# DARMSTADT CONCRETE

*ANNUAL JOURNAL ON CONCRETE AND CONCRETE STRUCTURES*

*www.darmstadt-concrete.de*



*VOL. 31 2016* *DEUTSCHE AUSGABE*

DARMSTADT CONCRETE ist das jährliche Fachjournal zu Forschungsfragen aus dem Bereich Massivbau und Baustofftechnologie des Instituts für Massivbau, Technische Universität Darmstadt, Franziska-Braun-Str. 3, D-64287 Darmstadt, Germany

Als Herausgeber des Journals fungiert C.-A. Graubner
ISSN 0931-1181

**INHALTSVERZEICHNIS**


***Editorial und Jahresrückblick*** i

***Grusswort zum Ausstand von Dr.-Ing. Gerd Simsch*** iv

***Mitwirkung in Gremien*** vi

***Seminare und Veranstaltungen*** viii

***Exkursionen*** xiv

***Personalia*** xvi

***Preise*** xix

***Danksagungen*** xxi

***Veröffentlichungen*** xxiii

***Konstruktion und Entwurf***

VEREINFACHTER VORSCHLAG FÜR DIE BEMESSUNG VON ERDDRUCKBEANSPRUCHTEN KELLERWÄNDEN 1
Valentin Förster

FRISCHBETONDRUCK LOTRECHTER, GENEIGTER UND GEKRÜMMTER BETONBAUTEILE 3
Björn Freund

EINFLUSS DER MATERIALINHOMOGENITÄT AUF DIE TRAGWERKSZUVERLÄSSIGKEIT SCHLANKER DRUCKGLIEDER AUS UHPC 5
Ulf Grziwa

TRAGVERHALTEN CARBONBEWEHRTER BIEGEBAUTEILE 7
Larissa Krieger

VERGLEICH DER BERECHNUNGSMETHODEN FÜR MAUERWERKSWÄNDE NACH DIN EN 1996-1-1/NA UND DIN EN 1996-3/NA 9
René Mazur

STOCHASTISCHE SIMULATION ZUR BESTIMMUNG VON ABMINDERUNGSFAKTOREN FÜR NUTZLASTEN 11
Dominik Müller, Ngoc Linh Tran

ANALYSE DES NACHWEISES DER QUERKRAFTTRAGFÄHIGKEIT BEWEHRTER MAUERWERKSBAUTEILE NACH DIN EN 1996-1-1 13
Benjamin Purkert

TRAGFÄHIGKEIT AUSFACHENDER MAUERWERKSWÄNDE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON MEMBRANWIRKUNGEN 15
Michael Schmitt

THERMISCHE ENTKOPPLUNG VON STAHLBETONSTÜTZEN 17
Jochen Zeier, Tilo Proske

***Werkstoffe***

CARBON CONCRETE COMPOSITE – SCHWINDVERHALTEN DER C³-BETONE 19
Peter Ramge, Tilo Proske

KRIECH- UND SCHWINDVERHALTEN VON BETONEN AUS UMWELTFREUNDLICHEN KOMPOSITZEMENTEN 21
Moien Rezvani, Tilo Proske

UNTERSUCHUNG VON KARBONATISIERUNGSPROFILEN IN KLINKER-REDUZIERTEN BETONEN 23
Sarah Steiner, Barbara Lothenbach, Tilo Proske, Frank Winnefeld

***Nachhaltigkeit & Facility Management***

MODELLIERUNG DER STOFFSTRÖME DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE DES BAUWESENS 25
Katharina Fritz

NACHHALTIGKEIT DER HOLZBAUWEISE | TEIL 1 27
Sebastian Pohl, Astrid Reuber

VEREINFACHTE ÖKOBILANZANALYSE ZUM VERGLEICH DEZENTRALER ENERGIEVERSORGUNGSOPTIONEN 29
Fabian Staab, Claudia Weißmann

IMPLIKATIONEN DES EEG 2017 FÜR DEN EINSATZ ERNEUERBARER ENERGIEN IM GEBÄUDESEKTOR 31
Fabian Staab, Patrick Wörner

ANFORDERUNGEN AN DIE BAULOGISTIK AUS SICHT UNTERSCHIEDLICHER INTERESSENSGRUPPEN 33
André Tischer

BEWERTUNG DER KOSTENRISIKEN IM LEBENSZYKLUS VON INDUSTRIEBAUTEN 35
Gökhan Uysal

ENTWICKLUNG VON STROM-LASTPROFILEN FÜR SCHULGEBÄUDE 37
Claudia Weißmann

DIE ELEKTRIFIZIERUNG DES WÄRMEBEREICHS ALS MITTEL ZUR ENERGIEWENDE IM GEBÄUDESEKTOR 39
Patrick Wörner, Fabian Staab

## *Studentische Aktivitäten*

PFINGSTEXKURSION NACH NÜRNBERG 41
René Mazur, Benjamin Purkert

## *Bisher erschienene Ausgaben*

Eine Übersicht der bisher erschienenen Ausgaben ist unter
http://www.freunde-des-ifm.de/darmstadt-concrete zu finden.

## EDITORIAL UND JAHRESRÜCKBLICK

Liebe Freunde und Partner des Instituts für Massivbau,
Sehr geehrte Damen und Herren,

mit der diesjährigen 31. Ausgabe von „Darmstadt Concrete“ möchten wir Ihnen in guter Tradition zum Jahreswechsel über die aktuellen Aktivitäten unseres Instituts in Forschung, Lehre und Gremienarbeit berichten. In diesem Vorwort möchten wir Sie insbesondere über die Höhepunkte, aber auch Veränderungen im vergangenen Jahr informieren. Eine unübersehbare Neuerung möchten wir dabei nicht unkommentiert lassen: Mit dieser Ausgabe haben wir uns entschieden, die Institutsveröffentlichung als zeitgemäßes E-Paper zu veröffentlichen und direkt an Sie zu verteilen. Wir hoffen, dass wir Ihnen damit ein flexibleres, aber ebenso angenehmes Lesevergnügen bereiten können, und „Darmstadt Concrete“ so einen noch breiteren Empfängerkreis erreichen kann.

An erster Stelle möchten wir uns bei Herrn Dr.-Ing. Gerd Simsch bedanken. Von Mai 2013 bis September 2016 war er im Rahmen der Kooperationsprofessur „Nachhaltiges Bauen im Bestand“ Professor des Instituts für Massivbau. Wir möchten seinem Grußwort auf Seite iv nicht vorgreifen, sondern wollen ihm hier im Namen des gesamten Instituts herzlich für seine vielfältige fachliche Unterstützung und die fruchtbare Zusammenarbeit in den vergangenen Jahren danken. Wir wünschen Herrn Dr.-Ing. Simsch weiterhin alles Gute und freuen uns sehr, dass er uns als Vorstandsmitglied des Freundevereins auch in Zukunft beratend zur Seite steht.

Zwei besondere Veranstaltungen wurden im Jahr 2016 vom Institut für Massivbau ausgerichtet. Am 19. und 20. Januar wurde der Deutsche Mauerwerkskongress 2016 in Kooperation mit der Deutschen Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V. (DGfM) veranstaltet, auf dem in hochkarätigen Vorträgen das Thema „Bezahlbarer Wohnungsbau“ intensiv diskutiert wurde. Vor dem Hintergrund der gegenwärtige Wohnungsknappheit in Deutschland stieß dieses brisante Thema auf großes Interesse. Als weitere bedeutsame Veranstaltung dieses Jahres wurde am 10. November das 38. Massivbauseminar in Kooperation mit dem Freundever-

ein, dem VBI und dem VPI Hessen organisiert. Unter dem Titel „Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen“ wurden die Teilnehmer über aktuelle Entwicklungen bei der Initiative Praxis-RegelnBau (PRB), die sich für eine praxisgerechtere Verbesserung der Normung im Bauwesen einsetzt, informiert. Weitere Informationen zu den beiden Veranstaltungen und unseren anderen Seminaren finden Sie in den Seminarberichten ab Seite viii.

In der Lehre wurden in 2016 insgesamt 12 Vorlesungsmodule angeboten. Daneben wurden mehr als 35 Bachelorarbeiten und über 30 Masterarbeiten betreut. In der Forschung werden gegenwärtig 20 Projekte bearbeitet. Zudem hat das Institut für Massivbau im Jahr 2016 die Kooperation mit internationalen Universitäten und Forschungseinrichtungen intensiviert. So haben zwei Mitarbeiterinnen im Rahmen ihrer Promotion einen Gastforschungsaufenthalt am Lawrence Berkeley National Laboratory in Berkeley, Kalifornien bzw. an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) der ETH Zürich absolviert. Außerdem haben im vergangenen Jahr insgesamt sechs Studierende ihre Abschlussarbeit beim Vietnam Green Building Council in Hanoi oder beim Panama Green Building Council in Panama City über ein Thema im Bereich Nachhaltigkeitszertifizierung im Bauwesen geschrieben.

Eine besondere Ehre wurde Professor Graubner zu Teil, da er nicht nur in die Jury des 1. Deutschen Ingenieurpreises des BMUB berufen wurde, sondern zugleich zum Vorsitzenden der Jury gewählt wurde. Daher hatte er auch Gelegenheit, an der Preisverleihung im November 2016 persönlich teilzunehmen und die Laudatio auf den Gewinner zu halten. Des Weiteren war Professor Graubner im Jahre 2016 Fachpreisrichter für den Ideenwettbewerb „B3 Südschnellweg“ in Hannover, der von der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr ausgerichtet wurde.

Dieser Jahresrückblick soll neben der Darstellung des Geleisteten aber auch dazu dienen, unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für ihre Arbeit und ihren Einsatz zu danken. Ohne die hohe Qualität und das unermüdliche Engagement, mit denen unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie auch unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Sekretariat, im Technischen Dienst und in den Laboren ihre Aufgaben und Projekte angehen, wären die Leis-

tungen und Erfolge unseres Institutes in 2016 nicht denkbar gewesen. Wir beglückwünschen Herrn Dr.-Ing. Achim Knauff, der seine Forschungsarbeit mit der erfolgreichen Verteidigung seiner Dissertationsschrift abschließen konnte und begrüßen die neuen Mitarbeiter in unserem Team auf das herzlichste.

Um Ihnen, unseren Freunden und Partnern, neben unserem Dank für Ihre Unterstützung den gewohnten Einblick in unsere wissenschaftlichen Arbeiten zu gewähren, finden Sie im folgenden Kurzberichte unserer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler über laufende Forschungsarbeiten sowohl in deutscher als auch in englischer Sprache.

Nicht zuletzt möchten wir uns an dieser Stelle auch bei den Freunden des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt e.V. bedanken, ohne deren Unterstützung manch kleine aber auch größere Maßnahme am und für das Institut sowie die Studierenden nicht hätte stattfinden können. Namentlich gedankt sei an dieser Stelle dem Vorstandsvorsitzenden Herrn Dr.-Ing. M. Six, dem Schatzmeister Dipl.-Ing. D. Hanek sowie den Vorstandsmitgliedern Frau Dr.-Ing. K. Klemt-Albert, Herrn Dr.-Ing. G. Riegel und Herrn Dr.-Ing. G. Simsch, die uns stetig in vielfältiger Art und Weise beraten, fördern und wohlwollend unterstützen.

Die Forschungserfolge des vergangenen Jahres, die hohe Beteiligung an unseren Lehrveranstaltungen und das hohe Engagement unserer Studierenden lassen uns positiv in die Zukunft blicken.

Wir wünschen Ihnen und Ihren Angehörigen im Namen des gesamten Institutes besinnliche und fröhliche Weihnachtsfeiertage sowie einen guten Rutsch und einen guten Start für all Ihre Unternehmungen im neuen Jahr.

Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Dr.-Ing. Tilo Proske

## GRUSSWORT ZUM AUSSTAND VON DR.-ING. GERD SIMSCH

Liebe Freunde und Partner des Instituts für Massivbau,
Sehr geehrte Damen und Herren,

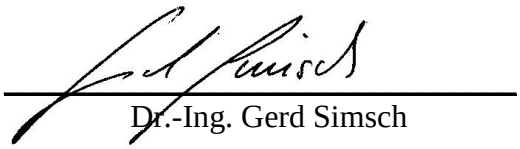
mit der aktuellen 31. Ausgabe von „Darmstadt Concrete“ möchte ich die Gelegenheit nutzen, Ihnen auch in diesem Rahmen meinen Abschied als Professor vom Institut für Massivbau mitzuteilen und Danke zu sagen. Nach Einrichtung der Kooperationsprofessur zum 15. Mai 2013 endeten sowohl meine Anstellung an der Technischen Universität Darmstadt als auch die Kooperationsprofessur „Nachhaltiges Bauen im Bestand“ zum 30. September 2016. Seit dem 01. Oktober 2016 bin ich nun als Leiter der Unternehmensentwicklung und -organisation bei der Dreßler Bau GmbH in Aschaffenburg tätig. Dem Institut weiterhin verbunden bleibe ich sowohl in fachlicher Hinsicht als auch als Vorstandsmitglied des Freundevereins.

