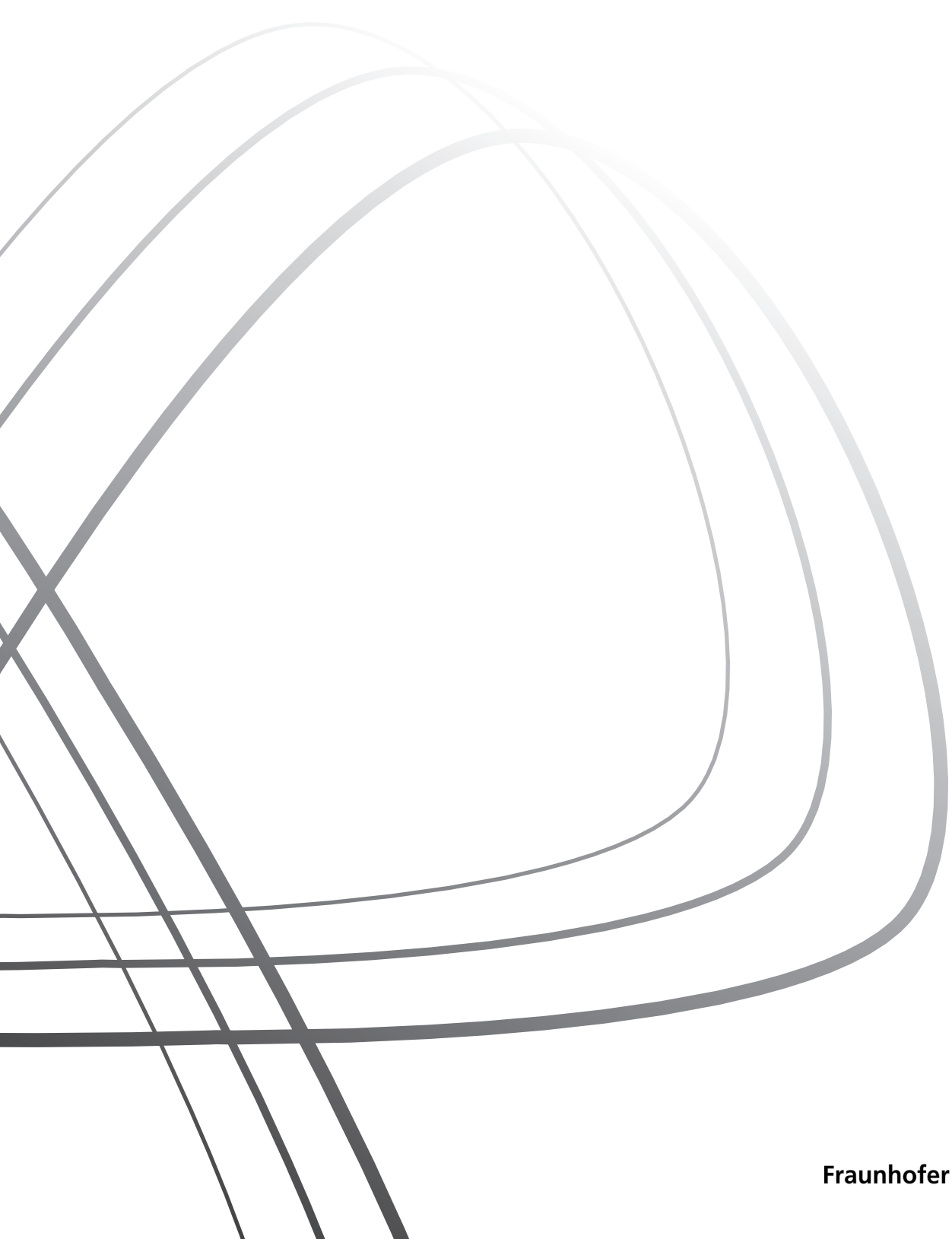


Individualisierte Standardisierung monolithischer (Beton-)Konstruktionen
Austarierte Implementierung der Leitfaktoren
Technik, Konstruktion und Gestaltung
vor dem Hintergrund einer Verbesserung der Nachhaltigkeit

