von Voruntersuchungen zu Umweltwirkungen der einzelnen Bauteile. Bei der günstigen Variante ist der Dachaufbau weniger aufwendig, da anstelle eines Gründachs eine einfache Kiesschüttung verwendet wird. Nach dem Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ /40/ ist eine Erneuerung des Dachaufbaus beim Flachdach nach durchschnittlich 30 Jahren notwendig, wobei die Spannweite von 20 bis 40 Jahren reicht. Für die günstige Variante wird eine Nutzungsdauer von 35 Jahren angesetzt, so dass das Dach nur zweimal erneuert werden muss. In den anderen Varianten wird das Dach im Laufe der 100 Jahre dreimal erneuert. Die Fassade unterscheidet sich sowohl im Material (Betonstein bzw. Naturstein) als auch in der Nutzungsdauer der Fassadendämmung. Die Lebenserwartung für belüftete Wärmedämmungen wird im Leitfaden mit „25-35 Jahre, im Mittel 30 Jahre“ angegeben. Für die Basisvariante und die ungünstige Variante werden 30 Jahre angesetzt, für die günstige Variante 35 Jahre, wodurch eine Instandsetzung weniger stattfindet. Die Trennwände innerhalb von Nutzungseinheiten werden in der günstigen Variante nur mit einfacher Beplankung ausgeführt. Der Aufbau aller anderen Innenwände (z. B. Trennwände zwischen Wohneinheiten) bleibt bei allen Varianten gleich. In der günstigen Variante wird davon ausgegangen, dass die Innentüren bei der Umnutzung vom Zellenbüro zur offenen Bürolandschaft nach 20 Jahren wiederverwendet werden, da die Lebensdauer von Türen im Leitfaden mit mindestens 40 Jahren angegeben wird. Ebenfalls wird in der günstigen Variante angenommen, dass bei der Erneuerung des Bodenbelags beim Umbau von Büro 1 zu Büro 2 die Calciumsulfatplatten und die Trittschalldämmung des Doppelbodens erhalten bleiben. In allen Varianten wird der Doppelboden bei der Umnutzung von Büro zu Wohnen im Jahr 40 erneuert. Bei der Basisvariante und der ungünstigen Variante muss der Doppelboden danach noch einmal getauscht werden. In der günstigen Variante wird er während der Wohnnutzung nicht mehr erneuert. Die Varianten unterscheiden sich auch hinsichtlich der Bodenbeläge. In Sanitärbereichen, Küchen und Außenfluren kommen einheitlich Fliesen bzw. Naturstein zum Einsatz. In den Büro- bzw. Wohneinheiten wird zwischen Parkett, Teppich und Naturstein variiert.

Das Ergebnis zeigt, dass bei identischer Tragstruktur allein durch Veränderung der Ausbaumaterialien unter Beibehaltung des technischen Anforderungsprofils die Ökobilanz des Gesamtgebäudes deutlich beeinflusst werden kann. Die ungünstige Variante verursacht rund 61 % mehr Treibhauspotenzial als die günstige Variante. Auch in den anderen Wirkungskategorien ergeben sich deutliche Mehraufwendungen (Tabelle 4.6). Gerade bei Bauteilen mit großem Flächenanteil, wie z. B. Geschossdecken, wirkt sich eine Änderung sehr stark im Gesamtergebnis aus (Bild 4.4).

Tabelle 4.5: Gewählte Ausbauvariationen zur Abschätzung der Streuungen der Umweltwirkungen

Variation	günstig	Basis	ungünstig
1	2	3	4
Dachaufbau	Kiesschüttung	begrünt	begrünt
Nutzbarkeitsdauer Dachaufbau	35 Jahre (zweimal erneuern)	30 Jahre (dreimal erneuern)	30 Jahre (dreimal erneuern)
Fassade	Betonstein	Naturstein	Naturstein
Nutzbarkeitsdauer Fassadendämmung	35 Jahre (zweimal erneuern)	30 Jahre (dreimal erneuern)	30 Jahre (dreimal erneuern)
Wiederverwendung Innentüren	bei Umnutzung von Büro 1 zu Büro 2	keine	keine
Trennwände innerhalb von Nutzungseinheiten	einfache Beplankung	doppelte Beplankung	doppelte Beplankung
Wiederverwendung Doppelboden	bei Umnutzung von Büro 1 zu Büro 2	keine	keine
Nutzbarkeitsdauer Doppelboden	60 Jahre (in Wohnnutzung nicht erneuern)	50 Jahre	50 Jahre
Bodenbelag Büro-nutzung	Parkett	Teppich	Naturstein
Bodenbelag Wohn-nutzung	Parkett	Parkett	Teppich

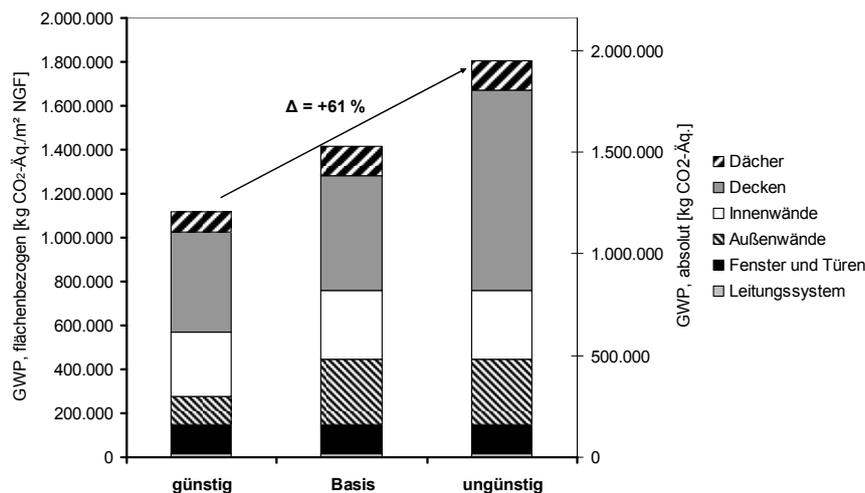


Bild 4.4: Treibhauspotenzial über den gesamten Lebenszyklus des Stadtbausteins für günstige und ungünstige Ausbauvariation (nur Obergeschosse, ohne Betrieb) – getrennt nach Bauteilen inkl. Bekleidungen und Belägen

Tabelle 4.6: Ökopprofil der Ausbauvariationen über den gesamten Lebenszyklus (nur Obergeschosse)

Wirkungskategorie	Variation „günstig“	Basis	Variation „ungünstig“	Relation ungünstig zu günstig
1	2	3	4	5
Primärenergie nicht erneuerbar (PE n. e.) [MJ]	16.680.697	20.198.215	25.199.058	151 %
Primärenergie erneuerbar (PE e.) [MJ]	2.767.710	1.662.660	1.152.197	42 %
Primärenergie gesamt (PE ges.) [MJ]	17.309.351	20.824.627	25.855.947	149 %
Treibhauspotenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äqv.]	1.117.850	1.413.585	1.805.570	162 %
Versauerungspotenzial (AP) [kg SO ₂ -Äqv.]	3.333	7.546	10.406	312 %
Ozonabbau­potenzial (ODP) [kg R11-Äqv.]	0,055	0,065	0,083	150 %
Euthrophierungspotenzial (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	481	711	909	189 %
Ozonbildungspotenzial (POCP) [kg Ethen-Äqv.]	330	491	645	195 %

4.4 Variation des energetischen Anforderungsniveaus

In der folgenden Betrachtung wird zusätzlich zur Einhaltung der Anforderung nach „EnEV“ 2007 /6/ ein maximaler Heizwärmebedarf (Nutzenergiebedarf Heizung) von 15 kWh/(m²a) zugrunde gelegt (Anforderungsniveau „HWB 15“) und für alle drei Nutzungsszenarien angewandt (s. Tabellen 4.7 und 4.8). Die Berechnungsmethodik entspricht dabei den Ausführungen in Abschnitt 3.2.2. Die haustechnischen Anlagen werden gegenüber der Referenztechnologie nach Energieeinsparverordnung optimiert. Die gegenüber der Ausgangsvariante in Abschnitt 3.2.2 geänderten Werte sind jeweils fett dargestellt.

Tabelle 4.7: Berechnungsrandbedingungen Büronutzung beim Anforderungsniveau „HWB 15“

Rechengröße/System		Ausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
1	2	3
Wärmedurchgangskoeffizient U	Außenwand	0,11 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Dach	0,11 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Decke gegen Tiefgarage	0,16 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Fenster	0,90 W/(m²K)
Gesamtenergie­durchlassgrad g _L	Fenster	0,50

Rechengröße/System		Ausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
1	2	3
Lichttransmissionsgrad der Verglasung τ_{D65}	Fenster	0,69
Luftdichtheit		$n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL, \text{Vers}, SA}$ nach DIN V 18599-4: 2007-02	Blendschutz vorhanden	0,15
Sonnenschutzvorrichtung	Art	Außenjalousie (45°) grau
	Ausführung	beweglich (variabel)
	Aktivierung	in Abhängigkeit der solaren Einstrahlung manuell betätigt oder zeitgesteuert
Beleuchtungsart		direkte Beleuchtung mit elektronischem Vorschaltgerät und stabförmiger Leuchtstofflampe
Regelung der Beleuchtung	Präsenzkontrolle	automatisch
	tageslichtabhängige Kontrolle	tageslichtabhängig gedimmtes System, abschaltend, nicht wiedereinschaltend
Heizung		<u>Wärmeerzeuger:</u> Brennwertkessel , Gebläsebrenner, Erdgas, Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle, Wasserinhalt > 0,15 l/KW <u>Wärmeverteilung:</u> Zweirohrnetz, außen liegende Verteilleitungen im unbeheizten Bereich, innen liegende Steigstränge, innen liegende Anbindeleitungen, Systemtemperatur 55/45 °C, hydraulisch abgeglichen, Δp konstant, Pumpe auf Bedarf ausgelegt, Pumpe mit intermittierendem Betrieb, keine Überströmventile <u>Wärmeübergabe:</u> freie Heizflächen an der Außenwand, P-Regler (2K), keine Hilfsenergie
Warmwasser	zentral	<u>Wärmeerzeuger:</u> gemeinsame Wärmeerzeugung mit Heizung <u>Wärmespeicherung:</u> indirekt beheizter Speicher (stehend), Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle <u>Wärmeverteilung:</u> mit Zirkulation, Δp konstant, Pumpe auf Bedarf ausgelegt
Raumluftechnik		<u>Zu- und Abluftanlage ohne Nachheiz- und Kühlfunktion:</u> spezifische Leistungsaufnahme Zuluftventilator: $P_{SFP} = 1,6 \text{ KW}/(\text{m}^3/\text{s})$ spezifische Leistungsaufnahme Abluftventilator: $P_{SFP} = 1,25 \text{ KW}/(\text{m}^3/\text{s})$ Wärmerückgewinnung über Kreislaufverbund-Kompaktwärmeübertrager: Rückwärmzahl $\eta_t = 0,70$, unregelte Pumpe
Raumkühlung		<u>Kältesystem:</u> Kaltwasser Fan-Coil 14/18 °C Kaltwassertemperatur; Brüstungsgerät <u>Kaltwasserkreis Raumkühlung:</u> 10 % Überströmung, spezifische elektrische Leistung der Verteilung $P_{d, \text{spez}} = 35 \text{ W}_{el}/\text{KW}_{Kälte}$, hydraulisch abgeglichen, geregelte Pumpe, Pumpe hydraulisch entkoppelt, saisonale sowie Nacht- und Wochenendabschaltung

Rechengröße/System		Ausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
1	2	3
Kälteerzeugung		Erzeuger: Kolben/Scrollverdichter mehrstufig schaltbar, R134a, luftgekühlt, Kaltwassertemperatur 6/12 °C Kaltwasserkreis Erzeuger: 30 % Überströmung, spezifische elektrische Leistung der Verteilung $P_{d, spez} = 25 \text{ W}_{el}/\text{KW}_{Kälte}$, hydraulisch abgeglichen, ungeregelte Pumpe, Pumpe hydraulisch entkoppelt, saisonale sowie Nacht- und Wochenendabschaltung, Verteilung außerhalb der konditionierten Zone
Nutzungsrandbedingungen		Werte nach den Tabellen 4-8 der DIN V 18599-10:2007-02

Tabelle 4.8: Berechnungsrandbedingungen Wohnnutzung beim Anforderungsniveau „HWB 15“

Rechengröße/System		Ausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
1	2	3
Wärmedurchgangskoeffizient U	Außenwand	0,11 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Dach	0,11 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Decke gegen Tiefgarage	0,16 W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient U	Fenster	0,90 W/(m²K)
Gesamtenergiedurchlassgrad g_{\perp}	Fenster	0,50
Lichttransmissionsgrad der Verglasung τ_{D65}	Fenster	0,69
Luftdichtheit		$n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$
Sonnenschutzvorrichtung		Außenjalousie (45°) grau
Heizung		Wärmeerzeuger: Brennwertkessel, Erdgas, Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle Wärmeverteilung: außen liegende Rohrleitungen im unbeheizten Bereich, Systemtemperatur 55/45 °C, hydraulisch abgeglichen Wärmeübergabe: freie Heizflächen an der Außenwand, P-Regler (2K)
Warmwasser	zentral	Wärmeerzeuger: gemeinsame Wärmeerzeugung mit Heizung Wärmespeicherung: Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle Wärmeverteilung: mit Zirkulation
Raumluftechnik		Zu- und Abluftanlage ohne Nachheiz- und Kühlfunktion: Nachweis der Dichtheit nach „EnEV“ 2007 /6/, Anlagenluftwechselrate mit Standardwerten nach DIN 4701
Nutzungsrandbedingungen		DIN V 4108-6:2003-06

Die folgenden Berechnungsergebnisse fließen in die ökologische Bilanzierung des Stadtbausteins bei Betrachtung einer 100-jährigen Nutzungsphase ein. Aufgrund der unterschiedlichen Berechnungsmethoden für die Büro- bzw. Wohnnutzung (DIN V 18599 /16/ bzw. DIN V 4108-6 /48/) liegen den flächenbezogenen Energiebedarfswerten unterschiedliche Bezugsflächen zugrunde. Bei der Büronutzung handelt es sich um die thermisch konditionierte Nettogrundfläche von 2.700 m². Bei der Wohnnutzung beträgt die Bezugsfläche 32 % des Bruttovolumens, das sind 3.145 m².

Am Stadtbaustein werden bauliche und anlagentechnische Optimierungen durchgeführt, so dass sich beim ersten Nutzungsszenario und der Tragstruktur Standard ein Nutzwärmebedarf von etwa 15 kWh/m²a (Variante „HWB 15“) einstellt. Die weiteren Betrachtungen beziehen sich jedoch nur noch auf die Flexible Struktur, da sich der Energiebedarf zwischen den beiden Tragstrukturen kaum unterscheidet (s. Abschnitt 3.2.2).

In den Bildern 4.5 bis 4.7 ist der Energiebedarf für die Variante „HWB 15“ bei den Nutzungsszenarien Büro I, Büro II und Wohnen dem Energiebedarf bei der Variante „EnEV“ 2007 /6/ gegenübergestellt. Im Vergleich zum Anforderungsniveau „EnEV“ 2007 /6/ verringert sich der Heizwärmebedarf beim Szenario Büro I um 54 %. Gleichzeitig ist eine gewisse Erhöhung des Energiebedarfs für die Beleuchtung festzustellen, da beim Anforderungsniveau „HWB 15“ wärmetechnisch verbesserte Fenster eingesetzt werden, die jedoch einen geringeren Lichttransmissionsgrad aufweisen. Der Gesamtprimärenergiebedarf verringert sich durch das Anheben des energetischen Anforderungsniveaus um 24 % beim Büro I.

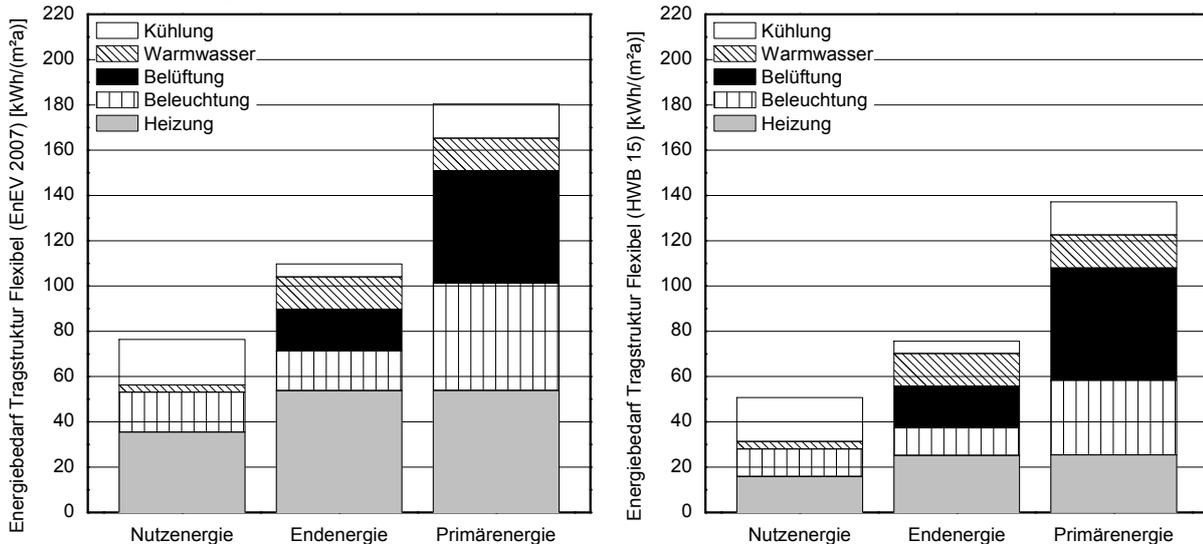


Bild 4.5: Energiebedarf Stadtbaustein bei der Tragstruktur Flexibel und dem Nutzungsszenario Büro I, links: Anforderungsniveau „EnEV“ 2007 /6/, rechts: Anforderungsniveau „HWB 15“

Im Vergleich zum Anforderungsniveau „EnEV“ 2007 /6/ verringert sich der Heizwärmebedarf beim Szenario Büro II (Bild 4.6) um 60 %. Beim Szenario Büro II steigt jeweils der Energiebedarf für Beleuchtung, Belüftung und Kühlung gegenüber dem Szenario Büro I. Dies hängt mit der veränderten Raumanordnung zusammen, die eine energetisch ungünstigere Zonierung und Einteilung in Beleuchtungsbereiche zur Folge hat. Der Gesamtprimärenergiebedarf verringert sich durch das Anheben des energetischen Anforderungsniveaus von „EnEV“ 2007 /6/ auf „HWB 15“ um 21 % beim Büro II.

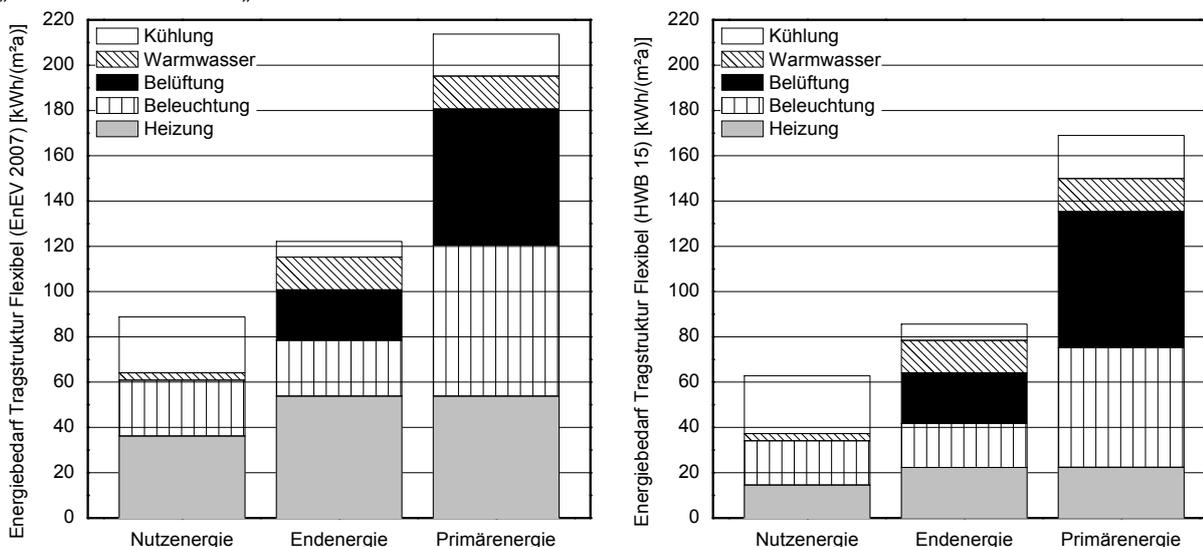


Bild 4.6: Energiebedarf Stadtbaustein bei der Tragstruktur Flexibel und dem Nutzungsszenario Büro II, links: Anforderungsniveau „EnEV“ 2007 /6/, rechts: Anforderungsniveau „HWB 15“

Bei der Berechnung der Wohnnutzung (Bild 4.7) werden gemäß „EnEV“ 2007 /6/ die Aufwendungen für Beleuchtung, Kühlung und Belüftung bisher nicht bilanziert. Die energetischen Unterschiede wären hier zwischen der Tragstruktur Standard und der Tragstruktur Flexibel aber voraussichtlich ebenfalls gering. Der Energiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung kann nicht unmittelbar den Werten der Büronutzung gegenübergestellt werden, da unterschiedliche Berechnungsrandbedingungen vorliegen (z. B. unterschiedliche Flächenbezüge bei Büro- und Wohnnutzung, Raumsolltemperatur 20 °C bei Wohngebäudeberechnung und 21 °C bei Bürogebäudeberechnung; höherer Warmwasserbedarf in Wohngebäuden gegenüber Bürogebäuden). Im Vergleich zum Anforderungsniveau „EnEV“ 2007 /6/ verringert sich der Heizwärmebedarf beim Szenario Wohnen um 23 %. Der Gesamtprimärenergiebedarf verringert sich durch das Anheben des energetischen Anforderungsniveaus um 15 % beim Szenario Wohnen.

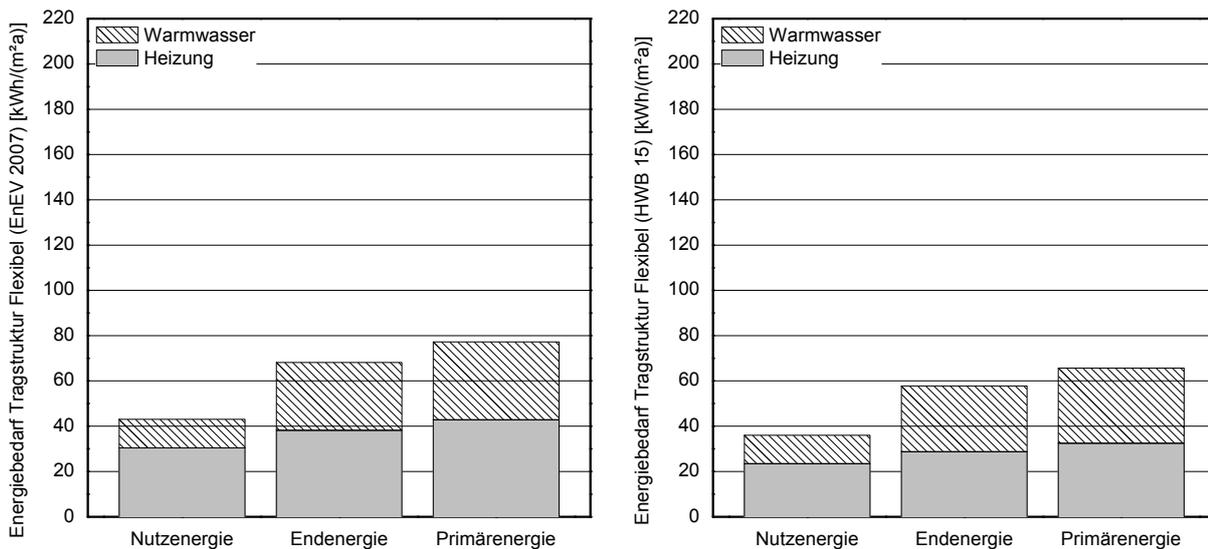


Bild 4.7: Energiebedarf Stadtbaustein bei der Tragstruktur Flexibel und dem Nutzungsszenario **Wohnen**, links: Anforderungsniveau „EnEV“ 2007 /6/, rechts: Anforderungsniveau „HWB 15“

Im Anhang C2 finden sich tabellarische Zusammenstellungen der Berechnungsergebnisse. Zusammenfassend zeigt Tabelle 4.9, wie sich der Gesamtprimärenergiebedarf durch das Anheben des energetischen Anforderungsniveaus von „EnEV“ 2007 /6/ auf „HWB 15“ bei den verschiedenen Szenarien verringert.

Tabelle 4.9: Primärenergieeinsparung durch das energetische Anforderungsniveau „HWB 15“

Variante	Primärenergiebedarf „EnEV“ 2007	Primärenergiebedarf „HWB 15“	Differenz bezogen auf „EnEV“ 2007
	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	
Büro I - Flexibel	180.1	137.1	- 24 %
Büro II - Flexibel	213,7	169,0	- 21 %
Wohnen - Flexibel	77,2	65,7	- 15 %

Sowohl bei der Tragstruktur Standard als auch bei der Flexiblen Tragstruktur handelt es sich um Massivbauweisen. Gemäß den verwendeten Berechnungsnormen wird die Bauschwere pauschal angesetzt (siehe auch Abschnitt 3.2.2):

- leichte Bauweise ($C_{\text{wirk}} = 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K}) A_B$)
- mittelschwere Bauweise ($C_{\text{wirk}} = 90 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K}) A_B$)
- schwere Bauweise ($C_{\text{wirk}} = 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K}) A_B$)

Tabelle 4.10 zeigt für die Tragstruktur Flexibel und das energetische Anforderungsniveau „HWB 15“ die Auswirkungen auf den Primärenergiebedarf beim Ansatz unterschiedlicher Bauschweren. Die Bauschwere wirkt sich demnach nur geringfügig auf den Primärenergiebedarf aus. Eine schwere Bauart reduziert unter den vorliegenden Randbedingungen den Primärenergiebedarf um maximal 2 %.

Tabelle 4.10: Auswirkung der Bauschwere auf den Primärenergiebedarf bei der Flexiblen Tragstruktur und dem Anforderungsniveau „HWB 15“ für die verschiedenen Szenarien

Variante	Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)] bei Bauart		Differenz bezogen auf „leicht“
	leicht	schwer	
Büro I – Flexibel – „HWB 15“	138,5	137,2	- 1 %
Büro II – Flexibel – „HWB15“	172,2	168,7	- 2 %
Wohnen – Flexibel – „HWB 15“	67,1	65,7	- 2 %

Die Potenziale des Betonbaus im Hinblick auf seine thermischen Speicherfähigkeiten und die Möglichkeiten zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes wurden anhand von instationären Simulationsrechnungen in einer ersten Phase des vorliegenden Verbundforschungsvorhabens eingehender untersucht (s. a. /2/). Hierbei konnten u. a. folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Speichermassen, wie sie der Betonbau bereitstellt, sind vor allem bei hohen thermischen Lasten in Kombination mit geeigneten Entlademechanismen (Nachtlüftung, Betonkernaktivierung) wirksam;
- Speichermassen reduzieren i. d. R. maximale Temperaturspitzen im Raum;
- Nachtlüftung ist besonders bei großen Speichermassen effektiv.

Beim ökobilanziellen Vergleich zwischen der Basisvariante „EnEV“ 2007 /6/ und der energetisch optimierten Variante „HWB 15“ werden in die Betrachtung sowohl der veränderte Energiebedarf als auch die veränderten Dämmstoffstärken einbezogen. In der Erstellung unterscheidet sich die „HWB 15“-Variante durch eine Erhöhung der Dämmstärke des Dachs von 18 cm auf 30 cm, der Außenwand von 12 cm auf 30 cm und der Geschossdecke gegen die Tiefgarage von 10 cm auf 20 cm. Das Material bleibt jeweils gleich. Bezogen auf das Gesamtgebäude inkl. Tiefgarage machen die Dämmstoffe jedoch nur einen kleinen Anteil der Ökobilanz aus, so dass die „HWB 15“-Variante in der Herstellung nur ein um 2 % höheres Treibhauspotenzial verursacht (Bild 4.8).

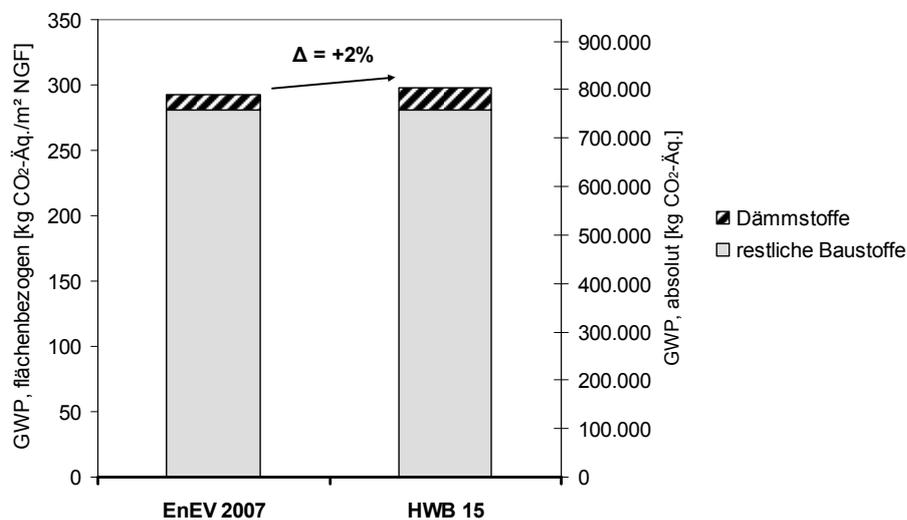


Bild 4.8: Treibhauspotenzial in der Herstellphase des Stadtbausteins inkl. Tiefgarage für die Varianten „EnEV“ 2007 /6/ und „HWB 15“

Die ökologische Bewertung der Betriebsphase zeigt, dass mit der Variante „HWB 15“ im Bereich der Heizung und Beleuchtung das Treibhauspotenzial stark verringert werden kann. Etwa die Hälfte des Treibhauspotenzials ist jedoch nicht beeinflussbar, da es auf Kühlung, Warmwasser und Belüftung zurückzuführen ist und deren Bedarf bei beiden Varianten nahezu gleichbleibt (Bild 4.9).

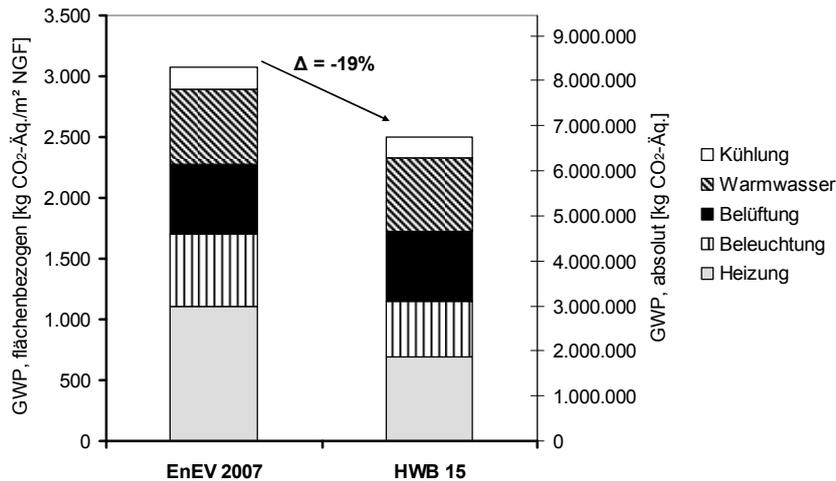


Bild 4.9: Treibhauspotenzial in der Nutzungsphase von 100 Jahren des Stadtbausteins inkl. Tiefgarage für die Varianten „EnEV“ 2007 /6/ und „HWB 15“ (nur Anlagenbetrieb)

Die geringen ökologischen Mehraufwendungen für die Dämmung werden schon nach kurzer Zeit durch die Einsparungen beim Betrieb amortisiert (Bild 4.10). Bezogen auf einen Lebenszyklus von 100 Jahren mit der in Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Abfolge von Büro- und Wohnnutzung ist die Variante „HWB 15“ in allen Wirkungskategorien vorteilhafter. Der Unterschied beträgt 5-15 % (Tabelle 4.11).

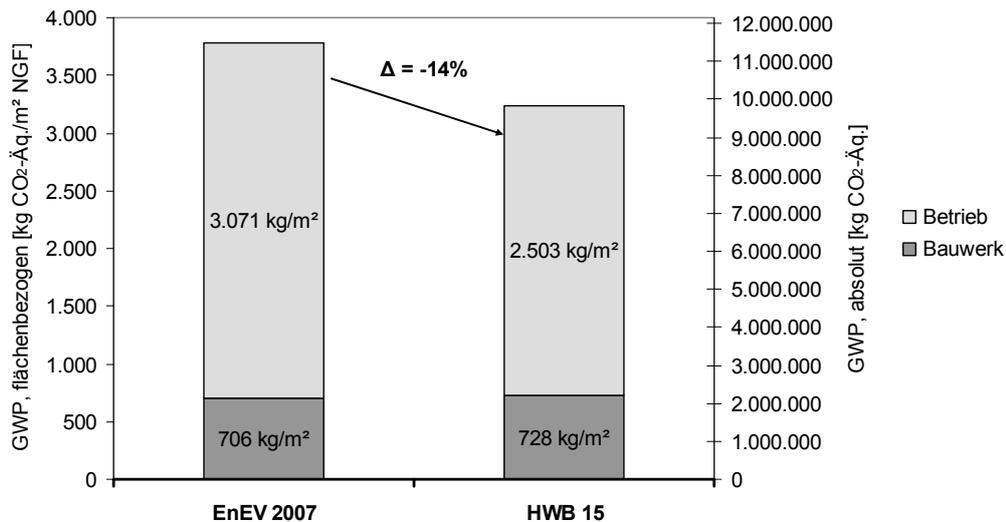


Bild 4.10: Treibhauspotenzial der Varianten „EnEV“ 2007 /6/ und „HWB 15“ über den gesamten Lebenszyklus (100 Jahre)

Tabelle 4.11: Ökoprotfil der Varianten „EnEV“ 2007 /6/ und „HWB 15“ über den gesamten Lebenszyklus (100 Jahre)

Wirkungskategorie	Variante „EnEV“ 2007	Variante „HWB 15“	Differenz zu „EnEV“ 2007
1	2	3	4
Primärenergie nicht erneuerbar (PE n. e.) [MJ]	162.192.847	137.743.288	-15 %
Primärenergie erneuerbar (PE e.) [MJ]	4.850.574	4.553.940	-6 %
Primärenergie gesamt (PE ges.) [MJ]	166.000.200	141.232.007	-15 %
Treibhauspotenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äqv.]	10.196.590	8.723.704	-14 %
Versauerungspotenzial (AP) [kg SO ₂ -Äqv.]	18.527	17.306	-7 %
Ozonabbaupotenzial (ODP) [kg R11-Äqv.]	0,72	0,65	-10 %
Euthrophierungspotenzial (EP) [kg Phosphat-Äqv.]	1.773	1.661	-6 %
Ozonbildungspotenzial (POCP) [kg Ethen-Äqv.]	1.503	1.374	-9 %

4.5 Variation Untergeschosse

4.5.1 Variation des statischen Systems

Die Flexible Struktur ermöglicht aufgrund der Tatsache, dass in den Obergeschossen keine tragenden Innenstützen und Innenwände erforderlich sind, eine zusätzliche Flexibilisierungsoption im 1. UG. Unter der Voraussetzung einer gewissen Massenmehrung in den Decken über dem 1. UG und dem 2. UG können entsprechend Abschnitt 2.3.2.5 die Stützen im 1. UG alternativ gestellt werden. Somit wird ermöglicht, dieses Geschoss für zukünftige Erfordernisse anzupassen. Das statische System der Untergeschosse bei starrer Anordnung der Stützen in 1. und 2. UG ist in Bild 4.11 dargestellt.

Die punktgestützten Flachdecken der beiden Untergeschosse haben dann eine reduzierte Dicke von 25 cm. Aufgrund der unterschiedlichen Umgebungsbedingungen wurden auch hier zwei verschiedene Betonfestigkeiten verwendet (Tabelle 4.12). Zum Vergleich sind jeweils zusätzlich die Baustoffmengen für die Variante mit flexibler Stützenstellung in Klammern angegeben.

Menge: 468 m² Decke über 1. UG
 468 m² Decke über 2. UG
 Gesamt: 936 m² Decke

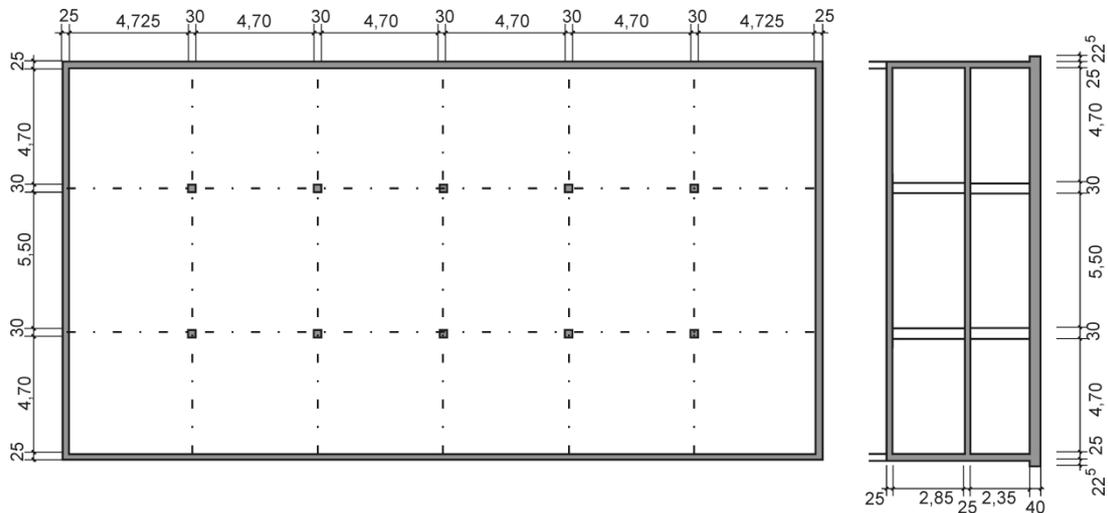


Bild 4.11: Untergeschosse des Stadtbausteins mit Abmessungen für starre Stützenstellung

Tabelle 4.12: Baustoffzusammenstellung Decken Untergeschosse – Variante Flexible Struktur

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30 (XC1)	m ² Decke 1. UG	m ³ /m ²	0,25 (0,28)
Betonstahl	BSt 500 S	m ² Decke 1. UG	kg/m ²	19,46 (22,79)
Beton	C35/45 (XD3)	m ² Decke 2. UG	m ³ /m ²	0,25 (0,28)
Betonstahl	BSt 500 S	m ² Decke 2. UG	kg/m ²	21,11 (28,54)

Der Einfluss einer flexiblen Stützenstellung im Untergeschoss auf die Umweltwirkungen ist in Bild 4.12 dargestellt. Betrachtet wurde jeweils die Tragstruktur des gesamten Stadtbausteins für die Varianten Standard und Flexible Struktur mit/ohne flexible Stützenstellung im 1. Untergeschoss. Man kann erkennen, dass eine starre Stützenstellung zu einer Verringerung des Primärenergiebedarfs von nur 2 % bezüglich der Flexiblen Struktur führt. Unter diesen Randbedingungen erscheint ein Mehraufwand durchaus gerechtfertigt, wenn in Zukunft eine entsprechende Umnutzung denkbar ist.

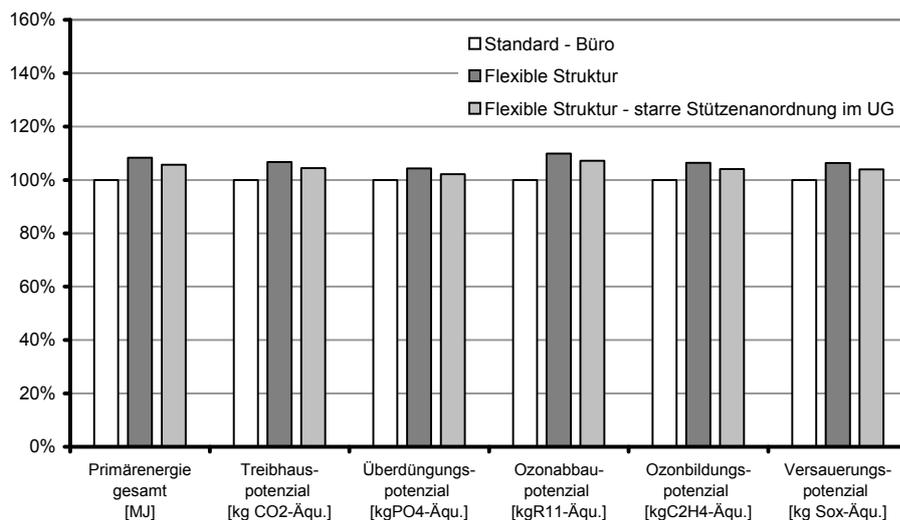


Bild 4.12: Umweltwirkungen für die Varianten Standard Büro sowie Flexible Struktur mit und ohne flexibler Stützenstellung im 1. UG – Herstellphase, Tragstruktur UG

4.5.2 Variation der Deckendicken

4.5.2.1 Variation der Dicke der Decke über dem 1. UG

Für die flexible Variante (2.3.2) gibt es zwei Untervarianten: Ohne und mit Flexibilisierungsoption der Untergeschosse (4.5.1). Bei den Decken über 1. UG und 2. UG handelt es sich bei der Untervariante „ohne Flexibilisierungsoption der Untergeschosse“ um herkömmliche punktgestützte Flachdecken in Ortbetonbauweise. Es sind keine Lasten aus den Obergeschossen abzufangen und eine alternative Auflagerung ist nicht vorgesehen.

Während sich die Geometrie und die aufzunehmenden Nutzlasten aus fest vorgegebenen Anforderungen ergeben, kann die Betonfestigkeit und die Deckendicke jedoch in gewissen Grenzen frei gewählt werden. Unter Beibehaltung der Festigkeitsklasse C25/30 wird die Dicke der Decke über dem 1. UG variiert (Tabelle 4.13). Entsprechend der Zulassung der Durchstanzbewehrung liegt die minimale Deckendicke bei 18 cm.

Tabelle 4.13: Baustoffzusammenstellung Decke über 1. UG – Variation der Deckendicke

Baustoff	Baustoffgüte	Basis	Einheit	Wert
1	2	3	4	5
Beton	C25/30 (XC1)	m ² Decke 1. UG	m ³ /m ²	0,18
Betonstahl	BSt 500 S/M	m ² Decke 1. UG	kg/m ²	22,40
Beton	C25/30 (XC1)	m ² Decke 1. UG	m ³ /m ²	0,22
Betonstahl	BSt 500 S/M	m ² Decke 1. UG	kg/m ²	20,27
Beton	C25/30 (XC1)	m ² Decke 1. UG	m ³ /m ²	0,25
Betonstahl	BSt 500 S/M	m ² Decke 1. UG	kg/m ²	19,46
Beton	C25/30 (XC1)	m ² Decke 1. UG	m ³ /m ²	0,30
Betonstahl	BSt 500 S/M	m ² Decke 1. UG	kg/m ²	18,29

In Bild 4.13 sind die Wirkungskategorien der Decke über dem 1. UG in Abhängigkeit der Deckendicke dargestellt. Für alle Wirkungskategorien nimmt der Betonstahlanteil mit steigender Deckenhöhe ab. Die lineare Zunahme des Betonanteiles ist jedoch für alle Wirkungskategorien dominierend, so dass innerhalb der gegebenen Randbedingungen eine möglichst geringe Deckendicke die ökologisch beste Lösung darstellt. Es ist zu bedenken, dass es sich beim Betonstahlbedarf um keinen festen Wert handelt, sondern dass dieser vom Berechnungs- und Bemessungsverfahren und der gewählten Bewehrungsstaffelung abhängt. Es wurde ein möglichst praxisgerechtes Verfahren zur Ermittlung des Betonstahlbedarfes gewählt.

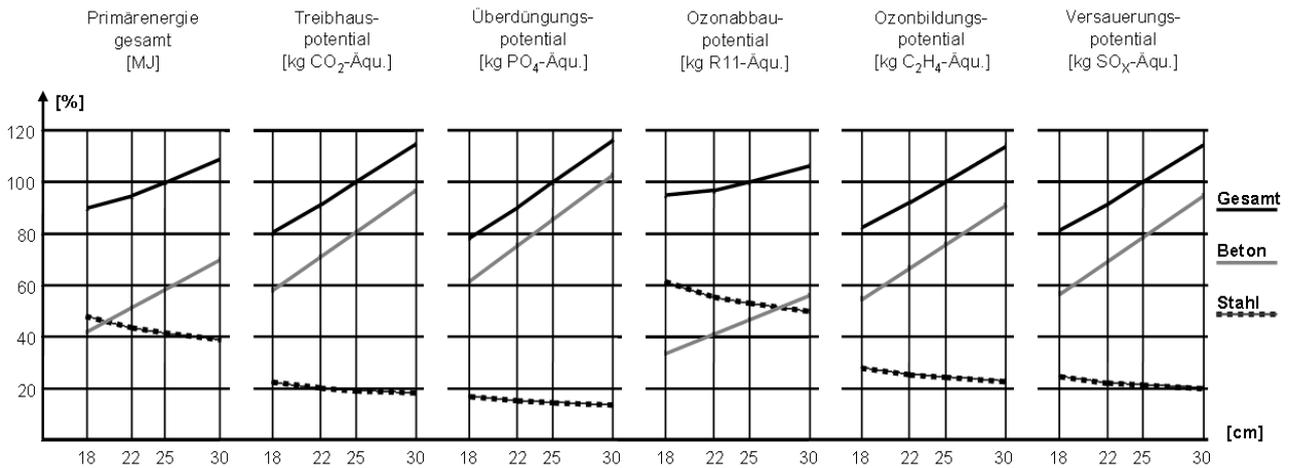


Bild 4.13: Einfluss der Deckendicke bei Betondruckfestigkeitsklasse C25/30 auf die Größe der Wirkungskategorien (Bezugsgröße: 25 cm dicke Decke)

Eine Normierung der Ergebnisse auf die jährlichen Wirkstoffanteile Deutschlands zeigt, dass es sich beim Primärenergiebedarf und dem Treibhauspotenzial um die maßgebenden Wirkungskategorien handelt.

4.5.2.2 Zusätzliche Variation der Betondruckfestigkeit, der Nutzlast und der Stützweite

Einer Optimierung von Flachdecken sind innerhalb des Stadtbausteines enge Grenzen gesetzt. Deshalb wurde eine zusätzliche Stützweitenstudie durchgeführt, deren wichtigste Ergebnisse kurz dargestellt werden.

Für die Untersuchung wurde eine punktgestützte durchlaufende Flachdecke mit sechs quadratischen Feldern in beide Achsrichtungen betrachtet. In Abhängigkeit der Randbedingungen Spannweite, Verkehrslast, Deckendicke und Betondruckfestigkeit wurde die erforderliche Bewehrungsmenge ermittelt. Auch hier wurden als Durchstanzbewehrung Dübelleisten verwendet. Eine Beschränkung der Betonfestigkeit auf C50/60 entsprechend der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung wurde bewusst nicht eingehalten, um ein größeres Spektrum an Festigkeiten untersuchen zu können. Der maximal mögliche Längsbewehrungsgrad für den Durchstanznachweis wurde ausgenutzt. Untersucht wurden Betonfestigkeiten von C12/15 bis C100/115, Nutzlasten zwischen 5 kN/m² und 30 kN/m² sowie Spannweiten zwischen 5 m und 20 m (s. a. /52/).

In Bild 4.14 ist der Betonstahlverbrauch der Flachdecke bei fester Spannweite $l = 10$ m und Verkehrslast $p = 20$ kN/m² in Abhängigkeit der Deckendicke für verschiedene Betonfestigkeitsklassen dargestellt. Bild 4.14 zeigt, dass dünne Decken wegen der geringen statischen Nutzhöhe und dicke Decken wegen der nach DIN 1045-1 erforderlichen Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens sehr viel Stahl verbrauchen. Dazwischen liegt ein für jede Betonfestigkeitsklasse bestimmtes Optimum an Bewehrungsmenge. Der Einfluss der Mindestbewehrung ist dabei bei den Betonen mit höherer Betonfestigkeit deutlich größer als bei niedrigeren Betonfestigkeitsklassen. Die minimale Deckendicke für die entsprechende Betonfestigkeitsklasse ergibt sich aus dem erforderlichen Durchstanzwiderstand.

Mit der Ermittlung von Baustoffmassen für Bewehrungsstahl und Beton in Abhängigkeit von der Deckendicke für verschiedene Betonfestigkeitsklassen können nun die für die jeweilige Deckenvariante ermittelten Baustoffmassen mit der jeweiligen Wirkungskategorie multipliziert werden. In Bild 4.15 ist der Primärenergiebedarf (hier: Summe aus erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie) pro Quadratmeter Deckenfläche sowohl für Bewehrungsstahl alleine als auch für Beton und Bewehrungsstahl gemeinsam dargestellt.