Zur Kooperationsprofessur: der Fokus lag auf nachhaltigen Sanierungsmethoden im Bereich der Massivbauweise unter besonderer Berücksichtigung bauphysikalischer Qualitäts- und Behaglichkeitsansprüche. In der Lehre stand die Vermittlung der relevanten technischen und wirtschaftlichen Grundlagen und Kompetenzen für die Sanierung und Ertüchtigung von Bauwerken unter besonderer Berücksichtigung des Nachhaltigkeitsgedankens an erster Stelle. Die neu aufgebauten Vorlesungen „Nachhaltiges Bauen im Bestand“ sowie „Grundlagen der Nachhaltigkeitsbewertung im Bausektor“ und das Forschungsprojekt „Entwicklung systemischer Instrumente zur Nachhaltigkeitsbewertung energetischer Gebäudesanierungen“ dienten dieser Zielerreichung ebenso wie die Prüfung von mehr als zehn Bachelor- und Masterarbeiten in diesem Themenbereich. Besonders freute es mich, dass ich im Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften als Korreferent und Mitglied der Prüfungskommission an sechs Promotionen aktiv mitwirken konnte.

Ich möchte mich bei allen nochmals vielmals bedanken, bei all denen, die diese Professur möglich machten und die mich so freundlich und mit offenen Armen im Kollegenkreis aufgenommen haben. All denjenigen, die halfen, die neuen Vorlesungsmodule zu installieren und allen, die mich in Forschung und Lehre unterstützten.

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Motzko für die Idee und die Unterstützung zur Kooperationsprofessur und Herrn Prof. Graubner, dessen Institut ich „zugeordnet“ wurde und mit ihm und im Kreise seiner Mitarbeiter interessante Diskussionen miterleben durfte sowie auch in der Lehre und in der Administration unterstützt wurde. Namentlich nennen möchte ich hier Frau Mohr und Frau Weißmann.

Zum Schluss wünsche ich Ihnen und Ihren Angehörigen besinnliche und fröhliche Weihnachtsfeiertage sowie einen guten Rutsch und einen guten Start für all Ihre Unternehmungen im neuen Jahr.



Dr.-Ing. Gerd Simsch

## MITWIRKUNG IN GREMIEN

Auch zukünftig ist Herr Prof. Graubner als gewählter Obmann des Normungsausschusses NA 005-06-01 AA „Mauerwerksbau“ im national obersten Gremium in Normungsfragen auf dem Gebiet des Mauerwerksbaus tätig. In diesem Kontext ist auch zu erwähnen, dass Prof. Graubner in 2016 zum stellvertretenden Vorsitzenden des Leitungsgremiums NABau Fachbereich 06 „Mauerwerksbau“ gewählt wurde. Dieser Ausschuss ist der höchste in DIN angesiedelte Normungsausschuss auf dem Gebiet des Mauerwerksbaus und hat die Aufgabe, sämtliche nationalen und internationalen Normungsaktivitäten zu koordinieren. Prof. Graubner vertritt außerdem die deutschen Interessen im Mauerwerksbau durch seine Mitarbeit in den europäischen Normungsgremien Scientific Committee 6, Working Group 1 und ab kommendem Jahr im Project Team 2. Auf der Agenda steht dabei weiterhin, den bereits begonnenen „systematic review“ von EN 1996 zu begleiten. Darüber hinaus hat er die Leitung der Projektgruppe 5 der Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V. inne. Überdies ist Prof. Graubner gewähltes Mitglied des Normungsausschusses NA 005-07-01 AA „Bemessung und Konstruktion“ des Fachbereichs Beton- und Stahlbetonbau. Als langjähriges Mitglied in mehreren Sachverständigenausschüsse des Deutschen Instituts für Bautechnik in Berlin bringt er zudem seine Expertise bei der Zulassung von Bauprodukten ein.

Aufgrund seines hohen Interesses und seiner langjährigen Forschungstätigkeit auf dem Gebiet des Nachhaltigen Bauens ist Prof. Graubner Berater des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit zu Fragen des Nachhaltigen Bauens (Runder Tisch „Nachhaltiges Bauen“) und organisiert den Runden Tisch „Ressourceneffizienz im Bauwesen“ dieses Bundesministeriums.

In Folge der Fokussierung der Gremienarbeit von Prof. Graubner auf das Gebiet des Mauerwerkbaus ist er bereits seit 2012 im Redaktionsbeirat der Zeitschrift „Mauerwerk“ tätig. Außerdem ist er seit dem Jahr 2016 Autor des Kapitels Mauerwerk in den bekannten „Schneider Bautabellen“ und ist Herausgeber und Mitautor des Buchs „Mauerwerksbau – Praxishand-

buch für Tragwerksplaner“, in welchem die neuesten Entwicklungen in Forschung und Praxis auf dem Gebiet des Mauerwerksbaus veröffentlicht werden.

Prof. Graubner ist weiterhin Mitglied der Universitätsversammlung der TU Darmstadt und wirkt darüber hinaus in der Förderinitiative Interdisziplinäre Forschung mit, in der interdisziplinäre Forschungsaktivitäten an der TU Darmstadt gebündelt werden. Gleichzeitig ist er stellvertretender Plattformsprecher in der Graduiertenschule „Energy Science and Engineering“ an der TU Darmstadt.

## SEMINARE UND VERANSTALTUNGEN

Weiterbildung für Tragwerksplaner - Aus der Praxis für die Praxis -

Im Jahr 2016 hat das Institut für Massivbau wieder einmal zur Seminarreihe „Weiterbildung für Tragwerksplaner – Aus der Praxis für die Praxis“ eingeladen. Es konnten über das gesamte Jahr ca. 600 Tragwerksplaner begrüßt werden. Somit war die Seminarreihe fast ausgebucht und das Konzept der Veranstaltung wurde bestätigt. Die Seminarreihe im Jahr 2016 gab einen Überblick über die aktuellen technischen Entwicklungen im Bauwesen. Hierzu wurden im Frühjahr die Themen Schweißen und Schrauben, Korrosion von Stahl und Beton und Konstruktive Sonderfragen behandelt. Im Herbst wurden neben dem Mauerwerksbau und Beispielen zur Erdbebenbemessung auch einige aktualisierte Regelwerke näher beleuchtet.

Aufgrund der positiven Resonanz der Vorjahre werden wir auch im kommenden Jahr 2017 die Fortbildungsreihe erneut durchführen. Wir hoffen, mit der Kombination von interessanten Themen und namhaften Referenten aus Wissenschaft und Praxis wieder viele Tragwerksplaner ansprechen zu können. Nachfolgend sind die Themen und Termine der Einzelveranstaltungen aufgelistet:

- Verbundbau – Rechenbeispiele | 15.02.2017
- Baufehler und Bauschäden | 01.03.2017
- Bemessung von Befestigungsmitteln in Betonbauteilen | 15.03.2017
- Hilfsmittel zur Bemessung von Betonbauteilen | 13.09.2017
- Vorspannung im Hochbau – Rechenbeispiele | 27.09.2017
- Neu: „Praktiker fragen, wir antworten“ | 11.10.2017

Aktuelle Informationen und das Anmeldeformular sind auf der Homepage des Instituts für Massivbau zu finden. (http://www.massivbau.tu-darmstadt.de/veranstaltungen_fgm/weiterbildungfrtragswerksplaner_fgm/index.de.jsp) Als Ansprechpartner steht Ihnen Herr René Mazur, M.Sc. gerne zur Verfügung.

Darmstädter Betonfertigteiltage

In Zusammenarbeit mit der Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e. V. (FDB) und der Beton Marketing West GmbH fand auch im Jahr 2016 die beliebte Seminarreihe „Darmstädter Betonfertigteiltage“ statt. Hierbei wurden die Besonderheiten der Fertigteilbauweise, die schon beim Entwurf beginnen und sich über spezielle Bauteile bzw. Bauweisen wie Ortbetonergänzungen oder vorgespannte Konstruktionen erstrecken, behandelt. Ebenso wurde über Stabilitätsbetrachtungen, wie z. B. Kippen, bis hin zur Bemessung und Konstruktion von Verbindungen referiert. Es konnten insgesamt über 80 Tragwerksplaner und Studierende zu der Seminarreihe begrüßt werden. Die Seminare wurden durch eine Fachausstellung namhafter Hersteller von Bauprodukten rund um das Thema Fertigteilbau ergänzt.

Im kommenden Jahr feiert die Seminarreihe mit interessanten Fachvorträgen, Praxisbeispielen und der gefragten Fachausstellung ihr 10jähriges Jubiläum. Wir hoffen mit der Kombination aus interessanten Themen und namenhaften Referenten aus Wissenschaft und Praxis auch in Zukunft viele Ingenieure und Studierende ansprechen zu können. Folgende Themen sollen im Jahr 2017 voraussichtlich behandelt werden:

- Grundlagen der Planung | 16.03.2017
- Betonfertigteilkonstruktionen | 17.03.2017
- Brandschutz und Verbindungen | 23.03.2017
- Beton und Fassaden | 24.03.2017

Aktuelle Informationen sind auf der Homepage des Instituts für Massivbau zu finden. (http://www.massivbau.tu-darmstadt.de/veranstaltungen_fgm/darmstaedterbetonfertigteiltage_fgm/index.de.jsp) Als Ansprechpartner steht Ihnen Herr Redouan El Ghadioui M.Sc. gerne zur Verfügung.

Mauerwerkskongress 2016

Am 19. und 20. Januar 2016 fand in Darmstadt der 9. Deutsche Mauerwerkskongress statt, der vom Institut für Massivbau der TU Darmstadt gemeinsam mit der Deutschen Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau und dem Fachverband Hoch- und Massivbau veranstaltet wurde. Die über 200 Teilnehmer verfolgten das abwechslungsreiche und interessante Programm mit namhaften Referenten aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft.



**Blick in das Teilnehmerfeld des 9. Deutschen Mauerwerkskongresses 2016**

Eröffnet wurde der deutsche Mauerwerkskongress mit dem Neujahrsempfang der deutschen Mauerwerksindustrie am 19.01.2016. Nach dem Festvortrag von Bruno Baumann zum „Verhältnis von Innovation, Risiko und Sicherheit“ wurde an diesem Abend auch erstmals der neu ins Leben gerufene Walther-Mann-Preis für herausragende Dissertationen auf dem Gebiet des Mauerwerksbaus verliehen. Als erster Preisträger konnte Dr.-Ing. Ulf Schmidt von der

RWTH Aachen mit seiner Dissertation „Bruchmechanischer Beitrag zur Biegezugfestigkeit von Mauerwerk“ ausgezeichnet werden.

Am zweiten Kongresstag drehte sich alles um bezahlbaren Wohnungsbau. In verschiedenen hochinformativen Vorträgen wurde der mehrgeschossige Wohnungsbau mit Mauerwerk aus unterschiedlichen Sichtweisen betrachtet und aktuelle Entwicklungen aufgezeigt. Dabei ging es immer wieder um die zentralen Fragen des akuten Wohnungsmangels und des sozialen Wohnungsbaus in Deutschland. Beleuchtet wurden sowohl konstruktive, gestalterische und bauphysikalische Aspekten als auch politische und gesellschaftliche Fragestellungen. Ein Highlight war sicherlich der Abschlussvortrag von Prof. Dr.-Ing. Thomas Jocher über die Anforderungen an Altersgerechtes Wohnen. Im Anschluss an die Vorträge und in den Pausen bot der Mauerwerkskongress eine ideale Gelegenheit zur inhaltlichen Diskussion sowie zum persönlichen Austausch, was von den begeisterten Teilnehmern rege genutzt wurde. Auch die Fachausstellung mit zahlreichen namhaften Unternehmen der Mauerwerksindustrie fand bei den Teilnehmern großen Anklang.