Kirsten E. Hollmann-Schröter



Individualisierte Standardisierung monolithischer (Beton-)Konstruktionen

Austarierte Implementierung der Leitfaktoren

Technik, Konstruktion und Gestaltung

vor dem Hintergrund einer Verbesserung der Nachhaltigkeit

Dissertation

**Individualisierte Standardisierung monolithischer (Beton-)Konstruktionen
Austarierte Implementierung der Leitfaktoren Technik, Konstruktion und Gestaltung
vor dem Hintergrund einer Verbesserung der Nachhaltigkeit**

zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.)
an der Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dortmund

vorgelegt von

Kirsten Elisabeth Hollmann-Schröter

Prüfungskommission

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang M. Willems, Technische Universität Dortmund
Erstgutachterin: Prof. Dr.-Ing. Jutta Albus BDA, Hochschule Bochum
Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek BDA, Universität Stuttgart

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-7388-1015-8
ISBN (E-Book): 978-3-7388-1016-5
DOI: 10.60628/9783738810165
<https://doi.org/10.60628/9783738810165>

Zugl.: Dortmund, Technische Universität Dortmund, Diss., 2024

Herstellung: Andreas Preising

Satz, Layout und Umschlaggestaltung: K. E. Hollmann-Schröter

Druck: Libri Plureos GmbH, Hamburg

Sofern nicht anders angegeben, ist der Inhalt dieses Werks unter einer Creative Commons

Namensnennung-Share Alike 4.0 International-Lizenz lizenziert:

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>

Davon ausgenommen sind sämtliche Abbildungen. Die Bildrechte sind an der jeweiligen Stelle ausgewiesen.



In dieser Arbeit wird zugunsten einer offenen Geschlechterzugehörigkeit die weibliche wie männliche Sprachform parallel ausgezeichnet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten – sofern nicht anders kenntlich gemacht – gleichermaßen für alle Geschlechter (m/w/d). Im Sinne der Lesbarkeit wird auf die Nennung von Titeln und Vornamen verzichtet und nur im Rahmen der Danksagung und Fallanalysen eine vollständige Angabe gemacht.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Fraunhofer IRB Verlag, 2025

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-2500

Telefax +49 711 970-2508

irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Individualisierte Standardisierung monolithischer (Beton-)Konstruktionen

Austarierte Implementierung der Leitfaktoren

Technik, Konstruktion und Gestaltung

vor dem Hintergrund einer Verbesserung der Nachhaltigkeit

Kirsten Elisabeth Hollmann-Schröter

Vorwort

Die neunjährige Tätigkeit bei UNStudio, Van Berkel en Bos, Amsterdam hat erstmalig mein Interesse für tragende Betonbauweisen geweckt und mir die gestalterische Kraft monolithischer Konstruktionen an Projekten wie dem Mercedes-Benz-Museum aufgezeigt. Die langjährige Begleitung der Bauausführung bis zur Eröffnung des „Hauses für Musik und Musiktheater – Mumuth“ in Graz mit seinem raumwirkenden Beton-Twist hat meine weitere baukonstruktive Entwicklung bis heute beeinflusst. Für mich stand bei der Planung und Realisierung von Architektur zunehmend die Bedeutung der Verbesserung der Nachhaltigkeit im Bauwesen im Fokus, was schließlich in der Weiterbildung zur Energie-Effizienz-Expertin resultierte und mich nach wie vor aus Respekt vor der Umwelt antreibt. Planerinnen und Planer können meiner Überzeugung nach besonders dazu beitragen, den Klimazielen näher zu kommen. Mein starker Wille, neben der Bauausführung die interdisziplinäre Bauforschung näher zu ergründen, hat mich an die TU Dortmund geführt. Ein maßgebender Tag war rückblickend die Bewilligung des Forschungsprojektes zur Aeroleichtbetonweise, welches letztlich den Initialpunkt meines Dissertationsthemas bildete. Bereits in der Antragstellung wurde von mir das Zusammenspiel der drei Leitfaktoren Technik, Konstruktion und Gestaltung erstmalig synthetisiert und die später aufgestellte Strategie der Individualisierten Standardisierung erprobt. Meine Dissertation versucht im Folgenden, einen ganzheitlichen Blick auf die komplexen Einflüsse auf eine Bauaufgabe abzubilden und daraus mit einer klaren Fokussierung auf die Zukunftsfähigkeit monolithischer Betonkonstruktionen eine Handlungsstrategie zu entwickeln, wie Planerinnen und Planer einen Wandel bewirken können.