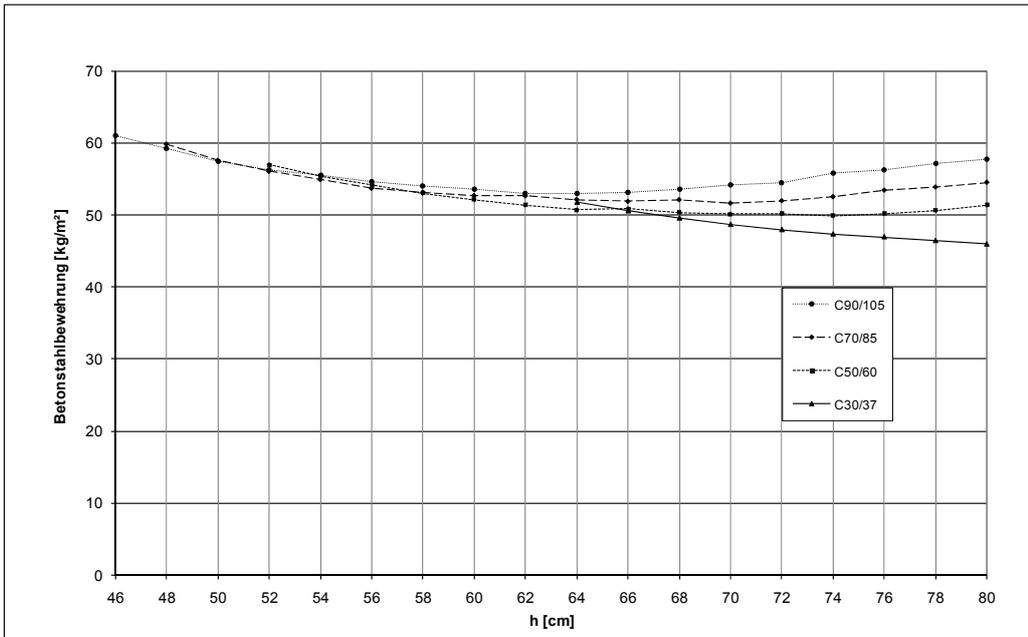


Bild 4.14: Flächenbezogene Bewehrungsmenge einer Flachdecke (Spannweite $l = 10$ m, Verkehrslast von $p = 20$ kN/m²) in Abhängigkeit der Deckendicke h für verschiedene Betonfestigkeitsklassen

Aus Bild 4.15 wird deutlich, dass der Beton im Vergleich zum Bewehrungsstahl einen deutlich höheren Primärenergieverbrauch aufweist. Für die Wirkungskategorie Primärenergiebedarf ist eine möglichst dünne Decke die ökologisch günstigste Variante. Des Weiteren ist ersichtlich, dass sich unter den gegebenen Randbedingungen für Normalbeton C30/37 die energieeffizienteste Variante ergibt. Für die anderen Wirkungskategorien ist der Effekt ähnlich, für die Wirkungskategorie Treibhauspotential, d. h. CO₂-Ausstoß, sogar noch stärker.

Auch bei Variation der Spannweite, Nutzlast und Betonfestigkeit ergeben sich die günstigsten Werte für die Decke mit der geringsten Dicke. Im Hinblick auf eine Ressourcenschonung bei der Herstellung von punktgestützten Flachdecken kann als Konstruktionsregel die Wahl einer möglichst geringen Deckendicke empfohlen werden.

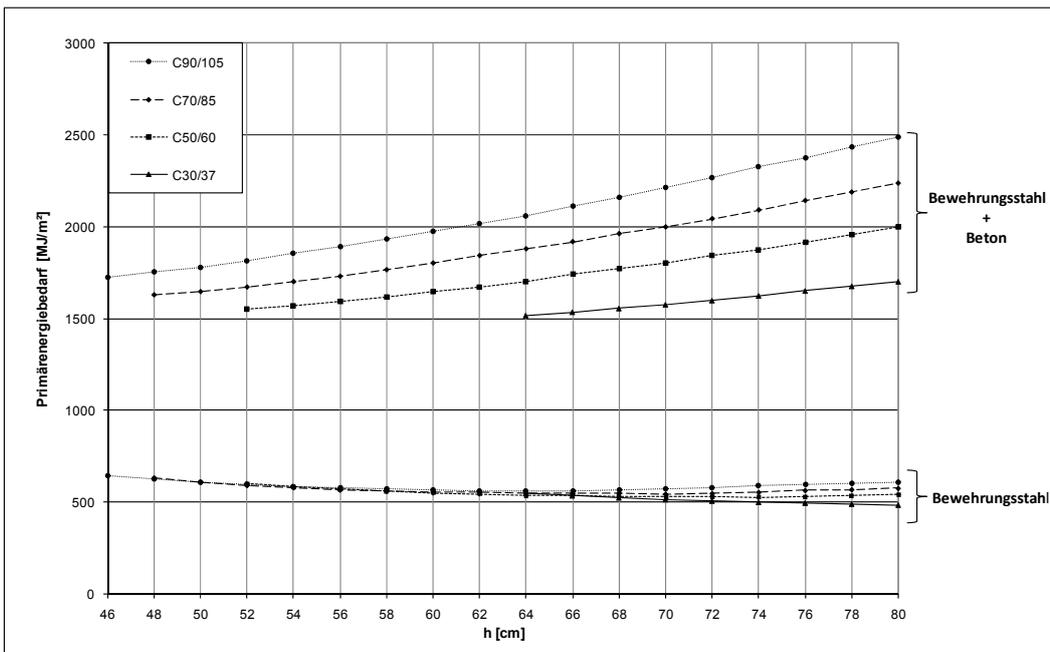


Bild 4.15: Flächenbezogener Primärenergiebedarf in Abhängigkeit von der Deckendicke h für Bewehrungsstahl alleine und für Beton und Bewehrungsstahl zusammen für verschiedene Betonfestigkeitsklassen

4.6 Variation des Dauerhaftigkeitskonzepts der Untergeschosse

4.6.1 Allgemeines

Tiefgaragen sind komplexe Ingenieurbauwerke, die starken dauerhaftigkeitsschädigenden Beanspruchungen ausgesetzt sind. Im Winterhalbjahr werden vermehrt Feuchtigkeit und Chloride aus Taumitteln in Tiefgaragen eingetragen. Chloride dringen in den Beton ein und sobald ein kritischer Chloridgehalt in Höhe der Bewehrungslage überschritten wird, kann es zu Korrosion kommen. Aufgrund der starken Beanspruchung werden befahrbare Parkdecks der Expositionsklasse XD3 /54/ zugeordnet. Nach DIN 1045-1 /54/ sind in ungerissenen Bereichen der Tiefgarage keine besonderen Maßnahmen erforderlich. Aber für befahrene Parkflächen sowie angrenzende vertikale Bauteile (z. B. Stützen, Wände), die rissgefährdet sind, sind besondere Konzepte zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit erforderlich. Nach dem Merkblatt des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins (DBV) „Parkhäuser und Tiefgaragen“ /53/ stehen dafür drei Möglichkeiten zur Verfügung, die jeweils eine Beschichtung vorsehen:

- Ausführung nach DIN 1045-1 /54/ unter Berücksichtigung einer „besonderen Maßnahme“ zum Schutz des Bauteils an gerissenen Stellen
- Ausführung nach DAfStb-Heft 525 /50/ und 526 /51/ mit rissüberbrückender Beschichtung, die regelmäßig gewartet wird
- Ausführung und Abdichtung nach ZTV-ING /55/

Abweichungen von den zuvor genannten drei Möglichkeiten bedürfen des Nachweises der Funktionalität. Der Nachweis kann über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall erbracht werden. Als alternatives Bauwerksüberwachungskonzept ist auch der Einsatz von Monitoring im Rahmen eines Lebensdauermanagements anwendbar.

4.6.2 Alternativkonzept zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit

Mit Hilfe von Monitoringsystemen kann bei Parkdecks auf eine vollflächige Beschichtung verzichtet werden. Als Monitoringinstrumente bietet sich der Einbau von Multiringelektroden und Anodenleitern an.

Multiring-Elektroden (Bild 4.16) erlauben die kontinuierliche Aufzeichnung tiefengestaffelter Elektrolytwiderstandsprofile. Diese Informationen erlauben qualitative Rückschlüsse auf die Feuchteverteilung innerhalb eines Bauteils. Im Rahmen von Lebensdauermanagementsystemen können Multiring-Elektroden an unterschiedlichen Stellen eingesetzt werden. Bei beschichteten Bauteiloberflächen z. B. können sie zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit des Beschichtungssystems verwendet werden. Undichtigkeiten in der Beschichtung führen zu einem Wassereintritt in das Bauteil, der unmittelbar an dem äußersten Elektrodenpaar als Abfall des Elektrolytwiderstands registriert wird. Zudem können Messungen des Elektrolytwiderstands auf Bewehrungshöhe herangezogen werden, um die Gefahr von Bewehrungskorrosion abzuschätzen /64/.

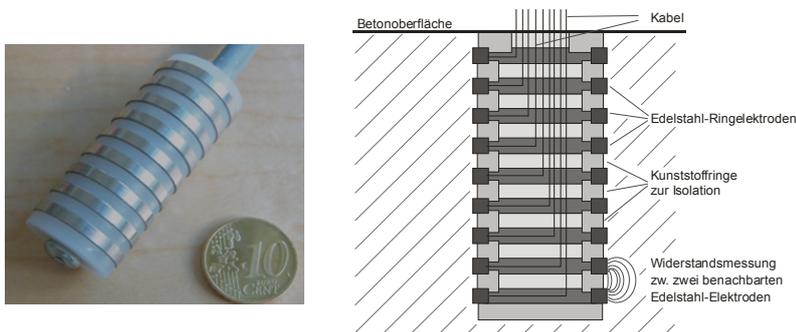


Bild 4.16: Schematischer Aufbau einer Multiring-Elektrode (MRE)

Das Prinzip von Anodenleitern bzw. Korrosionssensoren (Bild 4.17) beruht auf der tiefengestaffelten Anordnung von Einzelsensoren zwischen Betonoberfläche und Bewehrung. Im passiven Zustand fließt nur ein sehr geringer Passivierungsstrom. Erreicht jedoch die Depassivierungsfront infolge Überschreitens des kritischen Chloridgehalts die Tiefenlage des Einzelsensors, stellt sich ein Korrosionsstrom ein. Korrosionssensoren ermöglichen somit eine kontinuierliche Überwachung des Fortschreitens der Depassivierungsfront und sind somit zum Monitoring von Stahlbetonbauteilen geeignet /64/.

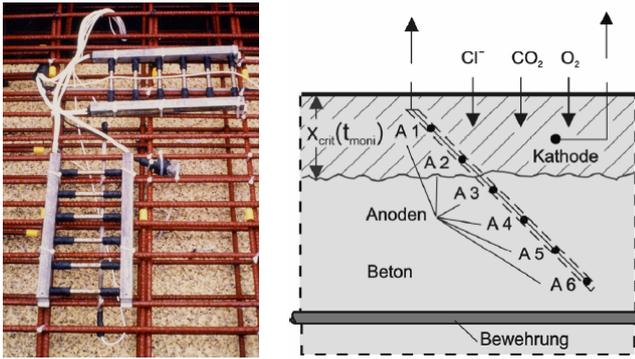


Bild 4.17: Schematischer Aufbau einer Anodenleiter (AL)

Die Einsparung einer Beschichtung ist von konstruktionsbedingten Risszonen und damit von der Tragkonstruktion der Tiefgarage abhängig. Statisch bedingte Zugzonen müssen grundsätzlich beschichtet werden, da in diesen Zonen mit Rissen zu rechnen ist und somit Chloride schneller eindringen und zur Bewehrung gelangen können. In Druckzonen kann auf die Beschichtung so lange verzichtet werden, bis ein definierter Grenzzustand eingetreten ist, der sicherstellt, dass nach der Umverteilung der Chloride unter der aufgetragenen Beschichtung an der Bewehrung der kritische Chloridgehalt nicht erreicht wird.

Der Zustand des un- bzw. beschichteten Teils der Betonoberfläche kann über die Auswertung der Monitoringdaten zu jedem Zeitpunkt ermittelt werden. Durch die kontinuierliche Zustandserfassung mittels Monitoring kann Beschichtungsmaterial eingespart und somit Ressourcen geschont werden. Das Alternativkonzept des präventiven Lebensdauermanagements kann zu einem kostenoptimierten und nachhaltigen Bauwerksbetrieb beitragen.

4.6.3 Verteilung der Monitoringinstrumente in der Tiefgarage des Stadtbausteins

Auf Grund der Ausführung als Plattengründung liegt die Zugzone der Bodenplatte des 2. UG auf der Oberseite. In diesem Untergeschoss muss demnach ein vollflächiges rissüberbrückendes Oberflächenschutzsystem (z. B. OS 11a) aufgebracht werden. Die teilweise Einsparung der Beschichtung kann lediglich auf der Geschossoberfläche des 1. UG erfolgen. Die Fläche der zu beschichtenden Bereiche inklusive der Stützenfüße beträgt im 1. UG rd. $2 \cdot (24 \text{ m} \cdot 4 \text{ m}) = 192 \text{ m}^2$. Dies entspricht ungefähr 41 % der Gesamtfläche (468 m^2) im 1. UG.

Korrosionssensoren ermöglichen nur lokal eine Aussage über die Tiefe der Depassivierungsfront. Daher kommt der zielgerichteten Anordnung der Sensoren eine zentrale Bedeutung zu. Korrosionssensoren sollten sowohl an Stellen, die für große Oberflächenbereiche repräsentativ sind, als auch an besonders kritischen Bereichen angeordnet werden /56/. Die Verteilung der Monitoringinstrumente im 1. UG und die Aufteilung in beschichtete bzw. unbeschichtete Bereiche ist in Bild 4.18 dargestellt.

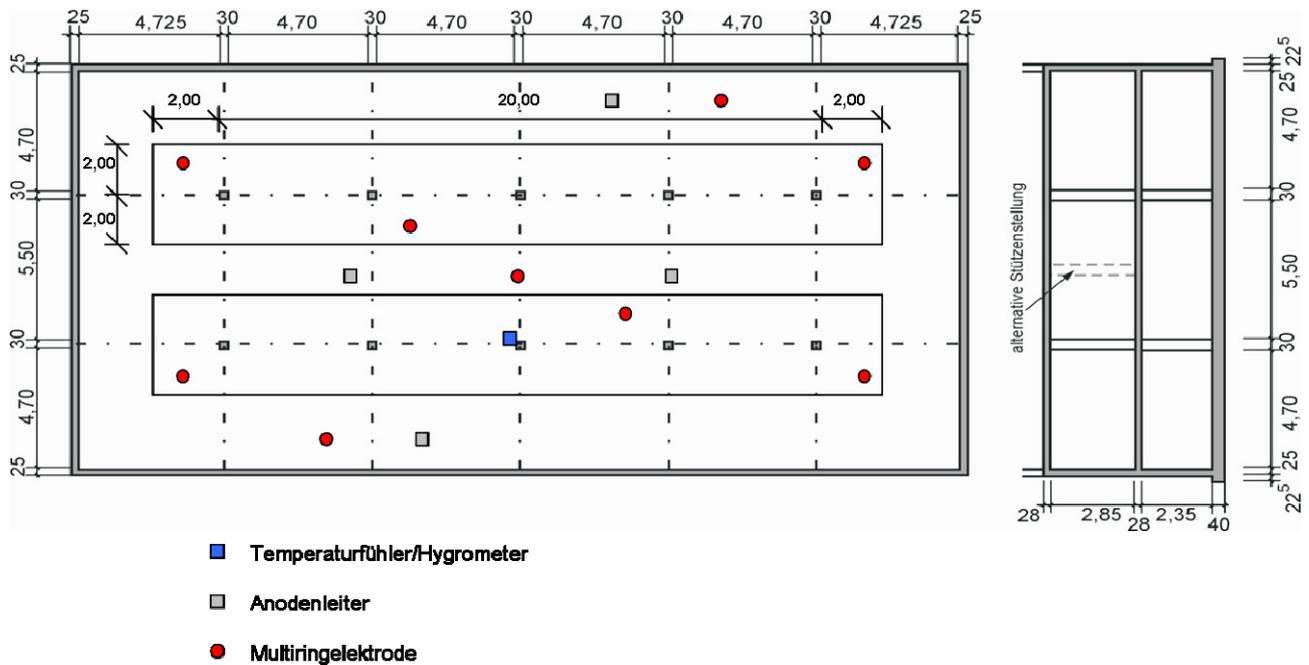


Bild 4.18: Verteilung der Monitoringsensoren und Darstellung der Beschichtungsbereiche (rechteckiger Bereich um die Stützen) am Beispiel des 1. UG des Stadtbausteins (Gesamtfläche: 468 m²)

Verteilung Multiringelektroden (MRE)

Sechs MRE werden innerhalb eines beschichteten Stützbereiches angeordnet, um die Funktionalität der Beschichtung zu überprüfen. Zusätzlich werden drei MRE als Referenz im Bereich ohne OS eingebaut, um signifikante Messwerte für die Bauteilfeuchte als Vergleich und gegebenenfalls zur Bewertung eines möglichen Korrosionsfortschritts zu erhalten. Somit erhält der vorliegende Referenzbereich neun MRE.

Verteilung Anodenleitern (AL)

Die Anordnung der AL erfolgt in den Bereichen, in denen mit erhöhtem Chloridgehalt zu rechnen ist. Das sind der Einfahrtbereich und Bereiche in denen das Oberflächenwasser abgeführt wird. Somit erhält der vorliegende Referenzbereich vier AL, von denen zwei im Parkbereich und zwei im Bereich des Entwässerungssystems (Annahme: Verdunstungsrinne in Fahrbahnmitte) angeordnet werden.

Verteilung Hygrometer und Temperaturfühler

Es erscheint als ausreichend, jeweils einen Fühler beider Sensoren innerhalb des betrachteten Referenzfeldes zu installieren. Die Anordnung ist nicht von großer Bedeutung, da eine gleichmäßige Verteilung der Temperatur und der Relativen Luftfeuchtigkeit innerhalb der Tiefgarage zu erwarten ist. Daher werden beide Sensoren nebeneinander an einer Stütze befestigt, welche möglichst mittig innerhalb des vorliegenden Referenzbereiches liegt.

4.6.4 Anwendung des Lebensdauer-Managements auf die Tiefgarage des Stadtbausteins

Für die ökologische und ökonomische Bilanzierung der Instandhaltung der Tiefgarage werden verschiedene Variantenberechnungen durchgeführt. Eine Nutzungsdauer der Tiefgarage von 100 Jahren wird vorausgesetzt.

- Variante 1: Vollbeschichtete Fläche mit folgenden Untervarianten
 - Variante 1.1: Ersatz der Beschichtung alle 10 Jahre
 - Variante 1.2: Ersatz der Beschichtung alle 20 Jahre
- Variante 2: Teilbeschichtung inklusive Monitoring
 - Variante 2.1: Ersatz der Beschichtung alle 10 Jahre
 - Variante 2.2: Ersatz der Beschichtung alle 20 Jahre

Innerhalb der Variante 2 wird eine Dauerhaftigkeitsberechnung für die unbeschichteten Flächen vorgenommen. Die Dauerhaftigkeitsberechnung beruht auf der Grundlage des vollprobabilistischen Modells für den Chlorideintrag nach dem Model Code für Service Life Design /57/. Als Grenzkriterium zur Ermittlung des

Zeitraumes t_{besch} zum ersten Beschichtungsauftrag des Betons gilt, dass in einer Tiefe von 2/3 der Betondeckung der kritische Chloridgehalt mit einer Annahmewahrscheinlichkeit von 50 % ($\beta = 0$) erreicht ist. Hinweise für leistungsbezogene Entwurfsverfahren zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit liefert das Positionspapier des DAfStb /58/. Nach Erreichen des Grenzzustandes werden Austauschzyklen der Beschichtung wie bei Variante 1 mit 10 bzw. 20 Jahren angenommen.

In der folgenden Gleichung ist das vollprobabilistische Modell zum Chlorideintrag dargestellt (s. a. /59/, zur Beschreibung der Größen siehe Tabelle 4.16):

$$p_f = p\{C_{\text{crit}} - C_{S,\Delta x} \cdot [1 - \text{erf} \frac{d_c - \Delta x}{\sqrt{k_e \cdot k_t \cdot D_{\text{RCM},0} \cdot t \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^a}] < 0\}$$

Für die Dauerhaftigkeitsberechnung werden auf der Widerstandsseite (Tabelle 4.14) Betone unter Verwendung von Portlandzement (Variante CEM I), Portlandzement in Kombination mit Steinkohlenflugasche (Variante CEM I + FA) sowie von Hochofenzement (Variante CEM III/A) betrachtet und auf der Einwirkungsseite (Tabelle 4.15) die Stärke des Chloridangriffes variiert.

Tabelle 4.14: Eingangsparameter auf der Widerstandsseite (ND bezeichnet eine Normalverteilung, BetaD eine Betaverteilung der jeweiligen Größe)

Variante	Chloridmigrationskoeffizient $D_{\text{RCM},0}$ [mm ² /a]	Altersexponent a [-]
CEM I	ND(315,4; 63,1)	BetaD(0,30; 0,12; $0 \leq a \leq 1$)
CEM I + FA	ND(217,6; 43,5)	BetaD(0,60; 0,15; $0 \leq a \leq 1$)
CEM III A	ND(121,7; 24,3)	BetaD(0,40; 0,16; $0 \leq a \leq 1$)

Tabelle 4.15: Eingangsparameter auf der Einwirkungsseite (LogN bezeichnet eine logarithmische Normalverteilung)

Variante	Ersatzoberflächenkonzentration in Tiefe Δx $C_{S,\Delta x}$ [M.-%/z]		
	niedrig	mittel	hoch
CEM I	LogN(1,0; 0,4)	LogN(1,8; 0,81)	LogN(2,57; 1,16)
CEM I + FA	LogN(1,0; 0,4)	LogN(1,8; 0,81)	LogN(2,83; 1,27)
CEM III A	LogN(1,0; 0,4)	LogN(1,8; 0,81)	LogN(2,64; 1,19)

Die weiteren Eingangsparameter des Modells zum Chlorideintrag sind in der folgenden Tabelle 4.16 aufgeführt. Die Übertragungsvariable k_e zur Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit des Chloridtransportes hängt von den Variablen b_e , T_{ref} und T_{ist} ab.

Tabelle 4.16: Eingangsparameter Chlorid-Modell

Variable	Beschreibung	Einheit	Verteilung	μ	σ
x	Tiefenlage der Ersatzoberfläche	[mm]	BetaD $0 \leq \Delta x \leq 50$	8,9	5,6
$T_{\text{IST}}(k_e)$	Temperatur	[K]	ND	12,7	7
d_c	Betondeckung	[mm]	BetaD $0 \leq d_c \leq 220$	55	10
t	Bauteilalter	[a]	D	-	-
C_{Crit}	kritischer Chloridgehalt	[M.-%/z]	BetaD $0,2 \leq C_{\text{Crit}} \leq 2,0$	0,6	0,15
$b_e(k_e)$	Übertragungsparameter der Temperatur	[-]	ND	4800	700
$T_{\text{ref}}(k_e)$	Referenztemperatur	[K]	D	293	-
k_t	Übertragungsparameter der Testmethode	[-]	D	1	-
$t_0(A)$	Referenzalter	[a]	D	0,0767	-

In Bild 4.19 sind die Ergebnisse der Dauerhaftigkeitsberechnung getrennt nach niedriger, mittlerer und hoher Chlorideinwirkung dargestellt.

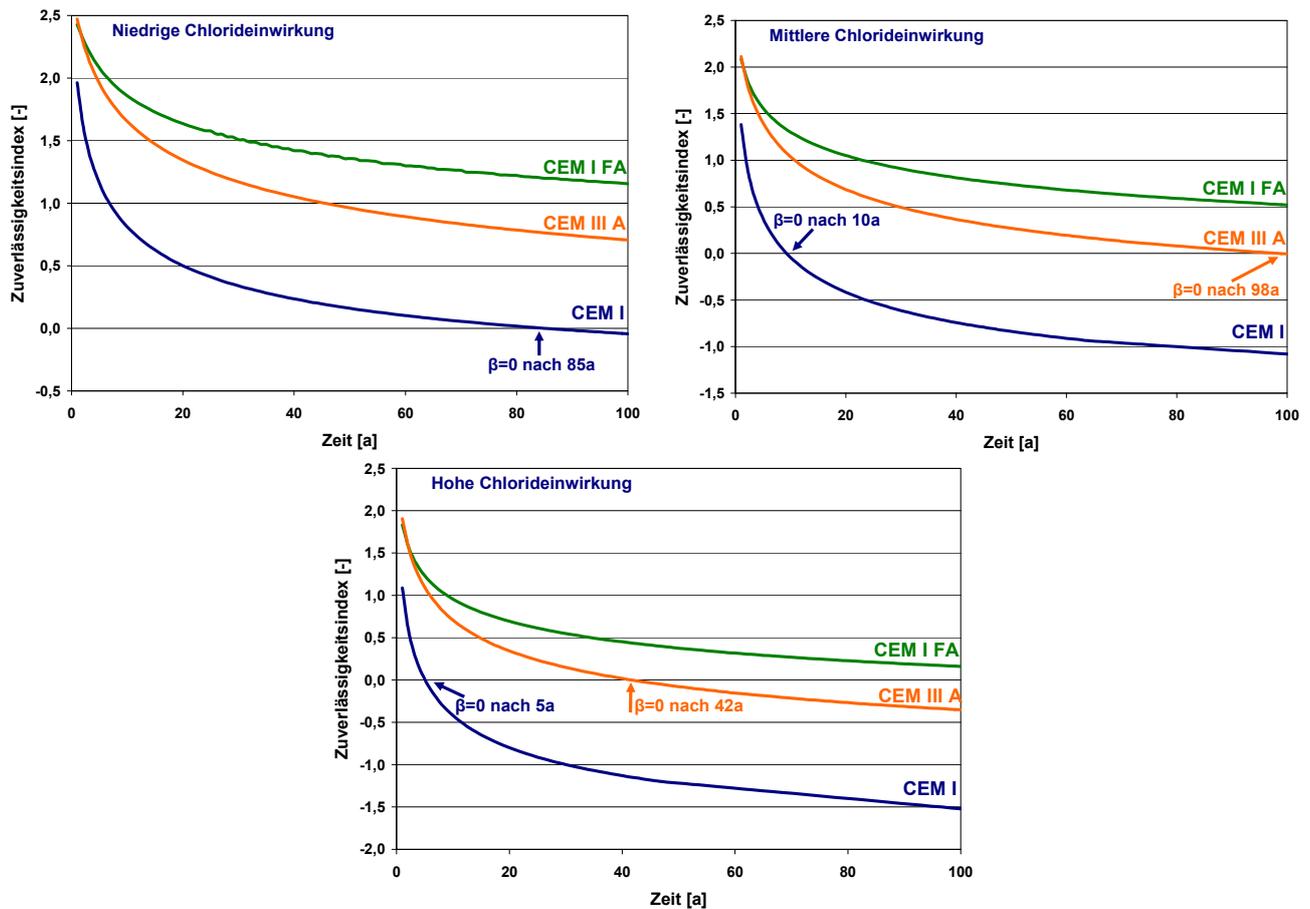


Bild 4.19: Ergebnisse der Varianten der Dauerhaftigkeitsberechnung für niedrige, mittlere und hohe Chlorideinwirkung (C_{Crit} erreicht in Tiefenlage $2/3 \cdot d_c$)

Die Ergebnisse der Variantenberechnung lassen erwarten, dass bei einer niedrigen Chlorideinwirkung ein Beton mit Portlandzement (Variante CEM I) nach 85 Jahren das erste Mal beschichtet werden muss, während die Betone der Varianten CEM I + FA sowie CEM III/A unbeschichtet bleiben können. Bei einer mittleren Chlorideinwirkung muss ein Beton der Variante CEM I bereits nach 10 Jahren beschichtet werden und ein Beton der Variante CEM III/A nach 98 Jahren. Liegt eine hohe Chlorideinwirkung vor, muss ein Beton der Variante CEM I nach 5 Jahren und ein Beton der Variante CEM III/A nach 42 Jahren beschichtet werden, während der Beton der Variante CEM I + FA keine Beschichtung benötigt. Der Beton der Variante CEM I + FA weist somit den höchsten Widerstand gegen Chlorideintrag auf. Die Lebensdauerbemessung kann durch den Einsatz des Monitoring aktualisiert werden, um ggf. festzustellen, ob eine Beschichtung entbehrlich ist oder nicht.

Aus der Berechnung der Dauerhaftigkeit ergibt sich das Ausmaß der zu beschichtenden Fläche in Abhängigkeit von Einwirkung und Widerstand (Tabelle 4.17).

Tabelle 4.17: Zusammenstellung der aufgetragenen Beschichtung in Abhängigkeit von Einwirkung und Widerstand für ein Geschoss (1. UG, Grundfläche = 468 m²) über den Lebenszyklus von 100 Jahren

Chlorid-Einwirkung	Lebensdauer Beschichtung [a]	Variante 1 (vollflächige Beschichtung)	Variante 2 (Teilbeschichtung + Monitoring)		
			CEM I	CEM I + FA	CEM III A
niedrig	10	4.680 m ²	2.472 m ²	1.920 m ²	1.920 m ²
	20	2.340 m ²	2.236 m ²	960 m ²	960 m ²
mittel	10	4.680 m ²	4.404 m ²	1.920 m ²	2.196 m ²
	20	2.340 m ²	2.340 m ²	960 m ²	1.236 m ²
hoch	10	4.680 m ²	4.680 m ²	1.920 m ²	3.576 m ²
	20	2.340 m ²	2.340 m ²	960 m ²	1.788 m ²

Die zu beschichtende Fläche ist eine wichtige Eingangsgröße zur Berechnung der Ökobilanz (LCA) und der Kostenbilanz (LCC).

4.6.5 Auswirkung auf die Ökobilanz

Um zu untersuchen, wie sich die oben dargestellten Varianten auf die Ökobilanz der Tiefgarage auswirken, wurde für Variante 1 und Variante 2 (CEM I + FA) jeweils eine Ökobilanz über den Betrachtungszeitraum von 100 Jahren berechnet. In Variante 1 wurde für den Beton das generische Baustoffprofil verwendet, das einen Branchendurchschnitt der in Deutschland verwendeten Transportbetone darstellt und bei dem ein Zement mit einem mittleren Klinkergehalt in Kombination mit Flugasche eingesetzt wurde. In Variante 2 wurde für die Decke über dem zweiten Untergeschoss das Baustoffprofil eines Betons verwendet, dessen Rezeptur Portlandzement und Flugasche enthält. Die Baustoffprofile für das Oberflächenschutzsystem und die restlichen Ausbaukomponenten entsprechen der Beschreibung in Abschnitt 3.2.3. Für die Komponenten des Monitoringsystems (Multiringelektroden, Anodenleiter, Hygrometer) liegen keine Baustoffprofile vor, sie können jedoch in guter Näherung im Vergleich zur Ökobilanz der gesamten Tiefgarage vernachlässigt werden.

In der Herstellung unterscheidet sich die Ökobilanz innerhalb der untersuchten Varianten kaum. Zwar ist das Baustoffprofil des Betons mit Portlandzement in Kombination mit Flugasche ungünstiger als der Branchendurchschnitt, dafür kann auf einen Teil der Beschichtung der Decke über dem zweiten Obergeschoss verzichtet werden. So bleibt das Treibhauspotenzial für die Herstellung beider Varianten in der Summe etwa gleich (Bild 4.20).

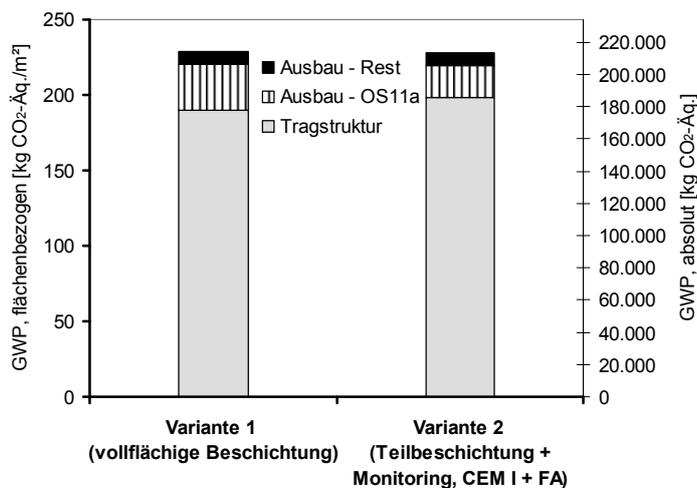


Bild 4.20: Treibhauspotenzial für die Herstellphase der Tiefgarage mit und ohne Monitoringsystem

Über den angenommenen Lebenszyklus von 100 Jahren zeigt sich in der Ökobilanz ein Vorteil für die Teilbeschichtungsstrategie. Die Größe der Einsparungen ist davon abhängig, in welchen Abständen das Ober-

flächenschutzsystem planmäßig erneuert werden muss. In Bild 4.21 sind die Einsparungen beim Treibhauspotenzial für eine Nutzbarkeitsdauer der Beschichtung von 10 Jahren bzw. von 20 Jahren dargestellt. Es ergibt sich ein Vorteil von 16 % bzw. 10 %. Auch in den anderen Wirkungskategorien ist dieser Vorteil sichtbar (Tabelle 4.18).

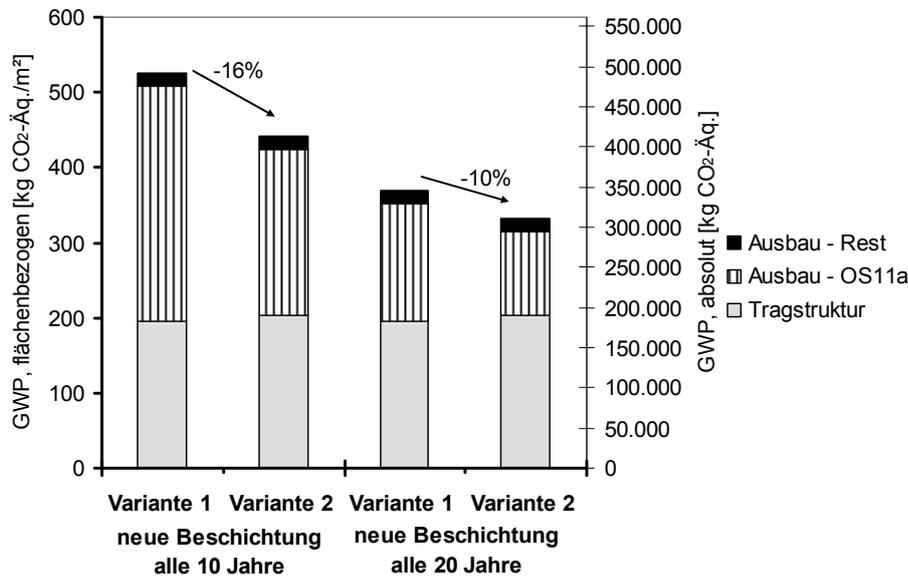


Bild 4.21: Treibhauspotenzial für den gesamten Lebenszyklus (100 Jahre) der Tiefgarage ohne und mit Monitoringsystem für verschiedene Nutzbarkeitsdauern der Beschichtung

Tabelle 4.18: Ökopprofil der Tiefgarage über den gesamten Lebenszyklus (100 Jahre)

Wirkungskategorie	Nutzbarkeitsdauer Beschichtung 10 Jahre		Nutzbarkeitsdauer Beschichtung 20 Jahre	
	Variante 1 (vollflächige Beschichtung)	Variante 2 (Teilbeschichtung + Monitoring, CEM I + FA)	Variante 1 (vollflächige Beschichtung)	Variante 2 (Teilbeschichtung + Monitoring, CEM I + FA)
1	2	3	4	5
PE n. e. [MJ]	6.600.473	5.189.802	4.174.273	3.479.019
PE e. [MJ]	135.192	116.401	103.125	93.790
PE ges. [MJ]	6.728.685	5.299.222	4.270.419	3.565.830
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	492.443	414.051	346.471	311.122
AP [kg SO ₂ -Äq.]	1.283	1.045	862	749
ODP [kg R11-Äq.]	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾
EP [kg Phosphat-Äq.]	203	162	131	111
POCP [kg Ethen-Äq.]	129	106	88	78

¹⁾ keine Angaben für die Hauptkomponenten des Oberflächenschutzsystems verfügbar, s. a. Tabelle 3.10

4.7 Variation der Transportwege

In den oben dargestellten Betrachtungen zur Ökobilanz ist der Transport der Baustoffe zur Baustelle jeweils nicht enthalten. In der verwendeten Datenbank Ökobau.dat /31/ wird darauf hingewiesen, dass die Datensätze sich auf eine Bereitstellung am Werk beziehen und Transporte jeweils noch zuzuschlagen sind. Produkte im Bauwesen gelangen über sehr unterschiedliche Vertriebswege zur Baustelle, von der Direktanlieferung ab Hersteller bis zur mehrgliedrigen Transportkette über Groß- und Zwischenhändler. Es kommen als Transportmittel für Bauprodukte sowohl Straße und Schiene als auch der Wasserweg infrage, wobei zumindest der letzte Teil der Transportkette in der Regel per LKW erfolgt. Die Datenbank Ökobau.dat liefert hierzu neun Transportmittel (Tabelle 4.19), die in der Regel ausreichend sein dürften. Weit mehr und differenzierte-

re Daten sind in Datenbanken wie GaBi 4 /32/, Ecoinvent /45/ und Gemis /38/ enthalten. Eine Datenbank zu durchschnittlichen Transportentfernungen verschiedener Baustoffe liegt jedoch nicht vor, die Betrachtung muss also in Kenntnis des Bauortes und der Bezugsquellen der Baustoffe detailliert erfolgen.

Tabelle 4.19: Verfügbare Ökoprofile für Transportmittel aus „Ökobau.dat“ (2009) /31/, /46/

9.3.1 LKW
9.3.1 Klein-LKW
9.3.2 Bahntransport
9.3.3 Binnenschiff
9.3.4 Massengutfrachter Ozean
9.3.4 Containerschiff Ozean
9.4.1 PKW Benzin Euro3
9.4.1 PKW Benzin Euro4
9.4.1 PKW Diesel Euro3

Für Transportbeton beträgt nach Angaben des BTB (Bundesverband Transportbeton) die mittlere Transportentfernung in Deutschland 20 km. Die relativ geringe Transportentfernung liegt in der zeitlich begrenzten Verarbeitbarkeit des Frischbetons und damit einhergehend in der großen Dichte der Transportbetonwerke begründet. Die Fahrmischerflotte verbraucht im Durchschnitt 48 Liter Kraftstoff pro 100 km. Für Fahrmischer liegt in der Ökobau.dat kein spezieller Datensatz vor. Im Rahmen des Projekts wurde daher das in Tabelle 4.20 angegebene Ökoprofil für den Transport eines Kubikmeters Beton mit dem Fahrmischer mit Hilfe der Datenbank Gabi 4 ermittelt. Es wurde angenommen, dass das Fahrzeug der Abgasnorm Euro 4 entspricht, jeweils zur Hälfte auf Landstraßen und innerorts fährt und im Schnitt 10 m³ Beton ausliefert.

Tabelle 4.20: Ökoprofil für den Transport von 1m³ Frischbeton nach Gabi 4

Wirkungskategorie	Transport von 1m ³ Frischbeton im Fahrmischer
1	2
PE n. e. [MJ]	70,4
PE e. [MJ]	0,1
PE ges.[MJ]	70,5
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	5,0
AP [kg SO ₂ -Äq.]	0,023
ODP [kg R11-Äq.]	8,3*10 ⁻⁹
EP [kg Phosphat-Äq.]	0,0039
POCP [kg Ethen-Äq.]	0,0022

Eine Aussage zur durchschnittlichen Transportentfernung von Betonfertigteilen kann an dieser Stelle nicht angegeben werden, da keine Angaben des Verbandes vorliegen. Die Entfernungen schwanken sehr stark und können mehrere Hundert Kilometer betragen. Als vorrangiges Transportmittel kann der LKW gelten, wobei jedoch bei höheren Entfernungen auch Güterzüge und Binnenschiffe für den Großteil der Strecke infrage kommen. In der Regel liegt Fuhrparkbetrieb vor (Rückfahrt ohne Transportgut). Eine Alternative wäre der Speditionsbetrieb, d. h. Leerfahrten werden minimiert, indem die Rücktour für anderes Transportgut genutzt wird.

Im Folgenden soll im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse am Beispiel der Geschossdecke der Flexiblen Struktur untersucht werden, wie groß der Einfluss der Transporte auf die Ökobilanz ist. Die Spannbetonstegplatte wird in den Geschossdecken der Obergeschosse als Fertigteil eingesetzt. Als Transportentfernung der Fertigteile wurden für die Sensitivitätsanalyse 100 km, 300 km und 500 km jeweils per LKW angenommen. Für Transportbeton wurden 20 km mit dem Fahrmischer angesetzt, für alle anderen Baustoffe pauschal 100 km per LKW, um die Relation zum Gesamtgebäude abschätzen zu können. Verwendet wurde die Datenbasis Ökobau.dat /31/. Die Herstellung eines Quadratmeters des Fertigteils verursacht ein Treibhauspotenzial von rund 83 kg CO₂-Äquivalent. Die Transporte belaufen sich je nach Variation auf 3,2 bzw. 9,6 bzw. 16 kg CO₂-Äquivalent und haben damit einen Anteil an der Herstellung inkl. Transport von 4 bzw. 10 bzw. 16 % (Bild 4.22).

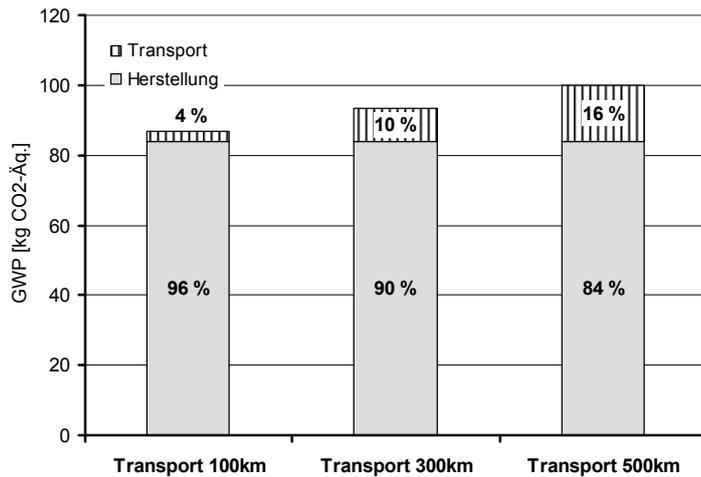


Bild 4.22: Treibhauspotenzial der Spannbetonstegplatte (1 m²) für die Herstellphase

Bezogen auf das Gesamtgebäude machen die Transporte insgesamt nur einen geringen Anteil an der Ökobilanz des Gesamtlebenszyklus aus. Setzt man für Betonfertigteile 300 km, für Transportbeton 20 km, für alle anderen Baustoffe 100 km Transportweg an, so liegt der Anteil für jede Wirkungskategorie unter 5 % (Tabelle 4.21). Bezogen auf die Herstellung des Gesamtgebäudes wird erkennbar, dass die Transporte zwar insgesamt einen vergleichsweise kleinen Anteil an der Ökobilanz haben, hierunter der Beton bei einem Gebäude in Massivbauweise jedoch einen hohen Anteil hat (Bild 4.23). Werden größere Mengen Fertigteile verwendet, so sollte deren Transport besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da hier Optimierungspotenziale aufgedeckt werden können.

Tabelle 4.21: Ökoprofil des flexiblen Stadtbausteins sowie der Transporte (Variation 300 km) im gesamten Lebenszyklus (ohne Betrieb)

Wirkungskategorie	Stadtbaustein exkl. Transporte	Transporte	Summe	Anteil Transport
PE n. e. [MJ]	26.798.688	841.785	27.640.473	3 %
PE e. [MJ]	1.797.852	1.080	1.798.932	0,06 %
PE ges.[MJ]	27.553.312	842.865	28.396.177	3 %
GWP [kg CO ₂ -Äq.]	1.906.028	59.306	1.965.334	3 %
AP [kg SO ₂ -Äq.]	8.829	353	9.181	4 %
ODP [kg R11-Äq.]	0,0750	0,0001	0,0751	0,1 %
EP [kg Phosphat-Äq.]	914	61	975	6 %
POCP [kg Ethen-Äq.]	619	30	650	5 %

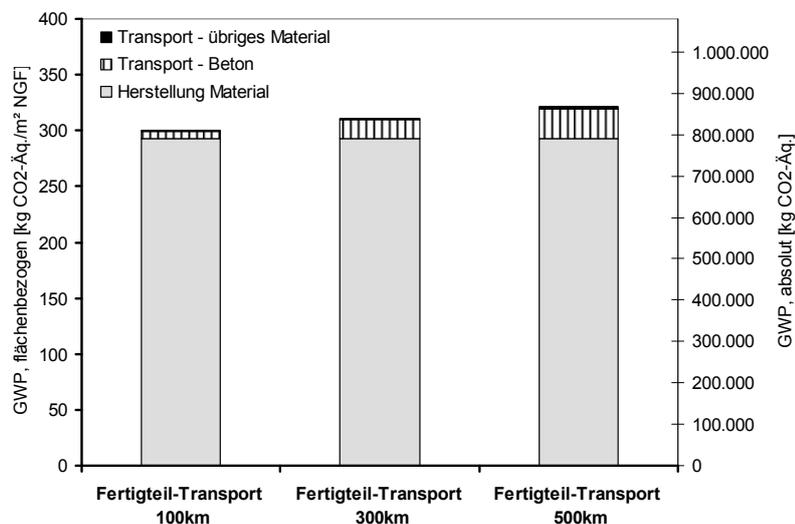


Bild 4.23: Treibhauspotenzial des flexiblen Stadtbausteins in der Herstellphase inkl. Transporte

5 LEBENSZYKLUSKOSTENRECHNUNG AM STADTBAUSTEIN – VARIANTENVERGLEICH ZWISCHEN STANDARDSTRUKTUR UND FLEXIBLEM KONZEPT

5.1 Allgemeines

Gebäude verursachen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg Kosten. Dies erfordert nicht nur eine Betrachtung der Errichtung eines Gebäudes, sondern auch des Betriebes und der Instandhaltung bis hin zum Abriss des Gebäudes. Im Sinne eines wirtschaftlichen, nachhaltigen Umgangs mit vorhandenen finanziellen Ressourcen zählen für das Planen, Bauen und Betreiben einer Immobilie die Minimierung der Lebenszykluskosten sowie die relative Kostenreduktion von Umbau- und Erhaltungsinvestitionen im Vergleich zur Neuerstellung eines Gebäudes zu den ökonomischen Nachhaltigkeitszielen.

Bisher fokussiert der herkömmliche Planungs- und Bauablauf hauptsächlich auf eine Minimierung der Herstellungskosten eines Gebäudes. Die Folgekosten werden häufig nur untergeordnet oder auch gar nicht betrachtet. Bei der Entscheidungsfindung am Bau spielt daher die Höhe der Herstellungskosten eine Rolle, während die oft weitreichenden Auswirkungen auf die Folgekosten der Immobilie über den Lebenszyklus unbekannt sind und unberücksichtigt bleiben. Im Sinne einer zukunftsfähigen Bauweise sollen heutige Einsparungen jedoch nicht auf Kosten zukünftiger Nutzer bzw. Besitzer vorgenommen werden. Da die Folgekosten hierzu eine noch stärkere Beachtung finden müssen, wird in der Lebenszykluskostenrechnung auch die Höhe der zu erwartenden Folgekosten beurteilt. Hierbei werden nur die gebäudespezifischen Kosten berücksichtigt. Die Nutzerausstattung des Gebäudes, die nutzungsbezogene Müllentsorgung sowie die Gestaltung der Außenanlagen findet keine Berücksichtigung, ebenso wenig Kosten aus Steuern, Versicherung, Verwaltung und Finanzierung. Wie der Begriff Kostenrechnung verdeutlicht, werden hierbei nur die anfallenden Kosten aus der Erstellung, dem Betrieb und dem Rückbau betrachtet. Einnahmen aus dem Gebäudebetrieb werden in der Lebenszykluskostenrechnung nicht betrachtet. Dafür bietet sich die Berechnung des Lebenszykluserfolges an, bei dem die Lebenszykluskosten den Lebenszykluseinnahmen gegenübergestellt werden. Für das vorliegende Beispiel Stadtbaustein wurde der Lebenszykluserfolg nicht ermittelt.

Neben dem Begriff Lebenszykluskostenrechnung werden in der Literatur auch die Begriffe „Life Cycle Costing“ (LCC), „Life Cycle Costing Analysis“ (LCCA), „Lebenszykluskostenanalyse“ sowie „Whole Life Costing“ (WLC) verwendet. Es muss jedoch erwähnt werden, dass entsprechend ISO 15686-5 „Hochbau und Bauwerke – Planung der Lebensdauer – Teil 5: Kostenberechnung für die Gesamtlebensdauer“ /61/ die Lebenszykluskostenrechnung als ein Teilbereich des „Whole Life Costing“ definiert wird. Alle Begriffe bezeichnen die Erfassung der über die Lebensdauer eines Systems anfallenden Kosten zur Überprüfung und Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.

5.2 Randbedingungen

5.2.1 Überblick über die Kostenarten

Die Lebenszykluskostenrechnung eines Gebäudes umfasst alle Kosten, die über die Lebensdauer eines Gebäudes entstehen. Dazu werden die Lebenszykluskosten in drei Kostenarten untergliedert:

- Ersterstellungskosten
- Folgekosten
- Rückbau- und Entsorgungskosten

Bild 5.1 stellt die unterschiedlichen Kostenarten mit ihren Untergliederungen im Lebenszyklus eines Gebäudes dar. Zu erkennen sind bei den Folgekosten sowohl regelmäßig auftretende Kosten als auch unregelmäßig auftretende Kosten über den Zeitverlauf.

Die Erstellungskosten umfassen dabei die Kosten, welche im Zeitraum von der Projektentwicklung über die Erstellung bis zur Übergabe des Gebäudes an den Nutzer bzw. Bauherren entstehen. Die Folgekosten umfassen alle bezüglich der baulichen Konstruktion und der technischen Anlagen ohne Außenanlagen und Grundstück entstehenden, regelmäßig oder unregelmäßig wiederkehrenden Kosten ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme.