38. Darmstädter Massivbauseminar zum Thema „Praxisregeln Bau“

Die 38. Ausgabe des Darmstädter Massivbauseminars fand am 10. November 2016 auf dem Campus Lichtwiese der Technischen Universität Darmstadt statt. Vor dem Hintergrund der andauernden Fortentwicklung der Normung im Bauwesen stand das diesjährige Massivbauseminar ganz im Zeichen der praxisorientierten Verbesserung neuer Normengenerationen. Veranstaltet wurde das Seminar vom Verein der Freunde des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt e.V. gemeinsam mit seinen beiden Kooperationspartnern, dem Verband Beratender Ingenieure (VBI) und der Vereinigung der Prüfingenieure für Baustatik in Hessen e.V. (VPI Hessen).

Unter dem Titel „Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen“ stellten die jeweiligen Projektgruppenleiter der Initiative PraxisRegelnBau (PRB) konkrete Vorschläge für praxisgerechte, vereinfachte Bemessungsnormen vor und luden zum gemeinsamen Erfahrungsaustausch ein. Die Initiative PRB entwickelt seit ihrer Gründung im Jahr 2011 Empfehlungen für eine anwenderfreundliche Verbesserung der Eurocodes. Auch wenn diese einen wichtigen Schritt zur europäischen Vereinheitlichung in Bemessung und Nachweisführung bewirkt haben, zeichnen sie sich jedoch gelegentlich durch komplizierte und zu umfangreiche Regelwerke aus, unter denen die Praxistauglichkeit leidet. Zusammen mit Praktikern aus Ingenieurbüros und Bauunternehmen sowie Prüfingenieuren und Vertretern der Spitzenverbände der Bauwirtschaft leistet die Initiative daher einen wesentlichen Beitrag zur fortschreitenden Professionalisierung und Vereinfachung nationaler Regelwerke.

Nach einer kompakten Einführung in die Vereinsarbeit durch den Präsidenten des VBI, Herrn Dr.-Ing. Volker Cornelius, präsentierten die folgenden Referenten wesentliche Erkenntnisse und Vorschläge aus ihrem jeweiligen Fachgebiet:

- Dr.-Ing. Eric Brehm: Sicherheitskonzept und Einwirkungen (Projektgruppe 1)
- Prof. Dr.-Ing. Frank Fingerloos: Betonbau (Projektgruppe 2)
- Dr.-Ing. Ines Prokop und Dr.-Ing. Johannes Naumes: Stahlbau (Projektgruppe 3)

- Dipl.-Ing. (FH) Georg Keilholz: Holzbau (Projektgruppe 4)
- Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner: Mauerwerksbau (Projektgruppe 5)
- Dr.-Ing. Bernd Schuppener: Geotechnik (Projektgruppe 6)

Der Vorstand des Vereins der Freunde des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt e.V. dankt den Projektgruppenleitern der Initiative PRB, die sich als Referenten für das 38. Darmstädter Massivbauseminar zur Verfügung gestellt haben, sowie bei allen Beteiligten für ihr hohes Engagement, das zum Erfolg der Veranstaltung maßgeblich beigetragen hat.




**Dr.-Ing. Volker Cornelius führt die Teilnehmer in die Arbeit der Initiative PraxisRegelnBau ein**

## EXKURSIONEN

Massivbrückenexkursion – Rheinbrücke Schierstein

Am Montag, den 04.07.2016 trafen sich 22 Studierende des Instituts für Massivbau mit Ihrer Betreuerin Frau Krieger an der Baustelle der Rheinbrücke Schierstein, einer Stahlverbundbrücke im Zuge der A 643 bei Wiesbaden und Mainz. Die Exkursion begann mit einer Einführung in das Projekt durch Herrn Stremmel von Hessen Mobil.



**Brückenbaustelle Rheinbrücke Schierstein**

Auf der Baustelle wurden den Studenten anschließend die Bauarbeiten an der zu erstellenden Brücke sowie die anfallenden Korrosionsschutz- und Abdichtungsarbeiten näher erläutert. Hierbei entwickelten sich zahlreiche interessante Fachgespräche sowie ein intensiver Austausch zwischen den Studierenden und der wissenschaftlichen Mitarbeiterin. An dieser Stelle möchten wir allen am Bau Beteiligten für Ihre umfangreiche Vorbereitung und Durchführung der Exkursion danken. Ermöglicht wurde diese Exkursion durch die großzügige Förderung von Seiten der Freunde des Instituts für Massivbau. Den Mitgliedern sei an dieser Stelle noch einmal besonders gedankt.

Gemeinschaftsexkursion Technische Gebäudeausrüstung I und Strategisches Facility Management & Sustainable Design - Besichtigung der Deutsche Bank Green Towers in Frankfurt a.M.

Am Freitag, den 27.11.2015, unternahmen 25 Studierende der Vorlesungen „Technische Gebäudeausrüstung I“ und „Facility Management & Sustainable Design“ und 2 Mitarbeiter des Instituts für Massivbau eine Exkursion nach Frankfurt am Main, um die Deutsche Bank Greentowers zu besichtigen. Der Firmensitz der Deutschen Bank ist nach dem amerikanischen Green-Building-Siegel LEED für bestehende Gebäude mit Platin und nach dem deutschen Gütesiegel der DGNB auf Stufe Gold zertifiziert.

Nach einem Kurzvortrag über die Sanierung und die Nachhaltigkeitsstrategie der Deutsche Bank Greentowers wurden die Exkursionsteilnehmer in die Vorstandsetage des B Towers geführt. Hier weckten insbesondere das hauseigene Fernsehstudio sowie eine bepflanzte Wand, die sogenannte Greenwall, großes Interesse werden. Im Anschluss erfolgte die Besichtigung der Technikgeschosse. Hier wurden den Studierenden unter anderem die Kältezentrale mit Eisspeichern, eine der Lüftungszentralen sowie die Brauchwasseraufbereitung gezeigt. Die Komplexität dieser technischen Systeme in Verbindung mit deren Regelungs- und Steuerungssysteme hinterließ bei allen einen bleibenden Eindruck.

Im Namen der Teilnehmer möchte sich das Institut für Massivbau bei Herrn Dipl.-Ing. Thomas Heß für die gelungene Organisation und Durchführung der Veranstaltung bedanken.

**PERSONALIA**

Frau **Dipl.-Wirtsch.-Ing. Katharina Fritz** beendet zum Ende des Jahres ihre Tätigkeit am Institut für Massivbau und wird ab nächstem Jahr bei der DB Netz AG im Projektmanagement tätig sein. Sie beabsichtigt ihre Dissertationsschrift in 2017 einzureichen.

Herr **Dipl.-Ing. Ulf Grziwa** hat Mitte des Jahres 2016 das Institut für Massivbau verlassen und ist seitdem im Bereich Tragwerksplanung bei Kleinhofen + Schulenberg Beratende Ingenieure tätig. Herr Grziwa hat seine Dissertationsschrift Ende 2016 beim Promotionsausschuss des Fachbereichs Bau- und Umweltingenieurwissenschaften eingereicht.

Herr **Dipl.-Ing. Peter Ramge** hat seine Tätigkeit am Institut für Massivbau im Laufe des Jahres 2016 beendet und ist seit Dezember 2016 beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle beschäftigt.

Herr **Fabian Staab, M.Sc.** verlässt das Institut für Massivbau zum Ende des Jahres 2016. Er wird im Jahr 2017 eine Tätigkeit im Bereich Hochbau bei der GOLDBECK Südwest GmbH aufnehmen.



**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Katharina Fritz, Dipl.-Ing. Ulf Grziwa, Dipl.-Ing. Peter Ramge und Fabian Staab, M.Sc. (von links nach rechts)**



Seit dem 1. April 2016 ist Herr **Patrick Wörner, M.Sc.** als Doktorand am Institut für Massivbau tätig. Über die Forschungsplattform „Gebäudeintegration und energieautarke Siedlungsbereiche“ ist seine Promotionsstelle mit der Exzellenz-Graduiertenschule für Energiewissenschaft und Energietechnik der TU Darmstadt verknüpft. Herr Wörner studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit technischer Fachrichtung Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Darmstadt und beendete sein Studium im Januar 2016. Im Rahmen seiner technischen Vertiefung befasste er sich mit dem Bereich „Technisches Immobilienmanagement“ und entwickelte in seiner Masterthesis einen Systementwurf für die Nachhaltigkeitsbewertung sekundärer Bauprozesse. In seiner Forschungsarbeit befasst sich Herr Wörner mit den Implikationen der Energiewende auf den Gebäudesektor und die damit in Verbindung stehende Integration erneuerbarer Energien bei der Wärmeversorgung von Gebäuden. Herr Wörner betreut die Vorlesungen „Technische Gebäudeausrüstung I und II“.



Seit dem 1. April 2016 ist Herr **Dominik Müller, M.Sc.** am Institut für Massivbau beschäftigt. Herr Müller studierte Bauingenieurwesen mit dem Hauptvertiefungsfach Massivbau an der TU Darmstadt. Nach Abschluss seines Bachelorstudiums arbeitete er für acht Monate als Tragwerksplaner bei Stantec im kanadischen Calgary. Sein Masterstudium schloss er im März 2016 mit einer Arbeit zum Thema „Zuverlässigkeitsanalysen von Stahlbetonbauteilen im Hochbau“ ab. Im Rahmen seiner Forschungstätigkeiten am IfM wird sich Herr Müller weiterhin mit dem Themengebiet der Tragwerkszuverlässigkeit beschäftigen. In der Lehre wird er sowohl die Vertiefungsvorlesungen „Risiko und Sicherheit im konstruktiven Ingenieurbau“ und „Angewandte Baudynamik“ betreuen als auch bei den Grundfachvorlesungen mitarbeiten.



Seit dem 01. Oktober 2016 ist Herr **Redouan El Ghadioui, M.Sc.** als Doktorand am Institut für Massivbau tätig. Sein Studium des Bauingenieurwesens absolvierte er an der Technischen Hochschule Köln sowie an der Technischen Universität Darmstadt (Vertiefung: Konstruktiver Ingenieurbau – Massivbau und Stahlbau). Im Rahmen seiner Master-Thesis untersuchte er mittels nichtlinearer FE-Simulationen das Biegedrillknickverhalten von Stahlprofilen mit spespeziellen Anschlüssen. Nach seinem Abschluss im Oktober 2014 arbeitete er als Projektingenieur für die Brückenbauabteilung der KHP König & Heunisch Planungsgesellschaft in Frankfurt am Main. Zu seinen Hauptaufgaben zählten statische und dynamische Tragwerksanalysen von Brückenbauwerken, die Planung von Brückenverstärkungsmaßnahmen durch externe Vorspannung sowie die baustatische Prüfung von statischen Berechnungen im Hoch- und Ingenieurbau. Im Rahmen seiner Promotion am Institut für Massivbau wird Herr El Ghadioui zunächst die Lehrveranstaltungen „Stahlbetonbau II“ und „Fertigteilkonstruktionen“ betreuen.

**PREISE**

Dreßler Bau-Preis 2016

Der Dreßler Bau-Preis wurde am 16. November 2016 zum vierten Mal für herausragende Bachelorarbeiten auf den Gebieten Massivbau und Baubetrieb verliehen. Frau **Anna Gries, B.Sc.** fertigte ihre Bachelorarbeit im Bereich Konstruktion und Bemessung, zum Thema „Entwicklung von Zementzusammensetzungen für umweltfreundlichen carbonbewehrten Beton“. Wir gratulieren Frau Gries zu diesem Erfolg.

Heinrich und Margarete Liebig-Preis 2016

Seit 2010 vergibt die Liebig-Gruppe jährlich den Heinrich und Margarete Liebig-Preis für eine herausragende Diplom- oder Masterarbeit der Fachbereiche Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Elektrotechnik und Maschinenbau. In diesem Jahr erhielt **Dominik Müller, M.Sc.** den Preis für seine Masterarbeit über „Zuverlässigkeitsanalysen von Stahlbetonbauteilen im Hochbau“. Wir gratulieren Herrn Müller zu seinem Erfolg.




**Tobias Mann, Geschäftsführer Dreßler Bau GmbH, Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner, Anna Gries, Preisträgerin des Dreßler-Bau Preises, Dominik Müller, Preisträger des Heinrich und Margarete Liebig-Preises (von links nach rechts)**

Preise des Vereins der Freunde des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt e.V. 2016

Der alljährliche Preis des Vereins der Freunde des Instituts für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt e.V. für die herausragende Dissertation am Institut für Massivbau im Jahre 2016 wurde an Herrn **Dr.-Ing. Stefan Hainer** verliehen. Er promovierte zum Thema „Karbonatisierungsverhalten von klinkerreduzierten Betonen“. Wir gratulieren Herrn Dr.-Ing. Hainer zu diesem Erfolg sehr herzlich!