Im Sinne der Lesbarkeit wird auf die Nennung von Titeln und Vornamen verzichtet und nur im Rahmen der Danksagung und Fallanalysen eine vollständige Angabe gemacht. In dieser Arbeit wird zugunsten einer offenen Geschlechterzugehörigkeit die weibliche wie männliche Sprachform parallel ausgezeichnet. Spezifische Fachbegriffe werden im Glossar detailliert erläutert.

Danksagung

Vor allem richte ich meinen aufrichtigen Dank und Respekt an meine Betreuerin Frau Prof. Dr.-Ing. Jutta Albus. Ihrer professionellen Begleitung in allen Phasen meiner Dissertation, und darüber hinaus, habe ich in großen Teilen meine wissenschaftliche Weiterentwicklung zu verdanken. Sie prägte mich durch ihren starken Willen, Forschung und Lehre innerhalb der Profession voranzutreiben. Sie förderte mich auf Augenhöhe durch die Durchführung gemeinsamer Forschungsvorhaben und Lehrtätigkeiten, Veröffentlichungen sowie Konferenzteilnahmen und vieles mehr. Unsere gleiche Wellenlänge, die sich im Verständnis von Anspruch und Vertrauen spiegelt, setzt ungeahnte Kräfte frei.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek als meinem Mentor und Zweitgutachter gilt meine besondere Achtung und mein Dank. Fachlich diente er, als Entwickler des Gradientenbetons, als direkte wissenschaftliche Quelle und gewährte mir wertvolle Einblicke in diese Forschung. Darüber hinaus danke ich Ihm für sein Eingehen auf meine Persönlichkeit. Der regelmäßige Austausch zu meiner professionellen und persönlichen Entwicklung hat mich kontinuierlich wachsen lassen.

Ich bedanke mich bei dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses an der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen, Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfgang M. Willems, für die Durchführung des Dissertationsverfahrens in der Konstellation mit meinen Gutachtern.

Ich danke meinem Arbeitgeber, der TU Dortmund, und in Persona der Leitung des Lehrstuhls Baukonstruktion, Prof. Piet Eckert und Prof. Wim Eckert, sowie den ehemaligen Lehrstuhlinhabern Prof. Ansgar Schulz und Prof. Benedikt Schulz für die stete Förderung während meiner Beschäftigung. Besonders schätze ich das gute Verhältnis zu den Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl Baukonstruktion, an der Juniorprofessur Ressourceneffizientes Bauen sowie an der Hochschule Bochum EKNB, mit denen ich direkt zusammengearbeitet habe und die mich während dieser Zeit unterstützt haben.

Diese Dissertation bezieht sich in großen Teilen auf die kooperative Forschung mit anderen Universitäten und Praxispartnern, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)¹ sowie der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert wurden. Mein Dank gilt diesen Projektförderern. Mein besonderer Dank gilt den Kooperationspartnern, Prof. Dr.-Ing. Gregor Zimmermann der G.tecz Engineering GmbH, Arnold Walz und Philipp Rumpf von Design-to-Production und Hermann Stegink der Solidmodulbau GmbH, mit denen ich intensiv zusammenarbeiten durfte. Ebenso danke ich Dr.-Ing. Matthias Molter der Bremer SE, durch den ich wertvolle Einblick in die Betonverarbeitung und Vorfertigungsprozesse erlangen konnte. Ich danke Prof. Dr.-Ing. Oliver Tessmann für den gewinnbringenden Forschungsaustausch zum digitalen Gestalten an der DDU, sowie Prof. Dr.-Ing. Alexander Hückler, der mir umfassenden Zugang zu den Forschungsergebnissen der Infraleichtbetontechnologie gegeben hat.

Mein Dank gilt Karoline Müller-Stahl und Andrea Wiegelmann, von denen ich viel Wertvolles über das wissenschaftliche Schreiben lernen konnte. Danke an Anke Kujawski, die innerhalb des mentoring³-Programms der UA Ruhr, meine wissenschaftliche Entwicklung kontinuierlich hat wachsen lassen. Ich bedanke mich bei allen Planerinnen, Planern und Forschenden, die mir die Informationen und das Bildmaterial zu den referenzierten Projekten zur Verfügung gestellt haben.