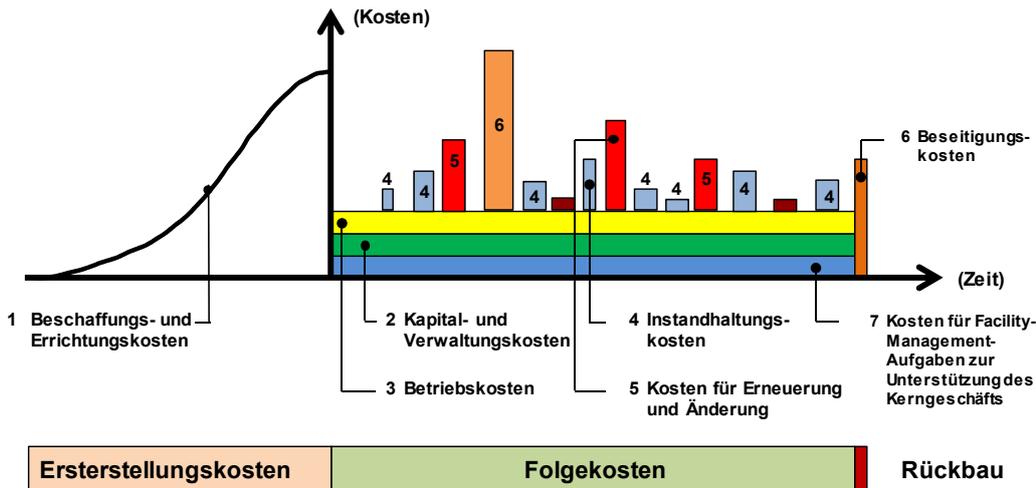


Bild 5.1: Darstellung der Kostenarten im Zeitverlauf /19/

Die Folgekosten in der Nutzungsphase teilen sich in Anlehnung an DIN 18960 – Nutzungskosten im Hochbau /63/ in die weiteren Unterkostengruppen wie folgt auf:

- Betriebskosten
 - Ver- und Entsorgung
(Bewertung nur für den Heizungs-, Wasser- und Stromverbrauch)
 - Reinigung und Pflege des Gebäudes
(Bewertung nur für Unterhaltsreinigung der Boden- und Glasflächen)
 - Bedienung, Inspektion und Wartung
(Bewertung nur für die Inspektion und Wartung der Baukonstruktion, sowie der Inspektion und Wartung der Technischen Anlagen)
- Instandhaltungskosten
 - Instandhaltung der Baukonstruktion
 - Instandhaltung der technischen Anlagen

Alle weiteren während des Lebenszyklus anfallenden Kosten beispielsweise für Aufwendungen und Leistungen hauptsächlich während der Nutzungsphase, wie:

- Reparatur und Sanierung,
- Kapitalkosten,
- kaufmännische und infrastrukturelle Gebäudemanagementkosten (außer Reinigungskosten),
- Verwaltung, Steuern, Versicherungen und
- Opportunitäts- und Risikokosten

hängen primär nicht von Gebäudeeigenschaften ab und werden daher für die Gebäudebewertung nicht einbezogen. Ebenso werden die für Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen erforderlichen finanziellen Rückstellungen nicht in der Bewertung der Folgekosten berücksichtigt.

In den Rückbau- und Entsorgungskosten werden alle Aufwendungen für den Abriss und die Entsorgung bzw. das Recycling des Gebäudes abgebildet. Dazu zählen auch die Kosten für eine gegebenenfalls vorzunehmende Renaturierung des Baugrundstückes nach dem Rückbau des Gebäudes.

5.2.2 Parameter der Lebenszykluskostenrechnung

Zur Ermittlung der Lebenszykluskosten sind verschiedene Eingangsgrößen notwendig. Diese werden aus der Berechnung der Herstellungskosten und der Folgekosten mit anschließender Diskontierung anhand der Barwertmethode gewonnen. Der Barwert entspricht einer gleichwertigen, am Anfang der Betrachtungszeit einmalig getätigten Zahlung unter Berücksichtigung von Zins und Zinseszins sowie der Preissteigerung anstatt der jährlichen zu bezahlenden Folgekosten.

Die Eingangswerte für die Ermittlung der Herstellkosten sowie der Folge- und Betriebskosten ergeben sich dabei aus den folgenden Parametern:

- Herstellungskosten differenziert nach Kostengruppen Kgr. 100 – 700 der DIN 276 – Kosten im Bauwesen /65/
- Endenergiebedarf des realisierten Gebäudes nach der Energieeinsparverordnung „EnEV“ 2007 /6/
- Wasserverbrauchswert für die Trinkwassernutzung
- Reinigungsflächen von Böden und Fenstern differenziert nach Bodenbelägen und Reinigungsintervallen
- Tarife für Wärme, Strom, Wasser und Stundenverrechnungssätze für die Reinigung
- Mittlere Nutzbarkeitsdauer der Bauteile

Vergleichbar zur Ökobilanzierung muss zusätzlich ein Betrachtungszeitraum für die Lebenszyklusrechnung definiert werden.

5.2.3 Kostenansätze

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Lebenszykluskostenrechnung unterschiedlicher Planungsvarianten sicherzustellen, müssen einige der in Abschnitt 5.2.2 beschriebenen Parameter einheitlich festgelegt werden. Dazu zählen alle nicht durch das Bauwerk bzw. dessen Planungsentwurf direkt definierten Eingangswerte. Dies sind:

- der Betrachtungszeitraum,
- der Zinssatz sowie die Preissteigerung,
- die Tarife für Wärme, Strom, Wasser und Stundenverrechnungssätze für die Reinigung,
- die mittlere Nutzbarkeitsdauer der Bauteile.

Der Betrachtungszeitraum wird individuell für das betrachtete Gebäude festgelegt. Er sollte den realistisch einschätzbaren Nutzungszeitraum des Gebäudes abbilden. Für die Bewertung des Stadtbausteins wurden 100 Jahre festgelegt.

Für den anzusetzenden Zinssatz und die zu erwartende Preissteigerung gibt das Statistische Bundesamt /66/ Hinweise, welche Zuschlagssätze zu beachten sind. Für die Bilanzierung des Stadtbausteins wurden folgende Annahmen herangezogen:

- | | |
|--|-------|
| • Jährliche Preissteigerung Betriebsführung: | 2,0 % |
| • Jährliche Preissteigerung Inspektion: | 2,0 % |
| • Jährliche Preissteigerung Wartung: | 2,0 % |
| • Jährliche Preissteigerung Instandsetzung: | 2,0 % |
| • Jährliche Preissteigerung Heizenergie: | 4,0 % |
| • Jährliche Preissteigerung Elektroenergie: | 4,0 % |
| • Jährliche Preissteigerung Wasser/Abwasser: | 3,0 % |
| • Jährliche Preissteigerung Reinigung: | 2,0 % |
| • Diskontierungssatz: | 5,5 % |

Die Tarife für Wärme, Strom, Wasser sowie der Stundenverrechnungssätze für die Reinigung sollten den lokalen Marktpreisen angepasst und entsprechend in der Lebenszyklusrechnung berücksichtigt werden.

Die anzusetzende Lebensdauer für die verwendeten Bauteile der Kostengruppe 300 nach DIN 276 können dem Leitfadens Nachhaltiges Bauen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) /31/, /46/ entnommen werden. Für die Kostengruppe 400 gibt die VDI 2067 – „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“ /67/ einen Anhaltspunkt für die angenommene Nutzungsdauer der Technischen Gebäudeausrüstung.

Die Baukosten wurden anhand des BKI Baukostenbuches für statistische Kostenkennwerte bzw. für die neuartige Fertigteilsteplatte anhand von Preisabfragen bei verschiedenen Herstellern von Betonfertigteilen ermittelt. Damit bilden die angesetzten Baukosten für den Stadtbaustein ein mittleres Preisniveau bei mittlerem Standard für eine Baumaßnahme in Deutschland. Abhängig von der regionalen Marktsituation und dem gewünschten Ausstattungsstandard kann es zu teilweise deutlichen Abweichungen in den Ergebnissen kommen. Ein Beispiel hierfür ist die Schwankungsbreite der Kosten für das Verlegen eines Quadratmeters Natursteinplatte, die sich abhängig von der gewünschten Qualität zwischen 150 € und 260 € laut BKI-Baukostenbuch bewegen /68/.

5.3 Ergebnis der Lebenszykluskostenrechnung

5.3.1 Erstellung

Für die Lebenszyklusrechnung des Stadtbausteins wird eine Basisvariante definiert, welche anschließend verschiedenen alternativen Varianten gegenübergestellt wird. Die Basisvariante entspricht dabei der in der Ökobilanzierung definierten Basisvariante für den Vergleich der Ausbaukomponenten (vgl. Kap. 4.3). Dabei sind insbesondere die Einschränkungen bei der Abbildung der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) zu beachten.

Bild 5.2 stellt die Kostenverteilung für die Erstellung des Gebäudes, unterteilt nach den Kostengruppen 300 und 400 der DIN 276, dar. Daraus ist ersichtlich, dass die Kostengruppen, in denen die größten Massen verbaut sind, auch den größten Kostenanteil verursachen. Dies sind die Außenwände und Decken sowie die Innenwände im Gebäude. Die Technische Gebäudeausrüstung hat in der vorliegenden Betrachtung einen Anteil von rund 38 % an den betrachteten Erstellungskosten des Gebäudes. Damit entspricht das Ergebnis der in der Literatur häufig genannten Kostenverteilung von 30 % bis 40 % der TGA-Kosten an den Gesamtbaukosten. In der Kostengruppe 400 werden die Wärmeverteilnetze (KG 422) gesondert ausgewiesen. Die gesonderte Darstellung ist der Systemfestlegung bei der ökologischen Bewertung geschuldet. Dort werden die Wärmeverteilnetze in der Ökobilanz mitbetrachtet, während die weiteren TGA-Anlagen außerhalb der Systemgrenze liegen. Bei der Lebenszyklusrechnung ist der Ansatz gewählt worden, auch die Kostengruppe 400 vollständig darzustellen, um auch die Kostenverteilung zwischen den Betonbauteilen und den weiteren Bauteilen realistisch abbilden zu können. Daher sind in dem Kostenblock „400 Technische Gebäudeausrüstung“ die Herstellkosten für die Wasser- und Abwasseranlage, die Wärmeerzeugungsanlage, die Lüftungsanlage, die Elektro- und Telekommunikationsanlagen sowie die Beleuchtungs- und Aufzugsanlagen enthalten.

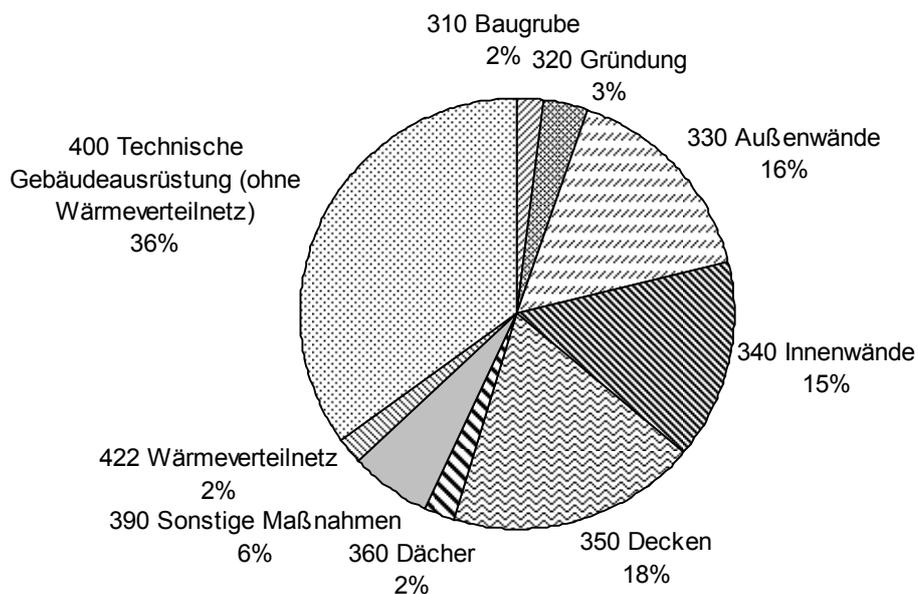


Bild 5.2: Kostenverteilung der Herstellung für den Stadtbaustein in der Basisvariante

Bild 5.3 zeigt die Kostenverteilung der einzelnen Baumaterialien in der Kostengruppe 300. Betonbauteile verursachen rund 30 % der Herstellkosten in dieser Kostengruppe. Damit haben die Betonbauteile einen etwa gleich großen Anteil wie die Ausbaumaterialien im Gebäude. Als Ausbaumaterialien werden hierbei die Bodenbeläge, das heißt Textil- und Fliesenbeläge und die Wand- und Deckenbeläge innen wie außen verstanden. Wand- und Deckenbeläge sind dabei im Innenbereich überwiegend Anstriche und im Außenbereich die Natursteinfassade bzw. die Abdichtungen in den Untergeschossen. Wie bereits in Abschnitt 5.2.3 dargestellt, kann sich die prozentuale Verteilung abhängig vom geforderten Ausstattungsstandard hier noch deutlich verschieben. Die Kosten der Betonbauteile werden annähernd konstant bleiben, während die Kosten für die Ausbaumaterialien bei gehobener Ausstattung deutlich steigen würden. Der Anteil der Betonbauteile am Gesamtgebäude würde damit im Vergleich zum hier dargestellten mittleren Ausstattungsstandard sinken.

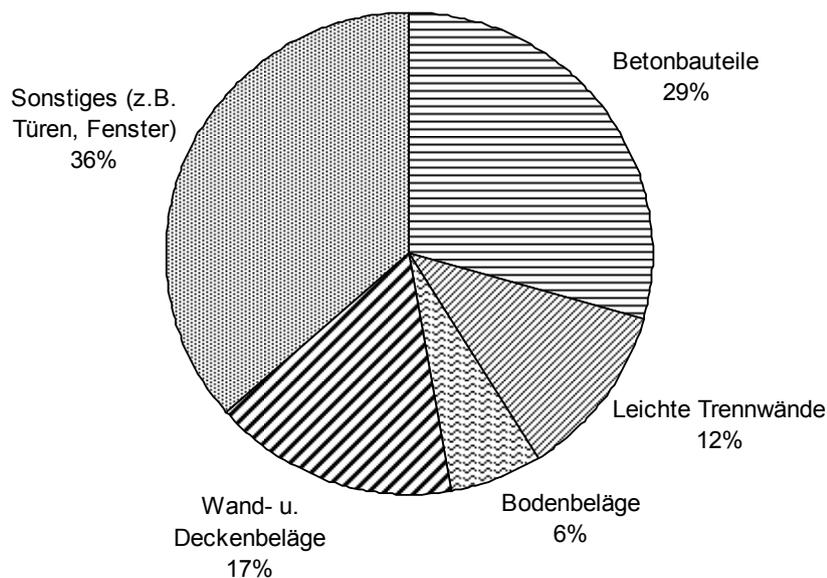


Bild 5.3: Kostenverteilung der Baumaterialien in der KG 300

Eine weitere Größe, die den Anteil der Betonbauteile beeinflusst, ist die energetische Auslegung des Gebäudes. In Bild 5.4 ist ein Vergleich der bereits im Abschnitt 4.4 „Variation des energetischen Anforderungsniveaus“ beschriebenen Gebäudetypen „EnEV“ Haus und „HWB 15“ Haus dargestellt. Die Kostenrechnung zeigt, dass die Erstellungskosten um rund 8 % in der Kostengruppe 300 ansteigen, wenn ein 15 kW Standard erreicht werden soll. Kostentreiber hierbei sind insbesondere die größeren Dämmstoffdicken und der Einsatz von höherwertigen Fenstern. Die Betrachtung über den Lebenszyklus im nachfolgenden Abschnitt zeigt auf, wann sich der Mehreinsatz durch die Einsparung an Energiekosten amortisiert.

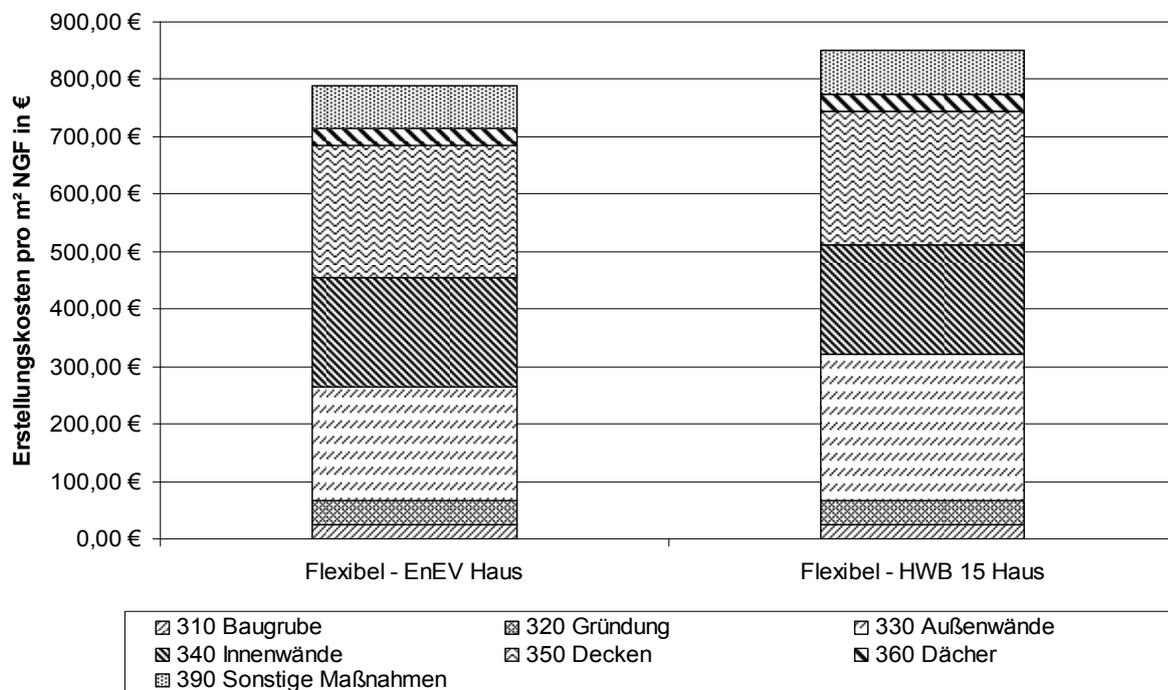


Bild 5.4: Gegenüberstellung der Erstellungskosten KG 300 in den Varianten „EnEV“ Haus und „HWB 15“ Haus

In Bild 5.5 ist ein Vergleich zwischen den Varianten Standard und Flexible Struktur dargestellt. Die Darstellung zeigt den Mehraufwand, der für die Erstellung einer flexiblen Bauweise im Vergleich zur Standardausführung benötigt wird. Die Berechnung verdeutlicht, dass rund 6 % an Mehrkosten für die Erstellung der flexiblen Bürobaueise benötigt werden. Die Gegenüberstellung zum Wohngebäude veranschaulicht, dass die flexible Bauweise hier nahezu identische Kosten verursacht. Die Berechnung hat eine Abweichung von nur einem Prozentpunkt ermittelt. Die Mehraufwendungen stammen überwiegend aus den Kosten für die Fertigteilstegplatten in den Decken der flexiblen Bauweise. Hierbei ist zu beachten, dass im BKI Baukostenbuch noch keine Daten für die im Rahmen des Projektes entwickelte Fertigteilstegplatte enthalten sind. Daher wurde ein Preis für das Bauteil anhand einer Kostenschätzung ermittelt.

Der Mehrwert der Flexiblen Struktur ergibt sich aus der Bewertung der Nutzungsphase. Während in der Variante Standard erst ein Bürogebäude errichtet werden muss und bei der gewünschten Umgestaltung nach 40 Jahren ein neues Wohngebäude erbaut wird, ermöglicht die Variante Flexible Struktur einen wesentlich geringeren Investitionsaufwand. Grafisch kann dies anhand von Bild 5.5 verdeutlicht werden, wenn die Säulen der Variante Standard Büro und Standard Wohnen übereinander gelegt und der Variante Flexible Struktur gegenübergestellt werden. Dabei wird allerdings der Einfluss der unterschiedlichen Investitionszeitpunkte vernachlässigt.

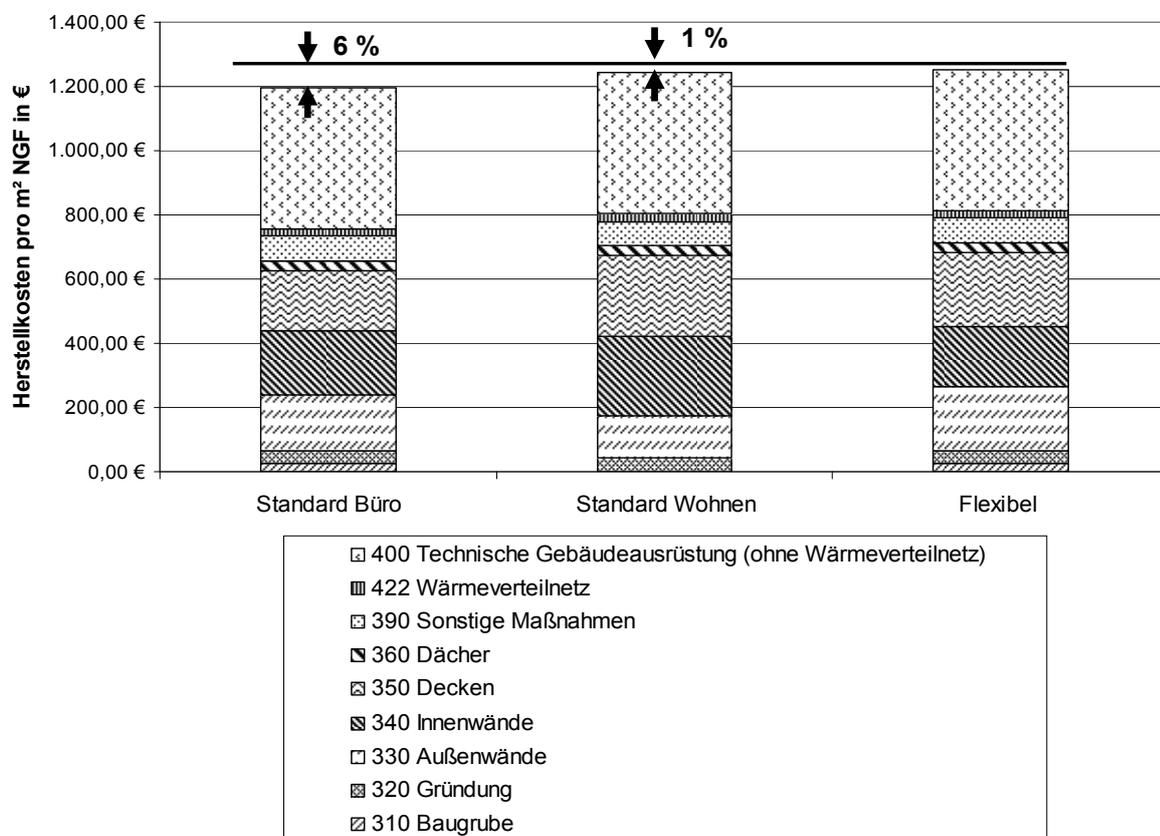


Bild 5.5: Vergleich der Herstellkosten zwischen den Varianten Standard und Flexibel

5.3.2 Nutzung und Umbau

Während der Nutzung des Gebäudes entstehen sowohl regelmäßig als auch unregelmäßig anfallende Kosten. Diese Kostenströme werden mittels des Barwertes auf den Betrachtungszeitpunkt t_0 projiziert. Die Ergebnisse dieser Projektion sind in Bild 5.6 für die flexible Gebäudegestaltung mit einer energetischen Qualität nach „EnEV“ dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Herstellkosten des Gebäudes 44 % der Lebenszykluskosten verursachen. Die Aufwendungen für den Betrieb des Gebäudes belaufen sich auf rund 26 % der Lebenszykluskosten. Weitere rund 27 % entfallen auf die Instandsetzungs- und Instandhaltungskosten im Lebenszyklus. Der Rückbau hat nur einen untergeordneten Anteil von 2 % an den Gesamtkosten. Werden die Lebenszykluskosten auf einen Quadratmeter Nettogeschossfläche (NGF) bezogen, so beträgt der Barwert für das gesamte Gebäude 2847,40 €/m² NGF. Dies entspricht dem projizierten Wert der zum Zeitpunkt t_0 pro m² benötigt wird, um das Gebäude zu errichten, 100 Jahre zu betreiben und nach 100 Jahren wieder zurückzubauen.

Dem gegenüber stellt Bild 5.7 die Kostenverteilung bei der flexiblen Gebäudegestaltung mit einem „HWB 15“ Energiestandard dar. Die Verteilung der Kostenparameter stellt sich hier ähnlich der „EnEV“-Variante dar. Aufgrund des geringeren Energieverbrauchs über den Lebenszyklus und den höheren Aufwendungen zur Herstellung des energetischen Standards werden die Herstellkosten stärker betont. Die Herstellkosten haben in diesem Fall einen Anteil von 47 % an den Gesamtkosten. Die Nutzungskosten sinken hingegen auf 21 %. Die Ausgaben für die Instandhaltung und -setzung bleiben annähernd bei 30 % der Gesamtkosten. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass mit zunehmender Steigerung der Energieeffizienz der Gebäude die Erstellungs- und Instandsetzungskosten relativ an Bedeutung gewinnen.

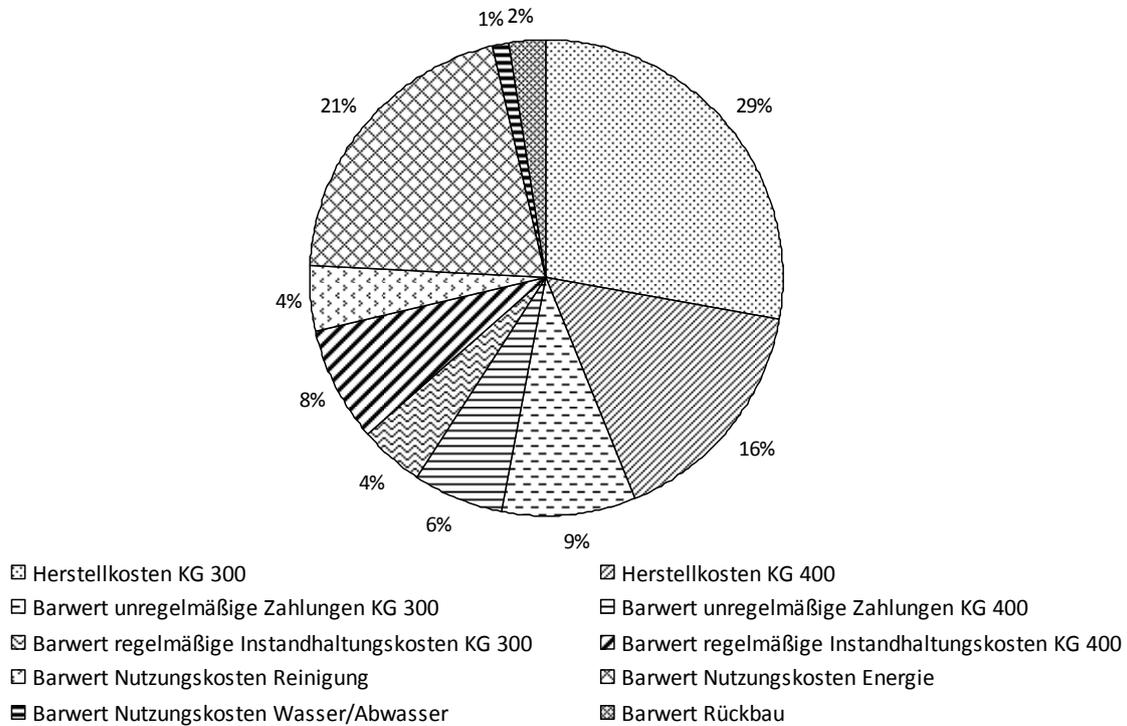


Bild 5.6: Kostenverteilung über 100 Jahre der Variante Flexibles Konzept („EnEV“)

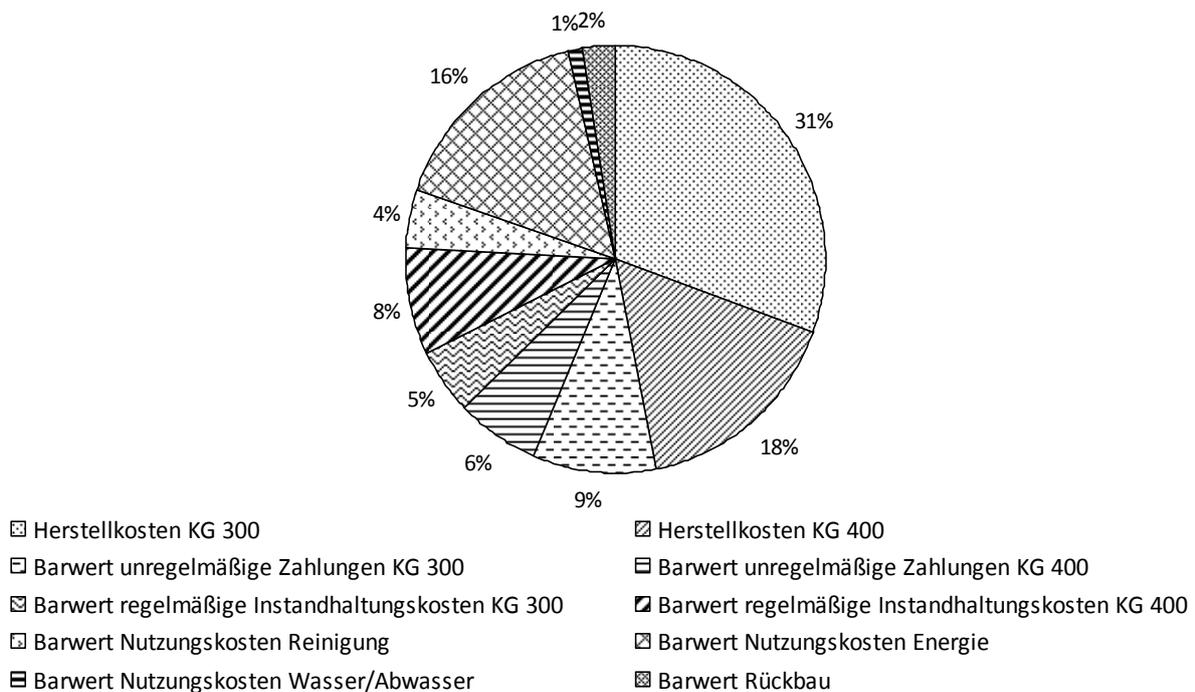


Bild 5.7: Kostenverteilung über 100 Jahre der Variante Flexibles Konzept („HWB 15“ Haus)

Ein anderes Bild vermittelt die Betrachtung der Variante Standard des Stadtbausteins. In dieser Variante verschiebt sich der Kostenanteil von den Herstellkosten zu den unregelmäßigen Zahlungen. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass per Definition das Bürogebäude nach Bürophase 2 nicht umgenutzt werden kann und daher durch einen Neubau ersetzt werden muss. Damit entstehen im Jahr 40 höhere Kosten, die sich im Barwert der unregelmäßigen Zahlungen auswirken. Bild 5.8 stellt diese Kostenverteilung für die Variante Standard dar. Der Anteil der Herstellkosten liegt bei 35 %. Die Aufwendungen für die Instandhaltungen und Instandsetzungen steigen auf 36 %, während die Nutzungskosten bei rund 22 % liegen.

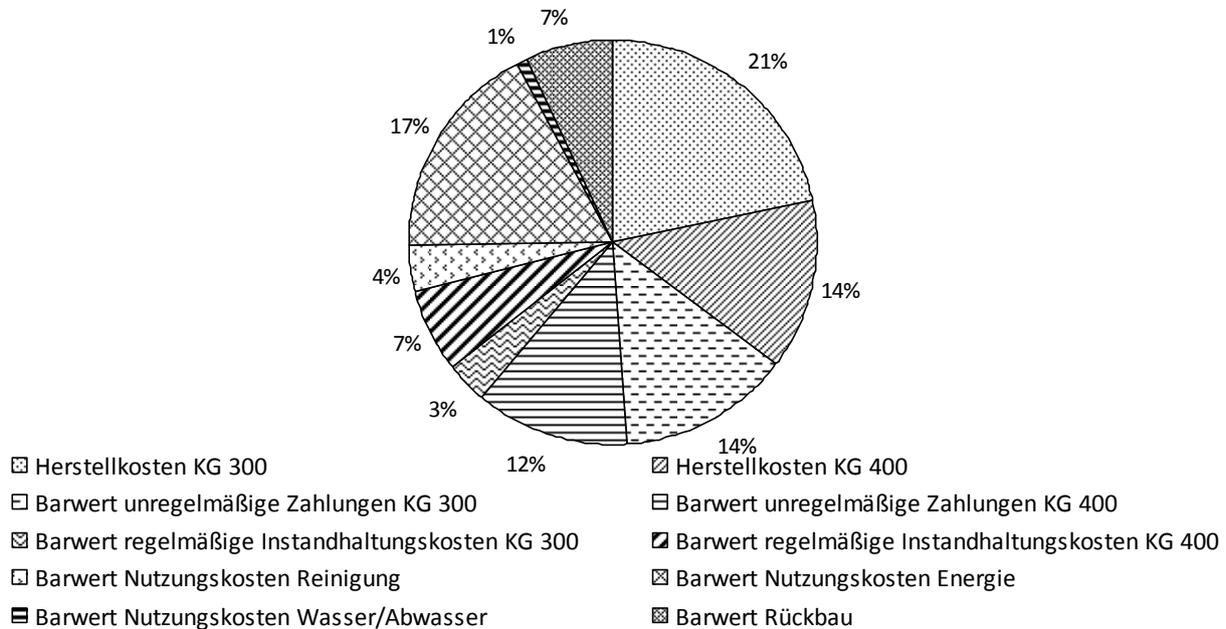


Bild 5.8: Kostenverteilung über 100 Jahre der Variante Standardstruktur („EnEV“)

Aus diesen Untersuchungen zeigt sich, dass die Herstellkosten zwischen 30 % und 50 % der Lebenszykluskosten eines Gebäudes verursachen. An diesen Herstellkosten haben die Betonbauteile wiederum einen Anteil von rund 25 % (vgl. Kap. 5.3.1). Da Betonbauteile aufgrund ihrer Dauerhaftigkeit und Widerstandsfähigkeit in der Regel keiner Instandhaltung unterzogen werden müssen, ergibt sich ein Anteil von rund 8 % bis 10 % an den gesamten Lebenszykluskosten für die Bauteile aus Beton.

Ein besonderer Faktor in den unregelmäßig auftretenden Zahlungen der KG 300 sind die Beschichtungen in der Tiefgarage. Mit Hilfe eines Monitoring lassen sich, wie in Abschnitt 4.6 beschrieben, die Aufwendungen für die Beschichtung der Tiefgaragen reduzieren. Bild 5.9 stellt die Lebenszykluskosten für die unterschiedlichen Szenarien der Tiefgaragenbeschichtung dar. In der Berechnung wurde zum einen die Vollbeschichtung des 1. und 2. Untergeschosses des Stadtbausteins betrachtet, was der konservativen Annahme entspricht. Zum anderen wurde die Teilbeschichtung des 1. UG in der Ausführung CEM I FA plus Monitoring betrachtet. Diese Variante wurde gewählt, da es sich hier um die günstigste Möglichkeit handelt. Zusätzlich wurde als Beschichtungshäufigkeit die Variante „Erneuerung alle 10 Jahre“ und „Erneuerung alle 20 Jahre“ betrachtet. Des Weiteren wurden Szenarien gerechnet, in denen nach einer bestimmten Zeit das Monitoring einen Wechsel von der Teilbeschichtung zur Vollbeschichtung vorgibt.

Das Ergebnis der Berechnung zeigt, dass die Variante mit der Teilbeschichtung und einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren die günstigste Variante darstellt. Nur geringfügig höhere Lebenszykluskosten entstehen bei einer vollflächigen Beschichtung im gleichen Erneuerungszyklus. Ursache dafür sind die Kosten für das Monitoringsystem. Die Kosten für die Anodenleitern sowie die jährliche Überwachung gleichen einen Teil der Einsparung aus der Teilbeschichtung der Parkhausdecke aus.

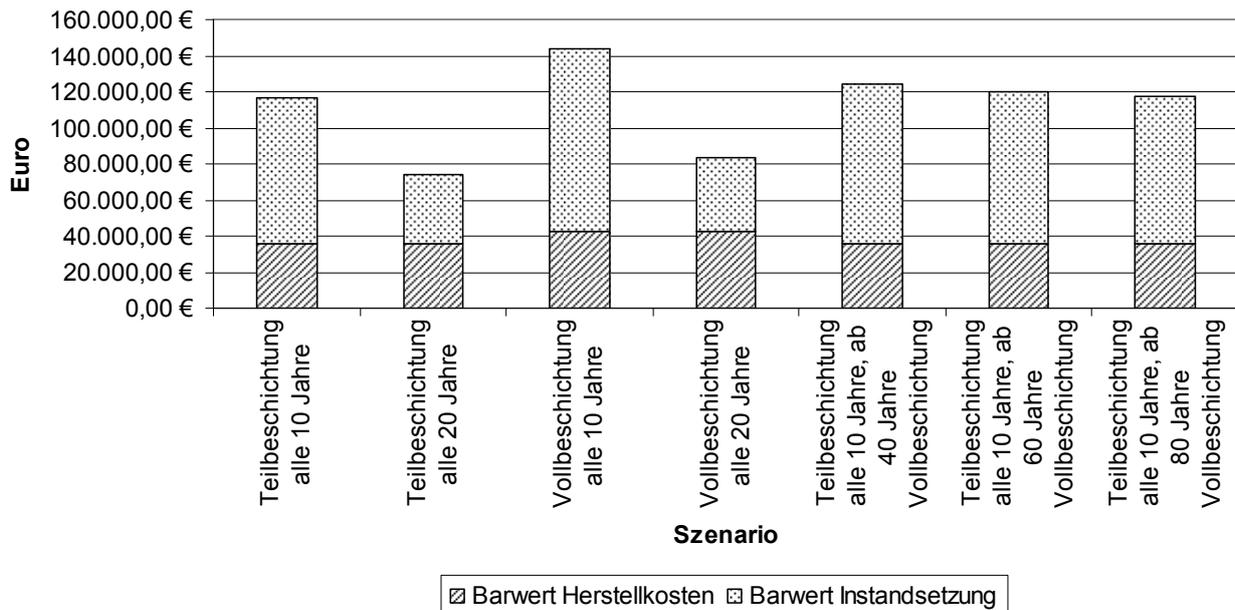


Bild 5.9: Szenarienvergleich für das Dauerhaftigkeitskonzept des 1. und 2. UG des Stadtbausteins

Im untersuchten Stadtbaustein ist die Anwendung des Monitoringkonzeptes nur auf Teilflächen der Tiefgarage möglich. Dies begründet sich in der gewählten Konstruktion der Tiefgaragenebenen. Daher ist im Bild 5.10 die Anwendung des Monitoringkonzeptes auf die gesamten Tiefgaragenflächen des Stadtbausteins dargestellt. Hier wird ersichtlich, dass sich die monetären Vorteile des Teilbeschichtungskonzeptes deutlich abheben. Sowohl die Annahme, dass die Teilbeschichtung alle 10 Jahre erneuert wird, wie auch eine Erneuerung der Teilbeschichtung alle 20 Jahre, bieten einen deutlichen Kostenvorteil. Die Barwerte für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren werden nahezu halbiert. Die Berechnungen der Barwerte für die anfängliche Teilbeschichtung und die nachfolgende Vollbeschichtung ab einem bestimmten, von der Anodenleiter gemeldeten Zeitpunkt zeigen, dass sich ab etwa 60 Jahren das Monitoringsystem rechnet.

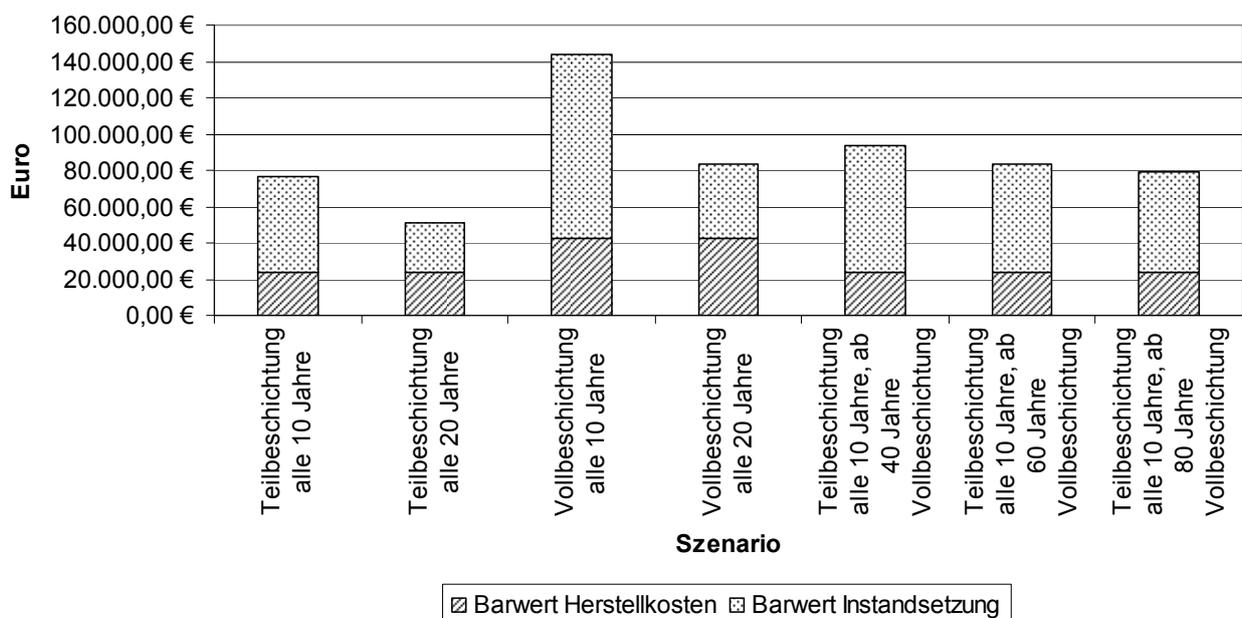


Bild 5.10: Szenarienvergleich für das Dauerhaftigkeitskonzept auf zwei Untergeschossen

Die Analysen zum Dauerhaftigkeitskonzept mit Monitoring zeigen, dass es abhängig von der Größe der teilbeschichteten Fläche zu erheblichen Kosteneinsparung kommen kann. Für das jeweilige Gebäude ist zu prüfen, ob sich das Dauerhaftigkeitskonzept mit Monitoring rentiert.

5.3.3 Rückbau

In der Variante Flexible Struktur tritt der Rückbau des Gebäudes am Ende des Lebenszyklus einmalig auf. Durch die gewählten Faktoren für Verzinsung und Diskontierung (vgl. Kap. 5.2.3) ergibt sich der Effekt, dass die Rückbaukosten nur einen geringen Beitrag zu den Lebenszykluskosten leisten. Durch das positive Verhältnis zwischen der Verzinsung des Kapitals und der Preissteigerung im Diskontierungsfaktor ergibt sich, dass der Barwert für den Rückbau im Vergleich zu den Kosten zum Zeitpunkt t_0 erheblich sinkt.

In der Variante Standard werden zwei Rückbauprozesse modelliert. Zum einen beim Wechsel vom Bürogebäude zum Wohngebäude und zum zweiten am Ende des Betrachtungszeitraumes von 100 Jahren. Dadurch ergeben sich deutlich höhere Barwerte für die Variante Standard. Diese entsprechen 60 €/m² NGF bei der Variante Flexible Struktur zu 230 €/m² NGF in der Variante Standard. An diesem Beispiel wird auch der Abzinsungseffekt noch einmal deutlich. Dieser bewirkt, dass die Kosten bei der Variante Flexible Struktur nicht nur halbiert werden, wie dies aufgrund der Reduzierung der Rückbaumaßnahmen zu erwarten gewesen wäre, sondern dass es durch die zusätzliche zeitliche Verschiebung von 60 Jahren zwischen den Rückbaumaßnahmen zu einer Drittelung der Barwerte kommt.

5.3.4 Gesamtbetrachtung

Tabelle 5.1 zeigt die Barwerte der Varianten Flexible Struktur in der Version „EnEV“ und „HWB 15“ Haus sowie die Variante Standard nach „EnEV“. Dabei entspricht die Variante Flexibel EnEV der Basisvariante. In Flexibel HWB 15 Haus ist eine günstige Variante abgebildet und mit dem Gebäude Standard EnEV eine ungünstige. Die Ergebnisse zeigen, dass die Flexible Bauweise als „HWB 15“ Haus die günstigsten Lebenszykluskosten verursacht. Im Vergleich zur „EnEV“-Variante können hier etwa 50 € je m² NGF eingespart werden. Einen deutlich größeren Vorteil erzielt jedoch die flexible Bauweise gegenüber der Standardbauweise. Durch die Möglichkeit der Anpassung an verschiedenste Nutzungsanforderungen lassen sich rund 540 € je m² NGF einsparen. Zwischen den beiden Extremszenarien liegt damit ein Unterschied von rund 600 € je m² NGF.

Tabelle 5.1: Übersicht der Lebenszykluskosten nach Kostenarten

Aufteilung der LCC-Kosten	Flexibel EnEV		Flexibel HWB 15		Standard EnEV	
Herstellkosten KG 300	789,96 €	28%	850,97 €	30%	733,80 €	22%
Herstellkosten KG 400	463,35 €	16%	463,35 €	17%	463,35 €	14%
Barwert unregelmäßige Zahlungen KG 300	253,50 €	9%	263,47 €	9%	459,42 €	14%
Barwert unregelmäßige Zahlungen KG 400	175,46 €	6%	175,46 €	6%	410,83 €	12%
Barwert regelmäßige Instandhaltungskosten KG 300	127,43 €	4%	139,45 €	5%	116,37 €	3%
Barwert regelmäßige Instandhaltungskosten KG 400	226,41 €	8%	230,18 €	8%	226,41 €	7%
Barwert Nutzungskosten Reinigung	120,09 €	4%	120,09 €	4%	120,09 €	4%
Barwert Nutzungskosten Energie	588,03 €	21%	450,48 €	16%	589,99 €	17%
Barwert Nutzungskosten Wasser/Abwasser	32,44 €	1%	32,44 €	1%	32,44 €	1%
Barwert Rückbau	70,73 €	2%	69,80 €	2%	233,94 €	7%
Summe	2.847,41 €	100%	2.795,70 €	100%	3.386,64 €	100%

5.3.5 Einfluss von Preissteigerung und Diskontierung auf den Barwert

In Kapitel 5.2.3 werden die in den vorliegenden Berechnungen verwendeten Prozentsätze für Preissteigerung und Diskontierung genannt. Die gewählten Prozentsätze beeinflussen das Ergebnis der Lebenszykluskostenberechnung sehr stark. Ist der Diskontierungsfaktor größer als der Faktor für die Preissteigerung erhalten alle Geldflüsse zu einem späteren Zeitpunkt als t_0 ein geringeres Gewicht. Dies wirkt sich insbesondere bei sehr späten Investitionen merklich aus. Im umgekehrten Fall eines größeren Preissteigerungsfaktors im Vergleich zum Diskontierungsfaktor ergibt sich für späte Geldflüsse ein höheres Gewicht als ein vergleichbarer Geldfluss zum Zeitpunkt t_0 .

Zur Überprüfung des Einflusses des Zinseffektes auf die Ergebnisse der Bewertung des Stadtbausteins, werden alle Zins- und Preissteigerungssätze zu Null gesetzt. In Bild 5.11 ist am Beispiel der Variante Flexible Struktur, „EnEV“ Haus, gezeigt, wie sich die Barwerte verschieben. Es ist zu erkennen, dass sich der Barwert je m² NGF ohne Berücksichtigung des Zinseffektes erhöht, da die Geldflüsse im Lebenszyklus nicht mehr abgezinst werden. Da die Herstellkosten sowohl bei der Berechnung des Barwertes inkl. Zinseffekt wie auch bei der Berechnung ohne Zinseffekt identisch sind, verschieben sich die prozentualen Anteile der einzelnen Kostenparameter. Die Aufwendungen im Lebenszyklus und für den Rückbau erhalten bei einer Betrachtung ohne Zinseffekt ein stärkeres Gewicht.

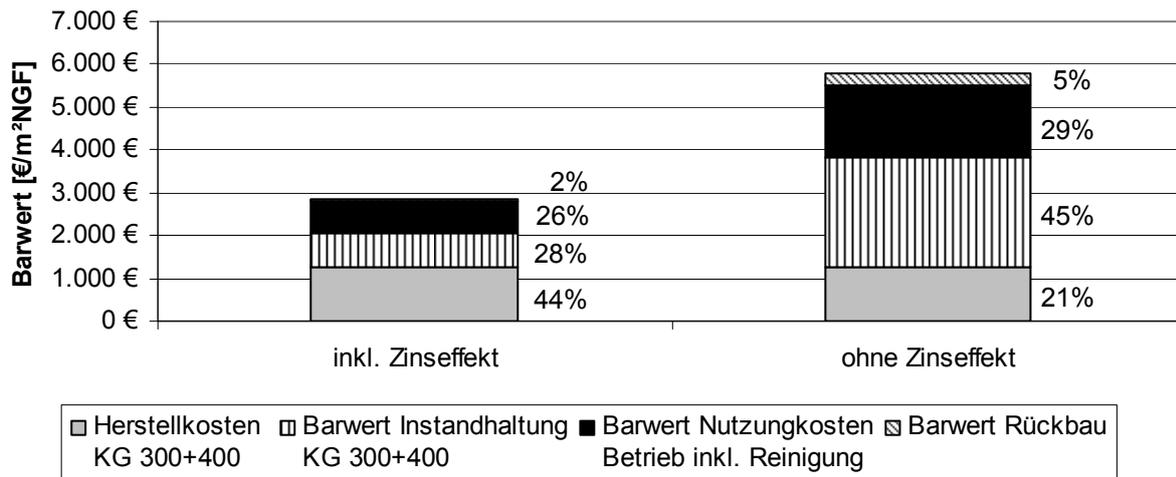


Bild 5.11: Einfluss des Zinseffektes auf die Lebenszykluskosten

Die getroffenen Aussagen zu den Gesamtergebnissen der Lebenszykluskostenbetrachtung verändern sich beim Stadtbaustein nur geringfügig. Beispiel dafür ist die Gegenüberstellung in Bild 5.12. Hier ist die Bewertung der Variante Flexible Struktur als „EnEV“ Haus und als „HWB 15“ Haus jeweils inkl. und ohne Zinseffekt dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich der Barwert annähernd verdoppelt bei einer Berechnung ohne Zinseffekt. Die Aussage zur Vorteilhaftigkeit der Variante „HWB 15“ bleibt jedoch erhalten. Wiederum sehr gut veranschaulicht wird die Verschiebung zwischen den einzelnen Phasen des Lebenszyklus. Die Herstellkosten fließen deutlich weniger stark in den Barwert ein, als die nachgelagerten Phasen Nutzung und Betrieb sowie Rückbau.