Neben dem Preis für die herausragende Dissertation am Institut für Massivbau verleiht der Freundeverein seit diesem Jahr auch einen Förderpreis Masterthesis an den Studenten mit der besten Masterthesis am Institut für Massivbau, der von der Fa. GOLDBECK gestiftet wird. Der Preis wurde in diesem Jahr an Herrn **Dominik Müller, M.Sc.** für seine Thesis mit dem Titel „Zuverlässigkeitsanalysen von Stahlbetonbauteilen im Hochbau“ vergeben. Wir gratulieren Herrn Müller sehr herzlich!

18. DIA-Forschungspreis für die Immobilienwirtschaft

Am 05. Oktober 2016 wurde die Masterarbeit von Herrn **Lasse Haarstark, M.Sc.** im Rahmen der Immobilienmesse Expo Real in München mit dem 18. Forschungspreis der Deutschen Immobilien Akademie (DIA) ausgezeichnet. Seine Thesis mit dem Titel „Analyse der Auswirkungen energieeffizienter Bauteile auf die Lebenszykluskosten von Gewerbeimmobilien am Beispiel der Siemens AG“ wurde in Kooperation mit dem Fachgebiet Rechnungswesen, Controlling und Wirtschaftsprüfung verfasst. Die Urkunde wurde durch EU-Kommissar Günther Oettinger übergeben. Wir gratulieren Herrn Haarstark sehr herzlich zu diesem Erfolg.




**EU-Kommissar Günther Oettinger zeichnet Lasse Haarstark mit dem 18. DIA-Forschungspreis aus**

## DANKSAGUNGEN

Ohne die Unterstützung der folgenden Organisationen wären wir im vergangenen Jahr nicht in der Lage gewesen, unsere Arbeit in der Forschung und in der Lehre in gewohntem Umfang sowie gewünschter Qualität durchzuführen:

Adam Hörnig Baugesellschaft GmbH, AMIG Rudi Becker, Arbeitsgemeinschaft für industrielle Forschung, Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V., BASF AG, bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, Beton Kemmler GmbH, BetonMarketing West GmbH, Bilfinger HSG Facility Management GmbH, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit, Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie, Bundesverband der Kalksandsteinindustrie e.V., Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie e.V., Bundesverband Leichtbetonzuschlagindustrie e.V., Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Deutsche Poroton GmbH, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Deutsche Forschungsgemeinschaft e.V., Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V. (DGfM), Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Deutsches Institut für Bautechnik, Dreßler Bau GmbH, Durth Roos Consulting GmbH, Dyckerhoff AG, Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e. V., fischerwerke GmbH & Co. KG, Forschungsinstitut der Zementindustrie (FiZ), Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V., Freunde des Instituts für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt e.V., Freunde der Technischen Universität Darmstadt, Güteschutzverband Betonschalungen e. V., H-BAU Technik GmbH, Halfen GmbH & Co. KG, H-Bau Technik GmbH, HeidelbergCement AG, Hilti Deutschland AG, Hochtief AG, Hoechst AG, HSE Technik GmbH, Ingenieurbüro Krebs und Kiefer, Ingenieurconsult Cornelius Schwarz Zeitler GmbH, Klimaleichtblock GmbH, König und Heunisch Planungsgesellschaft mbH & Co KG, LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH, Liapor GmbH & Co., Longlife-Treppen GmbH, LohrElement GmbH, MAPEI Betontechnik GmbH, Max Bögl Bauunternehmen GmbH, MEVA Schalungssysteme GmbH, OPTERRA Karsdorf GmbH, pakon AG, PreConTech e.K., Ruffert & Partner, Schlagmann Poroton GmbH & Co. KG, Schöck Bauteile GmbH, sh minerals GmbH, Spenner Zement GmbH & Co. KG, Strabag AG, Syspro-Gruppe Betonbauteile e. V., TOGE-Dübel A. Gerhard KG, VdS Schadenverhütung GmbH, Verein Deutscher Zementwerke, Waibel KG, Wienerberger AG, Xella Technologie und Forschungsgesellschaft mbH.

Wir wollen uns für diese Unterstützung herzlich bedanken und hoffen auch für die Zukunft auf eine erfolgreiche Zusammenarbeit.

Im Bereich der Lehre ist eine Unterstützung durch Experten und in der Praxis stehende Fachleute aus Ingenieurbüros, Verwaltung, Verbänden und Industrie unerlässlich und hoch geschätzt. Für ihr persönliches Engagement als Lehrbeauftragte unseres Instituts möchten wir uns daher bei folgenden Personen bedanken:

| | |
|---|---|
| Dr.-Ing. Herbert Duda | Baudynamik |
| Dipl.-Ing. Thomas Heß | Technische Gebäudeausrüstung I + II |
| Dr.-Ing. Gert Riegel | Strategisches Facility Management & Sustainable Design |
| Dr.-Ing. Eric Brehm | Risiko und Sicherheit im konstruktiven Ingenieurbau |
| Dr.-Ing. Georg Geldmacher | Massivbrückenbau und Traggerüste |

Außerdem möchten wir uns auch bei allen bedanken, die im Rahmen der Lehre ehrenamtlich mitgewirkt und Vorträge gehalten haben:

Dr.-Ing. Markus Spengler (Baudynamik); Dipl.-Ing. Mathias Tillmann, Dipl.-Ing. Heinz Eberherr, Dipl.-Ing. Alice Becke, Dipl.-Ing. Ralf Niehüser, Dr.-Ing. Georg Hellinger, Dipl.-Ing. Erwin Scholz, Dipl.-Ing. Stefan Zwolinski, Dr.-Ing. Diethelm Bosold, Dipl.-Ing. Werner Hochrein, Dr.-Ing. Christoph Schmidhuber, Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Elisabeth Hierlein, Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Mike Richter und Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Peter Schermuly (Fertigteilkonstruktionen); Dr.-Ing. Gerhard Zehetmaier und Dr.-Ing. Stefan Kempf (Massivbrückenbau und Traggerüste); Dr.-Ing. Stefan Daus, Dipl.-Ing. Rudolf Herz, Dipl.-Ing. Liane Prediger und Dipl.-Ing. (FH) Michael Pröll (Mauerwerksbau und Sonderfragen aus dem Betonbau); Dr.-Ing. Holger Schmidt (Risiko und Sicherheit im konstruktiven Ingenieurbau); Dr.-Ing. Torsten Mielecke, Dr.-Ing. Sebastian Pohl (Strategisches Facility Management & Sustainable Design); Dipl.-Ing. Herbert Schäfer, Dipl.-Ing. Rudi Becker, Prof. Dr.-Ing. Benjamin von Wolf-Zdekauer, Dipl.-Ing. Olaf Pielke, Dipl.-Ing. Frank Bieber, Dipl.-Ing. Robin Engelmann und Dipl.-Ing. Patrik Bös (Technische Gebäudeausrüstung).

## VERÖFFENTLICHUNGEN

### Fachbücher:

Graubner, C.-A.; Rast, R. [Hrsg.]: Mauerwerksbau – Praxishandbuch für Tragwerksplaner, Bauwerk Beuth Verlag, Berlin, 2017, ISBN 978-3-410-26446-0.

### Ausgewählte Fachartikel und Buchbeiträge:

Förster, V.; Graubner, C.-A.: Design of basement walls under lateral earth pressure, In: Brick and Block Masonry - Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference, 26.-30. June 2016, Padova, Italy, S. 2225-2230, ISBN: 978-1-138-02999-6.

Graubner, C.-A.: Kommentierung DIN EN 1996-3/NA/A2 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, In: Mauerwerksbau - Praxishandbuch für Tragwerksplaner. Graubner, C.-A.; Rast, R. [Hrsg.], 2017, Bauwerk Beuth Verlag, Berlin, ISBN: 978-3-410-26446-0.

Graubner, C.-A.: Mauerwerksbemessung nach DIN EN 1996-1-1/NA – Genaueres Nachweisverfahren, In: Mauerwerksbau - Praxishandbuch für Tragwerksplaner. Graubner, C.-A.; Rast, R. [Hrsg.], 2017, Bauwerk Beuth Verlag, Berlin, ISBN: 978-3-410-26446-0.

Graubner, C.-A.; Förster, V.; Mazur, R.; Müller, D.; Purkert, B.: Projektgruppe 5 – Mauerwerksbau - Praxisnahe Vorschläge zur Überarbeitung von DIN EN 1996/NA, In: 38. Darmstädter Massivbauseminar - Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen, 10. November 2016, Freunde des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt e. V., Darmstadt, S. 51-66.

Graubner, C.-A.; Förster, V.; Purkert, B.: Bemessung von Ziegelmauerwerk, In: Bauplaner - Supplement im Deutschen IngenieurBlatt, 2016, Schiele & Schön, Berlin, S. 8-9, ISBN: 0946-2422.

Graubner, C.-A.; Freund, B.: Frischbetondruck bei frei geformten Betonbauteilen – Ein neuartiges Bemessungskonzept für Schalungssysteme, In: BFT International, Heft 2, 2016.

Graubner, C.-A.; Koob, B.: Analysis of Nationally Determined Parameters of EN 1996-1-1, In: Brick and Block Masonry - Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference, 26.-30. June 2016, Padova, Italy, S. 681-687, ISBN: 978-1-138-02999-6.

Graubner, C.-A.; Pohl, S.; Förster, V.; Schmitt, M.; Koob, B.: Sustainable building with masonry - Nachhaltiges Bauen mit Mauerwerk, In: Mauerwerk - European Journal of Masonry , Vol. 20, Issue 1, 2016, Ernst & Sohn, Berlin, DOI: 10.1002/dama.201600690.

Graubner, C.-A.; Ramge, P.; Hess, R.; Ditter, M.; Lohmeier, M.: Pre-Check der Nachhaltigkeitsbewertung für Brückenbauwerke, In: Schriftenreihe: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe B: Brücken- und Ingenieurbau, Heft 132, 2016, Bergisch Gladbach, ISBN: 978-3-95606-254-4.

Graubner, C.-A.; Schmitt, M.; Förster, V.: Nachweis von Aussteifungsscheiben aus unbewehrtem Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA, In: Mauerwerksbau - Praxishandbuch für Tragwerksplaner. Graubner, C.-A.; Rast, R. [Hrsg.], 2017, Bauwerk Beuth Verlag, Berlin, ISBN: 978-3-410-26446-0.

Graubner, C.-A.; Schmitt, M.; Förster, V.: Tragfähigkeitstafeln für unbewehrtes Mauerwerk nach DIN EN 1996-3/NA, In: Mauerwerksbau - Praxishandbuch für Tragwerksplaner. Graubner, C.-A.; Rast, R. [Hrsg.], 2017, Bauwerk Beuth Verlag, Berlin, ISBN: 978-3-410-26446-0.

Kranzler, T.; Graubner, C.-A.: Mauerwerksbemessung nach DIN EN 1996-3/NA - Vereinfachte Berechnungsmethoden, In: Mauerwerksbau - Praxishandbuch für Tragwerksplaner. Graubner, C.-A.; Rast, R. [Hrsg.], 2017, Bauwerk Beuth Verlag, Berlin, ISBN: 978-3-410-26446-0.

Mielecke, T.; Graubner, C.-A.; Ramge, P.; Hess, R.; Pola, V.; Caspari, W.: Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit, In: Schriftenreihe: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe B: Brücken- und Ingenieurbau, Heft 133, 2016, Bergisch Gladbach, ISBN: 978-3-95606-257-5.

Palm, S.; Proske, T.; Rezvani, M.; Hainer, S.; Christoph, M.; Graubner, C.-A.: Cements with high limestone content - Mechanical properties, durability and ecological characteristics of the concrete, In: Construction and Building Materials, Vol. 119, 2016, S. 308-318, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.009.

Weißmann, C.; Kumpf, L.; Graubner, C.-A.: Entwicklung von Strom-Lastprofilen für Schulgebäude und Anwendung für die energetische Bewertung auf Quartiersebene, In: Bauphysik, Band 38, Heft 4, 2016, Ernst & Sohn, Berlin, S. 212-221, DOI: DOI: 10.1002/bapi.201610021.

Weißmann, C.; Staab, F.; Graubner, C.-A.: Development of a simple approach for applying LCA analysis to compare decentralized energy supply options for urban areas, In: Proceedings SBE 16 Hamburg - International Conference on Sustainable Built Environment, 2016, Hamburg, S. 370-379.