Meinen Weg bis hierher hätte ich ohne die Personen, die mich in meinem privaten Umfeld begleiten, nicht gehen können. Daher gilt meiner Familie und meinen Freundinnen mein tiefster Dank. Die Wurzeln für diesen Weg in die Wissenschaft wurden schon während meines Studiums an der Bauhaus Universität Weimar und der Tätigkeit bei UNStudio in Amsterdam gelegt. Ich schätze alle meine Unterstützer auf diesem Weg sehr und möchte Ihnen an dieser Stelle meinen Dank aussprechen.

Paderborn, im Juni 2025

¹ Zur Zeit der Antragstellung noch unter der Bezeichnung Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

INHALTSVERZEICHNIS

KAPITEL I FORSCHUNGSRAHMEN	1
1.1 EINLEITUNG	1
1.1.1 RELEVANZ	1
1.1.2 DARSTELLUNG DES ZUSAMMENHANGS VON MANGEL, FORSCHUNGSLÜCKE UND POTENZIAL	4
1.2 ZIELVORSTELLUNG UND EINGRENZUNG DES UNTERSUCHUNGSFELDES	8
1.2.1 DARSTELLUNG DER PROBLEME UND ZIELE	8
1.2.2 EINFÜHRUNG DER STRATEGIE DER INDIVIDUALISIERTEN STANDARDISIERUNG	10
1.2.3 EINGRENZUNG MONOLITHISCHE BETONBAUWEISEN	13
1.3 VORGEHENSWEISE DER DISSERTATION	19
1.4 METHODIK	21
KAPITEL II DIFFERENZIERUNG DER LEITFAKTOREN	25
2.1 MULTIFAKTORIELLE SYSTEMDARSTELLUNG VOR DEM HINTERGRUND KONTINUIERLICHER PROZESSE	25
2.2 LEITFAKTOR TECHNIK – KOMPLEXE FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN	29
2.2.1 HERLEITUNG AUTOMATISierter FERTIGUNGSPROZESSE	30
2.2.1.1 DIFFERENZIERUNG DER BEGRIFFLICHKEITEN	30
2.2.1.2 TECHNISCHE ENTWICKLUNG DER COMPUTERGESTÜTZTEN AUTOMATISIERTEN FERTIGUNG	30
2.2.1.3 NEUARTIGE ANFORDERUNGEN AN KOMPLEXE FERTIGUNGSSTRATEGIEN	32
2.2.2 EINGRENZUNG: AUTOMATISIERTE FERTIGUNG MONOLITHISCHER KONSTRUKTIONEN	33
2.2.2.1 NEUARTIGE STANDARDISIERUNGSVERFAHREN DURCH AUTOMATISIERUNG IM BETONSEKTOR	33
2.2.2.2 ZUSAMMENSPIEL VON MATERIALTECHNOLOGIE UND FERTIGUNGSVERFAHREN	34
2.2.2.3 ERHÖHTE VARIANZ DURCH AUTOMATISIERTE FERTIGUNGSVERFAHREN	35
2.2.2.4 KOMBINATION VERSCHIEDENER VERFAHREN INNERHALB EINES FERTIGUNGSPROZESSES	37
2.2.3 AUFSTELLUNG VON VERFAHRENSPRINZIPIEN AM BEISPIEL DER BETONFORSCHUNG	39
2.2.3.1 PRINZIP 1: EXTRUSIONSBASIERTES 3-D-DRUCKVERFAHREN	40
2.2.3.2 PRINZIP 2: SPRITZBETON APPLIKATION	49
2.2.3.3 PRINZIP 3: CO-EXTRUSIONSVERFAHREN	51
2.2.4 RÉSUMÉ: FORDERUNG EINER KOMPLEMENTÄREN FERTIGUNGSSTRATEGIE	53
2.3 LEITFAKTOR KONSTRUKTION – UMSETZUNG EINER ANPASSUNGSFÄHIGEN SYSTEMATISIERUNG	57
2.3.1 HERLEITUNG DES SPANNUNGSFELDES VON SYSTEM UND VARIANZ	58
2.3.1.1 GENESE UND ABLÖSUNG REIN EFFIZIENZGETRIEBENER STANDARDISIERUNGSPROZESSE	58
2.3.1.2 DIFFERENZIERUNG DES SYSTEMBEGRIFFS UND VORGEHENS ZUR UMSETZUNG EINES SYSTEMANSATZES	60
2.3.1.3 VORTEILE OFFENER SYSTEME	61
2.3.1.4 STATUSBERICHT SERIELLES UND MODULARES BAUEN	63
2.3.1.5 ERFOLGSFAKTOR GEZIELTE ANPASSUNGSPLANUNG	65
2.3.1.6 ABGRENZUNG ZU BISHERIGEN HERANGEHENSWEISEN UND GRÜNDE FÜR EINEN WANDEL	66
2.3.1.7 EINFÜHRUNG EINER SYSTEMATIK AUF PROZESSEBENE	68
2.3.1.8 WEITREICHENDE BEDEUTUNG DES SYSTEMANSATZES FÜR DIE VERBESSERUNG DER NACHHALTIGKEIT	69
2.3.2 EINGRENZUNG: SYSTEMATISIERUNG MASSIVER KONSTRUKTIONEN	70
2.3.2.1 FRÜHES BEISPIEL DER SYSTEMATISIERUNG GESTALTETER BETONMODULE	70