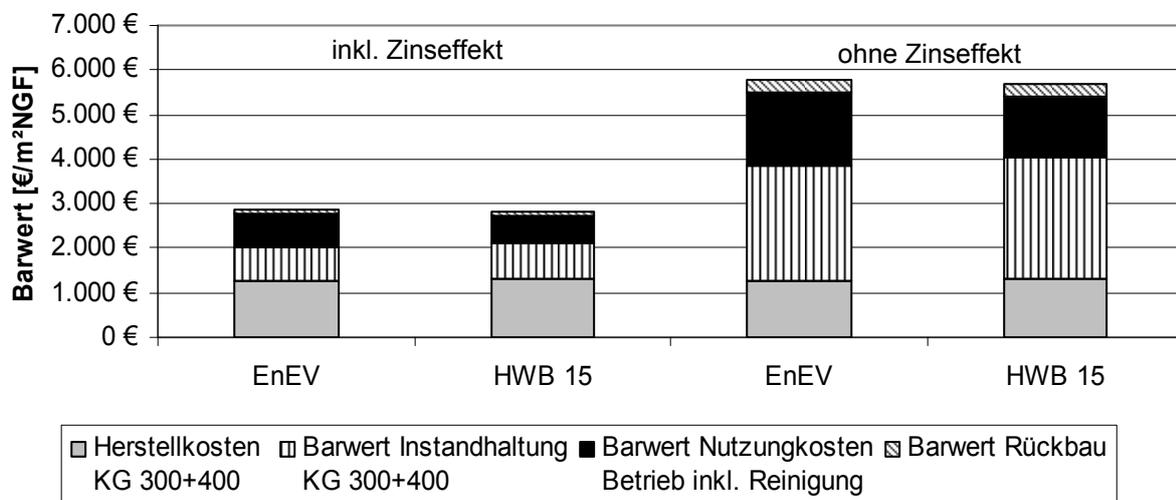


Bild 5.12: Gegenüberstellung des Einflusses des Zinseffektes am Beispiel Variante Flexible Struktur, „EnEV“ Haus und Flexible Struktur, „HWB 15“ Haus“

Ein zweites Beispiel für den Einfluss des Zinseffektes auf die Bewertung des Stadtbausteins ist in Bild 5.13 dargestellt. Werden diese Ergebnisse mit den Darstellungen in Bild 5.10 verglichen, welches die Bewertung der Tiefgaragenbeschichtung inklusive des Zinseffektes darstellt, so verdeutlicht sich, dass auch in diesem Beispiel die Barwerte ohne Zinseffekt deutlich ansteigen. Die Herstellkosten bleiben unverändert, während die Kosten für den Unterhalt in der Nutzungsphase erheblich ansteigen. Die Aussagen für eine Teilbeschichtung und einen Erneuerungszyklus alle 20 Jahre verändern sich nicht. Jedoch ist festzuhalten, dass sich die zahlenmäßigen Einsparpotentiale durch die Betrachtung ohne Zinsen erhöhen. Während in der Bewertung mit Zinseffekt ein Einsparpotential von rund 27.000 € zwischen der Vollbeschichtung und der Teilbeschichtung alle 10 Jahre zu erwarten ist, erhöht sich dieser Betrag auf rund 87.000 € bei einer Betrachtung ohne Zinseffekt.

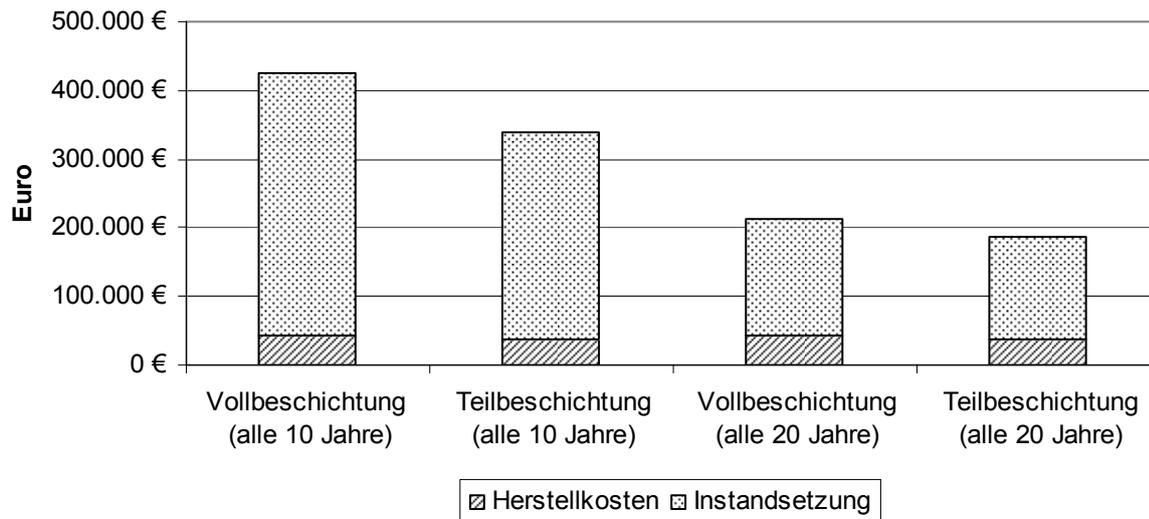


Bild 5.13: Barwerte der Erneuerung der Tiefgaragenbeschichtung ohne Zinseffekt

5.4 Schlussfolgerungen

Die Schlussbetrachtung der Lebenszyklusrechnung für den Stadtbaustein zeigt, aufbauend auf den beschriebenen Szenarienbetrachtungen, dass sich eine Flexible Struktur und ein hoher energetischer Standard über die Betrachtungsdauer von 100 Jahren rentieren. Der Baustoff Beton hat dabei einen Anteil von rund 8 bis 10 % an den Lebenszykluskosten.

Die Untersuchungen haben aber auch gezeigt, dass die Ergebnisse sehr stark von den Eingangsparametern abhängen. Die Herstellkosten können abhängig von regionalen Besonderheiten oder dem geforderten Ausstattungsstandard sehr stark schwanken. Für den Betonbau lässt sich festhalten, dass mit steigendem Ausstattungsstandard der Kostenanteil des Betons sinkt. Ein weiterer Effekt beeinflusst die Bedeutung des Betons als Kostenfaktor. Mit der Veränderung der Auf- bzw. Abzinsungsfaktoren verschiebt sich das Gewicht der Investitionen hin zu späteren Zeitpunkten im Lebenszyklus. Mit einem positiven Verhältnis zwischen Zins- und Diskontierungsfaktor ergibt sich ein geringes Gewicht für die späten Kostenströme im Lebenszyklus. Da die Ausgaben für Betonbauteile überwiegend in der Herstellung entstehen, erhöht dies den Anteil des Betons an den Lebenszykluskosten.

Positive Kosteneffekte lassen sich durch die Anwendung eines Dauerhaftigkeitskonzeptes für die Tiefgaragenbeschichtung erzielen. Hier ist im Einzelfall zu prüfen, ob die Einsparung aus der Teilbeschichtung die Kosten für das Monitoringverfahren übersteigt.

6 AUSGEWÄHLTE BEWERTUNGEN DER FUNKTIONALITÄT

6.1 Adaptivität

In den vorangehenden Abschnitten wurde unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit ein adaptives Gebäude im Vergleich zu einem herkömmlichen Gebäude untersucht. Es zeigt sich, dass die Flexible Struktur über den gesamten Lebenszyklus sowohl in der ökologischen als auch in der ökonomischen Analyse die günstigere Lösung ist, wenn sie den gleichen Nutzungsphasen unterworfen wird wie die Standardstruktur.

Neben den ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des Flexiblen Gebäudekonzeptes muss der Aspekt der Adaptivität in seiner gesamten Breite als Nachhaltigkeitskriterium verifiziert werden. Dabei wird unter Adaptivität die „Fähigkeit“ eines Gebäudes verstanden, sich an wechselnde Nutzer- oder Nutzungsanforderungen mit möglichst geringem Ressourceneinsatz anzupassen. Sie umfasst damit sowohl die Flexibilität, innerhalb einer Nutzungsart Anpassungen vorzunehmen als auch die Umnutzungsfähigkeit für andere Nutzungsarten. Ohne konkrete Nutzungsphasen kann die Beurteilung der Adaptivität anhand der Möglichkeiten umsetzbarer technischer Lösungen erfolgen, indem die Kriterien für anpassungsfähige Gebäude mit einem Fragenkatalog abgefragt werden. Maßgebende Einflussgrößen auf die Adaptivität sind bspw. die lichte Höhe, die Raumtiefe, die zulässige Nutzlast, Ausmaß und Anordnung der vertikalen Tragglieder, die Trennbarkeit von Rohbau und Ausbau und die Nachrüstungsmöglichkeiten für Installationen.

Die Adaptivität des Stadtbausteins wurde für die Flexible- und die Standardstruktur mit dem Steckbrief „Umnutzungsfähigkeit“ des Deutschen Gütesiegels „Nachhaltiges Bauen“ (DGNB) /20/ bewertet (Tabelle 6.1). Die Flexible Struktur erreicht hierbei 8 von 10 Bewertungspunkten, die Standardstruktur 5 von 10. Die Unterschiede in der Bewertung resultieren vor allem aus der unterschiedlichen Leitungsführung. Mit der Spannbetonstegplatte, die zugleich als Doppelboden dient, besitzt die Flexible Struktur ein großes Maß an horizontaler Installationsflexibilität für alle Medien. Die Standardstruktur bietet mit der abgehängten Flachdecke nur die Möglichkeit, die Lüftungs- und Klimatechnik weitgehend flexibel zu gestalten, während dies für Heizung sowie Wasserver- und Entsorgung nicht gilt. In den anderen Punkten erreichen beide Varianten dieselbe Bewertung, da die Entwürfe dieselbe lichte Raumhöhe sowie eine flexible Aufteilung des Innenausbaus mit leichten Gipskarton-Trennwänden vorsehen. Für weitere Fragen des Steckbriefs, die nicht durch die Konstruktion bestimmt werden, wurde jeweils die Höchstwertung angenommen.

Tabelle 6.1: Adaptivitätsbewertung der Flexiblen- und der Standardstruktur nach dem Deutschen Gütesiegel „Nachhaltiges Bauen“ nach /20/

Frage	Flexible Struktur	Standardstruktur
1	2	3
1.1 Beträgt die lichte Höhe der Räumlichkeiten mehr als 2,75 m?	ja	ja
2.1 Kann die Ergänzung, Umsetzung oder Entfernung nicht lastabtragender, räumlich trennender Elemente mit geringem Aufwand erfolgen und kann der Gebäudebetrieb dabei uneingeschränkt fortgeführt werden?	ja, mit geringen Einschränkungen	ja, mit geringen Einschränkungen
2.2 Sind die nicht lastabtragenden, räumlich trennenden Elemente demontagegerecht und wurde eine Möglichkeit zur Zwischenlagerung nicht benötigter Elemente vorgesehen?	nein	nein
3.1 Erfolgt die Führung der Elektro- und Medienleitungen in leicht erreichbaren Versorgungsschächten, Kabelkanälen oder Doppelböden bzw. sind die Leitungen sichtbar verlegt?	ja	nein
3.2 Ist die Kapazität der Versorgungsschächte und Leerrohre für Elektro- und Medienleitungen mit weniger als 80 % ausgelastet?	ja	ja
3.3 Erfolgte die Elektroinstallation / Gebäudeautomation mittels eines BUS-Systems?	ja	ja
4.1 Sind die Verteilungen und Anschlüsse der Heizung derart flexibel gestaltet, dass eine Umgestaltung ohne Umverlegung möglich ist und so dass dabei eine Anschlussmöglichkeit für teilbare Büroflächen vorhanden ist?	ja	nein
4.2 Sind die Verteilungen und Anschlüsse der Wasserver- und Entsorgung derart flexibel gestaltet, dass eine Umgestaltung ohne Umverlegung möglich ist und so dass dabei eine Anschlussmöglichkeit für teilbare Büroflächen vorhanden ist?	ja	nein
4.3 Sind die Verteilungen und Anschlüsse der Lüftungs- und Klimatechnik derart flexibel gestaltet, dass eine Umgestaltung ohne Umverlegung möglich ist und so dass dabei eine Anschlussmöglichkeit für teilbare Büroflächen vorhanden ist?	ja	ja
erreichte Bewertungspunkte (von 10)	8	5

Im Rahmen des Projektes „Nachhaltig Bauen mit Beton“ wurde ein angepasster Fragenkatalog erstellt, der konstruktionsrelevante und betonbauspezifische Aspekte aufgreift. Nach diesem Katalog erreicht die Flexible Struktur 12 von 14 Punkten, die Standardstruktur 7 von 14 Punkten (Tabelle 6.2). Der erste Fragenblock bezieht sich auf die Möglichkeiten, verschiedene räumliche Aufteilungen im Grundriss umzusetzen. Die größte Flexibilität bietet ein Grundriss, der komplett stützenfrei ist, während Stützen oder tragende Wände die Umgestaltungsmöglichkeiten mäßig bis stark einschränken. Für viele Büroformen abseits des klassischen Zellenbüros ist eine größere Gebäudetiefe notwendig. Als Mindestanforderung für Kombibüros, Business-Club oder „Lean Offices“ können ca. 14 m genannt werden /21/. Arbeitsräume müssen nach § 6 (1) Arbeitsstättenverordnung /22/ eine ausreichende Höhe aufweisen. Da tiefere Räume eine größere Raumhöhe erforderlich machen, werden im Fragekatalog 2,75 m bzw. 3,00 m als Mindestanforderung für einen adaptierbaren Grundriss gefordert. In Anlehnung an die alte Arbeitsstättenverordnung /23/ kann dies als

Voraussetzung für Räume mit einer Grundfläche von mehr als 50 m² bzw. mehr als 100 m², jedoch weniger als 2.000 m² angesehen werden. Der Abbruch bzw. der Neueinbau von Trennwänden wird erleichtert, wenn es sich nicht um massive Wände, sondern um leichte Wände wie Gipskartonständerwände handelt. Ihr Umbau kann innerhalb eines Geschosses bei geringer Störung der Nachbargeschosse durchgeführt werden. Handelt es sich um demontierbare Systemwände, die nach Baukastenprinzip auf- und abgebaut sowie zwischengelagert werden, so ist der Innenausbau auch innerhalb einer Nutzungseinheit besonders leicht anzupassen.

Im zweiten Frageblock werden die Möglichkeiten geprüft, den Ausbau leicht anpassen zu können, da dieser bei langlebigen Gebäuden oft mehrfach ausgetauscht wird. Gründe sind zum einen die im Vergleich zum Rohbau geringere Nutzbarkeitsdauer, zum anderen die sich mit der Zeit wandelnden Nutzeransprüche hinsichtlich Gestaltung, Aussehen und Material. Da die Fassade für die äußere Erscheinung eines Gebäudes eine große Rolle spielt, wird der Aspekt der Demontierbarkeit im Fragenkatalog abgefragt. Die Austauschbarkeit des Bodenbelags hängt vom gewählten Deckensystem und Bodenaufbau ab und wird ebenfalls bewertet. Die Möglichkeit, Wände durch Überstreichen oder Verkleidung neu zu gestalten, besteht hingegen unabhängig von der Wandkonstruktion und wird nicht abgefragt. Die Flexible Struktur erhält hier eine bessere Bewertung, da der Doppelboden eine einfachere Austauschbarkeit des Bodenbelags bietet als der schwimmende Estrich der Standardstruktur. Im dritten Frageblock wird schließlich geprüft, inwiefern die Betonkonstruktion die Flexibilität der Leitungsführung für die Technische Gebäudeausstattung unterstützt. Die unzugängliche Verlegung von Leitungen und fehlende Aussparungen erschweren Umrüstungen der Technik. Hier erhält die Flexible Struktur mit der großen horizontalen Installationsflexibilität im Doppelboden mehr Punkte als die Standardstruktur.

Tabelle 6.2: Adaptivitätsbewertung der Flexiblen- und der Standardstruktur nach einem auf Betonbauwerke abgestimmten Fragenkatalog

Frage (für jede positiv beantwortete Frage wird 1 Punkt vergeben)	Flexible Struktur	Standardstruktur
1	2	3
1.1 Ist der innere Grundriss (ausgenommen Kerne) frei von lastabtragenden Elementen?	ja	nein
1.2 Ist der innere Grundriss (ausgenommen Kerne) frei von lastabtragenden Wänden?	ja	ja
1.3 Beträgt die Gebäudetiefe im Bürobau mindestens 14 m?	ja	ja
1.4 Beträgt die lichte Höhe der Räume mindestens 2,75 m?	ja	ja
1.5 Beträgt die lichte Höhe der Räume mindestens 3,00 m?	nein	nein
1.6 Sind die nicht lastabtragenden, räumlich trennenden Elemente in Leichtbauweise ausgeführt?	ja	ja
1.7 Sind die nicht lastabtragenden, räumlich trennenden Elemente demontagegerecht und wurde eine Möglichkeit zur Zwischenlagerung nicht benötigter Elemente vorgesehen?	nein	nein
2.1 Ist die Fassadenkonstruktion lösbar mit der Tragstruktur verbunden (z. B. geschraubt, punktuell geklebt)?	ja	ja
2.2 Ist der Bodenbelag einfach von der Deckenkonstruktion lösbar?	ja	nein
3.1 Sind Elektro- und Medienleitungen leicht zugänglich (z. B. vertikal in Schächten und horizontal in Kabelkanälen, Doppelböden oder sichtbar verlegt)?	ja	nein
3.2 Sind die Heizungsleitungen leicht zugänglich (z. B. vertikal in Schächten und horizontal in Doppelböden oder sichtbar verlegt)?	ja	nein
3.3 Sind die Wasserver- und Entsorgungsleitungen leicht zugänglich (z. B. vertikal in Schächten und horizontal in Doppelböden oder sichtbar verlegt)?	ja	nein
3.4 Sind die Leitungen für Lüftungs- und Klimatechnik leicht zugänglich (z. B. vertikal in Schächten und horizontal in Doppelböden, abgehängten Decken oder sichtbar verlegt)?	ja	ja
3.5 Sind Durchbrüche/Aussparungen in Stahlbetonbauteilen zu weniger als 70 % belegt?	ja	ja
Anzahl der erzielten Punkte (von 14)	12	7

Die Vorteile eines adaptiven Gebäudes können durch die oben dargestellten Fragebögen nicht vollständig abgebildet werden. Das adaptive System führt durch verminderten Arbeitsaufwand zu einer Zeit- und Kostenersparnis und damit zu kürzeren Umbauzeiten und geringerer Störung des Betriebs. Es sind Teilumbauten des Objektes bei geringer Beeinträchtigung benachbarter Nutzungseinheiten möglich. Schließlich bringt das flexible System durch die gute Zugänglichkeit der Ver- und Entsorgungsleitungen Vorteile bei der laufenden Entstörung und Instandhaltung. Das hier entwickelte Deckensystem ermöglicht die Nachrüstbarkeit hinsichtlich der Technischen Gebäudeausrüstung.

Die oben dargestellten Abfragen zielen vornehmlich auf die Flexibilität innerhalb der Nutzungsart Bürogebäude ab. Die Möglichkeit der Überführung in andere Nutzungsformen (z. B. Büro zu Wohnen) kann in einem Fragebogen nur ansatzweise abgeprüft werden. Mehrere Nutzungsarten können infrage kommen: Büros, Handel, Praxen, Wohnen, Hotel etc. Eine Einschätzung der Machbarkeit erfordert die detaillierte Betrachtung der Anforderungen an Tragfähigkeit, Brand- und Schallschutz im Einzelfall sowie weiterer rechtlicher Anforderungen.

6.2 Thermische Behaglichkeit

Einen weiteren Aspekt der Funktionalität eines Gebäudes stellt die thermische Behaglichkeit dar. Das Behaglichkeitsempfinden ergibt sich aus dem Zusammenspiel der physikalischen Gegebenheiten im Raum, der physiologischen Eigenheiten der Nutzer (z. B. körperliche Verfassung, Alter, Geschlecht) sowie sonstiger äußerer Bedingungen (z. B. Kleidung, Raumbesetzung) /24/ und ist damit sowohl durch objektive als auch durch subjektive Bewertungsgrößen bestimmt. Zur Klassifizierung und Zertifizierung des Innenraumklimas gibt DIN EN 15251 /26/ die Gebäudekategorien I bis IV vor (zur Beschreibung der Kategorien siehe Tabelle 6.3).

Tabelle 6.3: Kategorien zur Einstufung des Innenraumklimas nach DIN EN 15251 /26/

Kategorie	Beschreibung
I	hohes Maß an Erwartungen; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z. B. Personen mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder und ältere Personen
II	normales Maß an Erwartungen; empfohlen für neue und renovierte Gebäude
III	annehmbares, moderates Maß an Erwartungen; kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden
IV	Werte außerhalb der oben genannten Kategorien. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden.
ANMERKUNG Auch in anderen Normen wie z. B. DIN EN 13779 /62/ und EN ISO 7730 /25/ wird eine Einteilung in Kategorien vorgenommen; diese können jedoch unterschiedlich benannt sein (A, B, C oder 1, 2, 3 usw.).	

Die Einstufung eines Raumes erfolgt anhand messbarer oder berechenbarer Indikatoren, wobei die einzuhaltenden Grenzwerte je nach Anwendungsfall (Sommer/Winter, maschinelle oder freie Kühlung, Tätigkeit) festzulegen sind. Ein häufig verwendeter Indikator für die thermische Behaglichkeit ist die operative Temperatur (auch empfundene Raumtemperatur), die sich näherungsweise als Mittelwert aus der Raumlufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen eines Raumes ergibt /27/. Weitere Indikatoren sind beispielsweise der PMV-Index oder der PPD-Index¹ nach DIN EN ISO 7730 /25/. Die genannten Indikatoren lassen sich aus einer thermischen Raumsimulation für jede Stunde des Jahres berechnen und einer Langzeitbewertung zuführen.

Am Stadtbaustein wurde eine Bewertung der operativen Temperatur bezogen auf die Grenzwerte der Steckbriefe „Thermischer Komfort im Sommer“ /28/ und „Thermischer Komfort im Winter“ /29/ des deutschen Gütesiegels „Nachhaltiges Bauen“ durchgeführt. Zusätzlich wurde eine Ganzjahresbewertung nach DIN EN 15251, Anhang I, vorgenommen /26/. Für die thermischen Simulationen wurde auf die Varianten-

¹ Der PMV-Index (predicted mean vote) stellt die durchschnittliche Klimabeurteilung einer Nutzergruppe von „heiß“ (PMV = +3) über „neutral“ (PMV = 0) zu „kalt“ (PMV = -3) dar. Er kann analytisch aus den Eingangsparametern körperliche Tätigkeit, Bekleidung, Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte ermittelt werden. Eine Funktion des PMV stellt der PPD-Index (predicted percentage of dissatisfied) dar, welcher angibt, wie viele Personen aus einer Gruppe mit dem Raumklima unzufrieden sind. Da die Einzelurteile einer Nutzergruppe bei gleichem Umgebungsklima streuen, beträgt bei durchschnittlich neutralem Urteil (PMV = 0) der PPD 5 %, das heißt, dass 5 % der Personen die Umgebung als warm oder kühl empfinden.

rechnungen des Projekts C3 aus der ersten Projektphase /30/ zurückgegriffen. Die Randbedingungen stimmen zwar nicht vollständig mit den Anforderungen der Steckbriefe und dem Anforderungsprofil des Stadtbausteins überein, können jedoch herangezogen werden, um die Bewertung der thermischen Behaglichkeit zu erläutern. Der Steckbrief für den Sommer gilt für Zeiträume, in denen nicht geheizt werden muss, der Steckbrief für den Winter entsprechend für Zeiträume, in denen geheizt wird. Für die Auswertung wurde die Heizperiode vereinfachend für alle Varianten einheitlich vom 1. Oktober bis zum 30. April angesetzt. Die in der Simulation verwendete jährliche Nutzungszeit für das Gebäude liegt werktags zwischen 7 und 18 Uhr und beträgt 2871 Std./Jahr. Maßgeblich für die Bewertung nach den Steckbriefen ist diejenige Kategorie, deren Kriterien in nicht mehr als 3 % der Nutzungszeit, hier also in nicht mehr als 86 Std./Jahr, überschritten werden.

Bewertet wurden die Simulationsergebnisse für die in Tabelle 6.4 dargestellten Varianten. Im Folgenden wird näher auf die Varianten mit der größten sowie mit der kleinsten thermisch wirksamen Speichermasse (LF-1, BF-1, HF-1 gegenüber LF-6, BF-6 und HF-2) bei jeweils außen liegendem Sonnenschutz eingegangen sowie auf die Ganzglasfassade mit innen liegendem Sonnenschutz (HF-4).

Tabelle 6.4: Variantenübersicht C3 aus /30/, S.333

Variante	Fassadentyp	Verglasung	Sonnen-schutz	Außen-wand	Thermische Ankopplung			C _{wirk} [Wh/m ² K]
					Innen-wände	Decken	Fuß-böden	
LF-1	Lochfassade	WSV	außen	schwer	x	x	x	270
LF-2	Lochfassade	WSV	außen	schwer	-	-	-	57
LF-3	Lochfassade	WSV	innen	schwer	x	x	x	270
LF-4	Lochfassade	WSV	innen	schwer	-	-	-	57
LF-5	Lochfassade	WSV	außen	leicht	x	x	x	249
LF-6	Lochfassade	WSV	außen	leicht	-	-	-	36
BF-1	Bandfassade	WSV	außen	schwer	x	x	x	260
BF-2	Bandfassade	WSV	außen	schwer	-	-	-	47
BF-3	Bandfassade	WSV	innen	schwer	x	x	x	260
BF-4	Bandfassade	WSV	innen	schwer	-	-	-	47
BF-5	Bandfassade	WSV	außen	leicht	x	x	x	242
BF-6	Bandfassade	WSV	außen	leicht	-	-	-	28
HF-1	Hochverglaste Fassade	SSV g _⊥ = 0,37	außen	-	x	x	x	242
HF-2	Hochverglaste Fassade	SSV g _⊥ = 0,37	außen	-	-	-	-	29
HF-3	Hochverglaste Fassade	SSV g _⊥ = 0,25	innen	-	x	x	x	242
HF-4	Hochverglaste Fassade	SSV g _⊥ = 0,25	innen	-	-	-	-	29

mit:
 WSV = Wärmeschutzverglasung
 SSV = Sonnenschutzverglasung
 g_⊥ = Gesamtenergiedurchlassgrad
 C_{wirk} = wirksame Wärmespeicherkapazität

Die Varianten BF-1 und BF-2 entsprechen dem in Abschnitt 2 beschriebenen Stadtbaustein. Dieser erzielt bei einer Bewertung nach den Steckbriefen der DGNB für den thermischen Komfort im Winter 5 von 10 Punkten und für den thermischen Komfort im Sommer 9 von 10 Punkten².

Randbedingung für die winterliche Bewertung ist eine Auslegungstemperatur des Heizsystems von 21 °C. Die Einstufung der Varianten in die Kategorien erfolgt anhand der operativen Temperatur. In Tabelle 6.5 sind die Temperaturintervalle für die operative Temperatur und die zugehörigen PPD und PMV-Werte angegeben.

² Ausgewertet wurden nur die operativen Temperaturen. Die Erfüllung aller weiteren Anforderungen der Steckbriefe (z. B. relative Luftfeuchte, Zugluft, Strahlungsasymmetrie, etc.) wurde ohne Prüfung als gegeben vorausgesetzt.

Tabelle 6.5: Intervalle für thermische Behaglichkeit im Winter /29/, /26/

Kategorie	operative Temperatur	PMV	PPD
1	2	3	4
I	21-23 °C	ca. -0,2 bis 0,2	< ca. 6 %
II	20-24 °C	ca. -0,5 bis 0,5	< ca. 10 %
III	19-25 °C	ca. -0,7 bis 0,7	< ca. 15 %
IV	<19°C oder > 25 °C	< -0,7 oder > 0,7	> ca. 15 %

In Bild 6.1 ist die 86-Stunden-Grenze eingezeichnet, die im vorliegenden Fall für die Einstufung in die Kategorien maßgebend ist. An der eingezeichneten Grenze von 86 Std. ist zu erkennen, dass alle Varianten in Kategorie III einzustufen sind, bis auf Variante LF-6, die in Kategorie II fällt. Aus der Darstellung wird deutlich, dass der Großteil der Nutzungszeit im Winter in Kategorie II fällt und daher mit 7,5 Punkten nach dem Deutschen Gütesiegel besser bewertet wird.

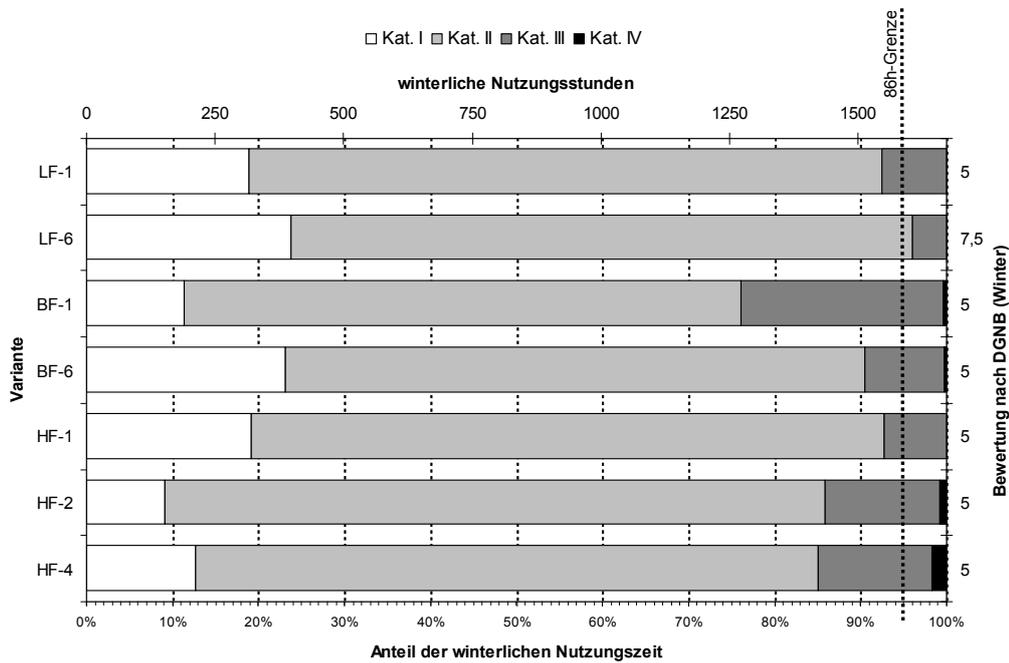


Bild 6.1: Thermische Behaglichkeit im Winter für die untersuchten Varianten

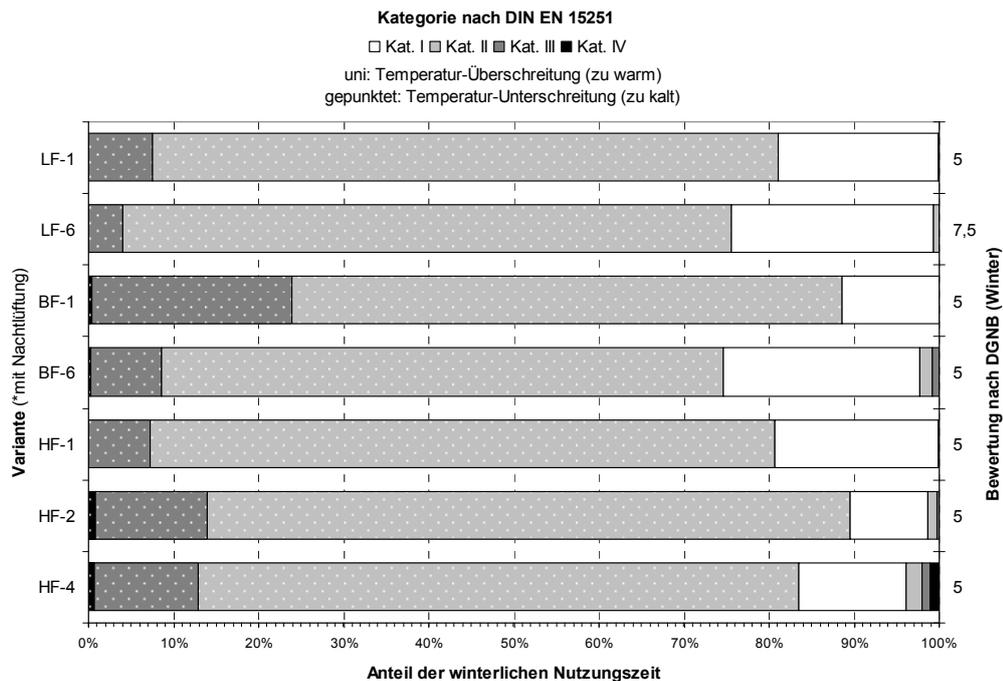


Bild 6.2: Thermische Behaglichkeit im Winter für die untersuchten Varianten (Über- und Unterschreitung der Zieltemperatur)

Bild 6.2 zeigt, dass die Einstufung in die schlechteren Kategorien zumeist auf einer Unterschreitung der angestrebten Temperaturen beruht. Ursache hierfür ist zum einen, dass die Solltemperatur Heizung genau 21 °C beträgt, was der Untergrenze von Kategorie I entspricht und so schon kleine Schwankungen eine Einstufung in eine schlechtere Kategorie ergeben. Zum anderen wird die Heizung nachts und am Wochenende abgesenkt (Solltemperatur 17 °C). Nach kalten Nächten oder nach Wochenenden benötigt die Heizung zu lange, um den Raum wieder auf die Solltemperatur zu erwärmen. Bemerkenswert ist, dass es bei der hochverglasten Fassade mit innen liegendem Sonnenschutz (HF-4) zu Temperaturüberschreitungen kommt. Hier treten an einem Oktobernachmittag 27,1 °C auf.

Für die durchgeführten Simulationen zur Bewertung des thermischen Komforts im Sommer wurde ein Gebäude ohne Kühlung und mit der Möglichkeit einer Einflussnahme der Nutzer auf das Innenraumklima über Fenster angenommen, die geöffnet und geschlossen werden können.

Feldversuche haben gezeigt, dass in nicht klimatisierten Gebäuden, in denen die Innenraumtemperaturen von den Nutzern durch Öffnen und Schließen der Fenster reguliert werden können, die Zufriedenheit mit den Innentemperaturen von der Außentemperatur abhängig ist, was vor allem auf Unterschiede im thermischen Empfinden, der Verfügbarkeit von Regeleinrichtungen und einer Verschiebung der Erwartungen der Nutzer zurückzuführen ist /26/. Die Temperaturintervalle für die einzelnen Kategorien werden deshalb in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Außentemperatur angegeben (Tabelle 6.6). Im vorliegenden Beispiel sind an einem Augusttag bis zu 27,5 °C Innentemperatur für Kategorie I noch zulässig.

Tabelle 6.6: Intervalle für thermische Behaglichkeit im Sommer bei einem Gebäude ohne Kühlung /28/

Kategorie	operative Temperatur
1	2
I	$0,33 \theta_{rm} + 18,8 \pm 2$
II	$0,33 \theta_{rm} + 18,8 \pm 3$
III	$0,33 \theta_{rm} + 18,8 \pm 4$
IV	außerhalb Kat. III
θ_{rm} : gleitender Mittelwert der Außentemperatur	

Durch Anpassung der operativen Temperatur an die Außentemperatur gem. Tabelle 6.6 sind die Varianten mehrheitlich in Kategorie II einzuordnen und erhalten damit 9 Punkte nach dem deutschen Gütesiegel (Bild 6.3). Im Gegensatz zum Winterfall liegen die Varianten im Sommer während der überwiegenden Zeit in

Kategorie I. Es ist auch zu erkennen, dass die Varianten mit Nachtlüftung schlechter abschneiden als die Varianten ohne Nachtlüftung, was erst mit Bild 6.4 zu erklären ist. Durch die Nachtlüftung wird so viel Wärme abgeführt, dass teilweise die angestrebten Innentemperaturen unterschritten werden. Temperaturüberschreitungen kommen nur bei bestimmten Varianten vor (z. B. hochverglaste Fassade, insbesondere mit innen liegendem Sonnenschutz HF-4). Hier wird dann auch deutlich, dass die Nachtlüftung sommerliche Temperaturspitzen zu einem gewissen Teil ausgleichen kann. Eine Optimierung der sommerlichen Innentemperaturen wäre durch eine bedarfsangepasste Nachtlüftung zu erreichen.

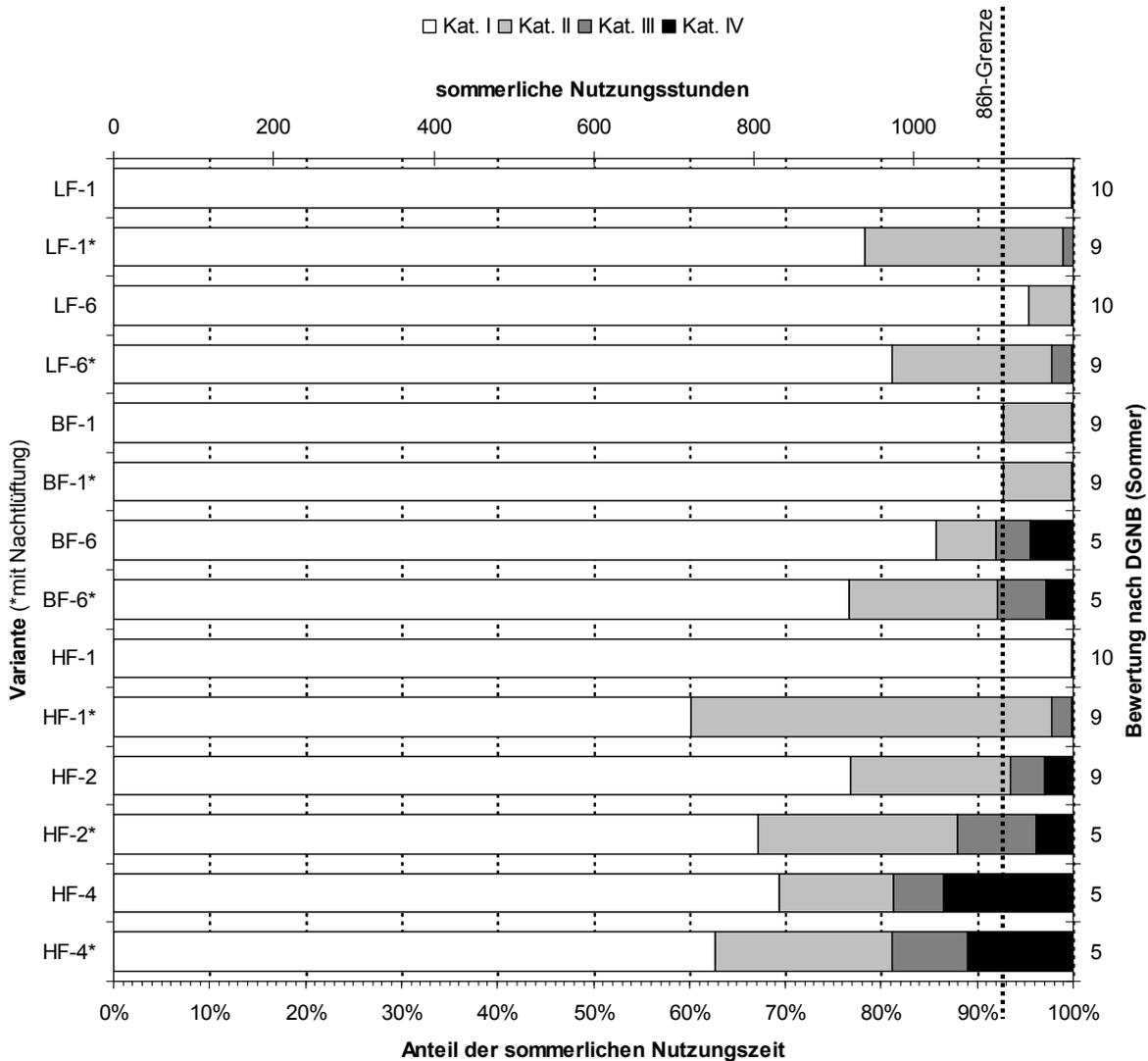


Bild 6.3: Thermische Behaglichkeit im Sommer für die untersuchten Varianten

Kategorie nach DIN EN 15251

□ Kat. I □ Kat. II ■ Kat. III ■ Kat. IV

uni: Temperatur-Überschreitung (zu warm)
gepunktet: Temperatur-Unterschreitung (zu kalt)

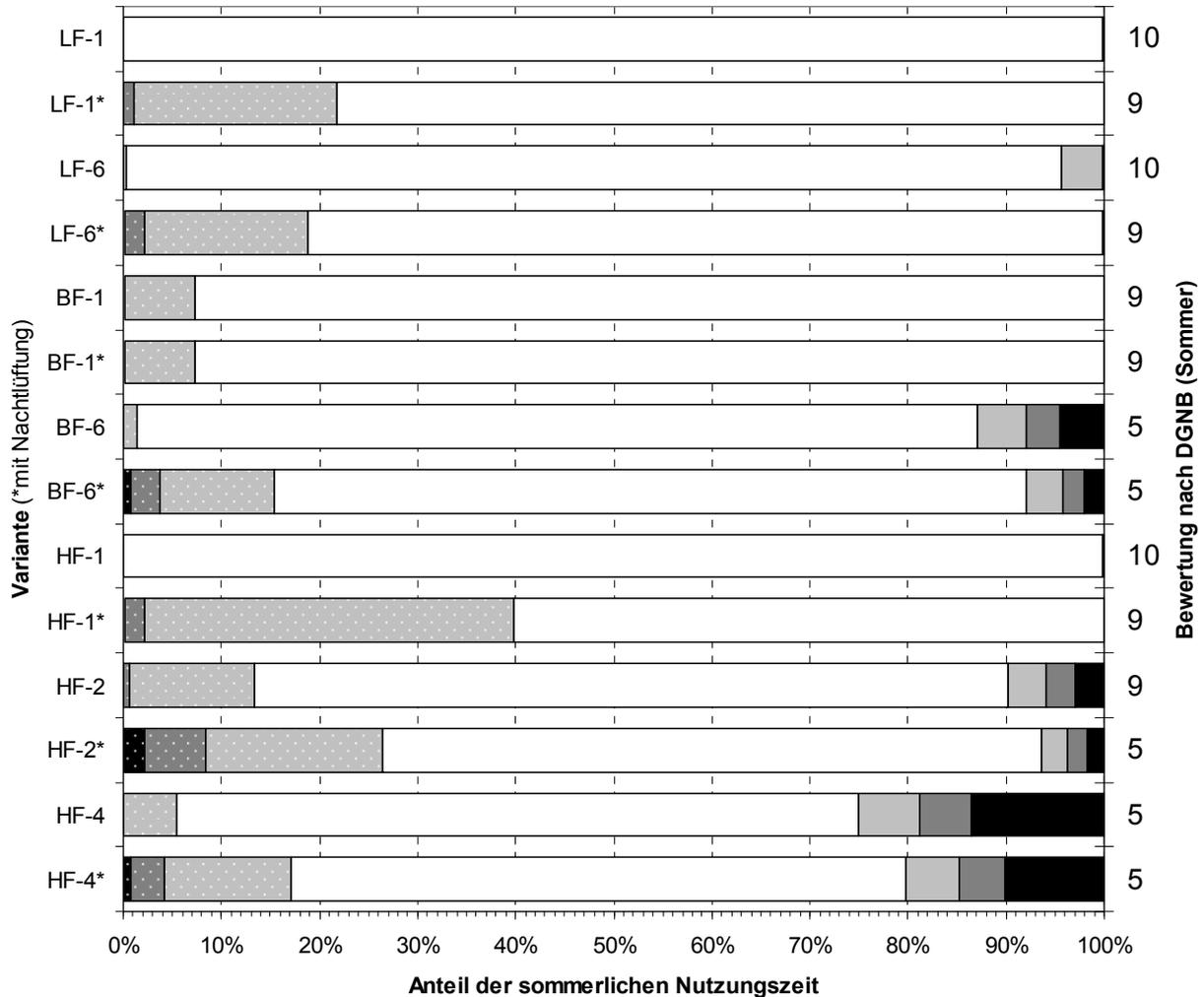


Bild 6.4: Thermische Behaglichkeit im Sommer für die untersuchten Varianten (Über- und Unterschreitung der Zieltemperatur)

7 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Dossier wurde anhand des Referenzgebäudes „der Stadtbaustein“ untersucht, welchen Beitrag eine flexibel nutzbare Tragstruktur aus Betonbauteilen zur Verringerung der ökologischen Auswirkungen und der Lebenszykluskosten im Vergleich zu einer herkömmlichen Tragstruktur leisten kann. Während die Flexible Tragstruktur ohne Abriss über den Betrachtungszeitraum von 100 Jahren für die beiden angenommenen Nutzungsvarianten „Büro“ (20 Jahre Zellen- und Teambüros, anschließend 20 Jahre offene Bürostruktur) und „Wohnen“ (60 Jahre) genutzt werden kann, erfolgen bei der herkömmlichen Tragstruktur nach der 40jährigen Büronutzung ein Abriss und ein Neubau, um den Anforderungen an die anschließende 60jährige Wohnnutzung gerecht zu werden. Für die beiden Varianten wurden jeweils sinnvolle Tragstrukturen entwickelt:

- Standardtragstruktur (Büronutzung, 40 Jahre): Flachdecke auf Stützen;
- Standardtragstruktur (Wohnnutzung, 60 Jahre): Decken mit tragenden Innenwänden;
- Flexible Tragstruktur (Büro- und Wohnnutzung, 100 Jahre): freitragende Platte über die Gebäudetiefe aus Spannbetonfertigteilen (vorgespannte Stegplatten) mit Calciumsulfatplatten als Abdeckung.

Bauteilkataloge für Dach, Außen- und Innenwände, Decken und die Technische Gebäudeausrüstung erweitern die Tragstruktur zum kompletten Gebäude und ermöglichen so eine ökologische und ökonomische Wirkungsabschätzung der Betontragstruktur im Vergleich zum Gesamtgebäude und den Betriebsaufwendungen.

Hinsichtlich der Ökobilanz des Stadtbausteins in den beiden betrachteten Varianten der Standardstruktur und der Flexiblen Tragstruktur unter Berücksichtigung der gewählten Nutzungsszenarien, eines vergleichbaren Ausführungsstandards und Energiebedarfs für die jeweilige Nutzung lässt sich folgendes Ergebnis zusammenfassen:

A) Ökologische Aspekte

Herstellungsphase des Stadtbausteins:

- a) Die Standardtragstruktur für den Wohnungsbau mit dem hohen Anteil tragender Wände führt zu einem hohen Beton- und geringem Stahlverbrauch. Die Flexible Tragstruktur für die Büro- und Wohnraumnutzung mit einem Minimum an vertikalen Traggliedern weist dagegen einen etwa doppelt so hohen Stahlverbrauch auf. Gleichzeitig wird weniger Beton, jedoch überwiegend mit höherer Festigkeit, benötigt.
- b) Gegenüber den heute üblichen Standardtragwerken für den Büro- und Wohnungsbau ergeben sich für das Tragwerk der Flexiblen Struktur mit Ausnahme der erneuerbaren Primärenergie um etwa 10-40 % größere Umweltauswirkungen. Die Umweltauswirkungen der drei untersuchten Tragsysteme der Obergeschosse Standard Wohnen, Standard Büro und Flexible Struktur liegen im Bereich von ± 20 % bezogen auf den Fall Standard Büro.
- c) Die Deckenbauteile machen bei allen Wirkungskategorien den größten Teil aus. Bei allen untersuchten Tragwerkstypen dominiert der Anteil des Betons mit etwa 50 bis 90 % der Gesamtwirkungen je nach Wirkungskategorie.
- d) Durch das stützenfreie und leichtere Tragsystem der Flexiblen Struktur kann im Bereich der Untergeschosse sowie der Gründung eine einfache und ressourcenschonende Konstruktion ausgeführt werden. Im Gegensatz dazu entsteht durch die bei den Standardtragstrukturen erforderliche Abfangung der Lasten aus den Obergeschossen ein erheblicher Mehraufwand. Dieser Kompensationseffekt führt dazu, dass die Umweltwirkungen der Flexiblen Struktur in der Herstellungsphase des Stadtbausteins je nach Wirkungskategorie lediglich in einem Bereich von 1 % bis 10 % über denen der Standardstruktur Büro liegen. Bei einigen Wirkungskategorien (AP, EP und POCP) ergeben sich für die Flexible Tragstruktur sogar geringere Werte.
- e) Das statische System der Untergeschosse wird von dem Tragsystem der Obergeschosse beeinflusst. Bei den flexibel gestalteten Obergeschossen ist in den Untergeschossen nicht nur keine zusätzliche Abfangung nötig, sondern durch einen verhältnismäßig geringen Mehraufwand bei den Bewehrungsgehalten in den Decken kann eine Flexibilisierung des Stützenbildes in den Untergeschossen erzielt werden.
- f) Werden Tragstruktur und Ausbaugewerke bei der Errichtung des Stadtbausteins gemeinsam betrachtet, so kann der Tragstruktur bei beiden Varianten 60 % des Treibhauspotenziales zugeordnet werden.

Anhand der Berechnungsvorgaben und dem Anforderungsniveau der Energieeinsparverordnung 2007 wurden für den Stadtbaustein bei den unterschiedlichen Nutzungs-Szenarien bzw. Tragstrukturen Energiebedarfswerte ermittelt, die in die jeweilige Öko-Bilanz des Stadtbausteins einfließen. Es zeigt sich, dass zwischen den Tragstrukturen Standard und Flexibel keine nennenswerten Unterschiede beim Energiebedarf auftreten. Größere Änderungen im Energiebedarf ergeben sich bei Nutzungsänderungen wie z. B. beim Wechsel von der Phase Büro I zur Phase Büro II.