**Ausgewählte Fachvorträge:**

Förster, V.; Graubner, C.-A.: Design of basement walls under lateral earth pressure, 16th International Brick and Block Masonry Conference, Padova, Italy, 29.06.2016

Graubner, C.-A.; Förster, V.; Mazur, R.; Müller, D.; Benjamin, P.: Praxisnahe Vorschläge zur Überarbeitung von DIN EN 1996/NA, 38. Darmstädter Massivbauseminar - Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen, Darmstadt, 10. November 2016

Graubner, C.-A.; Fritz, K.: Systematisierte Bewertung der Ressourceneffizienz im Bauwesen: Nächste Schritte für eine Etablierung in Politik und Gesellschaft, 7. Sitzung Runder Tisch Ressourceneffizienz im Bauwesen, Berlin, 28.04.2016

Graubner, C.-A.; Koob, B.: Analysis of Nationally Determined Parameters of EN 1996-1-1, 16th International Brick and Block Masonry Conference, Padova, Italy, 27.06.2016

Graubner, C.-A.; Mazur, R.: Grundlagen zur Bemessung von unbewehrtem Mauerwerk nach DIN EN 1996/NA, Weiterbildung für Tragwerksplaner, Darmstadt, 14.09.2016; Kaiserslautern, 17.09.2016

Graubner, C.-A.; Mazur, R.: Unbewehrtes Mauerwerk nach DIN EN 1996-3/NA - Beispiele - Vereinfachte Berechnungsmethode, Weiterbildung für Tragwerksplaner, Darmstadt, 14.09.2016; Kaiserslautern, 17.09.2016

Graubner, C.-A.; Pohl, S.; Förster, V.; Schmitt, M.; Koob, B.: Mauerwerk - Fit für die Zukunft!, Deutscher Mauerwerkskongress 2016, Darmstadt 20.01.2016

Rezvani, M.: Absenkung des Klinkeranteils im Zement zur Verminderung der CO2 - Emissionen, 22. Internationale DBU Sommerakademie, Ostritz-St. Marienthal, 21.06.2016

Staab, F.; Weißmann, C.; Graubner, C.-A.: Development of a simple approach for applying LCA analysis to compare decentralized energy supply options for urban areas, SBE 16 Hamburg - International Conference on Sustainable Built Environment, Hamburg, 08.-11. March 2016

Weißmann, C.; Kumpf, L.; Graubner, C.-A.: Entwicklung von Referenz-Lastprofilen für Schulen und KiTas, 8. Sitzung des Richtlinienausschusses zur Überarbeitung der Richtlinie VDI 4655, 12.10.16; Düsseldorf, 12.10.2016

# VEREINFACHTER VORSCHLAG FÜR DIE BEMESSUNG VON ERDDRUCKBEANSPRUCHTEN KELLERWÄNDEN

Valentin Förster

Kellerwände müssen in Plattenrichtung die horizontalen Lasten, die aus dem anstehenden Erdreich resultieren, abtragen. Für die Bemessung von unbewehrtem Mauerwerk wird in aller Regel die Biegezugfestigkeit rechnerisch vernachlässigt, weshalb zur Sicherstellung der Standsicherheit der biegebeanspruchten Kellerwänden eine minimale vertikale Auflast notwendig ist. Innerhalb der Wand stellt sich ein Druckbogen ein, der den Einwirkungen entgegenwirkt, vgl. Abbildung 1. In EN 1996-3 ist ein vereinfachtes Nachweisverfahren zur Ermittlung der minimal erforderlichen Auflast vorhanden. Dieses Verfahren berücksichtigt lediglich Erddruckbeiwerte von $K_e \leq 1/3$. Dabei ist der Erddruckbeiwert $K_e$ als das Verhältnis von effektiver horizontaler zu effektiver vertikaler Spannung definiert. Müssen größere Erddruckbeiwerte (z. B. Erdruhedruck) in Rechnung gestellt werden, kann das genauere Nachweisverfahren aus dem deutschen nationalen Anhang zu DIN EN 1996-1-1 zum Einsatz kommen. In diesem Fall muss neben dem Nachweis der Biegetragfähigkeit zusätzlich ein aufwändigerer Nachweis der Querkrafttragfähigkeit geführt werden.

Im Zuge der Überarbeitung aller Eurocodes sollen jedoch die nationalen Regelungen so weit wie möglich harmonisiert und teilweise gänzlich gestrichen werden. Um in Zukunft dennoch eine einfache und wirtschaftliche Bemessung von Kellerwänden mit anstehendem Erdreich und Erddruckbeiwerten von $K_e \geq 1/3$ zu ermöglichen, wurde dem zuständigen Normungsgremium (CEN/TC250/SC6) ein vereinfachter Bemessungsvorschlag für Teil 3 des Eurocodes 6 unterbreitet. Dieser vereinfachte Vorschlag ist in (1) dargestellt und wurde durch ein neu entwickeltes realistisches Modell (1) verifiziert.

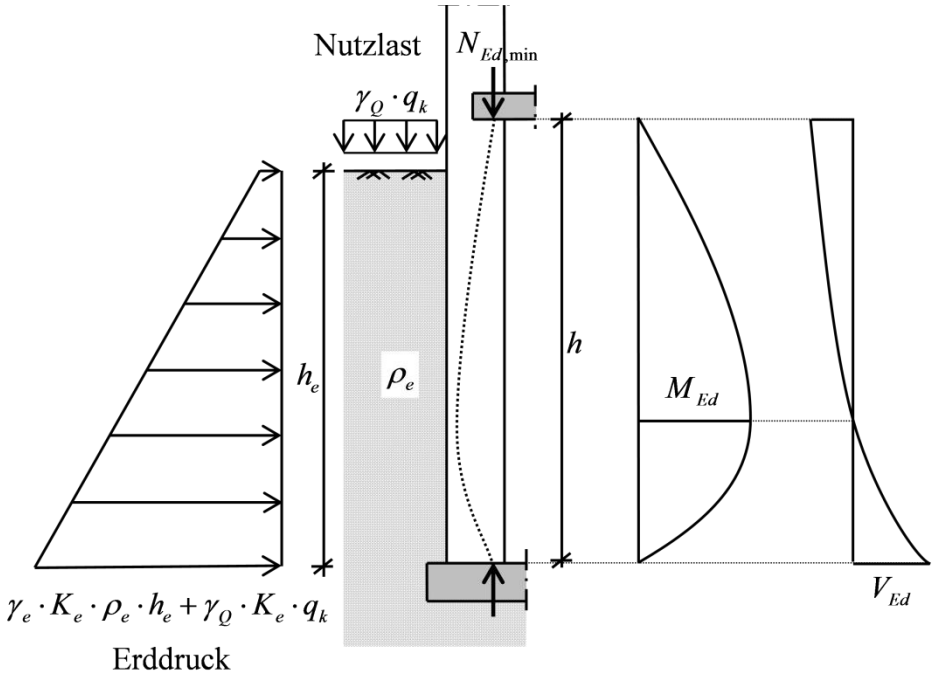



Abbildung 1: Bogenmodell mit Belastung und Schnittgrößen (1)

Der Vorteil des neuen Bemessungsvorschlags ist, dass im Vergleich zu dem bestehenden Verfahren von EN 1996-3 nicht nur der aktive Erddruck mit einen Erddruckbeiwert von $K_e = 1/3$, sondern auch größere anstehende Erddrücke berücksichtigt werden können. Der neue einfache und anwenderfreundliche Bemessungsvorschlag stellt neben der Biegetragfähigkeit ohne weiteren Nachweis auch eine ausreichende Querkrafttragfähigkeit sicher. Des Weiteren können die zugehörigen Anwendungsgrenzen des Verfahrens, wie z. B. die maximale lichte Wandhöhe von 2,6 m, vergrößert werden.

(1) Förster, V.; Graubner, C.-A.: Design of basement walls under lateral earth pressure, In: Brick and Block Masonry – Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference, 26.-30. June 2016, Padova, Italy, S. 2225-2230, ISBN: 978-1-138-02999-6.

# FRISCHBETONDRUCK LOTRECHTER, GENEIGTER UND GEKRÜMMTER BETONBAUTEILE

Björn Freund

Der Frischbetondruck geneigter Betonbauteile war bisher weitestgehend unerforscht. Normative Angaben zum Ansatz des Frischbetondrucks auf geneigte oder gekrümmte Schalungen liegen bisher nicht vor. Im Rahmen eines durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsvorhabens wurde am Institut für Massivbau der TU Darmstadt der Frischbetondruck von geneigten und gekrümmten Betonbauteilen experimentell und theoretisch untersucht (vgl. (1)).

Innerhalb des Forschungsprojekts wurde ein neuartiges Modell entwickelt, mit dem der Frischbetondruck für eine Vielzahl von Geometrien und mit Berücksichtigung des zeitlich veränderlichen Materialverhaltens des Frischbetons während eines Betonierprozesses berechnet werden kann. Darüber hinaus kann die Reibung zwischen Frischbeton und Schalhaut bzw. zwischen Frischbeton und Bewehrung erfasst werden. Das Modell wurde anhand von Messwerten aus Großversuchen an lotrechten und geneigten Wänden verifiziert (vgl. (1)).

Anhand der Berechnungsergebnisse umfangreicher Parameterstudien und einer Betrachtung zur Sicherheit und Zuverlässigkeit wurde ein Berechnungsvorschlag zur Bestimmung des Frischbetondrucks lotrechter, geneigter und gekrümmter Betonbauteile für die Bemessung von Schalungssystemen erarbeitet (vgl. (2)). Abbildung 1 zeigt charakteristische Werte des Frischbetondrucks lotrechter Wände bei Verwendung von Betonen der Konsistenzklasse F6 nach dem Berechnungsvorschlag entsprechend (2) und nach DIN 18218 (3). Es wird deutlich, dass sich durch den neuartigen Berechnungsvorschlag und die dadurch mögliche Berücksichtigung von Bewehrung und Wanddicke deutlich kleiner rechnerische Frischbetondrücke erge-

ben. Dadurch kann eine wesentlich wirtschaftlichere Bemessung von Schalungssystemen erfolgen bzw. der Betonierprozess kann bei gleichem Schalungssystem schneller erfolgen.

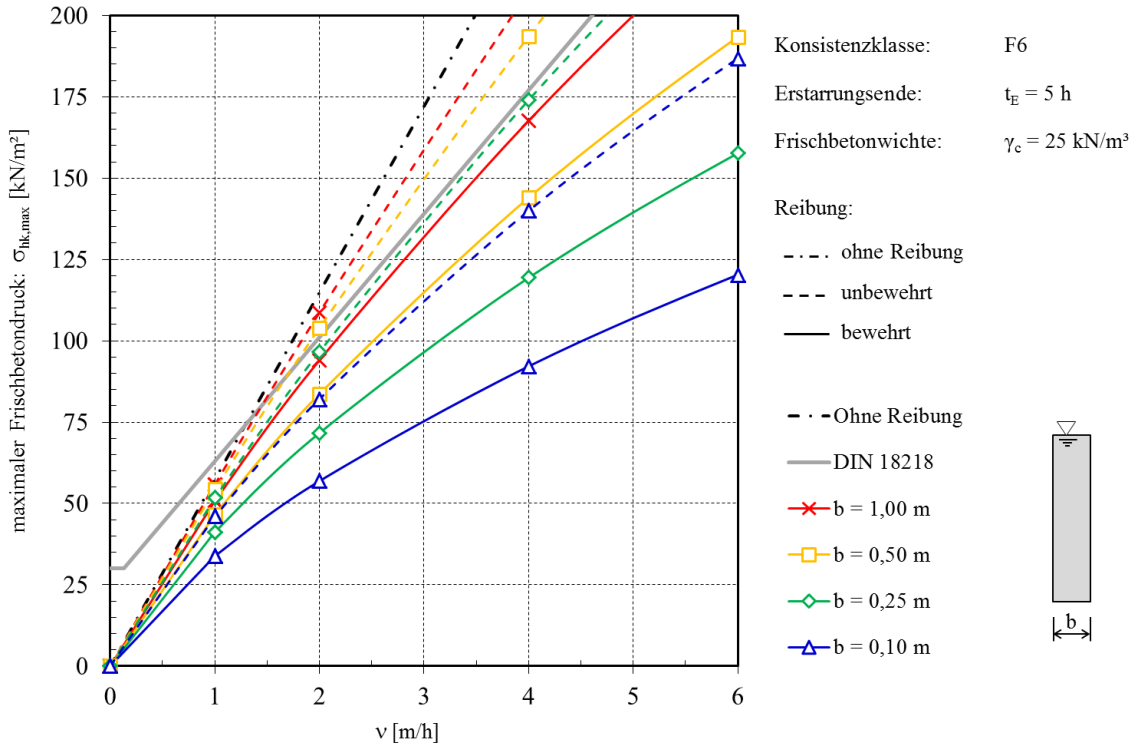



Abbildung 1: Charakteristische Werte des maximalen Frischbetondrucks lotrechter Wände nach dem Berechnungsvorschlag (vgl. (2)) und nach DIN 18218 (3) (Diagramm aus (2))

(1) Freund, B.; Proske, T.; Graubner, C.-A.: Experimentelle Untersuchungen und numerische Verifizierung zum Frischbetondruck bei geneigten Schalungssystemen. Beton- und Stahlbetonbau, Heft 11, S. 803–811, Ernst & Sohn, Berlin, 2014.