2.3.2.2	SYSTEMATISIERUNG DES WOHNUNGSBAUS DURCH DIE GRÖRTAFELBAUWEISE	72
2.3.2.3	KONSTRUKTIVE FÜGUNG IM SYSTEM	73
2.3.2.4	KONSTRUKTIONSPRINZIPIEN UND NUTZERANTIZIPATION	75
2.3.2.5	ANPASSUNGSFÄHIGE SYSTEMATISIERUNG VON BETONKONSTRUKTIONEN	80
2.3.3	AUFSTELLUNG VON KONSTRUKTIONSPRINZIPIEN AM BEISPIEL DER BETONFORSCHUNG	81
2.3.3.1	PRINZIP 1: BAUKASTENSYSTEMENTWICKLUNG AM BEISPIEL „INTELLIGENTE MODULARISIERUNG“	82
2.3.3.2	PRINZIP 2: VORGEFERTIGTE TAFEL-KOMPONENTEN AM BEISPIEL „NORRA TORNEN“	85
2.3.3.3	PRINZIP 3: RAUMMODULE AM BEISPIEL „GOMOS BUILDING SYSTEM“	88
2.3.4	RÉSUMÉ: ADAPTIVE KONSTRUKTIONSSYSTEME ALS MITTELWEG AUS STANDARDISIERUNG UND INDIVIDUALISIERUNG	91
2.4	LEITFAKTOR GESTALTUNG – DIGITAL GESTÜTZTES ENTWERFEN UND PRODUZIEREN	97
2.4.1	HERLEITUNG DER OPTIMIERUNG VON PLANUNG UND PRODUKTION DURCH DIGITALE WERKZEUGE	98
2.4.1.1	DIFFERENZIERUNG WESENTLICHER DIGITALISIERUNGSSCHRITTE DURCH ENTWURFS- UND PLANUNGSWERKZEUGE	98
2.4.1.2	FRAGMENTIERUNG DURCH ÜBERGABEPROBLEME AN DEN SCHNITTSTELLEN	100
2.4.1.3	ASSOZIATIVE VERKNÜPFUNGEN UND DATENKOMPATIBILITÄT	102
2.4.1.4	RELEVANZ DER PLANENDEN BEI DER UMSETZUNG DER INDIVIDUALISIERTEN STANDARDISIERUNG	103
2.4.1.5	PARADIGMENWECHSEL DURCH PROZESSKONTINUITÄT UND ERHÖHTES MAß DER VARIANZ	105
2.4.2	EINGRENZUNG: INNOVATIVE ENTWURFS- UND PLANUNGSPROZESSE MIT BETONKONSTRUKTIONEN	106
2.4.2.1	ALLEINSTELLUNGSMERKMAL FÜR DAS DIGITALE GESTALTEN MIT BETON	106
2.4.2.2	ABBILDUNG DER DIGITALEN WERTSCHÖPFUNGSKETTE	106
2.4.2.3	DURCH DIGITALE SIMULATION ZUR VERBESSERUNG DER KREISLAUFFÄHIGKEIT	108
2.4.3	AUFSTELLUNG VON ENTWURFS- UND PLANUNGSPRINZIPIEN AM BEISPIEL DER BETONFORSCHUNG	109
2.4.3.1	PRINZIP 1: DIGITALES GEBÄUDEBESCHREIBUNGSMODELL – MZD	110
2.4.3.2	PRINZIP 2: PLANUNGSWERKZEUG ZUR WIEDERVERWENDUNG VON BETON-KOMPONENTEN	112
2.4.3.3	PRINZIP 3: VERFAHREN ZUR DIGITAL ENTWORFENEN MATERIALMATRIX	115
2.4.4	RÉSUMÉ: AUSWIRKUNGEN DIGITALER WERKZEUGE AUF PROZESSKONTINUITÄT UND NACHHALTIGKEIT	117