Nutzungsphase des Stadtbausteins:

Die Nutzungsphase des Stadtbausteins umfasst den Betrieb (Heizung, Beleuchtung, Belüftung, Warmwasseraufbereitung, Kühlung etc.) und die Instandhaltung (u. a. Austausch von Baustoffen/Bauteilen mit geringeren Nutzbarkeitsdauern) des Gebäudes vom ersten bis zum letzten Jahr des Lebenszyklus (= 100 Jahre) einschließlich der Umnutzungen im 20. und 40. Jahr. Werden die Erstellung der Tragstruktur, der Ausbau und der Betrieb des Stadtbausteins über 100 Jahre gemeinsam betrachtet, lassen sich rd. 77 % (Standard) bzw. rd. 81 % (Flexibel) der Umweltwirkungen in der Ökobilanz den Betriebsaufwendungen zuordnen. Die Umweltwirkungen durch den Betrieb unterscheiden sich für die beiden Varianten nur geringfügig. Der Unterschied zwischen dem Standardgebäude und der Flexiblen Struktur ergibt sich im Wesentlichen durch den Abriss des Bürogebäudes und den Neubau des Wohnhauses bei der Standardvariante.

Beseitigungsphase:

Insgesamt sind am Ende des Lebenszyklus nach 100 Jahren bei der Flexiblen Struktur ca. 33.600 t Material zu entsorgen und bei dem Standard-Wohngebäude rund 42.700 t. Die Flexible Struktur hat rund ein Viertel weniger tragendes Material, dafür 6 % mehr Ausbaumaterial, was im Wesentlichen auf die leichten Innenwände sowie auf die optimierten Decken zurückzuführen ist. Aus dieser Massendifferenz lässt sich ableiten, dass die Aufwendungen für die Entsorgung der flexiblen Variante geringer sind.

Gesamtbetrachtung:

In der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus über 100 Jahre mit den angegebenen Umnutzungen stellt sich die Flexible Struktur insgesamt als die, unter ökologischen Gesichtspunkten, zu favorisierende Lösung dar. Die Vorteile der Flexiblen Struktur aus Herstellphase, Nutzungsphase und Beseitigungsphase ergeben sich auf Materialebene hauptsächlich durch die Einsparung an tragenden Bauteilen, die dadurch erreicht wird, dass die Tragstruktur der flexiblen Variante über 100 Jahre genutzt werden kann. Ähnlich wie für die Herstellphase machen auch, bezogen auf den gesamten Lebenszyklus, die Decken den größten Teil der Ökobilanz bei Betrachtung aller Bauteile aus, gefolgt von den Wänden.

Werden die Erstellung der Tragstruktur, der Ausbau und der Betrieb des Stadtbausteins über 100 Jahre betrachtet, lassen sich rd. 80 % (Standard) bzw. rd. 88 % (Flexibel) der Umweltwirkungen in der Ökobilanz den Betriebsaufwendungen zuordnen. Mit der zukünftig zu erwartenden weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen im Gebäudebereich wird sich der Einfluss der Betriebsaufwendungen zunehmend reduzieren. Durch die seit 01.10.2009 eingeführte „EnEV“ 2009 verringert sich der Primärenergiebedarf um etwa 30 % gegenüber der „EnEV“ 2007. Für die neue „EnEV“ ist eine weitere Verschärfung der Anforderungen an den Primärenergiebedarf um 30 % geplant. Damit spielt die Tragstruktur zukünftig eine größere Rolle bei der Nachhaltigkeitsbewertung. Die Umweltwirkungen durch den Betrieb unterscheiden sich für die beiden Varianten nur geringfügig.

Variation von Einzelaspekten bei der Flexiblen Struktur des Stadtbausteins:

Auf der Grundlage der einzelnen Baustoffprofile, Mengenangaben und gewählten energetischen Konzepte wurden im Rahmen des Dossiers weitergehende Variantenbetrachtungen für den Stadtbaustein mit der Flexiblen Struktur angestellt und deren Einfluss auf die Ökobilanz von Bauteilen, der Tragstruktur und des Stadtbausteins als gesamtes Gebäude dargestellt. Dabei wurden im Einzelnen folgende Varianten betrachtet:

- Veränderung der Zementart für die Bauteile des Untergeschosses und der Fertigteilssysteme;
- Veränderungen des Herstellungsverfahrens von Spannstahl;
- Veränderungen der Ausbauelemente;
- Betrachtung unterschiedlicher energetischer Anforderungsniveaus;
- Variation des statischen Systems und der Deckendicken im Untergeschoss;
- Anwendung unterschiedlicher Konzepte zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit der Tiefgarage im Untergeschoss.

Die Ergebnisse zu den o. a. Punkten lassen sich im Einzelnen wie folgt zusammenfassen:

Die Ökobilanz der Tiefgarage in den beiden Untergeschossen kann durch den Einsatz von CEM III/A verbessert werden. Zu beachten ist allerdings, dass der CEM II/A nicht in allen Teilen Deutschlands verfügbar ist und längere Transportwege für den CEM III/A die günstige Wirkung reduzieren.

Über den Lebenszyklus gewinnen bei der Tiefgarage die Bekleidungsmaterialien für den Ausbau und hier insbesondere die Beschichtung der Fahrbahndecke erheblich an Bedeutung. Sie machen zwar bei der Erstellung nur 1 % der Gesamtmasse des Baumaterials aus. Jedoch wird in der Betrachtung der Oberflächenschutz auf den befahrenen Parkdecks im 10-Jahresturnus erneuert. Dies führt dazu, dass über den Lebenszyklus betrachtet der Anteil der Bekleidungen an der Ökobilanz den der Tragstruktur übersteigt.

Die Umweltwirkungen des entwickelten Fertigteildeckensystems werden durch die im Beton eingesetzte Zementart beeinflusst. In der Herstellung der Fertigteile werden üblicherweise schnell erhärtende Zemente eingesetzt, um eine hohe Frühfestigkeit des Betons zu erreichen. Dem entspricht beispielsweise ein Zement CEM I 42,5 R eher als der Durchschnittszement, der über alle Zementarten in Deutschland gemittelt ist (Klinkeranteil rd. 74 M.-%). Dabei ergeben sich bezogen auf das Fertigteildeckensystem bei Einsatz des Betons C50/60 mit dem Zement CEM I 42,5 R im Vergleich zum Beton mit dem Durchschnittszement höhere potenzielle Umweltwirkungen, die bis zu 17 % im Falle des Treibhauspotenzials ausmachen können. Die

betrachteten Betone unter Verwendung der Zemente CEM I 42,5 R und CEM II/A-LL 52,5 N bzw. CEM II/A-S 52,5 N sind im Fertigteil in äquivalenter Weise einsetzbar. Im Hinblick auf die meisten Umweltwirkungen führt die Verwendung von CEM II/A-Zementen zu geringeren potenziellen Umweltwirkungen als die Verwendung des CEM I-Zements.

Bei Variation der Spannweite, Nutzlast und Betonfestigkeit einer Flachdecke ergeben sich die günstigsten Werte für die Decke mit der geringsten Dicke. Im Hinblick auf eine Ressourcenschonung bei der Herstellung von punktgestützten Flachdecken kann als Konstruktionsregel die Wahl einer möglichst geringen Deckendicke empfohlen werden.

Weiterhin wird der Einfluss unterschiedlicher Ausbauvarianten auf die Ökobilanz des Stadtbausteins untersucht. Bei identischer Tragstruktur kann alleine durch Veränderung der Ausbaumaterialien unter Beibehaltung des technischen Anforderungsprofils die Ökobilanz des Gesamtgebäudes deutlich beeinflusst werden. Die ungünstigste der betrachteten Varianten verursacht rund 61 % mehr Treibhauspotenzial als die günstigste Variante.

Wird das energetische Anforderungsniveau des flexiblen Stadtbausteins gegenüber dem Anforderungsniveau der „EnEV“ 2007 dahingehend angehoben, dass der Nutzwärmebedarf maximal 15 kWh/(m²a) beträgt, verringert sich der Primärenergiebedarf je nach Nutzungsszenario zwischen 15 % und 24 %. Dabei hat die Bauschwere kaum Einfluss auf den Primärenergiebedarf. Durch eine schwere Bauart, wie sie durch die Betonbauweise hergestellt werden kann, lässt sich der Primärenergiebedarf um maximal 2 % gegenüber einer leichten Bauart verringern. Anders verhält es sich beim Einfluss der Bauschwere auf die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes, was in vorhergehenden Untersuchungen betrachtet wurde (s. DfStb-Heft 572). Durch entsprechende Speichermassen verringern sich i. d. R. Temperaturspitzen im Raum und thermische Lasten können bei Vorhandensein entsprechender Entlademechanismen (Nachtlüftung, Betonkernaktivierung) abgefangen werden.

Für die Ökobilanz der Instandhaltung der Tiefgarage in den Untergeschossen werden zwei verschiedene Variantenberechnungen durchgeführt (verschiedene Dauerhaftigkeitskonzepte). Dabei wird eine Nutzungsdauer der Tiefgarage von 100 Jahren vorausgesetzt.

- Variante 1: Vollbeschichtete Fläche mit folgenden Untervarianten
 - Variante 1.1: Ersatz der Beschichtung alle 10 Jahre
 - Variante 1.2: Ersatz der Beschichtung alle 20 Jahre
- Variante 2: Teilbeschichtung inklusive Monitoringsystem
 - Variante 2.1: angenommener Ersatz der Beschichtung alle 10 Jahre
 - Variante 2.2: angenommener Ersatz der Beschichtung alle 20 Jahre

Um zu untersuchen, wie sich die oben dargestellten Varianten auf die Ökobilanz der Tiefgarage auswirken, wurde für Variante 1 und Variante 2 jeweils eine Ökobilanz über den Betrachtungszeitraum von 100 Jahren berechnet. In Variante 1 wurde für den Beton das generische Baustoffprofil verwendet, das einen Branchendurchschnitt der in Deutschland verwendeten Transportbetone darstellt und bei dem ein Zement mit einem mittleren Klinkergehalt in Kombination mit Flugasche eingesetzt wurde. In Variante 2 wurde für die Decke über dem zweiten Untergeschoss das Baustoffprofil eines Betons verwendet, dessen Rezeptur Portlandzement und Flugasche enthält. In der Herstellung unterscheidet sich die Ökobilanz der untersuchten Varianten kaum. Zwar ist das Baustoffprofil des Betons mit Portlandzement in Kombination mit Flugasche ungünstiger als der Branchendurchschnitt, dafür kann aufgrund des hohen Chlorideindringwiderstandes dieses Betons auf einen Teil der Beschichtung der Decke über dem zweiten Obergeschoss verzichtet werden. So bleibt das Treibhauspotenzial für die Herstellung beider Varianten in der Summe etwa gleich. Über den angenommenen Lebenszyklus von 100 Jahren zeigt sich in der Ökobilanz ein deutlicher Vorteil für die Teilbeschichtungsstrategie. Die Größe der Einsparungen ist davon abhängig, in welchen Abständen das Oberflächenschutzsystem planmäßig erneuert werden muss. Es ergibt sich ein Vorteil von 16 % (Variante 2 gegenüber Variante 1 bei einer Neubeschichtung im Zyklus von 10 Jahren) bzw. 10 % (Variante 2 gegenüber Variante 1 bei einer Neubeschichtung im Zyklus von 20 Jahren). Auch in den anderen Wirkungskategorien ist dieser Vorteil sichtbar.

B) Ökonomische Aspekte

Die durchgeführte Lebenszyklusrechnung für den Stadtbaustein zeigt, dass sich eine Flexible Struktur und ein hoher energetischer Standard über die Betrachtungsdauer von 100 Jahren rentieren. Der Baustoff Beton hat dabei einen Anteil von rund 8 bis 10 % an den Lebenszykluskosten.

Die Untersuchungen zeigen auch, dass die Ergebnisse sehr stark von den Eingangsparametern abhängen. Die Herstellkosten können abhängig von regionalen Besonderheiten oder dem geforderten Ausstattungsstandard sehr stark schwanken. Für den Betonbau lässt sich festhalten, dass mit steigendem Ausstattungsstandard der Kostenanteil des Betons sinkt. Ein weiterer Effekt beeinflusst die Bedeutung des Betons als Kostenfaktor. Mit der Veränderung der Auf- bzw. Abzinsungsfaktoren verschiebt sich das Gewicht der Investitionen zu späteren Zeitpunkten im Lebenszyklus. Mit einem positiven Verhältnis zwischen Zins- und Diskontierungsfaktor ergibt sich ein geringes Gewicht für die späten Kostenströme im Lebenszyklus. Da die Ausgaben für Betonbauteile überwiegend in der Herstellung entstehen, erhöht dies den Anteil des Betons an den Lebenszykluskosten.

Positive Kosteneffekte lassen sich durch die Anwendung eines Dauerhaftigkeitskonzeptes für die Tiefgaragenbeschichtung erzielen. Es kann gezeigt werden, dass sich, abhängig von der Größe der zu beschichtenden Fläche, deutliche Kostenvorteile ergeben können. Im Einzelfall ist zu prüfen, ob die Einsparungen über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren die Mehrkosten für das Monitoring rechtfertigen.

8 AUSBLICK

Aufbauend auf und begleitend zu den 5 Forschungsprojekten

- Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau (Projekt B) /47/;
- Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau (Projekt C) /52/;
- Lebensdauermanagementsystem (Projekt D) /59/;
- effiziente Sicherstellung der Umweltverträglichkeit (Projekt E) /1/;
- Informationsplattform „Nachhaltig Bauen mit Beton“ (Projekt F) /60/

und den Erkenntnissen aus diesem Dossier werden innerhalb des DAfStb die „Grundsätze des nachhaltigen Bauens mit Beton (GrunaBau)“ erarbeitet. Die Arbeit orientiert sich konzeptionell an den Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen (GruSiBau) und an DIN EN 1990 „Grundlagen der Tragwerksplanung“. Diese enthalten konkrete Zahlenangaben wie z. B. Versagenswahrscheinlichkeiten oder Zuverlässigkeitsindices für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit. Im Unterschied dazu legt die GrunaBau die Grundlagen der Nachweisführung fest und gibt verallgemeinerte technische Empfehlungen, mit deren Hilfe die Kenngrößen zur Nachhaltigkeit eines Bauwerkes, Bauwerkteils oder baulicher Elemente aus Beton quantifiziert werden können. Ziel- und Grenzwerte ergeben sich bei einer Nachhaltigkeitsanalyse zunächst ganz allgemein aus gesetzlichen Vorgaben (z. B. Einhaltung der „EnEV“, Einhaltung der Technischen Baubestimmungen) oder aus nachhaltigkeitsrelevanten Festlegungen, die zwischen den am Bau Beteiligten (z. B. Planer, Bauherr) vereinbart werden müssen (z. B. Grenzwerte der Ökobilanzindikatoren, Anforderungen an die Flexibilität/Adaptivität).

Der Beschreibung des Anwendungsbereiches im ersten Abschnitt der Richtlinie folgt nach den normativen Verweisungen in dem dritten Abschnitt eine umfassende Zusammenstellung der Begriffe, die in die GrunaBau Eingang finden. Begriffsdefinitionen sind insbesondere in dem komplexen Bereich des nachhaltigen Bauens essentiell zur Sicherstellung eines einheitlichen Sprachgebrauches. In dem vierten Abschnitt der GrunaBau sind die Grundlagen der Nachhaltigkeitsbeurteilung enthalten. Bestandteil dieses Abschnittes sind Angaben zum Lebenszyklusmodell, zu den Systemgrenzen, zur Bildung von Szenarien für die Nachhaltigkeitsbewertung sowie zu der Auflistung der für den Betonbau relevanten Kriterien der Nachhaltigkeitsbeurteilung. Zu den betrachteten Aspekten der Nachhaltigkeit gehören die Kriterien zur ökologischen Qualität, zur ökonomischen Qualität, zur soziokulturellen und zur funktionalen Qualität sowie Kriterien für die technische Qualität. Für den Aspekt der ökologischen Wirkung wurden z. B. die folgenden für den Betonbau wesentlichen Indikatoren festgelegt:

- Treibhauspotenzial (GWP),
- Ozonabbaupotenzial (ODP),
- Versauerungspotenzial (AP),
- Eutrophierungspotenzial (EP),
- Ozonbildungspotenzial (POCP),
- Verbrauch an erneuerbarer / nicht erneuerbarer Primärenergie (PE e./PE n. e.).

Weiterhin enthält die GrunaBau in diesem Abschnitt die erforderlichen Methoden und Instrumente, die für die Beurteilung der verschiedenen Aspekte der Nachhaltigkeit angewendet werden. So erfolgt zum Beispiel die

Ökobilanz auf Basis der DIN EN ISO 14040. Die Lebenszykluskosten werden in Anlehnung an die ISO 15686-5 ermittelt. Entscheidend für die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung ist eine stabile und konsistente Datenbasis, wie sie zum Beispiel in der Datenbank „Ökobau.dat“ des BMVBS für verschiedene Stoffe und Produkte enthalten ist (s. a. www.nachhaltigesbauen.de). Daneben sind alle durchgeführten Schritte innerhalb der Nachhaltigkeitsbewertung zu dokumentieren.

Der fünfte Abschnitt der GrunaBau widmet sich der Durchführung der Nachhaltigkeitsbeurteilung. Kernstück der Nachhaltigkeitsbeurteilung ist die Festlegung des so genannten Anforderungsprofils. In dem Anforderungsprofil werden alle Anforderungen für die Bewertung festgelegt. Hierzu gehören zum Beispiel die verschiedenen Kriterien (z. B. Kriterien für die Ökobilanzierung), die betrachtet werden sollen sowie die verwendeten Nachweisverfahren. In den weiteren Schritten der Planung, Nutzung und Beseitigung des Gebäudes wird dieses Anforderungsprofil als sogenanntes Realisierungsprofil fortgeschrieben und dem Bauablauf entsprechend verfeinert. In jedem Schritt der Nachhaltigkeitsbewertung sind Anpassungen beziehungsweise Änderungen des Realisierungsprofils zu dokumentieren. Durch die Fortschreibung dieses Profils über die verschiedenen Schnittstellen kann sichergestellt werden, dass die in der Konzeptionsphase festgelegten Anforderungen auch im Bauwerk erreicht bzw. Änderungen dokumentiert werden.

Der sechste Abschnitt der GrunaBau sieht schließlich vereinfachte technische Empfehlungen für die Umsetzung des nachhaltigen Bauens mit Beton für die folgenden Phasen des Lebenszyklus vor:

- Herstellung von Baustoffen,
- Planung von Betonbauwerken,
- Bauausführung von Betonbauwerken,
- Umbau von Betonbauwerken,
- Beseitigung von Betonbauwerken.

Insgesamt liefert die GrunaBau damit die Methoden und Instrumente sowie die technischen Empfehlungen für das nachhaltige Bauen mit Beton über den gesamten Lebenszyklus. Die Veröffentlichung als Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton wird im Jahr 2015 erwartet.

9 LITERATUR

- /1/ Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ - Effiziente Sicherstellung der Umweltverträglichkeit von Beton - Teilprojekt E. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Berlin: Beuth Verlag, Heft 584, 2011
- /2/ Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Berlin: Beuth Verlag, Heft 572, 2007
- /3/ DIN 1055-1:2002-06, Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen
- /4/ DIN 1055-3:2006-03, Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten
- /5/ DIN 1055-4:2005-03, Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 4: Windlasten
- /6/ Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Energieeinsparverordnung („EnEV“ vom 24.07.2007)
- /7/ DIN 1055-5:2005-07, Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 5: Schnee- und Eislasten
- /8/ DIN 1055-9:2003-08, Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 9: Außergewöhnliche Einwirkungen
- /9/ DIN 4085:2007-10, Baugrund - Berechnung des Erddrucks
- /10/ DIN 1054:2005-01, Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1:2009-09
- /11/ DIN 4149:2005-04, Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten
- /12/ DIN 4102, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
- /13/ DIN 4109:1989-11, Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise
- /14/ DIN 4108, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
- /15/ DIN 18195, Bauwerksabdichtungen
- /16/ DIN V 18599:2007-02, Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung
- /17/ DIN V 18599-10:2007-02, Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten
- /18/ DIN V 18599-4:2007-02, Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung
- /19/ Herzog, K.: Lebenszykluskosten von Baukonstruktionen. Dissertation TU Darmstadt. 2005 gemäß NS 3454: Norwegian Standards Organisation: Life Cycle Costs for building and civil engineering work - Principles and classification. 2000
- /20/ Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V.: Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude Version 2009. Steckbrief Umnutzungsfähigkeit. Stuttgart, 18.10.2009
- /21/ Eisele, J.; Staniek, B. (Hg.): BürobauAtlas. Grundlagen, Planung, Technologie, Arbeitsplatzqualitäten. München: Callwey, 2005, S. 63ff, S.83
- /22/ Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit: Verordnung über Arbeitsstätten. ArbStättV, vom 12.08.2004, zuletzt geändert am 19.12.2008. In: Bundesgesetzblatt, S. 2179
- /23/ Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung: Verordnung über Arbeitsstätten. ArbStättV, vom 20.3.1975, zuletzt geändert am 1.8.1983. In: Bundesgesetzblatt, S. 729
- /24/ Frank, W.: Raumklima und thermische Behaglichkeit. Literaturobwertung durchgeführt im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Beuth, Berlin, 1975 (Berichte aus der Bauforschung, 104)
- /25/ DIN EN ISO 7730:2006-05, Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005)

- /26/ DIN EN 15251:2007-08, Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007
- /27/ Pistohl, W.: Handbuch der Gebäudetechnik. Planungsgrundlagen und Beispiele. Band 2. 6., neu bearb. und erw. Aufl. Düsseldorf: Werner, 2007, S. H8
- /28/ Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V.: Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude Version 2009. Steckbrief Thermischer Komfort im Sommer. Stuttgart. 06.08.2009
- /29/ Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V.: Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude Version 2009. Steckbrief Thermischer Komfort im Winter. Stuttgart. 06.08.2009
- /30/ Sinnesbichler, H.; Lindauer, E.; Heusler, I.; Erhorn, H.: Energieeffiziente Bauwerke aus Beton – Teilprojekt C3: Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Berlin: Beuth Verlag (2007), Heft 572, S. 327–340
- /31/ Informationsportal Nachhaltiges Bauen: Baustoff- und Gebäudedaten. Ökobau.dat. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) - Referat Nachhaltiges Bauen (Berlin), 2009. Online verfügbar unter <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html>, zuletzt geprüft am 15.10.2009
- /32/ PE; LBP: GaBi Software-System and Databases for Life Cycle Engineering. Version 4. Stuttgart: PE International. 2007
- /33/ Boustead, I.: Eco-profiles for the European Plastics Industry. Polyetherpolyol. A report for PlasticsEurope. PlasticsEurope (Brüssel), 2005
- /34/ Boustead, I.: Eco-profiles for the European Plastics Industry. Diphenylmethane diisocyanate (MDI). A report for PlasticsEurope. PlasticsEurope (Brüssel), 2005. zuletzt geprüft am 22.10.2009
- /35/ Boustead, I.: Eco-profiles for the European Plastics Industry. Liquid Epoxy Resins. A report for PlasticsEurope. PlasticsEurope (Brüssel), 2005, zuletzt geprüft am 15.10.2009
- /36/ Flüssigkunststoffe als Industriefußbodenschutz- und -sanierungssysteme. In: Das Maler- und Lackiererhandwerk 43 (1991) Nr.1, S.4-6, 8, ISSN: 0343-4079
- /37/ Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude Version 2009. Steckbrief Treibhauspotenzial (GWP). Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. Online verfügbar unter www.dgnb.de, zuletzt aktualisiert am 06.08.2009, zuletzt geprüft am 15.10.2009
- /38/ Öko-Institut: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS). Version 4.5. Darmstadt, 2008. Online verfügbar unter <http://www.gemis.de/>
- /39/ Ökobilanzielle Baustoffprofile von Transportbeton der Druckfestigkeitsklassen C20/25, C25/30 und C30/37. Bundesverband der deutschen Transportbetonindustrie, BTB (Hrsg.) - Duisburg, 2007
- /40/ Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Berlin). 2001
- /41/ StoCretec GmbH: Technisches Merkblatt StoPur EZ 505. Gültigkeit ab 20.05.2009
- /42/ Schwamborn, B.: OS 11a (zweischichtig) - Baustoffprofil für Ökobilanzen - Systemverbräuche. Kiwa Polymer Institut GmbH, Flörsheim-Wicker. E-Mail an Udo Wiens. 20.7.2009
- /43/ Schwamborn, B.: Entsorgungsweg für das Oberflächenschutzsystem OS 11a. Telefonische Mitteilung an Carolin Roth. 11.11.2009
- /44/ Sto AG (Hg.): EG-Sicherheitsdatenblatt. StoPox GF Komp. A. Rüsselsheim. 2006
- /45/ ecoinvent Centre (Swiss Centre for Life Cycle Inventories): ecoinvent data. Version 2.1. Online verfügbar unter <http://www.ecoinvent.org/database/>. 07.05.2009
- /46/ Hegger, J.; Will, N.; Dreßen, T.; Schneider, H. N.; Brunk, M. F.; Zilch, K.: Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau – Teilprojekt C1: Gebäudekonzepte für flexible Nutzung. In: Schriftenreihe des DAfStB, Berlin: Beuth Verlag (2007), Heft 572, S. 275–325
- /47/ Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ - Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau - Teilprojekt B. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Berlin: Beuth Verlag, Heft 584, 2011

- /48/ DIN V 4108-6:2003-06: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
- /49/ Verein Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ), Forschungsinstitut der Zementindustrie: Zement-Taschenbuch. Verlag Bau + Technik, 2008
- /50/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): Erläuterungen zu DIN 1045-1. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Berlin: Beuth Verlag, Heft 525, 2003
- /51/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): Erläuterungen zu den Normen DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-4 und DIN 4226. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Berlin: Beuth Verlag, Heft 526, 2003
- /52/ Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ - Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau - Teilprojekt C. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Berlin: Beuth Verlag, Heft 585, 2011
- /53/ Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein: Merkblatt Parkhäuser und Tiefgaragen, Fassung Januar 2005
- /54/ DIN 1045-1:2001-07, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
- /55/ Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinie für Ingenieurbauten ZTV ING, Dortmund 2003
- /56/ Schießl, P.; Gehlen, Ch.; Kapteina, G.; Dauberschmidt, Ch.: Monitoring von Stahlbetonbauwerken mit Hilfe von Korrosionssensoren – Anwendungen, Auswertungen und Implementierung der Ergebnisse in einer Dauerhaftigkeitsprognose. In: Sicherheitsgewinn durch Monitoring? Festschrift zum 65. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Grübl, Darmstadt, 2006
- /57/ Schießl, P. et al.: Model Code for Service Life Design. fib bulletin 34, 2006
- /58/ Positionspapier des DAfStb zur Umsetzung des Konzepts von leistungsbezogenen Entwurfsverfahren unter Berücksichtigung von DIN EN 206-1, Anhang J; Beton- und Stahlbetonbau 103, Heft 12, 2008
- /59/ Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ - Lebenszyklusmanagementsystem zur Nachhaltigkeitsbeurteilung - Teilprojekt D. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Berlin: Beuth Verlag, Heft 586, 2011
- /60/ Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ - Informationssystem „NBB-Info“ - Teilprojekt F. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Berlin: Beuth Verlag, Heft 587, 2011
- /61/ ISO 15686-5:2008-06, Hochbau und Bauwerke - Planung der Lebensdauer - Teil 5: Kostenberechnung für die Gesamtlebensdauer
- /62/ DIN EN 13779:2007 Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme
- /63/ DIN 18960:2008-02, Nutzungskosten im Hochbau
- /64/ Schießl, P.; Mayer, T.: Lebensdauermanagementsystem – Teilprojekt A2. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Berlin: Beuth Verlag (2007), Heft 572, S. 53-104
- /65/ DIN 276, Kosten im Bauwesen
- /66/ Preissteigerungsraten: Messzahlen für Bauleistungspreise und Preisindizes für Bauwerke, Statistisches Bundesamt. In: Fachserie 17/Reihe 4, SFG – Servicecenter Fachverlag, Wiesbaden
- /67/ VDI 2067, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen
- /68/ Baukosteninformationszentrum Deutscher Architekten (Hrsg.) (2007) BKI Baukosten, Teil 2 Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente. Stuttgart 2007

Anhang A

A1 Bauteilaufbauten – Flexible Struktur

A1.1 Dachaufbauten

Tabelle A1.1: Dach Typ I: Nichtbelüftetes ungenutztes Flachdach (Alternative zu Typ III)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Tragschicht	Spannbetonhohlplatte VMM SCD 32,0	0,32	-	1,28	310
Ausgleichschicht	Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5
Dampfsperre	Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5
Gefälledämmung	XPS 30 WLG 035	0,18	30	0,035	5
Dachabdichtung	Polymerbitumenschweißbahn 2-lagig	0,01	1200	0,17	12

Tabelle A1.2: Dach Typ II: Nichtbelüftetes ungenutztes Flachdach mit Kiesschüttung (Alternative zu Typ III)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003			
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Tragschicht	Spannbetonhohlplatte VMM SCD 32,0	0,32		1,28	310
Ausgleichschicht	Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5
Dampfsperre	Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5
Gefälledämmung	XPS 30 WLG 035	0,18	30	0,035	5
Dachabdichtung	Polymerbitumenschweißbahn 2-lagig	0,01	1200	0,17	12
gewaschener Kies	lose Kiesschüttung	0,08	1800	0,7	144

Tabelle A1.3: Dach Typ III: Nichtbelüftetes ungenutztes Flachdach mit extensiver Begrünung

Bezeichnung		Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-		-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1		2	3	4	5	6
Oberfläche		Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	1300	-	-
Vorbehandlung		Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Tragschicht		Spannbetonhohlplatte VMM SCD 32,0	0,32		1,28	310
Ausgleichschicht		Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5
Dampfsperre		Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5
Gefälledämmung		XPS 30 WLG 035	0,18	30	0,035	5,4
Dachabdichtung		Polymerbitumenschweißbahn 2-lagig	0,01	1200	0,17	12
extensive Begrünung	Wurzelschutzschicht	ECB-Bahn	0,0018	970	-	1,75
	Schutzschicht	Fasermatte aus Polypropylen	0,004	75	-	0,3
	Dränschicht	Blähtonfüllung	0,03	1000	-	30
	Filterschicht	Filtervlies aus Polypropylen	0,001	100	-	0,1
	Vegetationsschicht		0,05	1000	-	50

A1.2 Außenwandaufbauten**Tabelle A1.4:** Außenwand Typ I: hinterlüftetes Aluminiumblech mit Dämmung aus Glaswolle (Alternative zu Typ IV)

Bezeichnung		Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-		-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1		2	3	4	5	6
Oberfläche		Gipsputz	0,003	1400	0,7	4,2
Tragschicht		Stahlbetonwände Fertigteile	0,2	2300	2,1	460
Dämmung		Glaswolle	0,12	100	0,035	12
Luftschicht		-	0,02	-	-	-
Fassadenbekleidung		Aluminiumblech, eloxiert	0,002	2800	200	5,6

Tabelle A1.5: Außenwand Typ II: hinterlüftetes Aluminiumblech mit Dämmung aus Mineralfaserplatte (Alternative zu Typ IV)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Kalkgipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht	Stahlbetonwände Fertigteile	0,2	2300	2,1	460
Dämmung	Mineralfaserplatte	0,15	150	0,035	22,5
Luftschicht	-	0,02	-	-	-
Fassadenbekleidung	Aluminiumblech, eloxiert	0,002	2800	200	5,6

Tabelle A1.6: Außenwand Typ III: hinterlüftete Faserzementplatte (Alternative zu Typ IV)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Kalkgipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht	Stahlbetonwände Fertigteile	0,2	2300	2,1	460
Dämmung	Mineralfaserplatte	0,15	150	0,035	22,5
Luftschicht	-	0,02	-	-	-
Fassadenbekleidung	Faserzementplatte	0,012	2000	0,6	24

Tabelle A1.7: Außenwand Typ IV: hinterlüftete Natursteinbekleidung

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Kalkgipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht	Stahlbetonwände Fertigteile	0,2	2300	2,1	460
Dämmung	Mineralfaserplatte	0,15	150	0,035	22,5
Luftschicht	-	0,02	-	-	-
Fassadenbekleidung	Naturstein freihängend	0,04	2600	2,3	104

Tabelle A1.8: Außenwand Typ V: Wärmedämm-Verbundsystem

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Kalkgipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht	Stahlbetonwände Fertigteile	0,2	2300	2,1	460
Dämmung	WDVS 035 Polystyrol	0,15	40	0,035	8
Fassadenbekleidung	Isolierputz, mineral. Außenputz	0,03	1800	0,8	54

Tabelle A1.9: Außenwand Typ V: Betonwerksteinfassade

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche/Tragschicht	Stahlbetonwände Fertigteile	0,2	2300	2,1	460
Dämmung	Kerndämmung Mineralwolle WLG040	0,16	100	0,04	16
Fassadenbekleidung	Betonwerkstein	0,05	2300	2,1	115

Tabelle A1.10: UG-Außenwand Typ I: Ortbetonwand mit Perimeterdämmung

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0005	-	-	-
Tragschicht	Stahlbeton C25/30	0,25	2400	2,1	600
Perimeterdämmung	XPS 40 WLG 038	0,1	40	0,038	4

A1.3 Innenwandaufbauten

Tabelle A1.11: Innenwand Typ I: Gipskartonständerwand (beidseitig einfache Beplankung)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Bekleidung	Gipskartonplatte	0,0125	800	0,25	10
Tragschicht	Metallständer	0,05	7800	50	1,8
Dämmung	Mineralwolle	0,04	100	0,04	4
Bekleidung	Gipskartonplatte	0,0125	800	0,25	10
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-

Tabelle A1.12: Innenwand Typ II: Gipskartonständerwand (beidseitig doppelte Beplankung)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Bekleidung	2 x Gipskartonplatte	0,025	800	0,25	20
Tragschicht	Metallständer	0,05	7800	50	1,8
Dämmung	Mineralwolle	0,04	100	0,04	4
Bekleidung	2 x Gipskartonplatte	0,025	800	0,25	20
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-

Tabelle A1.13: Innenwand Typ III: beidseitig doppelte Beplankung, einseitig Fliesenbelag

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Bekleidung	2 x Gipskartonplatte	0,025	800	0,25	20
Tragschicht	Metallständer (verzinktes Stahlblech)	0,05	7800	50	1,8
Dämmung	Mineralwolle	0,04	100	0,04	4
Bekleidung	2 x Gipskartonplatte	0,025	800	0,25	20
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Oberfläche	Fliesenbelag	0,01	2200	2,3	22

Tabelle A1.14: Innenwand Typ IV: Doppelständerwerk, beidseitig doppelte Beplankung (Wohnungs- / Bürotrennwand zwischen Nutzungseinheiten)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Bekleidung	2 x Gipskartonplatte GKF	0,025	900	0,25	22,5
Tragschicht	Metallständer, Schwingbügelkonstr.	0,075	7800	50	2,1
Dämmung	Mineralwolle	0,05	100	0,04	5
Bekleidung innen	Gipskartonplatte	0,0125	800	0,25	10
Distanzstreifen	Filz o. ä.	0,04	120	0,05	0,4
Tragschicht	Metallständer, Schwingbügelkonstr.	0,075	7800	50	2,1
Dämmung	Mineralwolle	0,04	100	0,04	4
Bekleidung	2 x Gipskartonplatte GKF	0,025	900	0,25	22,5
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-

Tabelle A1.15: Innenwand Typ V: Stahlbetonwand mit Vorsatzschale als Gipskartonständerwandkonstruktion (Treppenhauswand)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Bekleidung	1 x Gipskartonplatte GKB	0,0125	900	0,25	11,25
Tragschicht	Metallständer, Schwingbügelkonstr.	0,05	7800	50	1,8
Dämmung	Mineralwolle	0,04	100	0,04	4
Tragschicht	Stahlbeton	0,25	2400	2,1	600
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-

A1.4 Stützen und Unterzüge

Tabelle A1.16: Stütze Typ IV: Stahlbetonstütze Obergeschosse

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Tragschicht	Stahlbeton C40/50	0,24*0,24	2400	-	-

Tabelle A1.17: Stütze Typ V: Stahlbetonstütze Obergeschosse

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Tragschicht	Stahlbeton C30/37	0,24*0,24	2400	-	-

Tabelle A1.18: Stütze Typ VI: Stahlbetonstütze Untergeschosse

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Tragschicht	Stahlbeton C25/30	0,30*0,30	2400	-	-

Tabelle A1.19: Unterzug Typ I: Stahlbetonunterzug Obergeschosse

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Tragschicht	Stahlbeton C40/50	0,24*0,36	2400	-	-

Tabelle A1.20: Unterzug Typ II: Stahlbetonunterzug Obergeschosse

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Tragschicht	Stahlbeton C30/37	0,24*0,36	2400	-	-

A1.5 Geschossdecken

Tabelle A1.21: Decke Typ I: Calciumsulfatplatte (Decke über EG bis Decke über 5. OG)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Deckenkonstruktion	Stahlbetonfertigteilsystemdecke	0,47	2300	2,1	464
Trittschall	systemabhängig	0,005	150	0,055	0,4
Doppelboden	Calciumsulfatplatten 60 x 60 x 4cm	0,04	2100	1,2	84
Bodenaufbau Variante 1	Teppichboden geklebt	0,005	300	-	1,5
Bodenaufbau Variante 2	Naturstein geklebt	0,015	2700	-	41
Bodenaufbau Variante 3	Fliesen geklebt, Abdichtung	0,01	2200	-	22
Bodenaufbau Variante 4	Klebeparkett	0,01	500	-	5

Tabelle A1.22: Decke Typ II: Calciumsulfatplatte mit Heizleitungen (Alternative zu Typ I)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Deckenkonstruktion	Stahlbetonfertigteilsystemdecke	0,47	2300	2,1	464
Trittschall	systemabhängig	0,005	150	0,055	0,4
Doppelboden Heizung	Calciumsulfatplatten 60 x 60 x 4cm	0,04	2100	1,2	84
Bodenaufbau Variante 1	Teppichboden geklebt	0,005	300	-	1,5
Bodenaufbau Variante 2	Naturstein geklebt	0,015	2700	-	41
Bodenaufbau Variante 3	Fliesen geklebt, Abdichtung	0,01	2200	-	22
Bodenaufbau Variante 4	Klebeparkett	0,01	500	-	5

Tabelle A1.23: Decke Typ III: Stahlbetonfertigteile als Abdeckung (Alternative zu Typ I)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Deckenkonstruktion	Stahlbetonfertigteilsystemdecke	0,47	2300	2,1	464
Trittschall	systemabhängig	0,005	150	0,055	0,4
Boden	Betonfertigteileplatten	0,06	2300	2,1	138
Bodenaufbau Variante 1	Teppichboden geklebt	0,005	300	-	1,5
Bodenaufbau Variante 2	Naturstein geklebt	0,15	2700	-	41
Bodenaufbau Variante 3	Fliesen geklebt, Abdichtung	0,01	2200	-	22
Bodenaufbau Variante 4	Klebeparkett	0,01	500	-	5

Tabelle A1.24: Decke Typ V: gegen UG gedämmte Ortbetondecke mit Estrich (Decke über 1. UG mit Flexibilisierungsoption)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Kaschierung	Glasvlies	0,0004	100	0,035	0,04
Dämmung	Mineralfaser	0,1	26	0,0338	2,6
Tragschicht	Stahlbeton C25/30	0,28	2400	2,3	672
Trittschall	Polystyrol Hartschaum	0,03	30	0,055	0,4
Estrich	Zementestrich	0,05	2000	1,4	100
Bodenaufbau Variante 1	Teppichboden geklebt	0,005	300	-	1,5
Bodenaufbau Variante 2	Naturstein geklebt	0,015	2700	-	41
Bodenaufbau Variante 3	Fliesen geklebt, Abdichtung	0,01	2200	-	22
Bodenaufbau Variante 4	Klebeparkett	0,01	500	-	5

Tabelle A1.25: Decke Typ VII: Ortbetondecke mit Oberflächenschutzsystem (Decke über 2. UG mit Flexibilisierungsoption)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Dispersion)	0,0003	-	-	-
Tragschicht	Stahlbeton C35/45	0,28	2400	2,3	672
Oberfläche	OS 11a	0,005	2200	-	11

A1.6 Bodenplatte

Tabelle A1.26: Bodenplatte Typ I: mit Oberflächenschutzsystem

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Tragschicht	Stahlbeton C35/45	0,4	2400	2,3	960
Oberfläche	OS 11a	0,005	2200	-	11

A2 Bauteilaufbauten – Standard Büro

A2.1 Dachaufbau

Tabelle A2.1: Dach Typ VI: Nichtbelüftetes ungenutztes Flachdach mit extensiver Begrünung

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht	
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]	
1	2	3	4	5	6	
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003				
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8	
Tragschicht	Stahlbeton C25/30	0,26	2400	2,10	624	
Ausgleichschicht	Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5	
Dampfsperre	Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5	
Gefälledämmung	XPS 30 WLG 035	0,2	30	0,035	6	
Dachabdichtung	Polymerbitumenschweißbahn 2-lagig	0,01	1200	0,17	12	
extensive Begrünung	Wurzelschutzschicht	ECB-Bahn	0,0018	970	-	1,75
	Schutzschicht	Fasermatte aus Polypropylen	0,004	75	-	0,3
	Dränschicht	Blähtonschüttung	0,03	1000	-	30
	Filterschicht	Filtervlies aus Polypropylen	0,001	100	-	0,1
	Vegetationsschicht		0,05	1000	-	50

A2.2 Außenwandaufbauten

Der Außenwandaufbau entspricht Außenwand Typ IV der Flexiblen Struktur. Die Außenwand in den Untergeschossen entspricht UG-Außenwand Typ I der Flexiblen Struktur.

A2.3 Innenwandaufbauten

Die Innenwandaufbauten entsprechen denen der Flexiblen Struktur.

A2.4 Stützen

Tabelle A2.2: Stütze Typ I: Stahlbetonstütze Obergeschosse

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Tragschicht Variante a	Stahlbeton C25/30	0,30*0,30	2400	-	-
Tragschicht Variante b	Stahlbeton C25/30	0,30*0,36	2400	-	-
Tragschicht Variante c	Stahlbeton C25/30	0,36*0,36	2400	-	-
Tragschicht Variante d	Stahlbeton C25/30	0,32*0,32	2400	-	-

Tabelle A2.3: Stütze Typ VII: Stahlbetonstütze Untergeschosse

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Tragschicht	Stahlbeton C25/30	0,40*0,40	2400	-	-

A2.5 Geschossdecken

Tabelle A2.4: Decke Typ IV: schwimmender Estrich und Abhangdecke

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Abhangdecke	Gipskartonplatte	0,0125	900	0,25	11,25
	Metallkonstruktion	0,095	7800	50	1,85
Tragschicht	Stahlbeton C25/30	0,26	2400	2,10	624
Trittschall	Polystyrol Hartschaum	0,03	30	0,055	0,9
Estrich	Zementestrich	0,06	2000	1,4	120
Bodenaufbau Variante 1	Teppichboden geklebt	0,005	300	-	1,5
Bodenaufbau Variante 2	Naturstein geklebt	0,15	2700	-	41
Bodenaufbau Variante 3	Fliesen geklebt, Abdichtung	0,01	2200	-	22
Bodenaufbau Variante 4	Klebeparkett	0,01	500	-	5

Tabelle A2.5: Decke Typ V-b: gegen UG gedämmte Ortbetondecke mit Estrich (Decke über 1. UG ohne Flexibilisierungsoption)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Kaschierung	Glasvlies	0,0004	100	0,035	0,04
Dämmung	Mineralfaser	0,1	26	0,0338	2,6
Tragschicht	Stahlbeton C25/30 + Unterzüge	0,25	2400	2,3	853
Trittschall	Polystyrol Hartschaum	0,03	30	0,055	0,4
Estrich	Zementestrich	0,05	2000	1,4	100
Bodenaufbau Variante 1	Teppichboden geklebt	0,005	300	-	1,5
Bodenaufbau Variante 2	Naturstein geklebt	0,015	2700	-	41
Bodenaufbau Variante 3	Fliesen geklebt, Abdichtung	0,01	2200	-	22
Bodenaufbau Variante 4	Klebeparkett	0,01	500	-	5

Tabelle A2.6: Decke Typ VII-bw: Ortbetondecke mit Oberflächenschutzsystem (Decke über 2. UG ohne Flexibilisierungsoption)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Dispersion)	0,0003	-	-	-
Tragschicht	Stahlbeton C35/45	0,25	2400	2,3	600
Oberfläche	OS 11a	0,005	2200	-	11

A2.6 Bodenplatte

Tabelle A2.7: Bodenplatte Typ II: mit Oberflächenschutzsystem

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Tragschicht	Stahlbeton C35/45 + Verstärkung	0,4	2400	2,3	1088
Oberfläche	OS 11a	0,005	2200	-	11

A3 Bauteilaufbauten – Standard Wohnen

A3.1 Dachaufbau

Tabelle A3.1: Dach Typ VII: Nichtbelüftetes ungenutztes Flachdach mit extensiver Begrünung

Bezeichnung		Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-		-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1		2	3	4	5	6
Oberfläche		Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003			
Vorbehandlung		Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Tragschicht		Stahlbeton C25/30	0,24	2400	2,10	576
Ausgleichschicht		Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5
Dampfsperre		Bitumenbahn	0,004	1200	0,17	5
Gefälledämmung		XPS 30 WLG 035	0,2	30	0,035	6
Dachabdichtung		Polymerbitumenschweißbahn 2-lagig	0,01	1200	0,17	12
extensive Begrünung	Wurzelschutzschicht	ECB-Bahn	0,0018	970	-	1,75
	Schutzschicht	Fasermatte aus Polypropylen	0,004	75	-	0,3
	Dränschicht	Blähton-schüttung	0,03	1000	-	30
	Filterschicht	Filtervlies aus Polypropylen	0,001	100	-	0,1
	Vegetationsschicht		0,05	1000	-	50

A3.2 Außenwandaufbauten

Tabelle A3.2: Außenwand Typ VII: Wärmedämm-Verbundsystem, Kalksandsteinmauerwerk

Bezeichnung		Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-		-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1		2	3	4	5	6
Oberfläche		Kalkgipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht		KS-Mauerwerk	0,20	1800	0,99	360
Dämmung		WDVS 035 Polystyrol	0,15	40	0,035	6
Fassadenbekleidung		Isolierputz, mineral. Außenputz	0,03	1800	0,8	54

Die Außenwand in den Untergeschossen entspricht UG-Außenwand Typ I der Flexiblen Struktur.

A3.3 Innenwandaufbauten

Tabelle A3.3: Innenwand Typ STB 1: Wohnungstrennwand (entspricht STB 3)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Gipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht	C25/30	0,25	2400	2,1	600
Vorbehandlung	Gipsputz	0,015	1400	0,7	21
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-

Tabelle A3.4: Innenwand Typ STB 2: Wohnungs-Flur-Trennwand

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Gipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht	C25/30	0,20	2400	2,1	480
Vorbehandlung	Gipsputz	0,015	1400	0,7	21
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-

Tabelle A3.5: Innenwand Typ STB 4: Wohnungswand-Treppenhaus

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Gipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht	C25/30	0,15	2400	2,1	360
Vorbehandlung	Gipsputz	0,015	1400	0,7	21
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-

Tabelle A3.6: Innenwand Typ STB 5: Wandartiger Träger Erdgeschoss

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Gipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht	Stahlbeton C25/30	0,2	2400	2,1	480
Vorbehandlung	Gipsputz	0,015	1400	0,7	21
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-

Tabelle A3.7: Innenwand Typ STB 6: Wandartiger Träger Erdgeschoss

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Gipsputz	0,015	1400	0,7	21
Tragschicht	Stahlbeton C25/30	0,25	2400	2,1	600
Vorbehandlung	Gipsputz	0,015	1400	0,7	21
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-

Tabelle A3.8: Innenwand Typ MW: Trennwand innerhalb von Wohneinheiten Ziegelmauerwerk

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Kalkputz	0,01	1800	1	18
Tragschicht	Hochlochziegelmauerwerk 12/IIa	0,24	1400	0,5	336
Vorbehandlung	Kalkputz	0,01	1800	1	18
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-

A3.4 Stützen

Tabelle A3.9: Stütze Typ II: Stahlbetonstütze Obergeschoss

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Tragschicht Variante a	Stahlbeton C25/30	0,20*0,20	2400	-	-
Tragschicht Variante b	Stahlbeton C25/30	0,25*0,25	2400	-	-

Tabelle A3.10: Stütze Typ VIII: Stahlbetonstütze Untergeschosse

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Tragschicht	Stahlbeton C25/30	0,40*0,40	2400	-	-

A3.5 Geschossdecken

Tabelle A3.11: Decke Typ I-w: schwimmender Estrich

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Oberfläche	Innenanstrich (Mineralfarbe)	0,0003	-	-	-
Vorbehandlung	Spachtelung	0,002	1400	0,7	2,8
Tragschicht	Stahlbeton C25/30	0,24	2400	2,10	576
Trittschall	Polystyrol Hartschaum	0,03	30	0,055	0,9
Estrich	Zementestrich	0,06	2000	1,4	120
Bodenaufbau Variante 2	Naturstein geklebt	0,15	2700	-	41
Bodenaufbau Variante 3	Fliesen geklebt, Abdichtung	0,01	2200	-	22
Bodenaufbau Variante 4	Klebeparkett	0,01	500	-	5

Tabelle A3.12: Decke Typ V-b: gegen UG gedämmte Ortbetondecke mit Estrich (Decke über 1. UG ohne Flexibilisierungsoption)

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Kaschierung	Glasvlies	0,0004	100	0,035	0,04
Dämmung	Mineralfaser	0,1	26	0,0338	2,6
Tragschicht	Stahlbeton C25/30 + Unterzüge	0,25	2400	2,3	839
Trittschall	Polystyrol Hartschaum	0,03	30	0,055	0,4
Estrich	Zementestrich	0,05	2000	1,4	100
Bodenaufbau Variante 1	Teppichboden geklebt	0,005	300	-	1,5
Bodenaufbau Variante 2	Naturstein geklebt	0,015	2700	-	41
Bodenaufbau Variante 3	Fliesen geklebt, Abdichtung	0,01	2200	-	22
Bodenaufbau Variante 4	Klebparkett	0,01	500	-	5

Die Decke über dem zweiten UG entspricht Decke Typ VII-bw der Variante Standard-Büro.

A3.6 Bodenplatte

Tabelle A3.13: Bodenplatte Typ III: mit Oberflächenschutzsystem

Bezeichnung	Material	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Gewicht
-	-	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg/m ²]
1	2	3	4	5	6
Tragschicht	Stahlbeton C35/45 + Verstärkung	0,4	2400	2,3	1088
Oberfläche	OS 11a	0,005	2200	-	11

Anhang B

Die folgende Tabelle enthält die angesetzten Nutzbarkeitsdauern für die Bauteilschichten für die Berechnungen in Abschnitt 3 und 5. Die Werte entsprechen den mittleren Lebenserwartungen aus dem Leitfaden Nachhaltiges Bauen Anlage 6 /40/. Fehlende Werte wurden ergänzt. Die maximale Nutzbarkeitsdauer entspricht dem betrachteten Lebenszyklus von 100 Jahren.