(2) Freund, B. (2016): Dissertation in Vorbereitung. TU Darmstadt - Institut für Massivbau, Darmstadt.

(3) DIN 18218:2010-01: Frischbetondruck auf lotrechte Schalungen. Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010.

# EINFLUSS DER MATERIALINHOMOGENITÄT AUF DIE TRAGWERKSZUVERLÄSSIGKEIT SCHLANKER DRUCKGLIEDER AUS UHPC

Ulf Grziwa

Am Institut für Massivbau durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass bei geringer Exzentrizität der angreifenden Normalkraft der Mittelwert und die Streuung des Beton-Elastizitätsmoduls die Tragwerkszuverlässigkeit maßgebend beeinflussen (vgl. 1). Im Falle großer Lastexzentrizität reagiert der Zuverlässigkeitswert sensitiv auf den Mittelwert und die Streuung der Betonzugfestigkeit. Zuverlässigkeitsanalysen liefern das Ergebnis, dass insbesondere bei schlanken nahezu zentrisch belasteten Druckgliedern aus UHPC das normativ geforderte Zuverlässigkeitsniveau unterschritten wird. Sämtlichen bereits durchgeführten Untersuchungen liegt die Annahme homogener Materialeigenschaften über die Stützenlänge zugrunde, d. h. die Materialinhomogenität (räumliche Streuung der Materialparameter) bleibt unberücksichtigt. Ziel eines derzeit am Institut für Massivbau durchgeführten Forschungsvorhabens ist es, auf Basis experimenteller Versuchsreihen die räumliche Streuung traglastbestimmender Materialparameter zu identifizieren und mit Hilfe mathematischer Funktionen sowie der Methodik der Zufallsfelder diese Streuungen im numerischen Modell für weiterführende Traglast- bzw. Tragwerkszuverlässigkeits-analysen abzubilden. Ein Auszug der gewonnenen Ergebnisse ist in Abb. 1 dargestellt. Neben der Angabe definierter Randbedingungen sind die Verläufe des Zuverlässigkeitsindexes $\beta$ für Lastexzentrizitäten von $e/h = 0{,}1$ und $e/h = 2{,}0$ der Berechnungen mit räumlich streuenden Materialparametern sowie der Berechnungen mit konstanten (homogenen) Materialparametern aufgetragen.

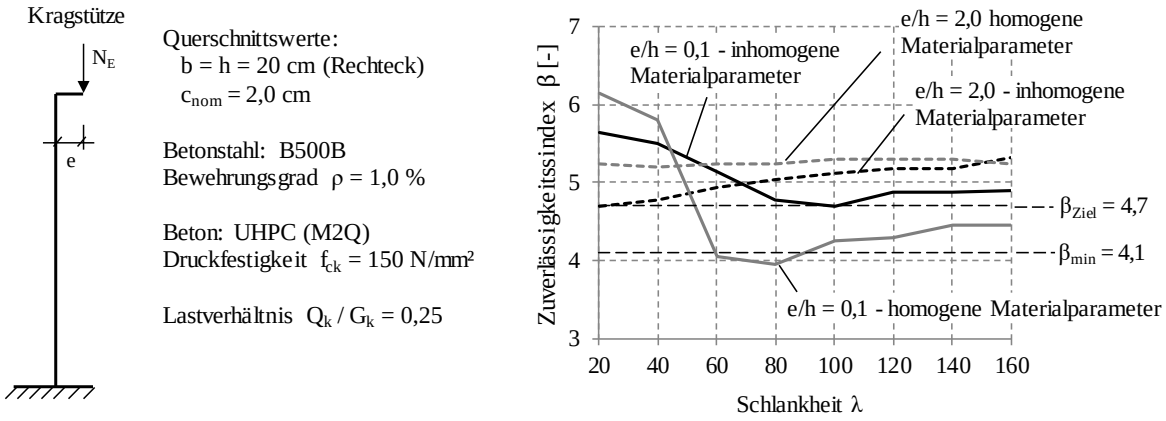



Abbildung 1: Ergebnisse von Zuverlässigkeitsberechnungen – Kragstütze mit Berücksichtigung räumlich streuender Materialparameter aus (2)

Der Darstellung ist zu entnehmen, dass das normativ geforderte Zuverlässigkeitsniveau von $\beta = 4{,}7$ für Stützenbemessungen mit dem normativ verankerten „nichtlinearen Verfahren“ und einem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{calc} = 1{,}3$ stets eingehalten ist. Es wird gezeigt, dass das in vorangegangenen Forschungsvorhaben beschriebene Sicherheitsdefizit für Druckglieder mit Schlankheiten zwischen $60 \leq \lambda \leq 90$ und Lastexzentrizitäten von $e/h \leq 0{,}2$ durch die Modellierung unter Verwendung der Methodik der Zufallsfeder, durch die das Material- bzw. Bauteilverhalten wirklichkeitsnah beschrieben werden kann, nicht vorhanden ist. Zudem können Stützenschlankheiten bestimmt werden, bei denen in Abhängigkeit der Lastexzentrizität e/h ein Zuverlässigkeitsüberschuss vorhanden ist, so dass für die Bemessung derartiger Stützen eine Reduzierung des erforderlichen Teilsicherheitsbeiwertes in Erwägung gezogen werden kann. Die Autoren bedanken sich bei der DFG für die Unterstützung und Förderung dieses Forschungsprojektes am Institut für Massivbau.

(1) Heimann, M. (2013): Tragwerkszuverlässigkeit hochbeanspruchter Druckglieder aus ultrahochfestem Beton, Dissertation, TU Darmstadt - Institut für Massivbau, Darmstadt 2013.

(2) Grziwa, U. (2016): Dissertation in Vorbereitung. TU Darmstadt - Institut für Massivbau, Darmstadt.

# TRAGVERHALTEN CARBONBEWEHRTER BIEGEBAUTEILE

Larissa Krieger

Der Einsatz hochfester und korrosionsresistenter textiler Bewehrung, wie beispielsweise Carbon, ermöglicht die Realisierung filigranerer Betonkonstruktionen als mit konventionellem Bewehrungsstahl. Im Rahmen des Verbundforschungsprojekts „C³ - Carbon Concrete Composite“ sollen die Grundlagen für die Anwendung des innovativen Baustoffs in der Baupraxis geschaffen werden. Dazu sind allerdings umfassende Kenntnisse zum Material- und Bauteilverhalten unter statischer und nicht vorwiegend ruhender Belastung notwendig. Das Institut für Massivbau der TU Darmstadt ist ab 2017 im C³-Gesamtprojekt mit der Untersuchung des Dauerstand- und Ermüdungsverhaltens von Biegebauteilen eingebunden. Vorbereitende statische Biegeversuche wurden bereits an carbonbewehrten Platten und Referenzbauteilen aus Stahlbeton durchgeführt.

In Abb. 1 sind die Momenten-Verformungsdiagramme von drei Biegeversuchen an 10 cm dicken carbonbewehrten Betonplatten mit 2,2 m Stützweite dargestellt. Im Zustand I ist der Beton ungerissen und das Bauteil verhält sich entsprechend der Steifigkeit des Betonquerschnitts. Mit dem Überschreiten der Betonzugfestigkeit setzt die Rissbildung ein und das Bauteil geht in den Zustand IIa über. Bei abgeschlossenem Rissbild ist der Übergang in den Zustand IIb erreicht. Wird danach die Belastung weiter gesteigert, dehnt sich lediglich die Bewehrung bei gleichzeitiger Vergrößerung der Rissbreiten. Im Gegensatz zum Stahlbeton, sind beim Textilbeton aufgrund des ausgeprägten linear-elastischen Material-verhaltens der Carbonfasern bis zum spröden Bruch keine plastischen Tragreserven der Bewehrung vorhanden. Trotzdem weisen die Platten ein duktiles Verhalten auf.

In einem ersten zyklischen Bauteilversuch mit $10^6$ Schwingspielen wurde eine kontinuierliche Verformungszunahme festgestellt. Es ergab sich jedoch kein festigkeitsmindernder Einfluss auf die maximale Tragfähigkeit (s. Abb. 2).

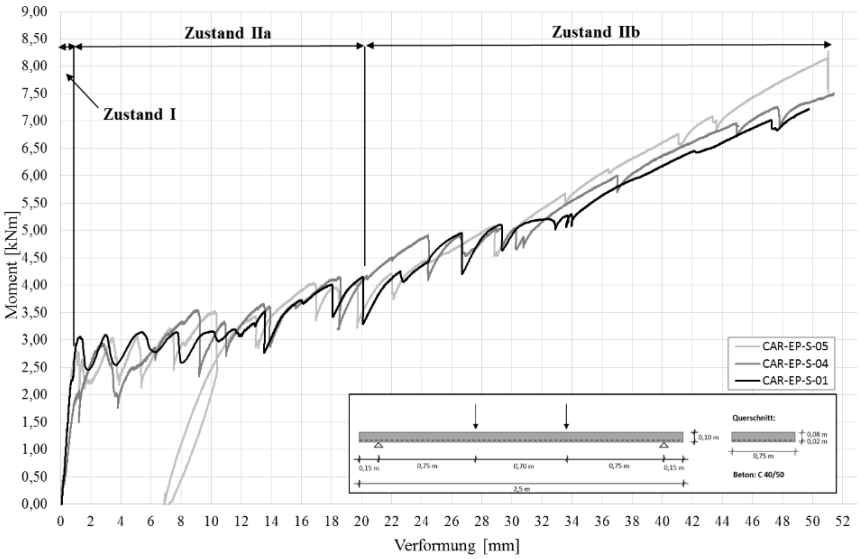



Abb. 1: Momenten-Verformungsdiagramm carbonbewehrter Betonplatten

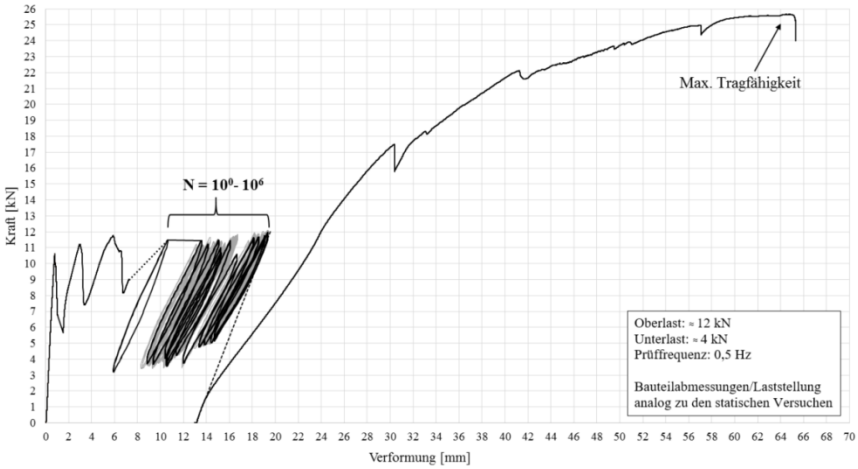



Abb. 2: Momenten-Verformungsdiagramm von carbonbewehrten Betonplatten

Die Autorin bedankt sich bei der Firma solidian für die Bereitstellung der textilen Gelege sowie bei der Firma GOLDBECK für die Herstellung und Lieferung der Bauteile.