KAPITEL III | NACHHALTIGKEIT **122**

3.1	VERKNÜPFUNG DER LEITFAKTOREN MIT EINEM FOKUS AUF NACHHALTIGKEITSASPEKTE	122
3.1.1	GRUNDLAGENBETRACHTUNG ZUR NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG	122
3.1.2	ETABLIERUNG EINER AUF EINANDER AUFBAUENDEN PYRAMIDALEN ZIRKULARITÄT	126
3.1.3	ERWEITERUNG DER LEITFAKTOREN UM NEUARTIGE SCHNITTSTELLEN	132
3.1.3.1	SCHNITTSTELLE GESTALTUNG – KONSTRUKTION: DIGITALES PLANUNGSWERKZEUG	134
3.1.3.2	SCHNITTSTELLE KONSTRUKTION – TECHNIK: DIGITALES BAUTEIL	136
3.1.3.3	SCHNITTSTELLE GESTALTUNG – TECHNIK: DIGITALES MATERIAL	138
3.1.3.4	SCHNITTSTELLE TECHNIK – KONSTRUKTION: DIGITALE ZERLEGUNG	140
3.1.3.5	SCHNITTSTELLE KONSTRUKTION – GESTALTUNG: DIGITAL GESTÜTZTER NEUENTWURF	143
3.1.3.6	SCHNITTSTELLE TECHNIK – GESTALTUNG: DIGITALES KATASTER	145
3.1.4	RÉSUMÉ: KREISLAUFFÄHIGKEIT DURCH DIGITAL GESTÜTZTE PROZESSE	147

KAPITEL IV | SYNOPSIS DREIER BETONTECHNOLOGIEN **151**

4.1	EINLEITUNG VERGLEICHENDE FORSCHUNG	151
4.1.1	DEFINITION DER BAUTEILANFORDERUNGEN AN MONOLITHISCHE, VORGEFERTIGTE WANDSYSTEME	152

5.2.1	DYSBALANCEN DURCH GEGENEINANDER WIRKENDE PARAMETER	239
5.2.2	FEHLENDE STANDARDS AUFGRUND DER NOTWENDIGKEIT EINER RELATierten GEWICHTUNG	240
5.2.3	STATUS DER ANWENDUNG EINER INDIVIDUALISIERTEN STANDARDISIERUNG	241
5.2.4	FORSCHUNGSFÖRDERUNG ALS WEICHENSTELLER	242
5.3	FAZIT	244
5.3.1	SYNTHESE DER AUFGESTELLTEN THEORIEN	244
5.3.2	WERTSCHÄTZUNG MONOLITHISCHER BETONKONSTRUKTIONEN	247
5.3.3	NEUORDNUNG DER ENTWURFSMETHODIK DURCH KONSTRUKTIVE UND PROZESSUALE SYSTEMATISIERUNGSANSÄTZE	248
KAPITEL VI FORSCHUNGSTRANSFER DER THEORIEBILDUNGEN		251
6.1	ÜBERTRAGUNG DER LEITTHEORIE AUF ANDERE BAUWEISEN UND MATERIALIEN	252
6.1.1	FORSCHUNGSPROJEKT: HYBRIDE SYSTEMBAUKONSTRUKTION „MODULAR – ZIRKULÄR – DIGITAL (MZD)“	253
6.2	ÜBERTRAGUNG DER LEITTHEORIE AUF DEN ANWENDUNGSFALL BESTANDSSTRUKTUREN	255
6.2.1	FORSCHUNGSKONZEPT: SANIERUNGSVERFAHREN REACTIVATE	256
6.3	AUSBlick EINES GANZHEITLICHEN SZENARIOS	257
KAPITEL VII ANHANG		259
7.1	GLOSSAR	259
7.2	LITERATURVERZEICHNIS	263
7.3	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	272