Tabelle B1: Angesetzte Nutzbarkeitsdauern der Bauteilschichten

Bauteilschicht / Bauteile	Nutzbarkeitsdauer
1	2
Tragschicht Außenwände (bekleidet), Stützen, Innenwände (Stahlbeton, unbewehrter Beton, Mauerwerk)	100
Tragschicht Decken, Dächer, Unterzüge, Bodenplatte (Stahlbeton)	100
hinterlüftete Fassade ^{a)} (alle Arten)	30
Wärmedämmverbundsystem (Polystyrol, Isolierputz)	30
Fassade mit Kerndämmung ^{b)} (Mineralwolle)	30
Perimeterdämmung ^{b)} (XPS)	100
Dachaufbau ohne Schutzschicht ^{c)} (Bitumenbahnen, XPS)	20
Dachaufbau bekiest/begrünt ^{a)} (Bitumenbahnen, XPS, Kies, Fasermatte, Blähtonfüllung, Filtervlies, Vegetationsschicht)	30
Bodenaufbau Geschossdecken mit Estrich ^{d)} (Polystyrol, Zementestrich, Fliesen, Parkett, Naturstein)	30
Bodenaufbau Geschossdecken mit Doppelboden ^{b)} (Polystyrol, Calciumsulfatplatten, Betonfertigteileplatten, Fliesen, Parkett, Naturstein)	50
Bodenbelag Geschossdecken (Teppich)	10
Bodenaufbau Untergeschosse ^{b)} (OS 11a)	10
Deckenoberfläche innen (Mineralfarbe, Dispersionsfarbe)	20
Deckenbekleidung gegen TG ^{b)} (Mineralfaser, Kaschierung)	30
leichte Trennwände/Vorsatzschalen (Gipskarton, Metallständer, Mineralwolle)	50
Wandoberfläche innen (Gipsputz, Kalkgipsputz, Kalkputz)	50
Wandoberfläche innen (Fliesen)	50
Wandoberfläche innen (Mineralfarbe, Dispersionsfarbe)	20
Fenster (Isolierglas)	25
Innentüren (alle Arten)	70
^{a)} maßgebend ist die Lebenserwartung der Wärmedämmung ^{b)} keine Angabe im Leitfaden vorhanden ^{c)} maßgebend ist die Lebenserwartung der Abdichtung ^{d)} maßgebend ist die Lebenserwartung des schwimmenden Estrichs	

Anhang C

Tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse der Energiebedarfsberechnungen des Stadtbausteins.

C1 Energetisches Anforderungsniveau „EnEV“

Tabelle C1.1: Energiebedarfswerte für das Typgebäude Stadtbaustein beim Anforderungsniveau „EnEV“ und dem Nutzungsszenario **Büro I**

Tragstruktur	Heizung	Beleuchtung	Belüftung	Warmwasser	Kühlung	Gesamt
Nutzenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	35,5	17,6	-	3,2	20,1	76,3
Flexibel	34,8	17,6	-	3,2	20,8	76,4
Endenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	53,8	17,6	18,4	14,3	5,6	109,6
Flexibel	53,0	17,6	18,4	14,3	5,8	109,0
Primärenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	53,9	47,4	49,6	14,4	15,1	180,4
Flexibel	53,0	47,4	49,6	14,5	15,6	180,1

Tabelle C1.2: Endenergiebedarf nach Energieträgern für das Typgebäude Stadtbaustein beim Anforderungsniveau „EnEV“ und dem Nutzungsszenario **Büro I**

Tragstruktur	Strom-Mix	Erdgas H	Gesamt
Endenergie nach Energieträgern [kWh/(m²a)]			
Standard	42,0	67,6	109,6
Flexibel	42,2	66,9	109,1

Tabelle C1.3: Energiebedarfswerte für das Typgebäude Stadtbaustein beim Anforderungsniveau „EnEV“ und dem Nutzungsszenario **Büro II**

Tragstruktur	Heizung	Beleuchtung	Belüftung	Warmwasser	Kühlung	Gesamt
Nutzenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	36,9	24,7	-	3,2	23,7	88,5
Flexibel	36,2	24,7	-	3,2	24,7	88,9
Endenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	54,4	24,7	22,3	14,4	6,6	122,4
Flexibel	53,8	24,7	22,3	14,4	6,9	122,0
Primärenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	54,5	66,8	60,1	14,5	17,8	213,6
Flexibel	53,8	66,8	60,1	14,5	18,5	213,7

Tabelle C1.4: Endenergiebedarf nach Energieträgern für das Typgebäude Stadtbaustein beim Anforderungsniveau „EnEV“ und dem Nutzungsszenario **Büro II**

Tragstruktur	Strom-Mix	Erdgas H	Gesamt
Endenergie nach Energieträgern [kWh/(m²a)]			
Standard	54,0	68,4	122,4
Flexibel	54,3	67,7	122,0

Tabelle C1.5: Energiebedarfswerte für das Typgebäude Stadtbaustein beim Anforderungsniveau „EnEV“ und dem Nutzungsszenario **Wohnen**

Tragstruktur	Heizung	Warmwasser	Gesamt
Nutzenergie [kWh/(m²a)]			
Standard	30,5	12,5	43,0
Flexibel	30,5	12,5	43,0
Endenergie [kWh/(m²a)]			
Standard	38,2	30,0	68,2
Flexibel	38,2	30,0	68,2
Primärenergie [kWh/(m²a)]			
Standard	42,9	34,3	77,2
Flexibel	42,9	34,3	77,2

Tabelle C1.6: Endenergiebedarf nach Energieträgern für das Typgebäude Stadtbaustein beim Anforderungsniveau „EnEV“ und dem Nutzungsszenario **Wohnen**

Tragstruktur	Strom-Mix	Erdgas H	Gesamt
Endenergie nach Energieträgern [kWh/(m²a)]			
Standard	1,3	66,9	68,2
Flexibel	1,3	66,9	68,2

C2 Energetisches Anforderungsniveau „HWB 15“

Tabelle C2.1: Energiebedarfswerte für das Typgebäude Stadtbaustein beim Anforderungsniveau „HWB 15“ und dem Nutzungsszenario **Büro I**

Tragstruktur	Heizung	Beleuchtung	Belüftung	Warmwasser	Kühlung	Gesamt
Nutzenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	14,5	12,4	-	3,2	19,5	49,6
Flexibel	15,9	12,2	-	3,2	19,4	50,7
Endenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	23,5	12,4	18,4	14,4	5,4	74,0
Flexibel	25,2	12,2	18,4	14,4	5,4	75,6
Primärenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	23,6	33,4	49,6	14,6	14,7	135,8
Flexibel	25,4	33,0	49,6	14,6	14,6	137,1

Tabelle C2.2: Endenergiebedarf nach Energieträgern für das Typgebäude Stadtbaustein beim Anforderungsniveau „HWB 15“ und dem Nutzungsszenario **Büro I**

Tragstruktur	Strom-Mix	Erdgas H	Gesamt
Endenergie nach Energieträgern [kWh/(m²a)]			
Standard	36,6	37,4	74,0
Flexibel	36,4	39,2	75,6

Tabelle C2.3: Energiebedarfswerte für das Typgebäude Stadtbaustein beim Anforderungsniveau „HWB 15“ und dem Nutzungsszenario **Büro II**

Tragstruktur	Heizung	Beleuchtung	Belüftung	Warmwasser	Kühlung	Gesamt
Nutzenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	15,0	19,5	-	3,2	24,5	62,3
Flexibel	14,6	19,5	-	3,2	25,5	62,9
Endenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	23,3	19,5	22,3	14,4	6,8	86,3
Flexibel	22,3	19,5	22,3	14,4	7,1	85,6
Primärenergie [kWh/(m²a)]						
Standard	23,4	52,8	60,1	14,5	18,4	169,2
Flexibel	22,4	52,8	60,1	14,6	19,1	169,0

Tabelle C2.4: Endenergiebedarf nach Energieträgern für das Typgebäude Stadtbaustein beim Anforderungsniveau „HWB 15“ und dem Nutzungsszenario **Büro II**

Tragstruktur	Strom-Mix	Erdgas H	Gesamt
Endenergie nach Energieträgern [kWh/(m²a)]			
Standard	49,0	37,3	86,3
Flexibel	49,2	36,4	85,6

Tabelle C2.5: Energiebedarfswerte für das Typgebäude Stadtbaustein beim Anforderungsniveau „HWB 15“ und dem Nutzungsszenario **Wohnen**

Tragstruktur	Heizung	Warmwasser	Gesamt
Nutzenergie [kWh/(m²a)]			
Standard	23,5	12,5	36,0
Flexibel	23,5	12,5	36,0
Endenergie [kWh/(m²a)]			
Standard	28,8	29,0	57,8
Flexibel	28,8	29,0	57,8
Primärenergie [kWh/(m²a)]			
Standard	32,5	33,2	65,7
Flexibel	32,5	33,2	65,7

Tabelle C2.6: Endenergiebedarf nach Energieträgern für das Typgebäude Stadtbaustein beim Energiestandard „HWB 15“ und dem Nutzungsszenario **Wohnen**

Tragstruktur	Strom-Mix	Erdgas H	Gesamt
Endenergie nach Energieträgern [kWh/(m²a)]			
Standard	1,4	56,4	57,8
Flexibel	1,4	56,4	57,8

(Leerseite)

Verzeichnis der in der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton – DAfStb – seit 1945 erschienenen Hefte

Heft	Heft	Heft
100: Versuche an Stahlbetonbalken zur Bestimmung der Bewehrungsgrenze. Von <i>W. Gehler</i> , <i>H. Amos</i> und <i>E. Friedrich</i> . Die Ergebnisse der Versuche und das Dresdener Rechenverfahren für den plastischen Betonbereich (1949). Von <i>W. Gehler</i> . 9,70 EUR	114: Schüttbeton aus verschiedenen Zuschlagstoffen. Von <i>A. Hummel</i> und <i>K. Wesche</i> . Die Ermittlung der Kornfestigkeit von Ziegelsplitt und anderen Leichtbeton-Zuschlagstoffen (1954). Von <i>A. Hummel</i> . vergriffen	127: Witterungsbeständigkeit von Beton (1957) Von <i>K. Walz</i> . 4,80 EUR
101: Versuche zur Ermittlung der Rissbildung und der Widerstandsfähigkeit von Stahlbetonplatten mit verschiedenen Bewehrungsstählen bei stufenweise gesteigerter Last. Von <i>O. Graf</i> und <i>K. Walz</i> . Versuche über die Schwellzugfestigkeit von verdrillten Bewehrungsstählen. Von <i>O. Graf</i> und <i>G. Weil</i> . Versuche über das Verhalten von kalt verformten Baustählen beim Zurückbiegen nach verschiedener Behandlung der Proben. Von <i>O. Graf</i> und <i>G. Weil</i> . Versuche zur Ermittlung des Zusammenwirkens von Fertigbauteilen aus Stahlbeton für Decken (1948). Von <i>H. Amos</i> und <i>W. Bochmann</i> . vergriffen	115: Die Versuche der Bundesbahn an Spannbetonträgern in Kornwestheim (1954). Von <i>U. Giehrach</i> und <i>C. Sättele</i> . 5,40 EUR	128: Kugelschlagprüfung von Beton (Einfluss des Betonalters) (1957). Von <i>K. Gaede</i> . vergriffen
102: Beton und Zement im Seewasser (1950). Von <i>A. Eckhardt</i> und <i>W. Kronsbein</i> . vergriffen	116: Verdichten von Beton mit Innenrüttlern und Rütteltischen, Güteprüfung von Deckensteinen (1954). Von <i>K. Walz</i> . vergriffen	129: Stahlbetonsäulen unter Kurz- und Langzeitbelastung (1958). Von <i>K. Gaede</i> . 12,90 EUR
103: Die <i>n</i> -freien Berechnungsweisen des einfach bewehrten, rechteckigen Stahlbetonbalkens (1951). Von <i>K. B. Haberstock</i> . vergriffen	117: Gas- und Schaumbeton: Tragfähigkeit von Wänden und Schwinden. Von <i>O. Graf</i> und <i>H. Schäffler</i> . Kugelschlagprüfung von Porenbeton (1954). Von <i>K. Gaede</i> . vergriffen	130: Bruchsicherheit bei Vorspannung ohne Verbund (1959). Von <i>H. Rüschi</i> , <i>K. Kordina</i> und <i>C. Zelger</i> . 5,40 EUR
104: Bindemittel für Massenbeton, Untersuchungen über hydraulische Bindemittel aus Zement, Kalk und Trass (1951). Von <i>K. Walz</i> . vergriffen	118: Schwefelverbindung in Schlackenbeton (1954). Von <i>A. Stojs</i> , <i>F. Rost</i> , <i>H. Zinnert</i> und <i>F. Henkel</i> . 6,90 EUR	131: Das Kriechen unbewehrten Betons (1958). Von <i>O. Wagner</i> . vergriffen
105: Die Versuchsberichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1951). Von <i>O. Graf</i> . vergriffen	119: Versuche über den Verbund zwischen Stahlbeton-Fertigbalken und Ortbeton. Von <i>O. Graf</i> und <i>G. Weil</i> . Versuche mit Stahlleichtträgern für Massivdecken (1955). Von <i>G. Weil</i> . vergriffen	132: Brandversuche mit starkbewehrten Stahlbetonsäulen. Von <i>H. Seekamp</i> . Widerstandsfähigkeit von Stahlbetonbauteilen und Stahlsteindecken bei Bränden (1959). Von <i>M. Hannemann</i> und <i>H. Thoms</i> . vergriffen
106: Berechnungstabellen für rechtwinklige Fahrbahnplatten von Straßenbrücken (1952). 7. neubearbeitete Auflage (1981). Von <i>H. Rüschi</i> . vergriffen	120: Versuche zur Festigkeit der Biegedruckzone (1955). Von <i>H. Rüschi</i> . vergriffen	133: Gas- und Schaumbeton: Druckfestigkeit von dampfgehärtetem Gasbeton nach verschiedener Lagerung. Von <i>H. Schäffler</i> . Über die Tragfähigkeit von bewehrten Platten aus dampfgehärtetem Gas- und Schaumbeton. Von <i>H. Schäffler</i> . Untersuchung des Zusammenwirkens von Porenbeton mit Schwerbeton bei bewehrten Schwerbetonbalken mit seitlich angeordneten Porenbeton-schalen (1959). Von <i>H. Rüschi</i> und <i>E. Lassas</i> . 4,80 EUR
107: Die Kugelschlagprüfung von Beton. Von <i>K. Gaede</i> . vergriffen	121: Gas- und Schaumbeton: Versuche zur Schubsicherung bei Balken aus bewehrtem Gas- und Schaumbeton. Von <i>H. Rüschi</i> . Ausgleichsfeuchtigkeit von dampfgehärtetem Gas- und Schaumbeton. Von <i>H. Schäffler</i> . Versuche zur Prüfung der Größe des Schwindens und Quellens von Gas und Schaumbeton (1956). Von <i>O. Graf</i> und <i>H. Schäffler</i> . vergriffen	134: Über das Verhalten von Beton in chemisch angreifenden Wässern (1959). Von <i>K. Seidel</i> . vergriffen
108: Verdichten von Leichtbeton durch Rütteln (1952). Von <i>K. Walz</i> . vergriffen	122: Gestaltfestigkeit von Betonkörpern. Von <i>K. Walz</i> . Warmzerreißversuche mit Spannstählen. Von <i>J. Dannenberg</i> , <i>H. Deutschmann</i> und <i>Melchior</i> . Konzentrierte Lasteintragung in Beton (1957). Von <i>W. Pohle</i> . 7,60 EUR	135: Versuche über die beim Betonieren an den Schalungen entstehenden Belastungen. Von <i>O. Graf</i> und <i>K. Kaufmann</i> . Druckfestigkeit von Beton in der oberen Zone nach dem Verdichten durch Innenrüttler. Von <i>K. Walz</i> und <i>H. Schäffler</i> . Versuche über die Verdichtung von Beton auf einem Rütteltisch in lose aufgesetzter und in aufgespannter Form (1960). Von <i>J. Strey</i> . vergriffen
109: SO ₃ -Gehalt der Zuschlagstoffe (1952). Von <i>K. Gaede</i> . 3,30 EUR	123: Luftporenbildende Betonzusatzmittel (1956). Von <i>K. Walz</i> . vergriffen	136: Gas- und Schaumbeton: Versuche über die Verankerung der Bewehrung in Gasbeton. Über das Kriechen von bewehrten Platten aus dampfgehärtetem Gas- und Schaumbeton (1960). Von <i>H. Schäffler</i> . 11,20 EUR
110: Ziegelsplittbeton (1952). Von <i>K. Charisius</i> , <i>W. Drechsel</i> und <i>A. Hummel</i> . vergriffen	124: Beton im Seewasser (Ergänzung zu Heft 102) (1956). Von <i>A. Hummel</i> und <i>K. Wesche</i> . 2,70 EUR	137: Schubversuche an Spannbetonbalken ohne Schubbewehrung. Von <i>H. Rüschi</i> und <i>G. Vigerust</i> . Die Schubfestigkeit von Spannbetonbalken ohne Schubbewehrung (1960). Von <i>G. Vigerust</i> . vergriffen
111: Modellversuche über den Einfluss der Torsionssteifigkeit bei einer Plattenbalkenbrücke (1952). Von <i>G. Marten</i> . vergriffen	125: Untersuchungen über Federgelenke (1957). Von <i>K. Kammüller</i> und <i>O. Jeske</i> . vergriffen	138: Über die Grundlagen des Verbundes zwischen Stahl und Beton (1961). Von <i>G. Rehm</i> . vergriffen
112: Eisenbahnbrücken aus Spannbeton (1953). 2. erweiterte Auflage (1961). Von <i>R. Bühner</i> . 7,80 EUR	126: SO ₃ -Gehalt der Zuschlagstoffe – Langzeitversuche (Ergänzung zu Heft 109). Eindringtiefe von Beton in Holzwolle-Leichtbauplatten (1957). Von <i>K. Gaede</i> . 5,40 EUR	139: Theoretische Auswertung von Heft 120 – Festigkeit der Biegedruckzone (1961). Von <i>G. Scholz</i> . 5,80 EUR
113: Knickversuche mit Stahlbetonsäulen. Von <i>W. Gehler</i> und <i>A. Hütter</i> . Festigkeit und Elastizität von Beton mit hoher Festigkeit (1954). Von <i>O. Graf</i> . 9,10 EUR		

- | Heft | Heft | Heft |
|---|--|--|
| 140: Versuche mit Betonformstählen (1963).
Von <i>H. Rüs</i> ch und <i>G. Rehm</i> .
16,00 EUR | 154: Spannungs-Dehnungs-Linien des Betons und Spannungsverteilung in der Biegedruckzone bei konstanter Dehngeschwindigkeit (1962).
Von <i>C. Rasch</i> .
14,10 EUR | 168: Versuche mit Ausfallkörnungen.
Von <i>W. Albrecht</i> und <i>H. Schäffler</i> .
Der Einfluss der Zementsteinporen auf die Widerstandsfähigkeit von Beton im Seewasser.
Von <i>K. Wesche</i> .
Das Verhalten von jungem Beton gegen Frost.
Von <i>F. Henkel</i> .
Zur Frage der Verwendung von Bolzensetzgeräten zur Ermittlung der Druckfestigkeit von Beton (1965).
Von <i>K. Gaede</i> .
13,10 EUR |
| 141: Das spiegeloptische Verfahren (1962).
Von <i>H. Weidemann</i> und <i>W. Koepcke</i> .
9,90 EUR | 155: Einfluss des Zementleimgehaltes und der Versuchsmethode auf die Kenngrößen der Biegedruckzone von Stahlbetonbalken.
Von <i>H. Rüs</i> ch und <i>S. Stöckl</i> .
Einfluss der Zwischenlagen auf Streuung und Größe der Spaltzugfestigkeit von Beton (1963).
Von <i>R. Sell</i> .
10,60 EUR | 169: Versuche zum Studium des Einflusses der Rissbreite auf die Rostbildung an der Bewehrung von Stahlbetonbauteilen.
Von <i>G. Rehm</i> und <i>H. Moll</i> .
Über die Korrosion von Stahl im Beton (1965).
Von <i>H. L. Moll</i> .
vergriffen |
| 142: Einpressmörtel für Spannbeton (1960).
Von <i>W. Albrecht</i> und <i>H. Schmidt</i> .
7,30 EUR | 156: Schubversuche an Plattenbalken mit unterschiedlicher Schubbewehrung (1963).
Von <i>F. Leonhardt</i> und <i>R. Walther</i> .
15,90 EUR | 170: Beobachtungen an alten Stahlbetonbauteilen hinsichtlich Carbonatisierung des Betons und Rostbildung an der Bewehrung.
Von <i>G. Rehm</i> und <i>H. L. Moll</i> .
Untersuchung über das Fortschreiten der Carbonatisierung an Betonbauwerken, durchgeführt im Auftrage der Abteilung Wasserstraßen des Bundesverkehrsministeriums, zusammengestellt von <i>H.-J. Kleinschmidt</i> .
Tiefe der carbonatisierten Schicht alter Betonbauten, Untersuchungen an Betonproben, durchgeführt vom Forschungsinstitut für Hochofenschlacke, Rheinhausen, und vom Laboratorium der westfälischen Zementindustrie, Beckum, zusammengestellt im Forschungsinstitut der Zementindustrie des Vereins Deutscher Zementwerke e.V. Düsseldorf (1965).
15,70 EUR |
| 143: Gas- und Schaumbeton: Rostschutz der Bewehrung.
Von <i>W. Albrecht</i> und <i>H. Schäffler</i> .
Festigkeit der Biegedruckzone (1961).
Von <i>H. Rüs</i> ch und <i>R. Sell</i> .
15,00 EUR | 157: Verformungsverhalten von Beton bei zweiachsiger Beanspruchung (1963).
Von <i>H. Weigler</i> und <i>G. Becker</i> .
11,10 EUR | 171: Knickversuche mit Zweigelenkrahmen aus Stahlbeton (1965).
Von <i>W. Hochmann</i> und <i>S. Röbert</i> .
10,30 EUR |
| 144: Versuche über die Festigkeit und die Verformung von Beton bei Druck-Schwellbeanspruchung.
Über den Einfluss der Größe der Proben auf die Würfeldruckfestigkeit von Beton (1962).
Von <i>K. Gaede</i> .
14,50 EUR | 158: Rückprallprüfung von Beton mit dichtem Gefüge.
Von <i>K. Gaede</i> und <i>E. Schmidt</i> .
Konsistenzmessung von Beton (1964).
Von <i>W. Albrecht</i> und <i>H. Schäffler</i> .
11,00 EUR | 172: Untersuchungen über den Stoßverlauf beim Aufprall von Kraftfahrzeugen auf Stützen und Rahmenstiele aus Stahlbeton (1965).
Von <i>C. Popp</i> .
10,70 EUR |
| 145: Schubversuche an Stahlbeton-Rechteckbalken mit gleichmäßig verteilter Belastung.
Von <i>H. Rüs</i> ch, <i>F. R. Haugli</i> und <i>H. Mayer</i> .
Stahlbetonbalken bei gleichzeitiger Einwirkung von Querkraft und Moment (1962).
Von <i>F. R. Haugli</i> .
15,50 EUR | 159: Die Beanspruchung des Verbundes zwischen Spannglied und Beton (1964).
Von <i>H. Kupfer</i> .
6,60 EUR | 173: Die Bestimmung der zweiachsigen Festigkeit des Betons (1965).
Zusammenfassung und Kritik früherer Versuche und Vorschlag für eine neue Prüfmethode.
Von <i>H. Hilsdorf</i> .
8,40 EUR |
| 146: Der Einfluss der Zementart, des Wasser-Zement-Verhältnisses und des Belastungsalters auf das Kriechen von Beton.
Von <i>A. Hummel</i> , <i>K. Wesche</i> und <i>W. Brand</i> .
Der Einfluss des mineralogischen Charakters der Zuschläge auf das Kriechen von Beton (1962).
Von <i>H. Rüs</i> ch, <i>K. Kordina</i> und <i>H. Hilsdorf</i> .
31,20 EUR | 160: Versuche mit Betonformstählen; Teil II. (1963).
Von <i>H. Rüs</i> ch und <i>G. Rehm</i> .
11,70 EUR | 174: Untersuchungen über die Tragfähigkeit netzbewehrter Betonsäulen (1965).
Von <i>H. Weigler</i> und <i>J. Henzel</i> .
8,40 EUR |
| 147: Versuche zur Bestimmung der Übertragungslänge von Spannstählen.
Von <i>H. Rüs</i> ch und <i>G. Rehm</i> .
Ermittlung der Eigenspannungen und der Eintragungslänge bei Spannbetonfertigteilen (1963).
Von <i>K. Gaede</i> .
12,20 EUR | 161: Modellstatische Untersuchung punktförmig gestützter schiefwinkliger Platten unter besonderer Berücksichtigung der elastischen Auflagnachgiebigkeit (1964).
Von <i>A. Mehmel</i> und <i>H. Weise</i> .
vergriffen | 175: Betongelenke. Versuchsbericht, Vorschläge zur Bemessung und konstruktiven Ausbildung.
Von <i>F. Leonhardt</i> und <i>H. Reimann</i> .
Kritische Spannungszustände des Betons bei mehrachsiger ruhender Kurzzeitbelastung (1965).
Von <i>H. Reimann</i> .
vergriffen |
| 148: Der Einfluss von Bügeln und Druckstäben auf das Verhalten der Biegedruckzone von Stahlbetonbalken (1963).
Von <i>H. Rüs</i> ch und <i>S. Stöckl</i> .
14,80 EUR | 162: Verhalten von Stahlbeton und Spannbeton beim Brand (1964).
Von <i>H. Seekamp</i> , <i>W. Becker</i> , <i>W. Struck</i> , <i>K. Kordina</i> und <i>H.-J. Wierig</i> .
vergriffen | 176: Zur Frage der Dauerfestigkeit von Spannbetonbauteilen (1966).
Von <i>M. Mayer</i> .
9,60 EUR |
| 149: Über den Zusammenhang zwischen Qualität und Sicherheit im Betonbau (1962).
Von <i>H. Blaut</i> .
10,00 EUR | 163: Schubversuche an Durchlaufträgern (1964).
Von <i>F. Leonhardt</i> und <i>R. Walther</i> .
20,70 EUR | 177: Umlagerung der Schnittkräfte in Stahlbetonkonstruktionen. Grundlagen der Berechnung bei statisch unbestimmten Tragwerken unter Berücksichtigung der plastischen Verformungen (1966).
Von <i>P. S. Rao</i> .
12,00 EUR |
| 150: Das Verhalten von Betongelenken bei oftmals wiederholter Druck- und Biegebeanspruchung (1962).
Von <i>J. Dix</i> .
8,40 EUR | 164: Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen (1964).
Von <i>H. Weigler</i> , <i>R. Fischer</i> und <i>H. Dettling</i> .
13,20 EUR | |
| 151: Versuche an einfeldrigen Stahlbetonbalken mit und ohne Schubbewehrung (1962).
Von <i>F. Leonhardt</i> und <i>R. Walther</i> .
10,70 EUR | 165: Versuche mit Betonformstählen Teil III. (1964).
Von <i>H. Rüs</i> ch und <i>G. Rehm</i> .
12,20 EUR | |
| 152: Versuche an Plattenbalken mit hoher Schubbeanspruchung (1962).
Von <i>F. Leonhardt</i> und <i>R. Walther</i> .
14,80 EUR | 166: Berechnungstabellen für schiefwinklige Fahrbahnplatten von Straßenbrücken (1967).
Von <i>H. Rüs</i> ch, <i>A. Hergenröder</i> und <i>I. Mungan</i> .
vergriffen | |
| 153: Elastische und plastische Stauchungen von Beton infolge Druckschwell- und Standbelastung (1962).
Von <i>A. Mehmel</i> und <i>E. Kern</i> .
13,40 EUR | 167: Frostwiderstand und Porengefüge des Betons, Beziehungen und Prüfverfahren.
Von <i>A. Schäfer</i> .
Der Einfluss von mehlfinen Zuschlagstoffen auf die Eigenschaften von Einpressmörteln für Spannkänel, Einpressversuche an langen Spannkäneln (1965).
Von <i>W. Albrecht</i> .
14,80 EUR | |

- | Heft | Heft | Heft |
|--|---|---|
| 178: Wandartige Träger (1966).
Von <i>F. Leonhardt</i> und <i>R. Walther</i> .
vergriffen | 192: Die mitwirkende Breite der Gurte von
Plattenbalken (1967).
Von <i>W. Koepcke</i> und <i>G. Denecke</i> .
vergriffen | 205: Versuche an wendelbewehrten Stahl-
betonsäulen unter kurz- und langfristig
wirkenden zentrischen Lasten (1969).
Von <i>H. Rüsck</i> und <i>S. Stöckl</i> .
12,00 EUR |
| 179: Veränderlichkeit der Biege- und Schub-
steifigkeit bei Stahlbetontragwerken
und ihr Einfluss auf Schnittkraftvertei-
lung und Traglast bei statisch unbe-
stimmter Lagerung (1966).
Von <i>W. Dilger</i> . 13,10 EUR | 193: Bauschäden als Folge der Durchbie-
gung von Stahlbeton-Bauteilen (1967).
Von <i>H. Mayer</i> und <i>H. Rüsck</i> .
13,10 EUR | 206: Statistische Analyse der Betonfestig-
keit (1969).
Von <i>H. Rüsck</i> , <i>R. Sell</i> und <i>R. Rack-
witz</i> . 8,40 EUR |
| 180: Knicken von Stahlbetonstäben mit
Rechteckquerschnitt unter Kurzzeit-
belastung – Berechnung mit Hilfe von
automatischen Digitalrechenanlagen
(1966).
Von <i>A. Blaser</i> . 8,40 EUR | 194: Die Berechnung der Durchbiegung von
Stahlbeton-Bauteilen (1967).
Von <i>H. Mayer</i> . vergriffen | 207: Versuche zur Dauerfestigkeit von
Leichtbeton.
Von <i>R. Sell</i> und <i>C. Zelger</i> .
Versuche zur Festigkeit der Biege-
druckzone. Einflüsse der Querschnitts-
form (1969).
Von <i>S. Stöckl</i> und <i>H. Rüsck</i> .
13,10 EUR |
| 181: Brandverhalten von Stahlbetonplat-
ten – Einflüsse von Schutzschichten.
Von <i>K. Kordina</i> und <i>P. Bornemann</i> .
Grundlagen für die Bemessung der
Feuerwiderstandsdauer von Stahlbeton-
platten (1966).
Von <i>P. Bornemann</i> . 10,70 EUR | 195: 5 Versuche zum Studium der Verfor-
mungen im Querkraftbereich eines
Stahlbetonbalkens (1967).
Von <i>H. Rüsck</i> und <i>H. Mayer</i> .
12,00 EUR | 208: Zur Frage der Rissbildung durch
Eigen- und Zwängspannungen infolge
Temperatur in Stahlbetonbauteilen
(1969).
Von <i>H. Falkner</i> . vergriffen |
| 182: Karbonatisierung von Schwerbeton.
Von <i>A. Meyer</i> , <i>H.-J. Wierig</i> und
<i>K. Husmann</i> .
Einfluss von Luftkohlenäure und
Feuchtigkeit auf die Beschaffenheit
des Betons als Korrosionsschutz für
Stahleinlagen (1967).
Von <i>F. Schröder</i> , <i>H.-G. Smolczyk</i> ,
<i>K. Grade</i> , <i>R. Vinkeloe</i> und <i>R. Roth</i> .
12,90 EUR | 196: Tastversuche über den Einfluss von
vorangegangenen Dauerlasten auf die
Kurzzeitfestigkeit des Betons.
Von <i>S. Stöckl</i> .
Kennzahlen für das Verhalten einer
rechteckigen Biegedruckzone von
Stahlbetonbalken unter kurzzeitiger
Belastung (1967).
Von <i>H. Rüsck</i> und <i>S. Stöckl</i> .
13,60 EUR | 209: Festigkeit und Verformung von Gasbeton
unter zweiaxialer Druck-Zug-Beans-
pruchung.
Von <i>R. Sell</i> .
Versuche über den Verbund bei be-
wehrtem Gasbeton (1970).
Von <i>R. Sell</i> und <i>C. Zelger</i> .
12,00 EUR |
| 183: Das Kriechen des Zementsteins im
Beton und seine Beeinflussung durch
gleichzeitiges Schwinden (1966).
Von <i>W. Ruetz</i> . 8,40 EUR | 197: Brandverhalten durchlaufender Stahl-
betonrippendecken.
Von <i>H. Seekamp</i> und <i>W. Becker</i> .
Brandverhalten kreuzweise bewehrter
Stahlbetonrippendecken.
Von <i>J. Stanke</i> .
Vergrößerung der Betondeckung als
Feuerschutz von Stahlbetonplatten,
1. und 2. Teil (1967).
Von <i>H. Seekamp</i> und <i>W. Becker</i> .
14,10 EUR | 210: Schubversuche mit indirekter Kraft-
einleitung. Versuche zum Studium der
Verdübelungswirkung der Biegezug-
bewehrung eines Stahlbetonbalkens
(1970).
Von <i>T. Baumann</i> und <i>H. Rüsck</i> .
14,40 EUR |
| 184: Untersuchungen über den Einfluss
einer Nachverdichtung und eines An-
striches auf Festigkeit, Kriechen und
Schwinden von Beton (1966).
Von <i>H. Hilsdorf</i> und <i>K. Finsterwalder</i> .
8,40 EUR | 198: Festigkeit und Verformung von unbe-
wehrtem Beton unter konstanter Dau-
erlast (1968).
Von <i>H. Rüsck</i> , <i>R. Sell</i> , <i>C. Rasch</i> ,
<i>E. Grasser</i> , <i>A. Hummel</i> , <i>K. Wesche</i>
und <i>H. Flatten</i> . 13,30 EUR | 211: Elektronische Berechnung des in ei-
nem Stahlbetonbalken im gerissenen
Zustand auftretenden Kräftezustandes
unter besonderer Berücksichtigung des
Querkraftbereiches (1970).
Von <i>D. Jungwirth</i> . 15,80 EUR |
| 185: Das unterschiedliche Verformungsver-
halten der Rand- und Kernzonen von
Beton (1966).
Von <i>S. Stöckl</i> . 9,60 EUR | 199: Die Berechnung ebener Kontinua mit-
tels der Stabwerkermethode – Anwen-
dung auf Balken mit einer rechteckigen
Öffnung (1968).
Von <i>A. Krebs</i> und <i>F. Haas</i> .
10,70 EUR | 212: Einfluss der Krümmung von Spann-
gliedern auf den Spannweg.
Von <i>C. Zelger</i> und <i>H. Rüsck</i> .
Über den Erhaltungszustand 20 Jahre
alter Spannbetonträger (1970).
Von <i>K. Kordina</i> und <i>N. V. Waubke</i> .
9,60 EUR |
| 186: Betone aus Sulfathüttenzement in hö-
herem Alter (1966).
Von <i>K. Wesche</i> und <i>W. Manns</i> .
8,40 EUR | 200: Dauerschwingfestigkeit von Beton-
stählen im einbetonierten Zustand.
Von <i>H. Wascheidt</i> .
Betongelenke unter wiederholten
Gelenkverdrehungen (1968).
Von <i>G. Franz</i> und <i>H.-D. Fein</i> .
11,70 EUR | 213: Vierseitig gelagerte Stahlbetonhohl-
platten. Versuche, Berechnung und
Bemessung (1970).
Von <i>H. Aster</i> . vergriffen |
| 187: Zur Frage des Einflusses der Ausbil-
dung der Auflager auf die Querkraft-
tragfähigkeit von Stahlbetonbalken.
Von <i>K. Gaede</i> .
Schwingungsmessungen an Massiv-
brücken (1966).
Von <i>B. Brückmann</i> . 9,60 EUR | 201: Schubversuche an indirekt gelagerten,
einfeldrigen und durchlaufenden Stahl-
betonbalken (1968).
Von <i>F. Leonhardt</i> , <i>R. Walther</i> und
<i>W. Dilger</i> . 9,60 EUR | 214: Verlängerung der Feuerwiderstands-
dauer von Stahlbetonstützen durch
Anwendung von Bekleidungen oder
Ummantelungen.
Von <i>W. Becker</i> und <i>J. Stanke</i> .
Über das Verhalten von Zementmörtel
und Beton bei höheren Temperaturen
(1970).
Von <i>R. Fischer</i> . 15,30 EUR |
| 188: Verformungsversuche an Stahlbeton-
balken mit hochfestem Bewehrungs-
stahl (1967).
Von <i>G. Franz</i> und <i>H. Brenker</i> .
12,00 EUR | 202: Torsions- und Schubversuche an vor-
gespannten Hohlkastenträgern.
Von <i>F. Leonhardt</i> , <i>R. Walther</i> und
<i>O. Vogler</i> .
Torsionsversuche an einem Kunstharz-
modell eines Hohlkastenträgers (1968).
Von <i>D. Feder</i> . 12,00 EUR | 215: Brandversuche an Stahlbetonfertig-
stützen, 2. und 3. Teil (1970).
Von <i>W. Becker</i> und <i>J. Stanke</i> .
15,30 EUR |
| 189: Die Tragfähigkeit von Decken aus Glas-
stahlbeton (1967).
Von <i>C. Zelger</i> . 10,70 EUR | 203: Festigkeit und Verformung von Beton
unter Zugspannungen (1969).
Von <i>H. G. Heilmann</i> , <i>H. Hilsdorf</i> und
<i>K. Finsterwalder</i> . 14,40 EUR | 216: Schnittkrafttafeln für den Entwurf
kreiszyklischer Tonnenkettendächer
(1971).
Von <i>A. Mehmel</i> , <i>W. Kruse</i> , <i>S. Samaan</i>
und <i>H. Schwarz</i> . 20,90 EUR |
| 190: Festigkeit der Biegedruckzone – Ver-
gleich von Prismen- und Balkenver-
suchen (1967).
Von <i>H. Rüsck</i> , <i>K. Kordina</i> und
<i>S. Stöckl</i> . 8,40 EUR | 204: Tragverhalten ausmittig beanspruchter
Stahlbetondruckglieder (1969).
Von <i>A. Mehmel</i> , <i>H. Schwarz</i> , <i>K. H.</i>
<i>Kasperek</i> und <i>J. Makovi</i> . 12,00 EUR | 217: Tragwirkung orthogonaler Beweh-
rungsnetze beliebiger Richtung in
Flächentragwerken aus Stahlbeton
(1972).
Von <i>T. Baumann</i> . vergriffen |
| 191: Experimentelle Bestimmung der Span-
nungsverteilung in der Biegedruckzo-
ne.
Von <i>C. Rasch</i> .
Stützmomente kreuzweise bewehrter
durchlaufender Rechteckbetonplatten
(1967).
Von <i>H. Schwarz</i> . 9,60 EUR | | |

- | Heft | Heft | Heft |
|---|--|---|
| 218: Versuche zur Schubsicherung und Momentendeckung von profilierten Stahlbetonbalken (1972).
Von <i>H. Kupfer</i> und <i>T. Baumann</i> .
11,00 EUR | 228: Zusammenhang zwischen Oberflächenbeschaffenheit, Verbund und Sprengwirkung von Bewehrungsstählen unter Kurzzeitbelastung (1973).
Von <i>H. Martin</i> .
12,60 EUR | 239: Torsionsversuche an Stahlbetonbalken (1974).
Von <i>F. Leonhardt</i> und <i>G. Schelling</i> .
20,30 EUR |
| 219: Die Tragfähigkeit von Stahlsteindecken.
Von <i>C. Zelger</i> und <i>F. Daschner</i> .
Bewehrte Ziegelstürze (1972).
Von <i>C. Zelger</i> .
10,20 EUR | 229: Das Verhalten des Betons unter mehrachsiger Kurzzeitbelastung unter besonderer Berücksichtigung der zweiachsigen Beanspruchung.
Von <i>H. Kupfer</i> .
Bau und Erprobung einer Versuchseinrichtung für zweiachsige Belastung (1973).
Von <i>H. Kupfer</i> und <i>C. Zelger</i> .
19,30 EUR | 240: Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken nach DIN 1045 Ausgabe Juli 1988 [3. überarbeitete Auflage (1991)].
Von <i>E. Grasser</i> und <i>G. Thielen</i> .
19,30 EUR |
| 220: Bemessung von Beton- und Stahlbetonbauteilen nach DIN 1045, Ausgabe Januar 1972. [2. überarbeitete Auflage (1979)] – Biegung mit Längskraft, Schub, Torsion.
Von <i>E. Grasser</i> .
Nachweis der Knicksicherheit.
Von <i>K. Kordina</i> und <i>U. Quast</i> .
26,90 EUR | 230: Erwärmungsvorgänge in balkenartigen Stahlbetonteilen unter Brandbeanspruchung (1975).
Von <i>H. Ehm</i> , <i>K. Kordina</i> und <i>R. v. Postel</i> .
20,30 EUR | 241: Abplatzversuche an Prüfkörpern aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton bei verschiedenen Temperaturbeanspruchungen (1974).
Von <i>C. Meyer-Ottens</i> .
9,70 EUR |
| 220 (En): Design of Concrete and Reinforced Concrete Members in Accordance with DIN 1045 December 1978 Edition – Bending with Axial Force, Shear, Torsion.
By <i>E. Grasser</i> .
Analysis of Safety against Buckling.
By <i>K. Kordina</i> and <i>U. Quast</i>
2nd revised edition.
26,90 EUR | 231: Die Versuchsberichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Inhaltsübersicht der Hefte 1 bis 230 (1973).
Von <i>O. Graf</i> und <i>H. Deutschmann</i> .
10,10 EUR | 242: Verhalten von verzinkten Spannstählen und Bewehrungsstählen.
Von <i>G. Rehm</i> , <i>A. Lämmke</i> , <i>U. Nürnberger</i> , <i>G. Rieche</i> sowie <i>H. Martin</i> und <i>A. Rauen</i> .
Löten von Betonstahl (1974).
Von <i>D. Russwurm</i> .
20,30 EUR |
| 221: Festigkeit und Verformung von Innenwandknoten in der Tafelbauweise.
Von <i>H. Kupfer</i> .
Die Druckfestigkeit von Mörtelfugen zwischen Betonfertigteilen.
Von <i>E. Grasser</i> und <i>F. Daschner</i> .
Tragfähigkeit (Schubfestigkeit) von Deckenauflagen im Fertigteilbau (1972).
Von <i>R. v. Halász</i> und <i>G. Tantow</i> .
14,30 EUR | 232: Bestimmung physikalischer Eigenschaften des Zementsteins.
Von <i>F. Wittmann</i> .
Verformung und Bruchvorgang poröser Baustoffe bei kurzzeitiger Belastung und unter Dauerlast (1974).
Von <i>F. Wittmann</i> und <i>J. Zaitsev</i> .
14,30 EUR | 243: Ultraschall-Impulstechnik bei Fertigteilen.
Von <i>G. Rehm</i> , <i>N. V. Waubke</i> und <i>J. Neisecke</i> .
Untersuchungen an ausgebauten Spanngliedern (1975).
Von <i>A. Röhnisch</i> .
15,50 EUR |
| 222: Druck-Stöße von Bewehrungsstäben – Stahlbetonstützen mit hochfestem Stahl St 90 (1972).
Von <i>F. Leonhardt</i> und <i>K.-T. Teichen</i> .
9,70 EUR | 233: Stichprobenprüfpläne und Annahmekennlinien für Beton (1973).
Von <i>H. Blaut</i> .
7,90 EUR | 244: Elektronische Berechnung der Auswirkungen von Kriechen und Schwinden bei abschnittsweise hergestellten Verbundstabwerken (1975).
Von <i>D. Schade</i> und <i>W. Haas</i> .
7,10 EUR |
| 223: Spanngliedverankerungen im Inneren von Bauteilen.
Von <i>J. Eibl</i> und <i>G. Iványi</i> .
Teilweise Vorspannung (1973).
Von <i>R. Walther</i> und <i>N. S. Bhal</i> .
12,30 EUR | 234: Finite Elemente zur Berechnung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern (1973).
Von <i>J. H. Argyris</i> , <i>G. Faust</i> , <i>J. R. Roy</i> , <i>J. Szimmat</i> , <i>E. P. Warnke</i> und <i>K. J. Willam</i> .
13,10 EUR | 245: Die Kornfestigkeit künstlicher Zuschlagstoffe und ihr Einfluss auf die Betonfestigkeit.
Von <i>R. Sell</i> .
Druckfestigkeit von Leichtbeton (1974).
Von <i>K. D. Schmidt-Hurtienne</i> .
17,40 EUR |
| 224: Zusammenwirken von einzelnen Fertigteilen als großflächige Scheibe (1973).
Von <i>G. Mehlhorn</i> .
vergriffen | 235: Untersuchungen zum heißen Liner als Innenwand für Spannbetondruckbehälter für Leichtwasserreaktoren (1973).
Von <i>J. Meyer</i> und <i>W. Spandick</i> .
vergriffen | 246: Untersuchungen über den Querstoß beim Aufprall von Kraftfahrzeugen auf Gründungspfähle aus Stahlbeton und Stahl (1974).
Von <i>C. Popp</i> .
17,20 EUR |
| 225: Mikrobeton für modellstatische Untersuchungen (1972).
Von <i>A.-H. Burggrabe</i> .
13,20 EUR | 236: Tragfähigkeit und Sicherheit von Stahlbetonstützen unter ein- und zweiachsig exzentrischer Kurzzeit- und Dauerbelastung (1974).
Von <i>R. F. Warner</i> .
8,30 EUR | 247: Temperatur und Zwangsspannung im Konstruktions-Leichtbeton infolge Hydratation.
Von <i>H. Weigler</i> und <i>J. Nicolay</i> .
Dauerschwell- und Betriebsfestigkeit von Konstruktions-Leichtbeton (1975).
Von <i>H. Weigler</i> und <i>W. Freitag</i> .
13,70 EUR |
| 226: Tragfähigkeit von Zugschlaufenstößen.
Von <i>F. Leonhardt</i> , <i>R. Walther</i> und <i>H. Dieterle</i> .
Haken- und Schlaufenverbindungen in biegebeanspruchten Platten.
Von <i>G. Franz</i> und <i>G. Timm</i> .
Übergreifungsvollstöße mit hakenförmig gebogenen Rippenstählen (1973).
Von <i>K. Kordina</i> und <i>G. Fuchs</i> .
14,10 EUR | 237: Spannbeton-Reaktordruckbehälter: Studie zur Erfassung spezieller Betoneigenschaften im Reaktordruckbehälterbau.
Von <i>J. Eibl</i> , <i>N. V. Waubke</i> , <i>W. Klingsch</i> , <i>U. Schneider</i> und <i>G. Rieche</i> .
Parameterberechnungen an einem Referenzbehälter.
Von <i>J. Szimmat</i> und <i>K. Willam</i> .
Einfluss von Werkstoffeigenschaften auf Spannungs- und Verformungszustände eines Spannbetonbehälters (1974).
Von <i>V. Hansson</i> und <i>F. Stangenberg</i> .
13,10 EUR | 248: Zur Frage der Abplatzungen an Bauteilen aus Beton bei Brandbeanspruchungen (1975).
Von <i>C. Meyer-Ottens</i> .
8,40 EUR |
| 227: Schubversuche an Spannbetonträgern (1973).
Von <i>F. Leonhardt</i> , <i>R. Koch</i> und <i>F.-S. Rostásy</i> .
26,80 EUR | 238: Einfluss wirklichkeitsnahen Werkstoffverhaltens auf die kritischen Kipplasten schlanker Stahlbeton- und Spannbetonträger.
Von <i>G. Mehlhorn</i> .
Berechnung von Stahlbetonscheiben im Zustand II bei Annahme eines wirklichkeitsnahen Werkstoffverhaltens (1974).
Von <i>K. Dörr</i> , <i>G. Mehlhorn</i> , <i>W. Stauder</i> und <i>D. Uhlisch</i> .
16,70 EUR | 249: Schlag-Biegeversuch mit unterschiedlich bewehrten Stahlbetonbalken (1975).
Von <i>C. Popp</i> .
10,00 EUR |
| | | 250: Langzeitversuche an Stahlbetonstützen.
Von <i>K. Kordina</i> .
Einfluss des Kriechens auf die Ausbiegung schlanker Stahlbetonstützen (1975).
Von <i>K. Kordina</i> und <i>R. F. Warner</i> .
11,10 EUR |
| | | 251: Versuche an wendelbewehrten Stahlbetonsäulen unter exzentrischer Belastung (1975).
Von <i>S. Stöckl</i> und <i>B. Menne</i> .
10,70 EUR |