# VERGLEICH DER BERECHNUNGSMETHODEN FÜR MAUERWERKSWÄNDE NACH DIN EN 1996-1-1/NA UND DIN EN 1996-3/NA

René Mazur

Im Allgemeinen wird in der Normungsarbeit angestrebt, die vorhandenen Regelwerke schlanker, anwenderfreundlicher und praxistauglicher zu gestalten. Ein Beispiel für ein sehr effizientes und damit anwenderfreundliches Nachweisverfahren sind die vereinfachten Berechnungsmethoden für Mauerwerkswände nach DIN EN 1996-3/NA. Dieses Nachweisverfahren führt deutlich schneller zu Ergebnissen als die allgemeinen Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA, unterliegt jedoch fest definierten Anwendungsgrenzen. Ein aktuelles Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit der Erweiterung dieser Anwendungsgrenzen, um einen Nachweis nach den vereinfachten Berechnungsmethoden für weitere baupraktische relevante Anwendungsfälle zu ermöglichen.

Um die Möglichkeit der Erweiterung der Anwendungsgrenzen der vereinfachten Berechnungsmethoden zu überprüfen, müssen umfangreiche Vergleichsrechnungen angestellt werden. Bereits bei den ersten Betrachtungen fällt auf, dass ein Vergleich der beiden Verfahren nicht durch triviale Ergebnisgegenüberstellung möglich ist. Die vereinfachten Berechnungsmethoden liefern ohne Kenntnis von Einwirkungen direkt eine maximale Traglast einer zuvor definierten Wand. Bei Anwendung der allgemeinen Regeln ist die Traglast dagegen stark von der vorhandenen Lastexzentrizität e = M/N abhängig. Die Ermittlung des einwirkenden Biegemomentes und der einwirkenden Normalkraft ist teilweise sehr aufwendig. Durch geschickte Normierungen der Bemessungsgleichungen und den Einsatz von allgemeinen Ansätzen zur Lösung von Gleichungen höherer Ordnung konnten nach den allgemeinen Regeln maximale Traglasten ohne Iteration ermittelt werden und mit den Ergebnissen nach DIN EN 1996-3/NA

verglichen werden. Während die zulässige Wandhöhe in der Regel durch den Knicksicherheitsnachweis in Wandhöhenmitte determiniert wird, bestimmt bei der Erweiterung der zulässigen Deckenstützweite vor allem bei niedrigen Wandhöhen der Nachweis am Wandkopf bzw. -fuß die Ergebnisse.

Die Auswertung der durchgeführten Vergleichsrechnungen führt für Außenwände zu einem in Abbildung 1 dargestellten ersten Vorschlag zur Erweiterung der Anwendungsgrenzen der vereinfachten Berechnungsmethoden. Hierbei wurden sämtliche Grenzen so gewählt, dass diese auf der sicheren Seite liegen, d.h. die vereinfachten Berechnungsmethoden geringere Traglasten liefern als die allgemeinen Bemessungsregeln. Aufgrund der Komplexität des Vergleiches und der Ergebnisse bildet dieser erste Vorschlag zunächst ausschließlich Kalksandsteine, Mauerziegel und Porenbetonsteine einschaliger Wandkonstruktionen ab.

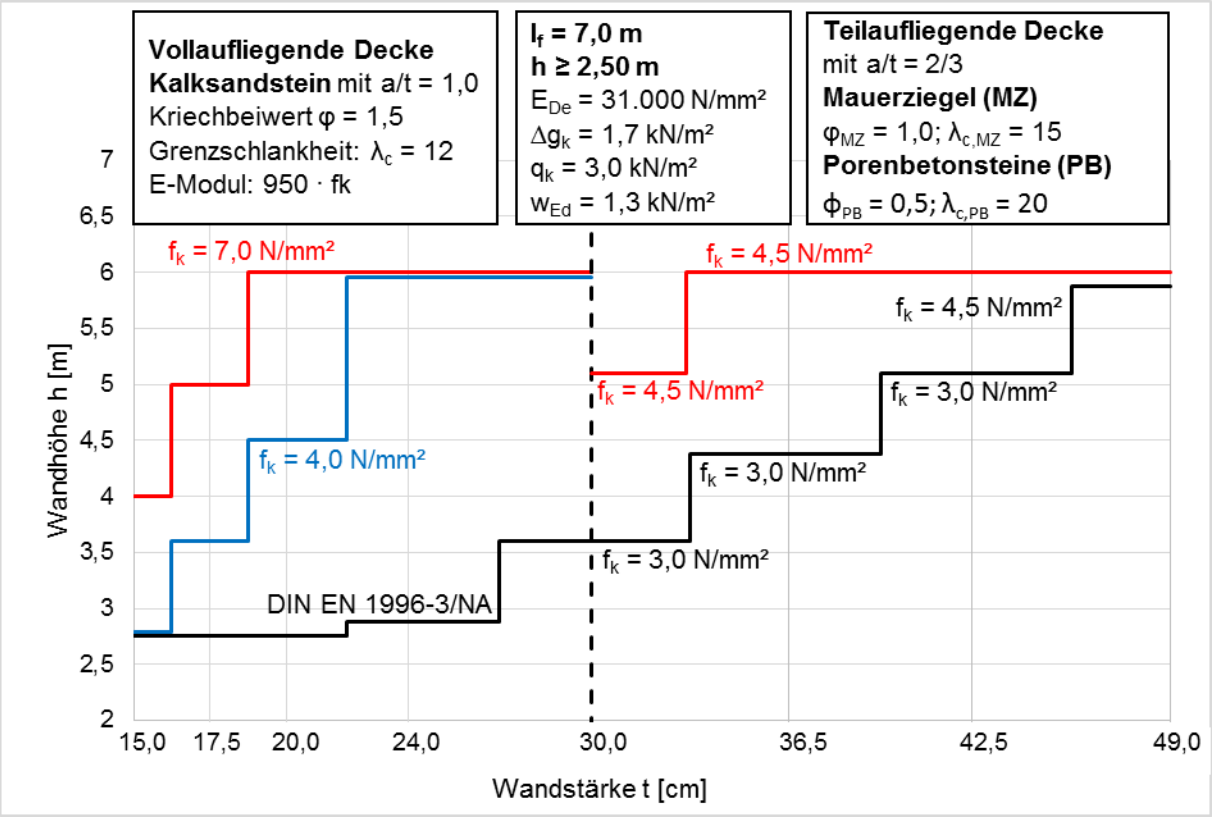



Abbildung 1: Erster Vorschlag zur Erweiterung der Anwendungsgrenzen der vereinfachten Berechnungsmethoden für Außenwände

# STOCHASTISCHE SIMULATION ZUR BESTIMMUNG VON ABMINDERUNGSFAKTOREN FÜR NUTZLASTEN

Dominik Müller, Ngoc Linh Tran

Nutzlasten sind neben dem Eigengewicht die dominierenden Lasten im üblichen Hochbau und bestimmen damit maßgeblich den Materialverbrauch und die Kosten für das Tragwerk. Nach DIN EN 1991-1-1/NA besteht für Wände und Stützen die Möglichkeit, die einwirkende Nutzlast in Abhängigkeit der belastenden Geschosszahl *n* mit dem Faktor $\alpha_n$ abzumindern:

$$\alpha_n = 0{,}7 + 0{,}6/n \leq 1 \qquad \text{(a)}$$

Der Hintergrund für diesen Beiwert liegt darin, dass die Streuung bzw. der Variationskoeffizient der Gesamtbelastung eines Bauteils mit zunehmender einwirkender Geschosszahl abnimmt. Der normative Abminderungsbeiwert $\alpha_n$ wurde mit Hilfe einer stochastischen Lastsimulation überprüft. Die Nutzlast wurde dabei durch ein Zufallsfeld dargestellt, das mit folgender Gleichung beschrieben werden kann:

$$W(x, y) = m + B + F + U(x, y) \qquad \text{(b)}$$

*m* ist hierin ein deterministischer Wert, der den Mittelwert der Last beschreibt. *B* und *F* sind Zufallsvariablen mit dem Mittelwert Null, die die Abweichungen der Nutzlast eines Gebäudes vom Mittelwert *m* bzw. die Abweichung der Nutzlast eines Stockwerkes vom Mittelwert *m + B* eines bestimmten Gebäudes beschreiben. Das Zufallsfeld *U(x,y)* beschreibt die Streuung innerhalb eines Stockwerkes. Die Summe *W(x,y)* kann durch eine Gammaverteilung beschrieben werden. Für die Bestimmung von Abminderungsfaktoren ist die richtige Aufteilung der Streuung von *W(x,y)* auf die einzelnen Komponenten von essentieller Bedeutung, da über dieses Verhältnis die Korrelation der Nutzlasten beschrieben wird. Die Nutzlasten setzen sich zudem aus einem quasi-stationären Anteil, der das Gewicht der Möbel und der festen Einrich-

tungsgegenstände beschreibt, sowie einem kurzzeitigen Anteil, der besondere Ereignisse wie Menschenansammlungen bei Feierlichkeiten oder in Notfällen abbildet, zusammen. Quasi-stationäre Lasten können während einer zufällig lange andauernden Nutzungszeit als konstant dargestellt werden, die kurzzeitigen Ereignisse treten stoßartig mit einem zufällig verteilten Abstand zwischen zwei Auftrittszeitpunkten auf.

Die Lasten wurden für ein zehnstöckiges Beispielgebäude und die zwei Nutzungskategorien Büro und Wohnraum simuliert. Die für die stochastische Simulation gewählten Parameter basieren auf bestehenden Lasterhebungen, das genaue Vorgehen ist in (1) beschrieben. Aus den Simulationsergebnissen wurde die Verteilung der Stützennormalkräfte bestimmt und anschließend aus den zugehörigen 98%-Quantilen mögliche Abminderungsfaktoren hergeleitet, die in Abbildung 1 mit dem Abminderungsbeiwert $\alpha_n$ nach DIN EN 1991-1-1/NA verglichen werden. Es ist zu erkennen, dass der normative Abminderungsfaktor insbesondere für die Nutzungsart Wohnraum stark auf der sicheren Seite liegt. Für eine umfassende Beurteilung müssen jedoch weitere Beispielgebäude untersucht werden.

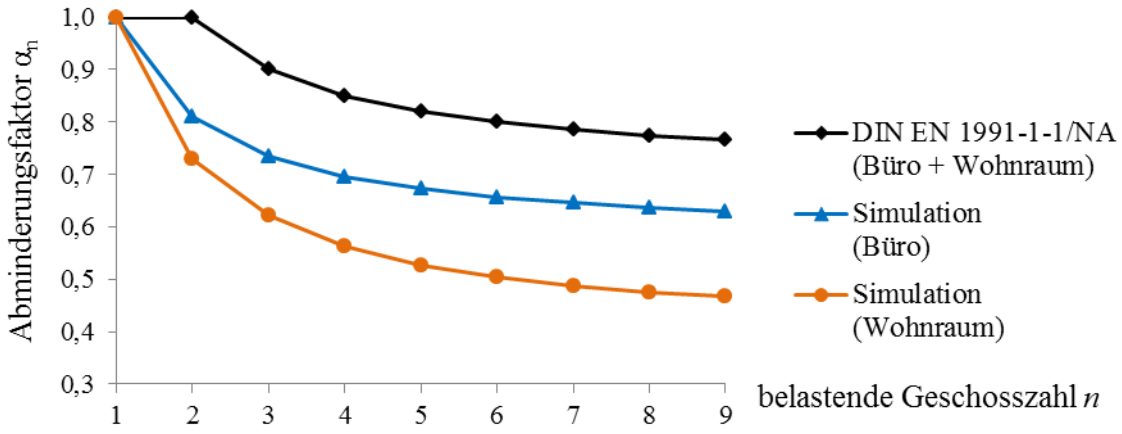



Abbildung 1: Vergleich der Abminderungsfaktoren

(1) Tran, N.L.; Müller, D.; Graubner, C.-A.: Floor Live Loads of Building Structures. In: Proceedings of the 14th International Probabilistic Workshop, Ghent, 5–7 December 2016.

# ANALYSE DES NACHWEISES DER QUERKRAFTTRAGFÄHIGKEIT BEWEHRTER MAUERWERKSBAUTEILE NACH DIN EN 1996-1-1

Benjamin Purkert

Bewehrtes Mauerwerk findet derzeit in Deutschland nahezu keine Anwendung, da aufgrund des national gewählten Teilsicherheitsbeiwerts von $\gamma_M = 10$ keine wirtschaftliche Nutzung möglich ist. Einzige Ausnahme bilden Tür- und Fensterstürze, die jedoch in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt sind und nicht nach der gültigen Bemessungsnorm DIN EN 1996-1-1 nachzuweisen sind. Der unrealistische Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M = 10$ soll erfassen, dass in den Nachweisgleichungen nach Eurocode 6 – insbesondere beim Nachweis der Querkrafttragfähigkeit – wesentliche, für den Mauerwerksbau spezifische Sachverhalte nicht berücksichtigt werden und darüber hinaus teilweise falsche Festigkeits- oder Geometriewerte in Ansatz gebracht werden.