Heft	Heft	Heft
252: Beständigkeit verschiedener Betonarten in Meerwasser und in sulfathaltigem Wasser (1975). Von <i>H. T. Schröder, O. Hallauer</i> und <i>W. Scholz.</i> 15,50 EUR	267: Zur Mindestbewehrung für Zwang von Außenwänden aus Stahlleichtbeton. Von <i>F. S. Rostásy, R. Koch</i> und <i>F. Leonhardt.</i> Versuche zum Tragverhalten von Druckübergreifungsstößen in Stahlbetonwänden (1976). Von <i>F. Leonhardt, F. S. Rostásy</i> und <i>M. Patzak.</i> 15,00 EUR	280: Nichtisothermer Feuchtetransport in dickwandigen Betonteilen von Reaktordruckbehältern. Von <i>K. Kiessl</i> und <i>K. Gertis.</i> Zur Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton. Von <i>J. Hundt.</i> Einfluss des Wassergehalts auf die Eigenschaften des erhärteten Betons (1977). Von <i>M. J. Setzer.</i> 14,40 EUR
253: Spannbeton-Reaktordruckbehälter-Instrumentierung. Von <i>J. Német</i> und <i>R. Angeli.</i> Versuch zur Weiterentwicklung eines Setzdehnungsmessers (1975). Von <i>C. Zelger.</i> 10,20 EUR	268: Einfluss der Belastungsdauer auf das Verbundverhalten von Stahl in Beton (Verbundkriechen) (1976). Von <i>L. Franke.</i> 8,60 EUR	281: Untersuchungen über das Verhalten von Beton bei schlagartiger Beanspruchung (1977). Von <i>C. Popp.</i> 7,90 EUR
254: Festigkeit und Verformungsverhalten von Beton unter hohen zweiachsigen Dauerbelastungen und Dauerschwellbelastungen. Festigkeit und Verformungsverhalten von Leichtbeton, Gasbeton, Zementstein und Gips unter zweiachsiger Kurzzeitbeanspruchung (1976). Von <i>D. Linse</i> und <i>A. Stegbauer.</i> 13,10 EUR	269: Zugspannung und Dehnung in unbewehrten Betonquerschnitten bei exzentrischer Belastung (1976). Von <i>H. G. Heilmann.</i> 15,50 EUR	282: Vorausbestimmung der Spannkraftverluste infolge Dehnungsbehinderung (1977). Von <i>R. Walther, U. Utescher</i> und <i>D. Schreck.</i> 8,90 EUR
255: Zur Frage der zulässigen Rissbreite und der erforderlichen Betondeckung im Stahlbetonbau unter besonderer Berücksichtigung der Karbonatisierungstiefe des Betons (1976). Von <i>P. Schiessl.</i> vergriffen	270: Eine Formulierung des zweiaxialen Verformungs- und Bruchverhaltens von Beton und deren Anwendung auf die wirklichkeitsnahe Berechnung von Stahlbetonplatten (1976). Von <i>J. Link.</i> 14,40 EUR	283: Technische Möglichkeiten zur Erhöhung der Zugfestigkeit von Beton (1977). Von <i>G. Rehm, P. Diem</i> und <i>R. Zimbelmann.</i> 13,10 EUR
256: Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles (1975). Von <i>J. Hundt.</i> 15,80 EUR	271: Untersuchungen an 20 Jahre alten Spannbetonträgern (1976). Von <i>R. Bühner, K.-F. Müller, H. Martin</i> und <i>J. Ruhнау.</i> 13,10 EUR	284: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Lasteintragung in die Bewehrung von Stahlbetondruckgliedern (1977). Von <i>F. P. Müller</i> und <i>W. Eisenbiegler.</i> 8,20 EUR
257: Bruchsicherheitsberechnung von Spannbeton-Druckbehältern (1976). Von <i>K. Schimmelpfennig.</i> 13,30 EUR	272: Die Dynamische Relaxation und ihre Anwendung auf Spannbeton-Reaktordruckbehälter (1976). Von <i>W. Zerna.</i> 13,70 EUR	285: Zur Traglast der ausmittig gedrückten Stahlbetonstütze mit Umschnürungsbewehrung (1977). Von <i>B. Menne.</i> 8,60 EUR
258: Hygrische Transportphänomene in Baustoffen (1976). Von <i>K. Gertis, K. Kiesl, H. Werner</i> und <i>V. Wolfseher.</i> 13,10 EUR	273: Schubversuche an Balken mit veränderlicher Trägerhöhe (1977). Von <i>F. S. Rostásy, K. Roeder</i> und <i>F. Leonhardt.</i> 9,70 EUR	286: Versuche über Teilflächenbelastung von Normalbeton (1977). Von <i>P. Wurm</i> und <i>F. Daschner.</i> 10,70 EUR
259: Entwicklung eines integrierten Spannbetondruckbehälters für wassergekühlte Reaktoren (SBB Typ „Stern“ mit Stützkessel) (1976). Von <i>G. Jüptner, H. Kumpf, G. Molz, B. Neunert</i> und <i>O. Seidl.</i> 11,50 EUR	274: Witterungsbeständigkeit von Beton, 2. Bericht (1977). Von <i>K. Walz</i> und <i>E. Hartmann.</i> 8,40 EUR	287: Spannbetonbehälter für Siedewasserreaktoren mit einer Leistung von 1600 MWe (1977). Von <i>F. Bremer</i> und <i>W. Spandick.</i> 6,80 EUR
260: Studie zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbeton (1976). Von <i>J. Eibl</i> und <i>G. Iványi.</i> 26,80 EUR	275: Schubversuche an Balken und Platten bei gleichzeitigem Längszug (1977). Von <i>F. Leonhardt, F. S. Rostásy, J. MacGregor</i> und <i>M. Patzak.</i> 11,00 EUR	288: Tragverhalten von aus Fertigteilen zusammengesetzten Scheiben. Von <i>G. Mehlhorn</i> und <i>H. Schwing.</i> Versuche zur Schubtragfähigkeit verzahnter Fugen (1977). Von <i>G. Mehlhorn, H. Schwing</i> und <i>K.-R. Berg.</i> vergriffen
261: Der Einfluss radioaktiver Strahlung auf die mechanischen Eigenschaften von Beton (1976). Von <i>H. Hilsdorf, J. Kropp</i> und <i>H.-J. Koch.</i> 8,40 EUR	276: Versuche an zugbeanspruchten Übergreifungsstößen von Rippenstählen (1977). Von <i>S. Stöckl, B. Menne</i> und <i>H. Kupfer.</i> 15,50 EUR	289: Prüfverfahren zur Beurteilung von Rostschutzmitteln für die Bewehrung von Gasbeton. Von <i>W. Manns, H. Schneider, R. Schönfelder.</i> Frostwiderstand von Beton. Von <i>W. Manns</i> und <i>E. Hartmann.</i> Zum Einfluss von Mineralölen auf die Festigkeit von Beton (1977). Von <i>W. Manns</i> und <i>E. Hartmann.</i> 8,60 EUR
262: Experimentelle Bestimmung des räumlichen Spannungszustandes eines Reaktordruckbehältermodells (1976). Von <i>R. Stöver.</i> 13,10 EUR	277: Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung – Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses (1977). Von <i>G. Schickert</i> und <i>H. Winkler.</i> 17,20 EUR	290: Studie über den Abbruch von Spannbeton-Reaktordruckbehältern. Von <i>K. Kleiser, K. Essig, K. Cerff</i> und <i>H. K. Hilsdorf.</i> Grundlagen eines Modells zur Beschreibung charakteristischer Eigenschaften des Betons (1977). Von <i>F. H. Wittmann.</i> 14,40 EUR
263: Bruchfestigkeit und Bruchverformung von Beton unter mehraxialer Belastung bei Raumtemperatur (1976). Von <i>F. Bremer</i> und <i>F. Steinsdörfer.</i> 7,60 EUR	278: Berechnungen von Temperatur- und Feuchtefeldern in Massivbauten nach der Methode der Finiten Elemente (1977). Von <i>J. H. Argyris, E. P. Warnke</i> und <i>K. J. Willam.</i> 10,10 EUR	291: Übergreifungsstöße von Rippenstäben unter schwellerer Belastung. Von <i>G. Rehm</i> und <i>R. Eligehausen.</i> Übergreifungsstöße geschweißter Betonstahlmatten (1977). Von <i>G. Rehm, R. Tewes</i> und <i>R. Eligehausen.</i> 10,70 EUR
264: Spannbeton-Reaktordruckbehälter mit heißer Dichthaut für Druckwasserreaktoren (1976). Von <i>A. Jungmann, H. Kopp, M. Gangl, J. Német, A. Nesitka, W. Walluschk-Wallfeld</i> und <i>J. Mutzl.</i> 10,70 EUR	279: Finite Elementberechnung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern. Von <i>J. H. Argyris, G. Faust, J. Szimmat, E. P. Warnke</i> und <i>K. J. Willam.</i> Zur Konvertierung von SMART I (1977). Von <i>J. H. Argyris, J. Szimmat</i> und <i>K. J. Willam.</i> 11,50 EUR	
265: Traglast von Stahlbetondruckgliedern unter schiefer Biegung (1976). Von <i>K. Kordina, K. Rafla</i> und <i>O. Hjorth.</i> 11,80 EUR		
266: Das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbrückenpfeilern mit Rollenlagern (1976). Von <i>K. Liermann.</i> 12,90 EUR		

- | Heft | Heft | Heft |
|---|---|--|
| 292: Lösung versuchstechnischer Fragen bei der Ermittlung des Festigkeits- und Verformungsverhaltens von Beton unter dreiachsiger Belastung (1978).
Von <i>D. Linse</i> . 8,40 EUR | 304: Kunstharzgebundene Glasfaserstäbe als Bewehrung im Betonbau.
Von <i>G. Rehm</i> und <i>L. Franke</i> .
Zur Frage der Krafterleitung in kunstharzgebundene Glasfaserstäbe (1979).
Von <i>G. Rehm</i> , <i>L. Franke</i> und <i>M. Patzak</i> . 9,40 EUR | 316: Versuche zur Bestimmung der Tragfähigkeit stumpf gestoßener Stahlbetonteilstützen (1980).
Von <i>H. Paschen</i> und <i>V. C. Zillich</i> .
vergriffen |
| 293: Zur Messtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern (1978).
Von <i>N. Czaika</i> , <i>N. Mayer</i> , <i>C. Amberg</i> , <i>G. Magiera</i> , <i>G. Andreae</i> und <i>W. Markowski</i> . 11,50 EUR | 305: Vorherbestimmung und Kontrolle des thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Beton (1979).
Von <i>S. Ziegeldorf</i> , <i>K. Kleiser</i> und <i>H. K. Hilsdorf</i> . 7,30 EUR | 317: Untersuchungen über die Schwingfestigkeit geschweißter Betonstahlverbindungen (1981).
Teil 1: Schwingfestigkeitsversuche.
Von <i>G. Rehm</i> , <i>W. Harre</i> und <i>D. Russwurm</i> .
Teil 2: Werkstoffkundliche Untersuchungen.
Von <i>G. Rehm</i> und <i>U. Nürnberger</i> . 17,20 EUR |
| 294: Studien zur Auslegung von Spannbetondruckbehältern für wassergekühlte Reaktoren (1978).
Von <i>K. Schimmelpfennig</i> , <i>G. Bäätjer</i> , <i>U. Eckstein</i> , <i>U. Ick</i> und <i>S. Wrage</i> . 10,70 EUR | 306: Dreidimensionale Berechnung eines Spannbetonbehälters mit heißer Dichthaut für einen 1500 MWe Druckwasserreaktor (1979).
Von <i>E. Ettl</i> , <i>H. Hinterleitner</i> , <i>J. Német</i> , <i>A. Jungmann</i> und <i>H. Kopp</i> . 8,10 EUR | 318: Eigenschaften von feuerverzinkten Überzügen auf kaltumgeformten Betonrippenstählen und Betonstahlmatten aus kaltgewalztem Betonrippenstahl. Technologische Eigenschaften von kaltgeformten Betonrippenstählen und Betonstahlmatten aus kaltgewalztem Betonrippenstahl nach einer Feuerverzinkung (1981).
Von <i>U. Nürnberger</i> . 9,40 EUR |
| 295: Kriech- und Relaxationsversuche an sehr altem Beton.
Von <i>H. Trost</i> , <i>H. Cordes</i> und <i>G. Abele</i> .
Kriechen und Rückkriechen von Beton nach langer Lasteinwirkung.
Von <i>P. Probst</i> und <i>S. Stöckl</i> .
Versuche zum Einfluss des Belastungsalters auf das Kriechen von Beton (1978).
Von <i>K. Wesche</i> , <i>I. Schrage</i> und <i>W. vom Berg</i> . 14,40 EUR | 307: Zur Bemessung der Schubbewehrung von Stahlbetonbalken mit möglichst gleichmäßiger Zuverlässigkeit (1979).
Von <i>W. Moosecker</i> . 8,10 EUR | 319: Vollstöße durch Übergreifung von zugbeanspruchten Rippenstählen in Normalbeton.
Von <i>M. Betzle</i> , <i>S. Stöckl</i> und <i>H. Kupfer</i> .
Vollstöße durch Übergreifung von zugbeanspruchten Rippenstählen in Leichtbeton.
Von <i>S. Stöckl</i> , <i>M. Betzle</i> und <i>G. Schmidt-Thrö</i> .
Verbundverhalten von Betonstählen, Untersuchung auf der Grundlage von Ausziehversuchen.
Von <i>H. Martin</i> und <i>P. Noakowski</i> .
Ermittlung der Verbundspannungen an gedrückten einbetonierten Betonstählen (1981).
Von <i>F. P. Müller</i> und <i>W. Eisenbiegler</i> . 25,20 EUR |
| 296: Die Bewehrung von Stahlbetonbauteilen bei Zwangsbeanspruchung infolge Temperatur (1978).
Von <i>P. Noakowski</i> . vergriffen | 308: Tragfähigkeit auf schrägen Druck von Brückenstegen, die durch Hüllrohre geschwächt sind.
Von <i>R. Koch</i> und <i>F. S. Rostásy</i> .
Spannungszustand aus Vorspannung im Bereich gekrümmter Spannglieder (1979).
Von <i>V. Cornelius</i> und <i>G. Mehlhorn</i> . 10,10 EUR | 320: Erläuterungen zu DIN 4227 Spannbeton.
Teil 1: Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung, Ausgabe 07.88
Teil 2: Bauteile mit teilweiser Vorspannung, Ausgabe 05.84
Teil 3: Bauteile in Segmentbauart; Bemessung und Ausführung der Fugen, Ausgabe 12.83
Teil 4: Bauteile aus Spannleichtbeton, Ausgabe 02.86
Teil 5: Einpressen von Zementmörtel in Spannkannäle, Ausgabe 12.79
Teil 6: Bauteile mit Vorspannung ohne Verbund, Ausgabe 05.82 (1989).
Zusammengestellt von <i>D. Bertram</i> . 34,30 EUR |
| 297: Einfluss des Feuchtigkeitsgehaltes und des Reifegrades auf die Wärmeleitfähigkeit von Beton.
Von <i>J. Hundt</i> und <i>A. Wagner</i> .
Sorptionsuntersuchungen am Zementstein, Zementmörtel und Beton (1978).
Von <i>J. Hundt</i> und <i>H. Kantelberg</i> . 8,60 EUR | 309: Kunstharzmörtel und Kunstharzbetone unter Kurzzeit- und Dauerstandbelastung.
Von <i>G. Rehm</i> , <i>L. Franke</i> und <i>K. Zeus</i> .
Langzeituntersuchungen an epoxidharzverklebten Zementmörtelprismen (1980).
Von <i>P. Jagfeld</i> . 10,00 EUR | 321: Leichtzuschlag-Beton mit hohem Gehalt an Mörtelporen (1981).
Von <i>H. Weigler</i> , <i>S. Karl</i> und <i>C. Jaegermann</i> . 6,20 EUR |
| 298: Erfahrungen bei der Prüfung von temporären Korrosionsschutzmitteln für Spannstähle.
Von <i>G. Rieche</i> und <i>J. Delille</i> .
Untersuchungen über den Korrosionsschutz von Spannstählen unter Spritzbeton (1978).
Von <i>G. Rehm</i> , <i>U. Nürnberger</i> und <i>R. Zimbelmann</i> . 8,10 EUR | 310: Teilweise Vorspannung – Verbundfestigkeit von Spanngliedern und ihre Bedeutung für Rissbildung und Rissbreitenbeschränkung (1980).
Von <i>H. Trost</i> , <i>H. Cordes</i> , <i>U. Thormaehlen</i> und <i>H. Hagen</i> . 19,90 EUR | 322: Biegebemessung von Stahlleichtbeton, Ableitung der Spannungsverteilung in der Biegedruckzone aus Prismenversuchen als Grundlage für DIN 4219.
Von <i>E. Grasser</i> und <i>P. Probst</i> .
Versuche zur Aufnahme der Umlenkräfte von gekrümmten Bewehrungsstäben durch Betondeckung und Bügel (1981).
Von <i>J. Neuner</i> und <i>S. Stöckl</i> . 14,50 EUR |
| 299: Versuche an dickwandigen, unbewehrten Betonringen mit Innendruckbeanspruchung (1978).
Von <i>J. Neuner</i> , <i>S. Stöckl</i> und <i>E. Grasser</i> . 8,60 EUR | 311: Segmentäre Spannbetonträger im Brückenbau (1980).
Von <i>K. Guckenberger</i> , <i>F. Daschner</i> und <i>H. Kupfer</i> . 18,00 EUR | 323: Zum Schubtragverhalten stabförmiger Stahlbetonelemente (1981).
Von <i>R. Mallée</i> . 10,70 EUR |
| 300: Hinweise zu DIN 1045, Ausgabe Dezember 1978. Bearbeitet von <i>D. Bertram</i> und <i>H. Deutschmann</i> .
Erläuterung der Bewehrungsrichtlinien (1979).
Von <i>G. Rehm</i> , <i>R. Eligehausen</i> und <i>B. Neubert</i> . vergriffen | 312: Schwellenwerte beim Betondruckversuch (1980).
Von <i>G. Schickert</i> . 18,00 EUR | |
| 301: Übergreifungsstöße zugbeanspruchter Rippenstäbe mit geraden Stabenden (1979).
Von <i>R. Eligehausen</i> . 12,90 EUR | 313: Spannungs-Dehnungs-Linien von Leichtbeton.
Von <i>H. Herrmann</i> .
Versuche zum Kriechen und Schwinden von hochfestem Leichtbeton (1980).
Von <i>P. Probst</i> und <i>S. Stöckl</i> . 14,50 EUR | |
| 302: Einfluss von Zusatzmitteln auf den Widerstand von jungem Beton gegen Rissbildung bei scharfem Austrocknen.
Von <i>W. Manns</i> und <i>K. Zeus</i> .
Spannungsoptische Untersuchungen zum Tragverhalten von zugbeanspruchten Übergreifungsstößen (1979).
Von <i>M. Betzle</i> . 8,60 EUR | 314: Kurzzeitverhalten von extrem leichten Betonen, Druckfestigkeit und Formänderungen.
Von <i>K. Bastgen</i> und <i>K. Wesche</i> .
Die Schubtragfähigkeit bewehrter Platten und Balken aus dampfgehärtetem Gasbeton nach Versuchen (1980).
Von <i>D. Briesemann</i> . 22,30 EUR | |
| 303: Querkraftschlüssige Verbindung von Stahlbetondeckenplatten (1979).
Von <i>H. Paschen</i> und <i>V. C. Zillich</i> . 10,70 EUR | 315: Bestimmung der Beulsicherheit von Schalen aus Stahlbeton unter Berücksichtigung der physikalisch-nicht-linearen Materialeigenschaften (1980).
Von <i>W. Zerna</i> , <i>I. Mungan</i> und <i>W. Steffen</i> . 7,60 EUR | |

- | Heft | Heft | Heft |
|--|---|--|
| 324: Wärmeausdehnung, Elastizitätsmodul, Schwinden, Kriechen und Restfestigkeit von Reaktorbeton unter einachsiger Belastung und erhöhten Temperaturen.
Von <i>H. Aschl</i> und <i>S. Stöckl</i> .
Versuche zum Einfluss der Belastungshöhe auf das Kriechen des Betons (1981).
Von <i>S. Stöckl</i> . 15,90 EUR | 336: Tragfähigkeit und Verformung von Stahlbetonbalken unter Biegung und gleichzeitigem Zwang infolge Auflagerverschiebung (1982).
Von <i>K. Kordina</i> , <i>F. S. Rostásy</i> und <i>B. Svensvik</i> . 10,70 EUR | 347: Wirkung der Endhaken bei Vollstößen durch Übergreifung von zugbeanspruchten Rippenstählen.
Von <i>G. Schmidt-Thrö</i> , <i>S. Stöckl</i> und <i>M. Betzle</i> .
Übergreifungs-Halbstoß mit kurzem Längsversatz ($l_v = 0,5 l_d$) bei zugbeanspruchten Rippenstählen in Leichtbeton.
Von <i>M. Betzle</i> , <i>S. Stöckl</i> und <i>H. Kupfer</i> .
Rissflächen im Beton im Bereich von Übergreifungsstößen zugbeanspruchter Rippenstähle (1983).
Von <i>M. Betzle</i> , <i>S. Stöckl</i> und <i>H. Kupfer</i> . 17,40 EUR |
| 325: Großmodellversuche zur Spanngliederung (1981).
Von <i>H. Cordes</i> , <i>K. Schütt</i> und <i>H. Trost</i> . 10,70 EUR | 337: Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen – Behaviour of Concrete at High Temperatures (1982).
Von <i>U. Schneider</i> . 15,50 EUR | 348: Tragfähigkeit querkraftschlüssiger Fugen zwischen Stahlbeton-Fertigteildeckenelementen (1983).
Von <i>H. Paschen</i> und <i>V. C. Zillich</i> .
vergriffen |
| 326: Blockfundamente für Stahlbetonfertigstützen (1981).
Von <i>H. Dieterle</i> und <i>A. Steinle</i> .
vergriffen | 338: Berechnung des zeitabhängigen Verhaltens von Stahlbetonplatten unter Last- und Zwangsbeanspruchung im ungerissenen und gerissenen Zustand (1982).
Von <i>G. Schaper</i> . 13,40 EUR | 349: Bestimmung des Wasserzementwertes von Frischbeton (1984).
Von <i>H. K. Hilsdorf</i> . 10,70 EUR |
| 327: Versuche zur Knicksicherung von druckbeanspruchten Bewehrungsstäben (1981).
Von <i>J. Neuner</i> und <i>S. Stöckl</i> . 8,60 EUR | 339: Stützenstöße im Stahlbeton-Fertigteilbau mit unbewehrten Elastomerlagern (1982).
Von <i>F. Müller</i> , <i>H. R. Sasse</i> und <i>U. Thor-mählen</i> .
vergriffen | 350: Spannbetonbauteile in Segmentbauart unter kombinierter Beanspruchung aus Torsion, Biegung und Querkraft.
Von <i>K. Kordina</i> , <i>M. Teutsch</i> und <i>V. Weber</i> .
Rissbildung von Segmentbauteilen in Abhängigkeit von Querschnittsausbildung und Spannstahlverbundeigenschaften.
Von <i>K. Kordina</i> und <i>V. Weber</i> .
Einfluss der Ausbildung unbewehrter Pressfugen auf die Tragfähigkeit von schrägen Druckstreben in den Stegen von Segmentbauteilen (1984).
Von <i>K. Kordina</i> und <i>V. Weber</i> . 16,70 EUR |
| 328: Zum Tragfähigkeitsnachweis für Wand-Decken-Knoten im Großtafelbau (1982).
Von <i>E. Hasse</i> . 14,50 EUR | 340: Durchlaufende Deckenkonstruktionen aus Spannbetonfertigteilplatten mit ergänzender Ortbetonschicht – Continuous Skin Stressed Slabs (1982).
Behaviour in Bending (Biegetrageverhalten).
Von <i>J. Rosenthal</i> und <i>E. Bljuger</i> .
Schubtragverhalten (Behaviour in Shear).
Von <i>F. Daschner</i> und <i>H. Kupfer</i> . 11,60 EUR | 351: Belastungs- und Korrosionsversuche an teilweise vorgespannten Balken.
Von <i>Günter Schelling</i> und <i>Ferdinand S. Rostásy</i> .
Teilweise Vorspannung – Plattenversuche (1984).
Von <i>Kassian Janovic</i> und <i>Herbert Kupfer</i> . 23,90 EUR |
| 329: Sachstandbericht Massenbeton.
Von <i>Deutscher Beton-Verein e.V.</i> .
Untersuchungen an einem über 20 Jahre alten Spannbetonträger der Pliensaubrücke Esslingen am Neckar (1982).
Von <i>K. Schäfer</i> und <i>H. Scheef</i> . 8,60 EUR | 341: Zum Ansatz der Betonzugfestigkeit bei den Nachweisen zur Trag- und Gebrauchsfähigkeit von unbewehrten und bewehrten Betonbauteilen (1983).
Von <i>M. Jahn</i> . 8,60 EUR | 352: Empfehlungen für brandschutztechnisch richtiges Konstruieren von Betonbauwerken.
Von <i>K. Kordina</i> und <i>L. Krampf</i> .
Möglichkeiten, nachträglich die in einem Betonbauteil während eines Schadenfeuers aufgetretenen Temperaturen abzuschätzen.
Von <i>A. Haksever</i> und <i>L. Krampf</i> .
Brandverhalten von Decken aus Glasstahlbeton nach DIN 1045 (Ausg. 12.78), Abschn. 20.3.
Von <i>C. Meyer-Ottens</i> .
Eindringen von Chlorid-Ionen aus PVC-Abbrand in Stahlbetonbauteile – Literaturlauswertung (1984).
Von <i>K. Wesche</i> , <i>G. Neroth</i> und <i>J. W. Weber</i> .
vergriffen |
| 330: Zusammenstellung und Beurteilung von Messverfahren zur Ermittlung der Beanspruchungen in Stahlbetonbauteilen (1982).
Von <i>H. Twelmeier</i> und <i>J. Schneefuß</i> . 12,10 EUR | 342: Dynamische Probleme im Stahlbetonbau –
Teil I: Der Baustoff Stahlbeton unter dynamischer Beanspruchung (1983).
Von <i>F. P. Müller</i> , <i>E. Keintzel</i> und <i>H. Charlier</i> . 18,80 EUR | 353: Einpressmörtel mit langer Verarbeitungszeit.
Von <i>W. Manns</i> und <i>R. Zimbelmann</i> .
Auswirkung von Fehlstellen im Einpressmörtel auf die Korrosion des Spannstahls.
Von <i>G. Rehm</i> , <i>R. Frey</i> und <i>D. Funk</i> .
Korrosionsverhalten verzinkter Spannstähle in gerissenem Beton (1984).
Von <i>U. Nürnberger</i> . 30,60 EUR |
| 331: Kleben im konstruktiven Betonbau (1982).
Von <i>G. Rehm</i> und <i>L. Franke</i> . 12,40 EUR | 343: Versuche zum Kriechen und Schwinden von hochfestem Leichtbeton. Versuche zum Rückkriechen von hochfestem Leichtbeton (1983).
Von <i>P. Hofmann</i> und <i>S. Stöckl</i> . 8,10 EUR | 354: Bewehrungsführung in Ecken und Rahmenendknoten.
Von <i>Karl Kordina</i> .
Vorschläge zur Bemessung rechteckiger und krantzörmiger Konsolen insbesondere unter exzentrischer Belastung aufgrund neuer Versuche (1984).
Von <i>Heinrich Paschen</i> und <i>Hermann Malonn</i> .
vergriffen |
| 332: Anwendungsgrenzen von vereinfachten Bemessungsverfahren für schlanke, zweiachsig ausmittig beanspruchte Stahlbetondruckglieder.
Von <i>P. C. Olsen</i> und <i>U. Quast</i> .
Traglast von Druckgliedern mit vereinfachter Bügelbewehrung unter Feuerangriff.
Von <i>A. Haksever</i> und <i>R. Hass</i> .
Traglast von Druckgliedern mit vereinfachter Bügelbewehrung unter Normaltemperatur und Kurzzeitbeanspruchung (1982).
Von <i>K. Kordina</i> und <i>R. Mester</i> . 15,00 EUR | 344: Versuche zur Teilflächenbelastung von Leichtbeton für tragende Konstruktionen.
Von <i>H. G. Heilmann</i> .
Teilflächenbelastung von Normalbeton – Versuche an bewehrten Scheiben (1983).
Von <i>P. Wurm</i> und <i>F. Daschner</i> . 12,60 EUR | |
| 333: Festschrift „75 Jahre Deutscher Ausschuss für Stahlbeton“ (1982).
Von <i>D. Bertram</i> , <i>E. Bornemann</i> , <i>N. Bunke</i> , <i>H. Goffin</i> , <i>D. Jungwirth</i> , <i>K. Kordina</i> , <i>H. Kupfer</i> , <i>J. Schlaich</i> , <i>B. Wedler</i> und <i>W. Zerna</i> . 22,60 EUR | 345: Experimentelle Ermittlung der Steifigkeiten von Stahlbetonplatten (1983).
Von <i>H. Schäfer</i> , <i>K. Schneider</i> und <i>H. G. Schäfer</i> . 11,60 EUR | |
| 334: Versuche an Spannbetonbalken unter kombinierter Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Torsion (1982).
Von <i>M. Teutsch</i> und <i>K. Kordina</i> . 10,20 EUR | 346: Tragfähigkeit geschweißter Verbindungen im Betonfertigteilbau.
Von <i>E. Czieielski</i> und <i>M. Friedmann</i> .
Versuche zur Ermittlung der Tragfähigkeit in Beton eingespannter Rundstahldollern aus nichtrostendem austenitischem Stahl.
Von <i>G. Utescher</i> und <i>H. Herrmann</i> .
Untersuchungen über in Beton eingelassene Scherbolzen aus Betonstahl (1983).
Von <i>H. Paschen</i> und <i>T. Schönhoff</i> .
vergriffen | |
| 335: Versuche zum Tragverhalten von segmentären Spannbetonträgern – Vergleichende Auswertung für Epoxidharz- und Zementmörtelfugen (1982).
Von <i>H. Kupfer</i> , <i>K. Guckenberger</i> und <i>F. Daschner</i> . 10,70 EUR | | |

- | Heft | Heft | Heft |
|---|---|---|
| 355: Untersuchungen zur Vorspannung ohne Verbund.
Von <i>Heinrich Trost, Heiner Cordes</i> und <i>Bernhard Weller</i> .
Anwendung der Vorspannung ohne Verbund.
Von <i>Karl Kordina, Josef Hegger</i> und <i>Manfred Teutsch</i> .
Ermittlung der wirtschaftlichen Bewehrung von Flachdecken mit Vorspannung ohne Verbund (1984).
Von <i>Karl Kordina, Manfred Teutsch</i> und <i>Josef Hegger</i> . 20,90 EUR | 367: Verbundverhalten von Bewehrungsstählen unter Dauerbelastung in Normal- und Leichtbeton.
Von <i>Kassian Janovic</i> .
Übergreifungsstöße geschweißter Betonstahlmatten.
Von <i>Gallus Rehm</i> und <i>Rüdiger Tewes</i> .
Übergreifungsstöße geschweißter Betonstahlmatten in Stahlleichtbeton (1986).
Von <i>Gallus Rehm</i> und <i>Rüdiger Tewes</i> . 14,50 EUR | 375: Grundlagen und Verfahren für den Knicksicherheitsnachweis von Druckgliedern aus Konstruktionsleichtbeton.
Von <i>Roland Molzahn</i> .
Einfluss des Kriechens auf Ausbiegung und Tragfähigkeit schlanker Stützen aus Konstruktionsleichtbeton (1986).
Von <i>Roland Molzahn</i> . 13,40 EUR |
| 356: Korrosionsschutz von Bauwerken, die im Gleitschalungsbau errichtet wurden (1984).
Von <i>Karl Kordina</i> und <i>Siegfried Droese</i> . 16,70 EUR | 368: Fugen und Aussteifungen in Stahlbetonskelettbauten (1986).
Von <i>Bernd Hock, Kurt Schäfer</i> und <i>Jörg Schlaich</i> . vergriffen | 376: Trag- und Verformungsfähigkeit von Stützen bei großen Zwangsverschiebungen der Decken.
Von <i>Peter Steidle</i> und <i>Kurt Schäfer</i> .
Versuche an Stützen mit Normalkraft und Zwangsverschiebungen (1986).
Von <i>Rolf Wohlfahrt</i> und <i>Rainer Koch</i> . 22,60 EUR |
| 357: Konstruktion, Bemessung und Sicherheit gegen Durchstanzen von balkenlosen Stahlbetondecken im Bereich der Innenstützen (1984).
Von <i>Udo Schaefer</i> . vergriffen | 369: Versuche zum Verhalten unterschiedlicher Stahlsorten in stoßbeanspruchten Platten (1986).
Von <i>Josef Eibl</i> und <i>Klaus Kreuser</i> . 13,40 EUR | 377: Versuche zur Schubtragwirkung von profilierten Stahlbeton- und Spannbetonträgern mit überdrückten Gurtplatten (1986).
Von <i>Herbert Kupfer</i> und <i>Klaus Guckenberger</i> . 14,00 EUR |
| 358: Kriechen von Beton unter hoher zentrischer und exzentrischer Druckbeanspruchung (1985).
Von <i>Emil Grasser</i> und <i>Udo Kraemer</i> . 15,30 EUR | 370: Einfluss von Rissen auf die Dauerhaftigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen.
Von <i>Peter Schießl</i> .
Dauerhaftigkeit von Spanngliedern unter zyklischen Beanspruchungen.
Von <i>Heiner Cordes</i> .
Beurteilung der Betriebsfestigkeit von Spannbetonbrücken im Koppelfugenbereich unter besonderer Berücksichtigung einer möglichen Rissbildung.
Von <i>Gert König</i> und <i>Hans-Christian Gerhardt</i> .
Nachweis zur Beschränkung der Rissbreite in den Normen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1986).
Von <i>Eilhard Wölfel</i> . vergriffen | 378: Versuche über das Verbundverhalten von Rippenstählen bei Anwendung des Gleitbauverfahrens.
Teilbericht I:
Ausziehversuche, Proben in Utting hergestellt.
Von <i>Gerfried Schmidt-Thrö</i> und <i>Siegfried Stöckl</i> .
Teilbericht II:
Versuche zur Bestimmung charakteristischer Betoneigenschaften bei Anwendung des Gleitbauverfahrens.
Von <i>Gerfried Schmidt-Thrö, Siegfried Stöckl</i> und <i>Herbert Kupfer</i> .
Teilbericht III:
Ausziehversuche und Versuche an Übergreifungsstößen, Proben in Berlin bzw. Köln hergestellt.
Von <i>Klaus Kluge, Gerfried Schmidt-Thrö, Siegfried Stöckl</i> und <i>Herbert Kupfer</i> .
Einfluss der Probekörperform und der Messpunktanordnung auf die Ergebnisse von Ausziehversuchen (1986).
Von <i>Gerfried Schmidt-Thrö, Siegfried Stöckl</i> und <i>Herbert Kupfer</i> . 27,40 EUR |
| 359: Versuche zur Ermüdungsbeanspruchung der Schubbewehrung von Stahlbetonträgern.
Von <i>Klaus Guckenberger, Herbert Kupfer</i> und <i>Ferdinand Daschner</i> .
Vorgespannte Schubbewehrung (1985).
Von <i>Jürgen Ruhnau</i> und <i>Herbert Kupfer</i> . 25,20 EUR | 371: Tragfähigkeit durchstanzgefährdeter Stahlbetonplatten-Entwicklung von Bemessungsvorschlägen (1986).
Von <i>Karl Kordina</i> und <i>Diedrich Nöling</i> . vergriffen | 379: Experimentelle und analytische Untersuchungen zur wirklichkeitsnahen Bestimmung der Bruchschnittgrößen unbewehrter Betonbauteile unter Zugbeanspruchung. (1987).
Von <i>Dietmar Scheidler</i> . 16,70 EUR |
| 360: Festigkeitsverhalten und Strukturveränderungen von Beton bei Temperaturbeanspruchung bis 250 °C (1985).
Von <i>Jürgen Seeberger, Jörg Kropp</i> und <i>Hubert K. Hilsdorf</i> . 18,80 EUR | 372: Literaturstudie zur Schubsicherung bei nachträglich ergänzten Querschnitten.
Von <i>Ferdinand Daschner</i> und <i>Herbert Kupfer</i> .
Versuche zur notwendigen Schubbewehrung zwischen Betonfertigteilen und Ortbeton.
Von <i>Ferdinand Daschner</i> .
Verminderte Schubdeckung in Stahlbeton- und Spannbetonträgern mit Fugen parallel zur Tragrichtung unter Berücksichtigung nicht vorwiegend ruhender Lasten.
Von <i>Ingo Nissen, Ferdinand Daschner</i> und <i>Herbert Kupfer</i> .
Literaturstudie über Versuche mit sehr hohen Schubspannungen (1986).
Von <i>Herbert Kupfer</i> und <i>Ferdinand Daschner</i> . vergriffen | 380: Eigenspannungszustand in Stahl- und Spannbetonkörpern infolge unterschiedlichen thermischen Dehnverhaltens von Beton und Stahl bei tiefen Temperaturen.
Von <i>Ferdinand S. Rostásy</i> und <i>Jochen Scheuermann</i> .
Verbundverhalten einbetonierten Betonrippenstahls bei extrem tiefer Temperatur.
Von <i>Ferdinand S. Rostásy</i> und <i>Jochen Scheuermann</i> .
Versuche zur Biegetragfähigkeit von Stahlbetonplattenstreifen bei extrem tiefer Temperatur (1987).
Von <i>Günter Wiedemann, Jochen Scheuermann, Karl Kordina</i> und <i>Ferdinand S. Rostásy</i> . 19,90 EUR |
| 361: Beitrag zur Bemessung von schlanken Stahlbetonstützen für schiefe Biegung mit Achsdruck unter Kurzzeit- und Dauerbelastung – Contribution to the Design of Slender Reinforced Concrete Columns Subjected to Biaxial Bending and Axial Compression Considering Short and Long Term Loadings (1985).
Von <i>Nelson Szilard Galgoul</i> . 21,50 EUR | 373: Empfehlungen für die Bewehrungsführung in Rahmenecken und -knoten.
Von <i>Karl Kordina, Ehrenfried Schaafl</i> und <i>Thomas Westphal</i> .
Das Übertragungs- und Weggrößenverfahren für ebene Stahlbetonstabtragwerke unter Verwendung von Tangentensteifigkeiten (1986).
Von <i>Poul Colberg Olsen</i> . vergriffen | 381: Schubtragverhalten von Spannbetonbauteilen mit Vorspannung ohne Verbund.
Von <i>Karl Kordina</i> und <i>Josef Hegger</i> .
Systematische Auswertung von Schubversuchen an Spannbetonbalken (1987).
Von <i>Karl Kordina</i> und <i>Josef Hegger</i> . 21,50 EUR |
| 362: Versuche an Konstruktionsleichtbetonbauteilen unter kombinierter Beanspruchung aus Torsion, Biegung und Querkraft (1985).
Von <i>Karl Kordina</i> und <i>Manfred Teutsch</i> . 13,40 EUR | 374: Schwingfestigkeitsverhalten von Betonstählen unter wirklichkeitsnahen Beanspruchungs- und Umgebungsbedingungen (1986).
Von <i>Gallus Rehm, Wolfgang Harre</i> und <i>Willibald Beul</i> . 14,50 EUR | |
| 363: Versuche zur Mitwirkung des Betons in der Zugzone von Stahlbetonröhren (1985).
Von <i>Jörg Schlaich</i> und <i>Hans Schober</i> . 14,50 EUR | | |
| 364: Empirische Zusammenhänge zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit stabförmiger Stahlbetonelemente (1985).
Von <i>Karl Kordina</i> und <i>Franz Blume</i> . 11,80 EUR | | |
| 365: Experimentelle Untersuchungen bewehrter und hoher Prüfkörper aus Normalbeton mittels eines zwängungsarmen Kraffteinleitungssystems (1985).
Von <i>Manfred Specht, Rita Schmidt</i> und <i>Hartmut Kappes</i> . 16,10 EUR | | |
| 366: Grundsätzliche Untersuchungen zum Geräteeinfluss bei der mehraxialen Druckprüfung von Beton (1985).
Von <i>Helmut Winkler</i> . 29,00 EUR | | |

- | Heft | Heft | Heft |
|---|--|---|
| 382: Berechnen und Bemessen von Verbundprofilstäben bei Raumtemperatur und unter Brandeinwirkung (1987).
Von <i>Otto Jungbluth</i> und <i>Werner Gradwohl</i> . 16,70 EUR | 392: Dynamische Probleme im Stahlbetonbau – Teil II: Stahlbetonbauteile und -bauwerke unter dynamischer Beanspruchung (1988).
Von <i>Josef Eibl</i> , <i>Einar Keintzel</i> und <i>Hermann Charlier</i> . vergriffen | 402: Kunststoffbeschichtete Betonstähle (1989).
Von <i>Gallus Rehm</i> , <i>Rainer Blum</i> , <i>Elke Fielker</i> , <i>Reinhard Frey</i> , <i>Dieter Junginger</i> , <i>Bernhard Kipp</i> , <i>Peter Langer Klaus Menzel</i> und <i>Ferdinand Nagel</i> . 29,00 EUR |
| 383: Unbewehrter und bewehrter Beton unter Wechselbeanspruchung (1987).
Von <i>Helmut Weigler</i> und <i>Karl-Heinz Rings</i> . 12,10 EUR | 393: Querschnittsbericht zur Rissbildung in Stahl- und Spannbetonkonstruktionen.
Von <i>Rolf Eligehausen</i> und <i>Helmut Kreller</i> .
Korrosion von Stahl in Beton – einschließlich Spannbeton (1988).
Von <i>Ulf Nürnberger</i> , <i>Klaus Menzel</i> und <i>Armin Löhr</i> und <i>Reinhard Frey</i> . vergriffen | 403: Wassergehalt von Beton bei Temperaturen von 100 °C bis 500 °C im Bereich des Wasserdampfpartialdruckes von 0 bis 5,0 MPa.
Von <i>Wilhelm Manns</i> und <i>Bernd Neubert</i> .
Permeabilität und Porosität von Beton bei hohen Temperaturen (1989).
Von <i>Ulrich Schneider</i> und <i>Hans Joachim Herbst</i> . 14,00 EUR |
| 384: Einwirkung von Streusalzen auf Betone unter gezielt praxisnahen Bedingungen (1987).
Von <i>Reinhard Frey</i> . 7,80 EUR | 394: Nachweisverfahren für Verankerung, Verformung, Zwangbeanspruchung und Rissbreite. Kontinuierliche Theorie der Mitwirkung des Betons auf Zug. Rechenhilfen für die Praxis (1988).
Von <i>Piotr Noakowski</i> . vergriffen | 404: Verhalten von Beton bei mäßig erhöhten Betriebstemperaturen (1989).
Von <i>Harald Budelmann</i> . 24,70 EUR |
| 385: Das Schubtragverhalten schlanker Stahlbetonbalken – Theoretische und experimentelle Untersuchungen für Leicht- und Normalbeton.
Von <i>Helmut Kirmair</i> .
Rissverhalten im Schubbereich von Stahlleichtbetonträgern (1987).
Von <i>Kassian Janovic</i> . 18,80 EUR | 395: Berechnung von Temperatur-, Feuchte- und Verschiebungsfeldern in erhärteten Betonbauteilen nach der Methode der finiten Elemente (1988).
Von <i>Holger Hamfler</i> . 30,00 EUR | 405: Korrosion und Korrosionsschutz der Bewehrung im Massivbau – neuere Forschungsergebnisse – Folgerungen für die Praxis – Hinweise für das Regelwerk (1990).
Von <i>Ulf Nürnberger</i> . vergriffen |
| 386: Das Tragverhalten von Beton – Einfluss der Festigkeit und der Erhärtingsbedingungen (1987).
Von <i>Helmut Weigler</i> und <i>Eike Bielak</i> . 13,40 EUR | 396: Rissbreitenbeschränkung und Mindestbewehrung bei Eigenspannungen und Zwang (1988).
Von <i>Manfred Puche</i> . 31,20 EUR | 406: Die Berechnung von ebenen, in ihrer Ebene belasteten Stahlbetonbauteilen mit der Methode der Finiten Elemente (1990).
Von <i>Günter Borg</i> . vergriffen |
| 387: Tragverhalten quadratischer Einzelfundamente aus Stahlbeton.
Von <i>Hannes Dieterle</i> und <i>Ferdinand S. Rostásy</i> .
Zur Bemessung quadratischer Stützenfundamente aus Stahlbeton unter zentrischer Belastung mit Hilfe von Bemessungsdiagrammen (1987).
Von <i>Hannes Dieterle</i> . 23,10 EUR | 397: Spezielle Fragen beim Schweißen von Betonstählen.
Gleichmaßdehnung von Betonstählen (1989).
Von <i>Dieter Rußwurm</i> . 16,10 EUR | 407: Zwang und Rissbildung in Wänden auf Fundamenten (1990).
Von <i>Ferdinand S. Rostásy</i> und <i>Wolfgang Henning</i> . 25,70 EUR |
| 388: Wandartige Träger mit Auflagerverstärkungen und vertikalen Arbeitsfugen (1987).
Von <i>Jens Götsche</i> und <i>Heinrich Twelmeier†</i> . 17,80 EUR | 398: Zur Fallwerkwirkung der Stahlbetontreppen (1989).
Von <i>Hans-Heinrich Osteroth</i> . vergriffen | 408: Druck und Querkzug in bewehrten Betonelementen.
Von <i>Kurt Schäfer</i> , <i>Günther Schelling</i> und <i>Thomas Kuchler</i> .
Altersabhängige Beziehung zwischen der Druck- und Zugfestigkeit von Beton im Bauwerk – Bauwerkszugfestigkeit – (1990).
Von <i>Ferdinand S. Rostásy</i> und <i>Ernst-Holger Ranisch</i> . 25,70 EUR |
| 389: Verankerung der Bewehrung am Endauflager bei einachsiger Querpressung.
Von <i>Gerfried Schmidt-Thrö</i> , <i>Siegfried Stöckl</i> und <i>Herbert Kupfer</i> .
Einfluss einer einachsigen Querpressung und der Verankerungslänge auf das Verbundverhalten von Rippenstählen im Beton.
Von <i>Gerfried Schmidt-Thrö</i> , <i>Siegfried Stöckl</i> und <i>Herbert Kupfer</i> .
Rissflächen im Beton im Bereich einer auf Zug beanspruchten Stabverankerung (1988).
Von <i>Gerfried Schmidt-Thrö</i> . 27,90 EUR | 399: Das Bewehren von Stahlbetonbauteilen – Erläuterungen zu verschiedenen gebräuchlichen Bauteilen (1993).
Von <i>Rolf Eligehausen</i> und <i>Roland Gerster</i> . 25,70 EUR | 409: Zum nichtlinearen Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonstabtragwerken unter Last- und Zwangeinwirkung (1990).
Von <i>Helmut Kreller</i> . 21,50 EUR |
| 390: Einfluss von Betongüte, Wasserhaushalt und Zeit auf das Eindringen von Chloriden in Beton.
Von <i>Gallus Rehm</i> , <i>Ulf Nürnberger</i> , <i>Bernd Neubert</i> und <i>Frank Nenninger</i> .
Chloridkorrosion von Stahl in gerissem Beton.
A – Bisheriger Kenntnisstand.
B – Untersuchungen an der 30 Jahre alten Westmole in Helgoland.
C – Auslagerung gerissener, mit unverzinkten und feuerverzinkten Stählen bewehrten Stahlbetonbalken auf Helgoland (1988).
Von <i>Gallus Rehm</i> , <i>Ulf Nürnberger</i> und <i>Bernd Neubert</i> . vergriffen | 400: Erläuterungen zu DIN 1045, Beton und Stahlbeton, Ausgabe 07.88.
Zusammengestellt von <i>Dieter Bertram</i> und <i>Norbert Bunke</i> .
Hinweise für die Verwendung von Zement zu Beton.
Von <i>Justus Bonzel</i> und <i>Karsten Rendchen</i> .
Grundlagen der Neuregelung zur Beschränkung der Rissbreite.
Von <i>Peter Schießl</i> .
Erläuterungen zur Richtlinie für Beton mit Fließmitteln und für Fließbeton.
Von <i>Justus Bonzel</i> und <i>Eberhard Siebel</i> .
Erläuterungen zur Richtlinie Alkali-Reaktion im Beton (1989). 4. Auflage 1994 (3. berichtigter Nachdruck).
Von <i>Justus Bonzel</i> , <i>Jürgen Dahms</i> und <i>Jürgen Krell</i> . 38,60 EUR | 410: Kunststoffbeschichtungen auf ständig durchfeuchtetem Beton – Adhäsionseigenschaften, Eignungsprüfkriterien, Beschichtungsgrundsätze (1990).
Von <i>Michael Fiebrich</i> . 20,40 EUR |
| 391: Biegetragverhalten und Bemessung von Trägern mit Vorspannung ohne Verbund.
Von <i>Josef Zimmermann</i> .
Experimentelle Untersuchung zum Biegetragverhalten von Durchlaufträgern mit Vorspannung ohne Verbund (1988).
Von <i>Bernhard Weller</i> . 25,70 EUR | 401: Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton.
Arbeitskreis: Prüfverfahren – Chlorideindringtiefe.
Leitung: <i>Rupert Springenschmid</i> .
Schnellbestimmung des Chloridgehaltes von Beton.
Von <i>Horst Dorner</i> , <i>Günter Kleiner</i> .
Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton durch Direktpotentiometrie. (1989).
Von <i>Horst Dorner</i> . vergriffen | 411: Untersuchungen über das Tragverhalten von Köcherfundamenten (1990).
Von <i>Georg-Wilhelm Mainka</i> und <i>Heinrich Paschen</i> . 22,60 EUR |
| | | 412: Mindestbewehrung zwangbeanspruchter dicker Stahlbetonbauteile (1990).
Von <i>Manfred Helmus</i> . 24,70 EUR |
| | | 413: Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der Druckfestigkeit des gerissenen Stahlbetons bei einer Querkzugbeanspruchung (1990).
Von <i>Johann Kollegger</i> und <i>Gerhard Mehlhorn</i> . 27,90 EUR |
| | | 414: Versuche zur Ermittlung von Schalungsdruck und Schalungsreibung im Gleitbau (1990).
Von <i>Karl Kordina</i> und <i>Siegfried Droese</i> . 19,30 EUR |

- | Heft | Heft | Heft |
|---|--|--|
| 415: Programmgesteuerte Berechnung beliebiger Massivbauquerschnitte unter zweiachsiger Biegung mit Längskraft (Programm MASQUE) (1990).
Von <i>Dirk Busjaeger</i> und <i>Ulrich Quast</i> .
31,20 EUR | 427: Verminderte Schubdeckung in Betonträgern mit Fugen parallel zur Tragrichtung bei sehr hohen Schubspannungen und nicht vorwiegend ruhenden Lasten (1992).
Von <i>Ferdinand Daschner</i> und <i>Herbert Kupfer</i> .
14,00 EUR | 440: Untersuchung zur Durchlässigkeit von faserfreien und faserverstärkten Betonbauteilen mit Trennrissen.
Von <i>Masaaki Tsukamoto</i> .
Gitterschnittkennwert als Kriterium für die Adhäsionsgüte von Oberflächenschutzsystemen auf Beton (1994).
Von <i>Michael Fiebrich</i> .
18,30 EUR |
| 416: Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen – Sachstandsbericht (1991).
Von <i>Thomas Fehlhaber</i> , <i>Gert König</i> , <i>Siegfried Mängel</i> , <i>Hermann Poll</i> , <i>Hans-Wolf Reinhardt</i> , <i>Carola Reuter</i> , <i>Peter Schießl</i> , <i>Bernd Schnütgen</i> , <i>Gerhard Spanka</i> , <i>Friedhelm Stangenberg</i> , <i>Gerd Thielen</i> und <i>Johann-Dietrich Wörner</i> .
37,60 EUR | 428: Entwicklung eines Expertensystems zur Beurteilung, Beseitigung und Vorbeugung von Oberflächenschäden an Betonbauteilen (1992).
Von <i>Michael Sohni</i> .
20,40 EUR | 441: Physikalisch nichtlineare Berechnung von Stahlbetonplatten im Vergleich zur Bruchlinientheorie (1994).
Von <i>Andreas Pardey</i> .
36,50 EUR |
| 417: Stahlbeton- und Spannbetonbauteile bei extrem tiefer Temperatur – Versuche und Berechnungsansätze für Lasten und Zwang (1991).
Von <i>Uwe Pusch</i> und <i>Ferdinand S. Rostásy</i> .
22,60 EUR | 429: Der Einfluss mechanischer Spannungen auf den Korrosionswiderstand zementgebundener Baustoffe (1992).
Von <i>Ulrich Schneider</i> , <i>Erich Nägele</i> , <i>Frank Dumat</i> und <i>Steffen Holst</i> .
20,40 EUR | 442: Versuche zum Kriechen von Beton bei mehrachsiger Beanspruchung – Auswertung auf der Basis von errechneten elastischen Anfangsverformungen.
Von <i>Henric Bierwirth</i> , <i>Siegfried Stöckl</i> und <i>Herbert Kupfer</i> .
Kriechen, Rückkriechen und Dauerstandfestigkeit von Beton bei unterschiedlichem Feuchtegehalt und Verwendung von Portlandzement bzw. Portlandkalksteinzement (1994).
Von <i>Dirk Nechvatal</i> , <i>Siegfried Stöckl</i> und <i>Herbert Kupfer</i> .
20,40 EUR |
| 418: Warmbehandlung von Beton durch Mikrowellen (1991).
Von <i>Ulrich Schneider</i> und <i>Frank Dumat</i> .
30,00 EUR | 430: Standardisierte Nachweise von häufigen D-Bereichen (1992).
Von <i>Mattias Jennwein</i> und <i>Kurt Schäfer</i> .
20,40 EUR | 443: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen unter Verwendung von Kunststoffen – Sachstandsbericht – (1994).
Von <i>H. Rainer Sasse</i> u. a.
51,60 EUR |
| 419: Bruchmechanisches Verhalten von Beton unter monotoner und zyklischer Zugbeanspruchung (1991).
Von <i>Herbert Duda</i> .
17,20 EUR | 431: Spannungsumlagerungen in Verbundquerschnitten aus Fertigteilen und Ortbeton statisch bestimmter Träger infolge Kriechen und Schwinden unter Berücksichtigung der Rissbildung (1992).
Von <i>Günther Ackermann</i> , <i>Erich Raue</i> , <i>Lutz Ebel</i> und <i>Gerhard Setzpfandt</i> .
vergriffen | 444: Zum Zug- und Schubtragverhalten von Bauteilen aus hochfestem Beton (1994).
Von <i>Gerd Rimmel</i> .
23,60 EUR |
| 420: Versuche zum Kriechen und zur Restfestigkeit von Beton bei mehrachsiger Beanspruchung.
Von <i>Norbert Lanig</i> , <i>Siegfried Stöckl</i> und <i>Herbert Kupfer</i> .
Kriechen von Beton nach langer Lasteinwirkung.
Von <i>Norbert Lanig</i> und <i>Siegfried Stöckl</i> .
Frühe Kriechverformungen des Betons (1991).
Von <i>Heinrich Trost</i> und <i>Hans Paschmann</i> .
24,70 EUR | 432: Lineare und nichtlineare Theorie des Kriechens und der Relaxation von Beton unter Druckbeanspruchung (1992).
Von <i>Jing-Hua Shen</i> .
12,90 EUR | 445: Zum Eindringverhalten von Flüssigkeiten und Gasen in ungerissenen Beton.
Von <i>Thomas Fehlhaber</i> .
Eindringverhalten von Flüssigkeiten in Beton in Abhängigkeit von der Feuchte der Probekörper und der Temperatur.
Von <i>Massimo Sosoro</i> und <i>Hans-Wolf Reinhardt</i> .
Untersuchung der Dichtheit von Vakuumbeton gegenüber wassergefährdenden Flüssigkeiten (1994).
Von <i>Reinhard Frey</i> und <i>Hans-Wolf Reinhardt</i> .
27,90 EUR |
| 421: Entwicklung radiographischer Untersuchungsmethoden des Verbundverhaltens von Stahl und Beton (1991).
Von <i>Andrea Steinwedel</i> .
22,60 EUR | 433: Zur chloridinduzierten Makroelementkorrosion von Stahl in Beton (1992).
Von <i>Michael Raupach</i> .
23,60 EUR | 446: Modell zur Vorhersage des Eindringverhaltens von organischen Flüssigkeiten in Beton (1995).
Von <i>Massimo Sosoro</i> .
17,20 EUR |
| 422: Prüfung von Beton-Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048 (1991).
Zusammengestellt von <i>Norbert Bunke</i> .
33,30 EUR | 434: Beurteilung der Wirksamkeit von Steinkohlenflugaschen als Betonzusatzstoff (1993).
Von <i>Franz Sybertz</i> .
23,60 EUR | 447: Versuche zum Verhalten von Beton unter dreiachsiger Kurzzeitbeanspruchung.
Tests on the Behaviour of Concrete under Triaxial Shorttime Loading.
Von <i>Ulrich Scholz</i> , <i>Dirk Nechvatal</i> , <i>Helmut Aschl</i> , <i>Diethelm Linse</i> , <i>Emil Grasser</i> und <i>Herbert Kupfer</i> .
Auswertung von Versuchen zur mehrachsigen Betonfestigkeit, die an der Technischen Universität München durchgeführt wurden.
Evaluation of the Multiaxial Strength of Concrete Tested at Technische Universität München.
Von <i>Zhenhai Guo</i> , <i>Yunlong Zhou</i> und <i>Dirk Nechvatal</i> .
Versuche zur Methode der Verformungsmessung an dreiachsig beanspruchten Betonwürfeln.
Tests on Methods for Strain Measurements on Cubic Specimen of Concrete under Triaxial Loading (1995).
Von <i>Christian Dialer</i> , <i>Norbert Lanig</i> , <i>Siegfried Stöckl</i> und <i>Cölestin Zelger</i> .
25,70 EUR |
| 423: Experimentelle Untersuchungen des Trag- und Verformungsverhaltens schlanker Stahlbetondruckglieder mit zweiachsiger Ausmitte.
Von <i>Rainer Grzeschkowitz</i> , <i>Karl Kordina</i> und <i>Manfred Teutsch</i> .
Erweiterung von Traglastprogrammen für schlanke Stahlbetondruckglieder (1992).
Von <i>Rainer Grzeschkowitz</i> und <i>Ulrich Quast</i> .
23,60 EUR | 435: Zur Spannungsumlagerung im Spannbeton bei der Rissbildung unter statischer und wiederholter Belastung (1993).
Von <i>Nguyen Viet Tue</i> .
18,30 EUR | |
| 424: Tragverhalten von Befestigungen unter Querlasten in ungerissenem Beton (1992).
Von <i>Werner Fuchs</i> .
29,00 EUR | 436: Zum karbonatisierungsbedingten Verlust der Dauerhaftigkeit von Außenbauteilen aus Stahlbeton (1993).
Von <i>Dieter Bunte</i> .
27,90 EUR | |
| 425: Bemessungshilfsmittel zu Eurocode 2 Teil 1 (DIN V ENV 1992 Teil 1-1, Ausgabe 06.92).
Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken (1992).
3. ergänzte Auflage 1997.
Von <i>Karl Kordina</i> u. a.
40,90 EUR | 437: Festigkeit und Verformung von Beton bei hoher Temperatur und biaxialer Beanspruchung – Versuche und Modellbildung – (1994).
Von <i>Karl-Christian Thienel</i> .
22,60 EUR | |
| 426: Einfluss der Probekörperform auf die Ergebnisse von Ausziehversuchen – Finite-Element-Berechnung – (1992).
Von <i>Jürgen Mainz</i> und <i>Siegfried Stöckl</i> .
19,30 EUR | 438: Hochfester Beton, Sachstandsbericht, Teil 1: Betontechnologie und Betoneigenschaften.
Teil 2: Bemessung und Konstruktion (1994).
Von <i>Gert König</i> , <i>Harald Bergner</i> , <i>Rainer Grimm</i> , <i>Markus Held</i> , <i>Gerd Rimmel</i> und <i>Gerd Simsch</i> .
19,30 EUR | |
| | 439: Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990 (1994).
Von <i>Gert König</i> und <i>Ireneusz Danielewicz</i> .
21,50 EUR | |

- | Heft | Heft | Heft |
|--|--|--|
| 448: Veränderung des Betongefüges durch die Wirkung von Steinkohlenflugasche und ihr Einfluss auf die Betoneigenschaften (1995).
Von <i>Reiner Härdtl.</i> 18,30 EUR | Durchlässigkeit von überdrückten Trennrissen im Beton bei Beaufschlagung mit wassergefährdenden Flüssigkeiten.
Von <i>Norbert Brauer</i> und <i>Peter Schießl.</i>
Untersuchungen zum Eindringen von Flüssigkeiten in Beton, zur Dekontamination von Beton sowie zur Dichtigkeit von Arbeitsfugen (1996).
Von <i>Hans Paschmann</i> und <i>Horst Grube.</i> | 468: Stahlfaserbeton für Dicht- und Verschleißschichten auf Betonkonstruktionen.
Von <i>Burkhard Wienke.</i>
Einfluss von Stahlfasern auf das Verschleißverhalten von Betonen unter extremen Betriebsbedingungen in Bunkern von Abfallbehandlungsanlagen (1996).
Von <i>Thomas Höcker.</i> 26,90 EUR |
| 449: Wirksame Betonzugfestigkeit im Bauwerk bei früh einsetzendem Temperaturzwang (1995).
Von <i>Peter Onken</i> und <i>Ferdinand S. Rostásy.</i> 20,40 EUR | 458: Umweltverträglichkeit zementgebundener Baustoffe – Sachstandsbericht – (1996).
Von <i>Inga Hohberg, Christoph Müller, Peter Schießl</i> und <i>Gerhard Volland.</i> 20,40 EUR | 469: Schadensablauf bei Korrosion der Spannbewehrung (1996).
Von <i>Gert König, Nguyen Viet Tue, Thomas Bauer</i> und <i>Dieter Pommerening.</i> 16,10 EUR |
| 450: Prüfverfahren und Untersuchungen zum Eindringen von Flüssigkeiten und Gasen in Beton sowie zum chemischen Widerstand von Beton.
Von <i>Hans Paschmann, Horst Grube</i> und <i>Gerd Thielen.</i>
Untersuchungen zum Eindringen von Flüssigkeiten in Beton sowie zur Verbesserung der Dichtigkeit des Betons (1995).
Von <i>Hans Paschmann, Horst Grube</i> und <i>Gerd Thielen.</i> 23,60 EUR | 459: Bemessen von Stahlbetonbalken und -wandscheiben mit Öffnungen (1996).
Von <i>Hermann Ulrich Hottmann</i> und <i>Kurt Schäfer.</i> 26,90 EUR | 470: Anforderungen an Stahlbetonlager thermischer Behandlungsanlagen für feste Siedlungsabfälle.
Von <i>Georg Zimmermann.</i>
Temperaturbeanspruchungen in Stahlbetonlagern für feste Siedlungsabfälle (1996).
Von <i>Ralf Brüning.</i> 36,50 EUR |
| 451: Beton als sekundäre Dichtbarriere gegenüber umweltgefährdenden Flüssigkeiten (1995).
Von <i>Michael Aufrecht.</i> vergriffen | 460: Fließverhalten von Flüssigkeiten in durchgehend gerissenen Betonkonstruktionen (1996).
Von <i>Christiane Imhof-Zeitler.</i> 32,20 EUR | 471: Zum Bruchverhalten von hochfestem Beton bei einer Zugbeanspruchung durch formschlüssige Verankerungen (1997).
Von <i>Ralf Zeitler.</i> 17,20 EUR |
| 452: Wöhlerlinien für einbetonierte Spanngliedkopplungen.
– Dauerschwingversuche an Spanngliedkopplungen des Litzenspannverfahrens D & W.
Von <i>Gert König</i> und <i>Roland Sturm.</i>
– Dauerschwingversuche an Spanngliedkopplungen des Bündelspanngliedes BBRV-SUSPA II (1995).
Von <i>Gert König</i> und <i>Ireneusz Danielewicz.</i> 16,10 EUR | 461: Grundlagen für den Entwurf, die Berechnung und konstruktive Durchbildung lager- und fugenloser Brücken (1996).
Von <i>Michael Pötzl, Jörg Schlaich</i> und <i>Kurt Schäfer.</i> 21,50 EUR | 472: Segmentbalken mit Vorspannung ohne Verbund unter kombinierter Beanspruchung aus Torsion, Biegung und Querkraft.
Von <i>Horst Falkner, Manfred Teutsch</i> und <i>Zhen Huang.</i>
Eurocode 8: Tragwerksplanung von Bauten in Erdbebengebieten Grundlagen, Anforderungen. Vergleich mit DIN 4149 (1997).
Von <i>Dan Constantinescu.</i> 16,10 EUR |
| 453: Ein durchgängiges Ingenieurmodell zur Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit im Bruchzustand von Bauteilen aus Stahlbeton mit und ohne Vorspannung der Festigkeitsklassen C 12 bis C 115 (1995).
Von <i>Manfred Specht</i> und <i>Hans Scholz.</i> 23,60 EUR | 462: Umweltgerechter Rückbau und Wiederverwertung mineralischer Baustoffe – Sachstandsbericht (1996).
Von <i>Peter Gröbl</i> u. a. 32,20 EUR | 473: Zum Verbundtragverhalten laschenverstärkter Betonbauteile unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung.
Von <i>Christoph Hankers.</i>
Ingenieurmodelle des Verbunds geklebter Bewehrung für Betonbauteile (1997).
Von <i>Peter Holzenkämpfer.</i> 30,00 EUR |
| 454: Tragverhalten von randfernen Kopfbolzenverankerungen bei Betonbruch (1995).
Von <i>Guochen Zhao.</i> 20,40 EUR | 463: Contec ES – Computer Aided Consulting für Betonoberflächenschäden (1996).
Von <i>Gabriele Funk.</i> vergriffen | 474: Injizierte Risse unter Medien- und Lasteinfluss.
Teil I: Grundlagenversuche.
Von <i>Horst Falkner, Manfred Teutsch, Thies Claußen, Jürgen Günther</i> und <i>Sabine Rohde.</i>
Teil 2: Bauteiluntersuchungen.
Von <i>Hans-Wolf Reinhardt, Massimo Sosoro, Friedrich Paul</i> und <i>Xiao-feng Zhu.</i>
Oberflächenschutzmaßnahmen zur Erhöhung der chemischen Dichtungswirkung.
Von <i>Klaus Littmann.</i>
Korrosionsschutz der Bewehrung bei Einwirkung umweltgefährdender Flüssigkeiten (1997).
Von <i>Romain Weydert</i> und <i>Peter Schießl.</i> 27,90 EUR |
| 455: Wasserdurchlässigkeit und Selbstheilung von Trennrissen in Beton (1996).
Von <i>Carola Katharina Edvardsen.</i> 23,60 EUR | 464: Sicherheitserhöhung durch Fugenverminderung – Spannbeton im Umweltbereich.
Von <i>Jens Schütte, Manfred Teutsch</i> und <i>Horst Falkner.</i>
Fugen in chemisch belasteten Betonbauteilen.
Von <i>Hans-Werner Nordhues</i> und <i>Johann-Dietrich Wörner.</i>
Durchlässigkeit und konstruktive Konzeption von Fugen (Fertigteilverbindungen) (1996).
Von <i>Marko Bida</i> und <i>Klaus-Peter Grote.</i> 31,20 EUR | 475: Transport organischer Flüssigkeiten in Betonbauteilen mit Mikro- und Biegrissen.
Von <i>Xiao-feng Zhu.</i>
Eindring- und Durchströmungsvorgänge umweltgefährdender Stoffe an feinen Trennrissen in Beton (1997).
Von <i>Detlef Bick, Heiner Cordes</i> und <i>Heinrich Trost.</i> vergriffen |
| 456: Zum Schubtragverhalten von Fertigplatten mit Ortbetonergänzung.
Von <i>Horst Georg Schäfer</i> und <i>Wolfgang Schmidt-Kehle.</i>
Oberflächenrauheit und Haftverbund.
Von <i>Horst Georg Schäfer, Klaus Block</i> und <i>Rita Drell.</i>
Zur Oberflächenrauheit von Fertigplatten mit Ortbetonergänzung.
Von <i>Horst Georg Schäfer</i> und <i>Wolfgang Schmidt-Kehle.</i>
Ortbetonergänzte Fertigteilbalken mit profilierter Anschlussfuge unter hoher Querkraftbeanspruchung (1996).
Von <i>Horst Georg Schäfer</i> und <i>Wolfgang Schmidt-Kehle.</i> 30,00 EUR | 465: Dichtschichten aus hochfestem Faserbeton.
Von <i>Martina Lemberg.</i>
Dichtheit von Faserbetonbauteilen (synthetische Fasern) (1996).
Von <i>Johann-Dietrich Wörner, Christiane Imhof-Zeitler</i> und <i>Martina Lemberg.</i> 29,00 EUR | |
| 457: Verbesserung der Undurchlässigkeit, Beständigkeit und Verformungsfähigkeit von Beton.
Von <i>Udo Wiens, Fritz Grahn</i> und <i>Peter Schießl.</i> | 466: Grundlagen und Bemessungshilfen für die Rissbreitenbeschränkung im Stahlbeton und Spannbeton sowie Kommentare, Hintergrundinformationen und Anwendungsbeispiele zu den Regelungen nach DIN 1045. EC2 und Model Code 90 (1996).
Von <i>Gert König</i> und <i>Nguyen Viet Tue.</i> 21,50 EUR | |
| | 467: Verstärken von Betonbauteilen – Sachstandsbericht – (1996).
Von <i>Horst Georg Schäfer</i> u. a. 18,30 EUR | |

Heft	Heft	Heft
476: Zuverlässigkeit des Verpressens von Spannkämen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten auf der Baustelle (1997). Von <i>Ferdinand S. Rostásy</i> und <i>Alex-W. Gutsch</i> . 25,70 EUR	489: Mindestbewehrung für verformungsbehinderte Betonbauteile im jungen Alter (1998). Von <i>Udo Paas</i> . 23,60 EUR	503: Untersuchungen zum Einfluss der bezogenen Rippenfläche von Bewehrungsstäben auf das Tragverhalten von Stahlbetonbauteilen im Gebrauchs- und Bruchzustand (2000). Von <i>Rolf Eligehausen</i> und <i>Utz Mayer</i> . 20,90 EUR
477: Einfluss bruchmechanischer Kenngrößen auf das Biege- und Schubtragverhalten hochfester Betone (1997). Von <i>Rainer Grimm</i> . 27,90 EUR	490: Beschichtete Bewehrung. Ergebnisse sechsjähriger Auslagerungsversuche. Von <i>Klaus Menzel</i> , <i>Frank Schulze</i> und <i>Hans-Wolf Reinhardt</i> . Kontinuierliche Ultraschallmessung während des Erstarrens und Erhärtens von Beton als Werkzeug des Qualitätsmanagements (1998). Von <i>Hans-Wolf Reinhardt</i> , <i>Christian U. Große</i> und <i>Alexander Herb</i> . 18,30 EUR	504: Schubtragverhalten von Stahlbetonbauteilen mit rezyklierten Zuschlägen (2000). Von <i>Sufang Lü</i> . 24,70 EUR
478: Tragfähigkeit von Druckstreben und Knoten in D-Bereichen (1997). Von <i>Wolfgang Sundermann</i> und <i>Kurt Schäfer</i> . 29,00 EUR	491: Der Einfluss der freien Schwingungen auf ausgewählte dynamische Parameter von Stahlbetonbiegeträgern (1999). Von <i>Manfred Specht</i> und <i>Michael Kramp</i> . 31,20 EUR	505: Biegetragverhalten von Stahlbetonbauteilen mit rezyklierten Zuschlägen (2000). Von <i>Matthias Meißner</i> . 29,00 EUR
479: Über das Brandverhalten punktgestützter Stahlbetonplatten (1997). Von <i>Karl Kordina</i> . 25,70 EUR	492: Nichtlineares Last-Verformungs-Verhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen, Verformungsvermögen und Schnittgrößenermittlung (1999). Von <i>Gert König</i> , <i>Dieter Pommerening</i> und <i>Nguyen Viet Tue</i> . 26,90 EUR	506: Verwertung von Brechsand aus Bauschutt (2000). Von <i>Christoph Müller</i> und <i>Bernd Dora</i> . 24,70 EUR
480: Versagensmodell für schubslanke Balken (1997). Von <i>Jürgen Fischer</i> . 19,30 EUR	493: Leitfaden für die Erfassung und Bewertung der Materialien eines Abbruchobjektes (1999). Von <i>Theo Rommel</i> , <i>Wolfgang Katzer</i> , <i>Gerhard Tauchert</i> und <i>Jie Huang</i> . 18,80 EUR	507: Betonkennwerte für die Bemessung und Verbundverhalten von Beton mit rezykliertem Zuschlag (2000). Von <i>Konrad Zilch</i> und <i>Frank Roos</i> . 19,30 EUR
481: Sicherheitskonzept für Bauten des Umweltschutzes. Von <i>Daniela Kiefer</i> . Erfahrungen mit Bauten des Umweltschutzes. Von <i>Johann-Dietrich Wörner</i> , <i>Daniela Kiefer</i> und <i>Hans-Werner Nordhues</i> . Qualitätskontrollmaßnahmen bei Betonkonstruktionen (1997). Von <i>Otto Kroggel</i> . 21,50 EUR	494: Tragverhalten von Stahlfaserbeton (1999). Von <i>Yong-zhi Lin</i> . 23,60 EUR	508: Zulässige Toleranzen für die Abweichungen der mechanischen Kennwerte von Beton mit rezykliertem Zuschlag (2000). Von <i>Johann-Dietrich Wörner</i> , <i>Pieter Moerland</i> , <i>Sabine Giebenhain</i> , <i>Harald Kloft</i> und <i>Klaus Leiblein</i> . 16,70 EUR
482: Rissbreitenbeschränkung zwangbeanspruchter Bauteile aus hochfestem Normalbeton (1997). Von <i>Harald Bergner</i> . 25,70 EUR	495: Stoffeigenschaften jungen Betons; Versuche und Modelle (1999). Von <i>Alex-W. Gutsch</i> . 29,50 EUR	509: Bruchmechanisches Verhalten jungen Betons (2000). Von <i>Karim Hariri</i> . 24,70 EUR
483: Durchlässigkeitsgesetze für Flüssigkeiten mit Feinstoffanteilen bei Betonbunkern von Abfallbehandlungsanlagen. Von <i>Klaus-Peter Grote</i> . Einfluss von Stahlfasern auf die Durchlässigkeit von Beton (1997). Von <i>Ralf Winterberg</i> . 22,60 EUR	496: Entwerfen und Bemessen von Betonbrücken ohne Fugen und Lager (1999). Von <i>Stephan Engelsmann</i> , <i>Jörg Schlaich</i> und <i>Kurt Schäfer</i> . 25,70 EUR	510: Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken – Zuverlässigkeitsbetrachtungen zur wirksamen Vermeidung von Bewehrungskorrosion (2000). Von <i>Christoph Gehlen</i> . 24,20 EUR
484: Grenzen der Anwendung nichtlinearer Rechenverfahren bei Stabtragwerken und einachsiger gespannten Platten. Von <i>Rolf Eligehausen</i> und <i>Eckhart Fabritius</i> . Rotationsfähigkeit von plastischen Gelenken im Stahl- und Spannbetonbau. Von <i>Longfei Li</i> . Verdrehfähigkeit plastizierter Tragwerksbereiche im Stahlbetonbau (1998). Von <i>Peter Langer</i> . 37,60 EUR	497: Entwicklung von Verfahren zur Beurteilung der Kontamination der Baustoffe vor dem Abbruch (Schnellprüfverfahren) (2000). Von <i>Jochen Stark</i> und <i>Peter Nobst</i> . 20,90 EUR	511: Hydroabrasionsverschleiß von Betonoberflächen. Beton und Mörtel für die Instandsetzung verschleißgeschädigter Betonbauteile im Wasserbau (2000). Von <i>Gesa Haroske</i> , <i>Jan Vala</i> und <i>Ulrich Diederichs</i> . 27,40 EUR
485: Verwendung von Bitumen als Gleitschicht im Massivbau. Von <i>Manfred Curbach</i> und <i>Thomas Bösche</i> . Versuche zur Eignung industriell gefertigter Bitumenbahnen als Bitumengleitschicht (1998). Von <i>Manfred Curbach</i> und <i>Thomas Bösche</i> . 21,50 EUR	498: Kriechen von Beton unter Zugbeanspruchung (2000). Von <i>Karl Kordina</i> , <i>Lothar Schubert</i> und <i>Uwe Troitzsch</i> . 16,70 EUR	512: Zwang und Rissbildung infolge Hydratationswärme – Grundlagen Berechnungsmodelle und Tragverhalten (2000). Von <i>Benno Eierle</i> und <i>Karl Schikora</i> . 27,40 EUR
486: Trag- und Verformungsverhalten von Rahmenknoten (1998). Von <i>Karl Kordina</i> , <i>Manfred Teutsch</i> und <i>Erhard Wegener</i> . 34,30 EUR	499: Tragverhalten von stumpf gestoßenen Fertigteilstützen aus hochfestem Beton (2000). Von <i>Jens Minnert</i> . 29,00 EUR	513: Beton als kreislaufgerechter Baustoff (2001). Von <i>Christoph Müller</i> . 65,50 EUR
487: Dauerhaftigkeit hochfester Betone (1998). Von <i>Ulf Guse</i> und <i>Hubert K. Hilsdorf</i> . 19,30 EUR	500: BiM-Online – Das interaktive Informationssystem zu „Baustoffkreislauf im Massivbau“ (2000). Von <i>Hans-Wolf Reinhardt</i> , <i>Marcus Schreyer</i> und <i>Joachim Schwarte</i> . 21,50 EUR	514: Einfluss von rezykliertem Zuschlag auf Betonbruch auf die Dauerhaftigkeit von Beton. Von <i>Beatrix Kerkhoff</i> und <i>Eberhard Siebel</i> . Einfluss von Feinstoffen aus Betonbruch auf den Hydratationsfortschritt. Von <i>Walter Wassing</i> . Recycling von Beton, der durch eine Alkali-reaktion gefährdet oder bereits geschädigt ist. Von <i>Wolfgang Aue</i> . Frostwiderstand von rezykliertem Zuschlag aus Altbeton und mineralischen Baustoffgemischen (Bauschutt) (2001). Von <i>Stefan Wies</i> und <i>Wilhelm Manns</i> . 48,60 EUR
488: Sachstandsbericht zum Einsatz von Textilien im Massivbau (1998). Von <i>Manfred Curbach</i> u. a. 22,60 EUR	501: Tragverhalten und Sicherheit betonstahlbewehrter Stahlfaserbetonbauteile (2000). Von <i>Ulrich Gossla</i> . 20,40 EUR	
	502: Witterungsbeständigkeit von Beton. 3. Bericht (2000). Von <i>Wilhelm Manns</i> und <i>Kurt Zeus</i> . 17,80 EUR	

Heft	Heft	Heft
515: Analytische und numerische Untersuchungen des Durchstanzverhaltens punktgestützter Stahlbetonplatten (2001). Von <i>Markus Anton Staller</i> . 43,50 EUR	523: Beständigkeit verschiedener Betonarten im Meerwasser und in sulfathaltigem Wasser (2003). Von <i>Ottokar Hallauer</i> . 96,10 EUR	537: Zum Einfluss der Oberflächengestalt von Rippenstählen auf das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen (2003). Von <i>Utz Mayer</i> . 44,20 EUR
516: Sachstandbericht Selbstverdichtender Beton (SVB) (2001). Von <i>Hans-Wolf Reinhardt, Wolfgang Brameshuber, Geraldine Buchenau, Frank Dehn, Horst Grube, Peter Grübl, Bernd Hillemeier, Martin Jooß, Bert Kilanowski, Thomas Krüger, Christoph Lemmer, Viktor Mechterine, Harald Müller, Thomas Müller, Markus Planterer, Andreas Rogge, Andreas Schaab, Angelika Schießl und Stephan Uebachs</i> . 33,80 EUR	524: Mehraxiale Festigkeit von duktilem Hochleistungsbeton (2002). Von <i>Manfred Curbach und Kerstin Speck</i> . 68,30 EUR	538: Analyse der Transportmechanismen für wassergefährdende Flüssigkeiten in Beton zur Berechnung des Medientransportes in ungerissene und gerissene Betondruckzonen (2002). Von <i>Norbert Brauer</i> . 45,40 EUR
517: Verformungsverhalten und Tragfähigkeit dünner Stege von Stahlbeton- und Spannbetonträgern mit hoher Betongüte (2001). Von <i>Karl-Heinz Reineck, Rolf Wohlfahrt und Harianto Hardjasaputra</i> . 54,20 EUR	525: Erläuterungen zu DIN 1045-1; 2. überarbeitete Auflage (2010) 64,30 EUR	539: Alkalireaktion im Bauwerksbeton. Ein Erfahrungsbericht (2003). Von <i>Wilfried Bödeker</i> . 26,30 EUR
518: Schubtragfähigkeit längsbewehrter Porenbetonbauteile ohne Schubbewehrung. Thermische Vorspannung bewehrter Porenbetonbauteile. Kriechen von unbewehrtem Porenbeton. Kriechen des Porenbetons im Bereich der zur Verankerung der Längsbewehrung dienenden Querstäbe und Tragfähigkeit der Verankerung (2001). Von <i>Ferdinand Daschner und Konrad Zilch</i> . 55,90 EUR	526: Erläuterungen zu den Normen DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN EN 12620; 2. überarbeitete Auflage (2011). 88,40 EUR	540: Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetontragwerken unter Betriebsbelastung (2003). Von <i>Thomas M. Sippel</i> . 27,30 EUR
519: Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Zweiter Sachstandsbericht mit Beispielsammlung (2001). Von <i>Rolf Breitenbücher, Franz-Josef Frey, Horst Grube, Wilhelm Kanning, Klaus Lehmann, Hans-Wolf Reinhardt, Bernd Schnütgen, Manfred Teutsch, Günter Timm und Johann-Dietrich Wörner</i> . 52,10 EUR	527: Füllen von Rissen und Hohlräumen in Betonbauteilen (2006). Von <i>Angelika Eßer</i> . 58,40 EUR	541: Das Ermüdungsverhalten von Dübelbefestigungen (2003). Von <i>Klaus Block und Friedrich Dreier</i> . 38,80 EUR
520: Frühe Risse in massigen Betonbauteilen – Ingenieurmodelle für die Planung von Gegenmaßnahmen (2001). Von <i>Ferdinand S. Rostásy und Matias Krauß</i> . 39,20 EUR	528: Schubtragfähigkeit von Betonerhöhungen an nachträglich aufgerauten Betonoberflächen bei Sanierungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen (2002). Von <i>Konrad Zilch und Jürgen Mainz</i> . 20,80 EUR	542: Charakterisierung, Modellierung und Bewertung des Auslaugungsverhaltens umweltrelevanter, anorganischer Stoffe aus zementgebundenen Baustoffen (2003). Von <i>Inga Hohberg</i> . 52,40 EUR
521: Sachstandbericht Nachhaltig Bauen mit Beton (2001). Von <i>Hans-Wolf Reinhardt, Wolfgang Brameshuber, Carl-Alexander Graubner, Peter Grübl, Bruno Hauer, Katja Hüske, Julian Kümmel, Hans-Ulrich Litzner, Heiko Lünser, Dieter Rußwurm</i> . 31,10 EUR	529: Betonwaren mit Recyclingzuschlägen. Von <i>Christoph Müller und Peter Schießl</i> . Rezyklieren von Leichtbeton (2002). Von <i>Hans-Wolf Reinhardt und Julian Kümmel</i> . 32,20 EUR	543: Mikrostrukturuntersuchungen zum Sulfatangriff bei Beton (2003). Von <i>Winfried Malorny</i> . 19,60 EUR
522: Anwendung von hochfestem Beton im Brückenbau. Erfahrungen mit Entwurf, Ausschreibung, Vergabe und Tragwerksplanung. Von <i>André Müller, Hans Pfisterer, Jürgen Weber und Konrad Zilch</i> . Erfahrungen mit der Bauausführung und Maßnahmen zur Gewährleistung der geforderten Qualität. Von <i>Markus Hennecke, Gert Leonhardt und Rolf Stahl</i> . Betontechnologie (2002). Von <i>Volker Hartmann und Werner Schrub</i> . 37,60 EUR	530: Nachweise zur Sicherheit beim Abbruch von Stahlbetonbauwerken durch Sprengen. Von <i>Josef Eibl, Andreas Plotzitz, Nico Herrmann</i> . Sprengtechnischer Abbruch, Erprobung und Optimierung (2000). Von <i>Hans-Ulrich Freund, Gerhard Duseberg, Steffen Schumann, Helmut Roller, Walter Werner</i> . 36,50 EUR	544: Hochfester Beton unter Dauerzuglast (2003). Von <i>Tassilo Rinder</i> . 37,70 EUR
	531: Großtechnische Versuche zur Nassaufbereitung von Recycling-Baustoffen mit der Setzmaschine. Von <i>Harald Kurkowski und Klaus Mesters</i> . Einflüsse der Aufbereitung von Bauschutt für eine Verwendung als Betonzuschlag (2003). Von <i>Werner Reichel und Petra Heldt</i> . 42,80 EUR	545: Gebrauchsverhalten von Bodenplatten aus Beton unter Einwirkungen infolge Last und Zwang (2004). Von <i>Peter Niemann</i> . 65,00 EUR
	532: Die Bemessung und Konstruktion von Rahmenknoten. Grundlagen und Beispiele gemäß DIN 1045-1(2002). Von <i>Josef Hegger und Wolfgang Roeser</i> . 62,80 EUR	546: Zu Deckenscheiben zusammengespannte Stahlbetonfertigteile für demontable Gebäude (2003). Von <i>Georg Christian Weiß</i> . 39,90 EUR
	533: Rechnerische Untersuchung der Durchbiegung von Stahlbetonplatten unter Ansatz wirklichkeitsnaher Steifigkeiten und Lagerungsbedingungen und unter Berücksichtigung zeitabhängiger Verformungen (2006). Von <i>Konrad Zilch und Uli Donaubaue</i> . Zum Trag- und Verformungsverhalten bewehrter Betonquerschnitte im Grenz-zustand der Gebrauchstauglichkeit. Von <i>Wolfgang Krüger und Olaf Mertzsch</i> . 67,70 EUR	547: Durchstanzen von Bodenplatten unter rotationssymmetrischer Belastung (2004). Von <i>Maike Timm</i> . 49,10 EUR
	534: Sicherheitskonzept für nichtlineare Traglastverfahren im Betonbau (2003). Von <i>Michael Six</i> . 51,90 EUR	548: Die Druckfestigkeit von gerissenen Scheiben aus Hochleistungsbeton und selbstverdichtendem Beton unter Berücksichtigung des Einflusses der Rissneigung (2005). Von <i>Angelika Schießl</i> . 56,30 EUR
	535: Rotationsfähigkeit von Rahmenecken (2002). Von <i>Jan Akkermann und Josef Eibl</i> . 43,70 EUR	549: Zum Gebrauchs- und Tragverhalten von Tunnelschalen aus Stahlfaserbeton und stahlfaserverstärktem Stahlbeton (2004). Von <i>Olaf Hemmy</i> . 74,20 EUR
		550: Zur Querkrafttragfähigkeit von Balken aus stahlfaserverstärktem Stahlbeton (2004). Von <i>Joachim Rosenbusch</i> . 47,60 EUR
		551: Zur Wirkung von Steinkohlenflugasche auf die chloridinduzierte Korrosion von Stahl in Beton (2005). Von <i>Udo Wiens</i> . 63,30 EUR
		552: Randbedingungen bei der Instandsetzung nach dem Schutzprinzip W bei Bewehrungskorrosion im karbonatisierten Beton (2005). Von <i>Romain Weydert</i> . 38,50 EUR

Heft	Heft	Heft
553: Traglast unbewehrter Beton- und Mauerwerkswände – Nichtlineares Berechnungsmodell und konsistentes Bemessungskonzept für schlanke Wände unter Druckbeanspruchung (2005). Von <i>Christian Glock</i> . 67,70 EUR	566: Untersuchung des Trag- und Verformungsverhaltens von Stahlbetonbalken mit großen Öffnungen (2007). Von <i>Martina Schnellenbach-Held, Stefan Ehmman, Carina Neff</i> . 36,20 EUR	579: Modellierung des Feuchte- und Salztransports unter Berücksichtigung der Selbstabdichtung in zementgebundenen Baustoffen (2010). Von <i>Petra Rucker-Gramm</i> . 69,00 EUR
554: Sachstandbericht Sulfatangriff auf Beton (2006). Von <i>R. Breitenbücher, D. Heinz, K. Lipus, J. Paschke, G. Thielen, L. Urbanos, F. Wisotzky</i> . 50,80 EUR	567: Sachstandbericht Frischbetondruck fließfähiger Betone (2006). Von <i>C.-A. Graubner, H. Beitzel, M. Beitzel, W. Brameshuber, M. Brunner, F. Dehn, S. Glowienka, R. Hertle, J. Huth, O. Leitzbach, L. Meyer, Ch. Motzko, H. S. Müller, H. Schuon, T. Proske, M. Rathfelder, S. Uebachs</i> . 24,60 EUR	580: Zur Korrosion von Stahlschalungen in Fertigteilwerken (2011). Von <i>Till F. Mayer</i> . 51,90 EUR
555: Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ (2006). 18,10 EUR	568: Abschätzung der Wahrscheinlichkeit tausalzinduzierter Bewehrungskorrosion – Baustein eines Systems zum Lebenszyklusmanagement von Stahlbetonbauwerken (2007). Von <i>Sascha Lay</i> . 47,30 EUR	581: Verwendung von Steinkohlenflugasche zur Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion im Beton (2010). Von <i>Karl Schmidt</i> . 65,00 EUR
556: Probabilistischer Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen gegen frühe Trennrisse in massigen Betonbauteilen (2006). Von <i>Matias Krauß</i> . 52,40 EUR	569: Sachstandbericht Hüttensandmehl als Betonzusatzstoff – Sachstand und Szenarien für die Anwendung in Deutschland (2007). Von <i>O. Alßbrock, W. Brameshuber, A. Ehrenberg, D. Heinz, E. Lang, Ch. Müller, R. Pierkes, E. Siebel</i> . 33,30 EUR	582: Betonbauteile mit Bewehrung aus Faserverbundkunststoff (FVK) (2010). Von <i>Jörg Niewels, Josef Hegger</i> . 64,30 EUR
557: Querkrafttragfähigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbalken aus Normal- und Hochleistungsbeton (2007). Von <i>Josef Hegger, Stephan Görtz</i> . 35,50 EUR	570: Einfluss der Mischungszusammensetzung auf die frühen autogenen Verformungen der Bindemittelmatrix von Hochleistungsbetonen (2007). Von <i>Patrick Fontana</i> . 38,20 EUR	583: Beitrag zu den Schädigungsmechanismen in Betonen mit langsam reagierender alkaliempfindlicher Gesteinskörnung (2010). Von <i>Oliver Mielich</i> . 65,30 EUR
558: Zur Dauerhaftigkeit von AR-Glasbewehrung in Textilbeton (2005). Von <i>Jeanette Orłowski</i> . 35,50 EUR	571: Konzentrierte Lasteinleitung in dünnwandige Bauteile aus textiltbewehrtem Beton (2008). Von <i>Manfred Curbach, Kerstin Speck</i> . 36,50 EUR	584: Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ Potenziale des Sekundärstoffesatzes im Betonbau – Teilprojekt B. Von <i>Bruno Hauer, Roland Pierkes, Stefan Schäfer, Maik Seidel, Tristan Herbst, Katrin Rübner, Birgit Meng</i> . Effiziente Sicherstellung der Umweltverträglichkeit von Beton – Teilprojekt E (2011). Von <i>Wolfgang Brameshuber, Anya Vollpracht, Joachim Hannawald, Holger Nebel</i> . 87,70 EUR
559: Herstellungszustand verformungsbehinderter Bodenplatten aus Beton (2006). Von <i>Silke Agatz</i> . 36,00 EUR	572: Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“ (2007). 97,80 EUR	585: Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau – Teilprojekt C (2011). Von <i>Josef Hegger, Tobias Dreßen, Norbert Will, Hartwig N. Schneider, Christian Fensterer, Norbert Hanenberg, Marten F. Brunk, Thorsten Bleyer, Konrad Zilch, Christian Mühlbauer, Roland Niedermeier, André Müller, Andreas Haas, Ingo Heusler, Herbert Sinnesbichler</i> . 69,40 EUR
560: Sachstandbericht Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse (2005). Von <i>E. Siebel, W. Brameshuber, Ch. Brandes, U. Dahme, F. Dehn, K. Dombrowski, V. Feldrappe, U. Frohburg, U. Guse, A. Huß, E. Lang, L. Lohaus, Ch. Müller, H. S. Müller, S. Palecki, L. Petersen, P. Schröder, M. J. Setzer, F. Weise, A. Westendarp, U. Wiens</i> . 36,00 EUR	573: Korrosionsmonitoring und Bruchortung vorgespannter Zugglieder in Bauwerken (2008). Von <i>Alexander Holst</i> . 66,60 EUR	586: Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ Lebenszyklusmanagementsystem zur Nachhaltigkeitsbeurteilung – Teilprojekt D (2011). Von <i>Peter Schießl, Christoph Gehlen, Marc Zintel, Ernst Rank, André Borrmann, Katharina Lukas, Harald Budelmann, Martin Empelmann, Gunnar Heumann, Tilman W. Starck, Sylvia Keßler</i> . 50,00 EUR
561: Sachstandbericht Ultrahochfester Beton (2008). Von <i>M. Schmidt, R. Bornemann, K. Bunje, F. Dehn, K. Droll, E. Fehling, S. Greiner, J. Horvath, E. Kleen, Ch. Müller, K.-H. Reineck, I. Schachinger, T. Teichmann, M. Teutsch, R. Thiel, N. V. Tue</i> . 39,30 EUR	574: Zur Validierung quantitativer zerstörungsfreier Prüfverfahren im Stahlbetonbau am Beispiel der Laufzeitmessung (2008). Von <i>Alexander Taffe</i> . 52,90 EUR	587: Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ Informationssystem „NBB-Info“ – Teilprojekt F (2011). Von <i>Hans-Wolf Reinhardt, Joachim Schwarte, Christian Piehl</i> . 38,80 EUR
562: Eigenschaften von wärmebehandeltem Selbstverdichtendem Beton (2006). Von <i>Michael Stegmaier</i> . 54,60 EUR	575: Verbundverhalten von Klebebewehrung unter Betriebsbedingungen (2009). Von <i>Kurt Borchert</i> . 60,10 EUR	
563: Zur wasserstoffinduzierten Spannungsrissskorrosion von hochfesten Spannstählen – Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von Spannbetonbauteilen (2005). Von <i>Jörg Moersch</i> . 38,80 EUR	576: Mechanismen der Blasenbildung bei Reaktionssharbeschichtungen auf Beton (2009). Von <i>Lars Wolff</i> . 52,50 EUR	
564: Experimentelle und theoretische Untersuchungen der Frischbetoneigenschaften von Selbstverdichtendem Beton (2006). Von <i>Timo Wüstholtz</i> . 45,40 EUR	577: Zusammenfassender Bericht zum Verbundforschungsvorhaben „Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse“ (2010). Von <i>Harald S. Müller, Ulf Guse</i> . 27,40 EUR	
565: Zerstörungsfreie Prüfverfahren und Bauwerksdiagnose im Betonbau – Beiträge zur Fachtagung des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 11.03.2005 Berlin (2006). 27,80 EUR	578: Experimentelle Analyse des Tragverhaltens von Hochleistungsbeton unter mehraxialer Beanspruchung (2011). Von <i>Manfred Curbach, Silke Scheerer, Kerstin Speck, Torsten Hampel</i> . 126,00 EUR	

Heft	Heft	Heft
588: Der Stadtbaustein im DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ – Dossier zu Nachhaltigkeitsuntersuchungen – Teilprojekt A. Von <i>Carl-Alexander Graubner, Thorsten Bleyer, Marten F. Brunk, Tobias Dreßen, Christian Fensterer, Christoph Gehlen, Andreas Haas, Norbert Hanenberg, Bruno Hauer, Josef Hegger, Ingo Heusler, Sylvia Keßler, Torsten Mielecke, Christian Piehl, Hans-Wolf Reinhardt, Carolin Roth, Peter Schießl, Hartwig N. Schneider, Joachim Schwarte, Herbert Sinnesbichler, Udo Wiens, Konrad Zilch.</i> 56,20 EUR	595: Erläuterungen und Beispiele zur DAfStb-Richtlinie „Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung“ (2013) Von <i>Konrad Zilch.</i> 50,80 EUR	602: Dauerhaftigkeitsbemessung von Stahlbetonbauteilen auf Bewehrungskorrosion – Teil 2: Dauerhaftigkeitsbemessung (2012). Von <i>Harald S. Müller, Edgar Bohner, Christian Fischer, Joško Ozbolt, Christoph Gehlen, Kai Osterminski, Peter Schießl, Stefanie von Greve-Dierfeld.</i> 68,60 EUR
589: Zerstörungsfreie Ortung von Gefügestörungen in Betonbodenplatten (2010). Von <i>Harald S. Müller, Martin Fenchel, Herbert Wiggenhauser, Christiane Maihofer, Martin Krause, Andre Gardei, Frank Mielentz, Boris Milman, Mathias Röllig, Jens Wöstmann.</i> 84,60 EUR	595 (en): Commentary on the DAfStb Guideline “Strengthening of concrete members with adhesively bonded reinforcement” with Examples (2014) 63,50 EUR	603: Gütebewertung qualitativer Prüfaufgaben in der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen am Beispiel des Impulsradarverfahrens (2012). Von <i>Sascha Feistkorn.</i> 70,80 EUR
590: Materialverhalten von hochfestem Beton unter thermomechanischer Beanspruchung (2010). Von <i>Sven Huismann.</i> 65,00 EUR	596: Vereinfachtes Rechenverfahren zum Nachweis des konstruktiven Brandschutzes bei Stahlbeton-Kragstützen (2013). Von <i>Dietmar Hosser, Ekkehard Richter.</i> 25,60 EUR	604: Frostbeanspruchung und Feuchtehaushalt in Betonbauwerken (2013). Von <i>Frank Spörel.</i> 158,40 EUR
591: Sachstandbericht Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung (2011). Von <i>Konrad Zilch, Roland Niedermeier, Wolfgang Finckh.</i> 77,50 EUR	597: Erweiterte Datenbanken zur Überprüfung der Querkraftbemessung für Konstruktionsbetonbauteile mit und ohne Bügel (2012). Von <i>Karl-Heinz Reineck, Daniel A. Kuchma, Birol Fitik.</i> 192,40 EUR	605: Zur Rheologie und den physikalischen Wechselwirkungen bei Zementsuspensionen (2012). Von <i>Michael Haist.</i> 78,50 EUR
592: Praxisgerechte Bemessungsansätze für das wirtschaftliche Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung – Verbundtragfähigkeit unter statischer Belastung Von <i>Konrad Zilch, Roland Niedermeier, Wolfgang Finckh.</i> 71,20 EUR	598: Mischungsentwurf und Fließeigenschaften von Selbstverdichtendem Beton (SVB) vom Mehlkorntyp unter Berücksichtigung der granulometrischen Eigenschaften der Gesteinskörnung (2012). Von <i>Andreas Huß.</i> 57,30 EUR	606: Unbewehrte Betonfahrbahnplatten unter witterungsbedingten Beanspruchungen (2014). Von <i>Sam Foos.</i> 111,40 EUR
593: Praxisgerechte Bemessungsansätze für das wirtschaftliche Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung – Verbundtragfähigkeit unter nicht ruhender Belastung (2013) Von <i>Harald Budelmann, Thorsten Leusmann.</i> 44,50 EUR	599: Bewehren nach Eurocode 2 (2013). Von <i>Josef Hegger, Martin Empelmann, Jürgen Schnell, Jörg Moersch, Christian Albrecht, Guido Bertram, Norbert Brauer, Thomas Sippel, Marco Wichers.</i> 98,80 EUR	607: Modell zur Beschreibung des Eindringens von Chlorid in Beton von Verkehrsbauten (2013). Von <i>Gesa Kaptaina.</i> 63,90 EUR
594: Praxisgerechte Bemessungsansätze für das wirtschaftliche Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung – Querkrafttragfähigkeit Von <i>Konrad Zilch, Roland Niedermeier, Wolfgang Finckh.</i> 50,40 EUR	600: Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2) (2012). 98,80 EUR	608: Auswirkungen der Bewehrungskorrosion auf den Verbund zwischen Stahl und Beton (2013). Von <i>Christian Fischer.</i> 58,20 EUR
	601: Dauerhaftigkeitsbemessung von Stahlbetonbauteilen auf Bewehrungskorrosion – Teil 1: Systemparameter der Bewehrungskorrosion (2012). Von <i>Peter Schießl, Kai Osterminski, Bernd Isecke, Matthias Beck, Andreas Burkert, Jens Lehmann, Armin Faulhaber, Michael Raupach, Jörg Harnisch, Jürgen Warkus, Wei Tian, Christoph Gehlen.</i> 50,80 EUR	609: Untersuchungen zum Verbundverhalten von Bewehrungsstäben mittels vereinfachter Versuchskörper (2013). Von <i>Anke Wildermuth.</i> 132,60 EUR
		610: Einfluss der Bauteilgeometrie auf die Korrosionsgeschwindigkeit von Stahl in Beton bei Makroelementbildung (2014). Von <i>Jürgen Warkus.</i> 113,60 EUR

Hinweis auf überarbeitete und ergänzte Hefte der Schriftenreihe des DAfStb:

Heft 220: 2. überarbeitete Auflage 1991

Heft 240: 3. überarbeitete Auflage 1991 (vergriffen)

Heft 400: 4. Auflage 1994 (3. berichtiger Nachdruck) vergriffen

Heft 425: 3. ergänzte Auflage 1997



9 783410 652663

ISSN 0171-7197

ISBN 978-3-410-65266-3