Um im Rahmen des derzeit laufenden „Systematic Review“ von EN 1996-1-1 auf die Korrektur dieser Fehler und Ungenauigkeiten hinwirken zu können und damit den Grundstein zu legen, die Anwendung von bewehrtem Mauerwerk in der Zukunft auch in Deutschland zu ermöglichen, wurden in einem ersten Forschungsvorhaben die Schwachstellen der derzeitigen normativen Regelungen zum Nachweis der Querkrafttragfähigkeit identifiziert und aufgezeigt.

Für die Bemessung bewehrter Wände wird beispielsweise bei der Berechnung der Querkrafttragfähigkeit ohne Schubbewehrung anstelle von einer überdrückten Länge $l_c$ die gesamte Wandlänge l in Ansatz gebracht (s. Gl. (a)), während gleichzeitig die Schubfestigkeit $f_{vd}$ des unbewehrten Mauerwerks verwendet wird, bei deren Berechnung die überdrückte Fläche berücksichtigt wird. Außerdem wird ein fester Druckstrebenneigungswinkel von $\theta = 45°$ unter-

stellt, ohne Art und Größe des Überbindemaßes zu berücksichtigen. Auch wird beim Nachweis der schiefen Hauptdruckspannung nicht beachtet, dass die schiefe Druckfestigkeit des Mauerwerks nicht gleich der vertikalen Festigkeit ist.

$$V_{Ed} \leq V_{Rd1} = f_{vd} \cdot t \cdot l \qquad \text{(a)}$$

Ähnliches gilt für den Nachweis bewehrter Mauerwerksbalken, wo ebenfalls die vertikale Mauerwerksdruckfestigkeit verwendet wird, anstatt die horizontale Steindruckfestigkeit zu berücksichtigen. Viel schwerwiegender ist hier jedoch, dass als Schubfestigkeit ebenfalls die horizontale Schubfestigkeit parallel zur Lagerfuge des unbewehrten Mauerwerks einzusetzen ist. Beim Balken wirkt die Querkraft jedoch in vertikaler Richtung parallel zu den Stoßfugen (s. auch Abbildung 1), weshalb aufgrund der Orthotropie von Mauerwerk zwingend ein anderer (kleinerer) Wert verwendet werden muss. Interessant ist auch, dass im Nachweis nach EN 1996-1-1 auch geneigte Querkraftbewehrung berücksichtigt werden kann, wobei zumindest hinterfragt werden darf, wie in Mauerwerk mit vornehmlich vertikalen Löchern und Stegen geneigte Bewehrungsstäbe eingebaut werden sollen. Insgesamt wird somit deutlich, dass noch an einigen Stellen die Notwendigkeit zur Überarbeitung besteht und daher der Sicherheitsbeiwert zu Recht so hoch festgelegt wurde.

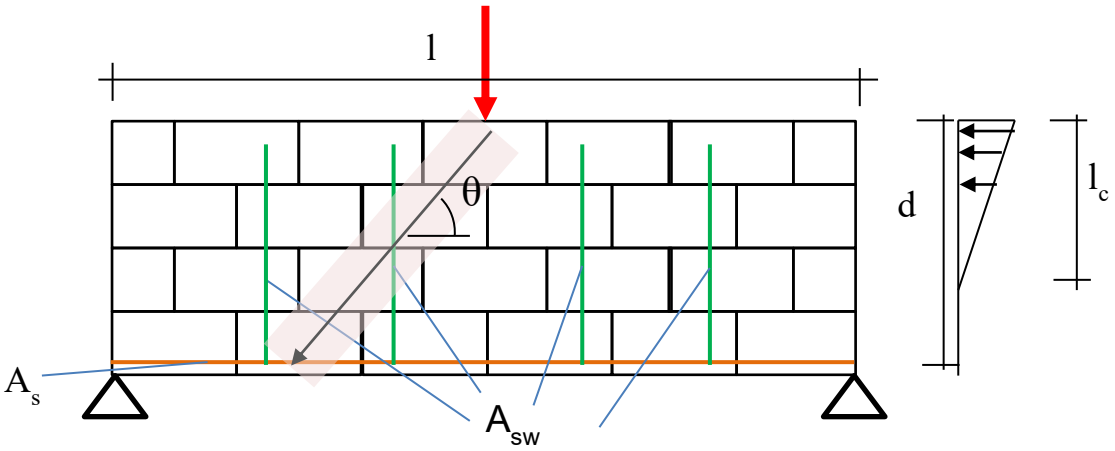



Abbildung 1: Modell eines querkraftbeanspruchten Balkens aus bewehrtem Mauerwerk

# TRAGFÄHIGKEIT AUSFACHENDER MAUERWERKSWÄNDE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON MEMBRANWIRKUNGEN

Michael Schmitt

Obwohl die Errichtung von Bauwerken aus Mauerwerk aus künstlichen Steinen seit Jahrtausenden erfolgreich angewandt wird, liegen für diverse Konstruktionen keine auf geometrischen, mechanischen oder mathematischen Grundlagen aufbauende und hinreichend validierte Lösungsverfahren zur Bestimmung der Tragfähigkeit inkl. der Versagensarten und Verformungszustände vor. Zu diesen wenig erforschten Fällen zählt die Membrantragwirkung, welche bei unbewehrten ausfachenden Mauerwerkswänden unter bestimmten Randbedingungen auftreten und das Tragverhalten maßgeblich beeinflussen kann. Heutzutage werden diese nichttragenden Mauerwerkswände gerade in der Stahlbetonskelettbauweise im Hoch-, Industrie- und Kraftwerksbau eingesetzt. Durch eine Verformungsbehinderung mittels einer kraftschlüssigen Ausbildung der Fugen zwischen nichttragenden Mauerwerkswänden und den angrenzenden Stahlbetonbauteilen können diese Druckmembrankräfte in nennenswerter Größe aktiviert werden. Zu beachten ist, dass in diesem Fall eine in Plattenrichtung biegebeanspruchte Mauerwerkswand (z. B. durch Wind) durch die horizontale Belastung zu einer zusätzlich in vertikaler Richtung normalkraftbelasteten Wand wird. Die entstehende Druckkraft ist dabei keine im klassischen Sinn verstandene Auflast, sondern eine durch Zwang entstehende Membrankraft – eine Reaktion zu deren Entstehung jedoch horizontale und dadurch vertikale Verformungen der Wand notwendig sind. Neben den Gleichgewichtsbedingungen sind daher auch die Verträglichkeit – z. B. Verformungen der Wand – zu betrachten. Wesentlichen Einfluss auf die Tragfähigkeit der Wand hat die Biegesteifigkeit der angrenzenden Stahlbetondecken ($k_{K,m}/f_m$). Hinzu kommt, dass nicht nur ein Phänomen nach

Theorie II. Ordnung, sondern durch das entstehende Durchschlagproblem Aspekte aus der Theorie III. Ordnung berücksichtigt werden müssen.

Durch umfangreiche analytische und numerische Untersuchungen unter Berücksichtigung der aufgeführten Aspekte und Einflüsse konnte am Institut für Massivbau der TU Darmstadt ein analytisches Bemessungsverfahren sowie ein Bemessungsmodell entwickelt werden, mit welchem die maximal aufnehmbare Horizontallast $q_{Rd}$ ermittelt werden kann (s. Abb. 1). Erste Ergebnisse wurden in (1) veröffentlicht. Eine ausführliche Auswertung erfolgt in (2).

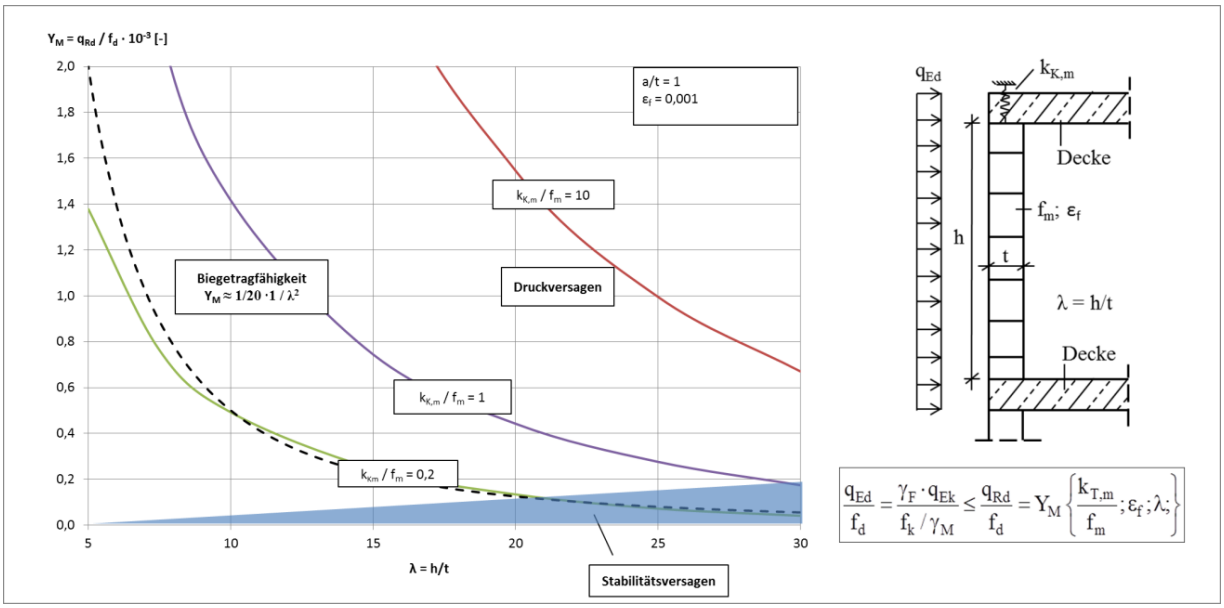



Abbildung 1: Systemtragfähigkeit in Abhängigkeit der Wandschlankheit λ sowie der Deckensteifigkeit $k_{K,m}/f_m$

(1) Graubner, C.-A.; Schmitt, M. (2016): Loadbearing Capacity of Masonry Walls under predominant Bending due to Wind. In: Proceedings 16th International brick and block masonry conference, 2016, Padua, Italien

(2) Schmitt, M. (2017): Dissertation in Vorbereitung. TU Darmstadt – Institut für Massivbau, Darmstadt

# THERMISCHE ENTKOPPLUNG VON STAHLBETONSTÜTZEN

Jochen Zeier, Tilo Proske

Im Zuge der steten Verschärfung der Energie-Einspar-Verordnung (EnEV) wird bei Neubauten eine weitere Verbesserung der Gebäudehülle im Hinblick auf den Wärmedurchgang gefordert. Dies führt zu einem zunehmend größeren Einfluss der Wärmebrücken auf den Gesamtwärmeverlust des Gebäudes. Eine Vermeidung oder Reduzierung dieser Wärmebrücken kann erheblich dazu beitragen, eine Erhöhung der Gebäudequalität zu erreichen und somit den künftigen Anforderungen an energieeffizientes Bauen gerecht zu werden (s. Abbildung 1). Zur thermischen Trennung im Bereich überwiegend auf Biegung und Querkraft beanspruchter Stahlbetonanschlüsse (Balkone) sind Produkte verschiedener Hersteller am Markt verfügbar, während es für überwiegend druckbeanspruchte Stützen noch keine entsprechende Lösung gibt. Ziel des Forschungsvorhabens ist somit die Entwicklung eines Bauelements, welches eine ausreichende thermische Entkopplung der Stahlbetonstütze (im Bereich kalter Außenluft) von der Stahlbetondecke (warmer Innenraum) ermöglicht und zugleich hohe Normalkräfte übertragen kann. Hauptanwendungsgebiet sind Wohn- und Bürogebäude mit Tiefgaragen.

Im theoretischen Teil des Vorhabens erfolgte eine Zusammenstellung der bauphysikalischen Anforderungen für Stützenanschlüsse. Zudem konnten aus statischer Sicht Vorgaben und Abgrenzungen erarbeitet werden, unterstützt durch numerische Untersuchungen. Mittels einer Literaturrecherche identifizierte Materialien wurden anhand von statischen, bauphysikalischen und ökonomischen Kriterien bewertet, dabei erwiesen sich Leichtbeton und ultrahochfester Beton als geeigenete Materialien. Aufbauend auf diesen Materialien fand die Entwicklung von prinzipiellen Varianten zum Lastabtrag und einem Vergleich dieser untereinander statt.

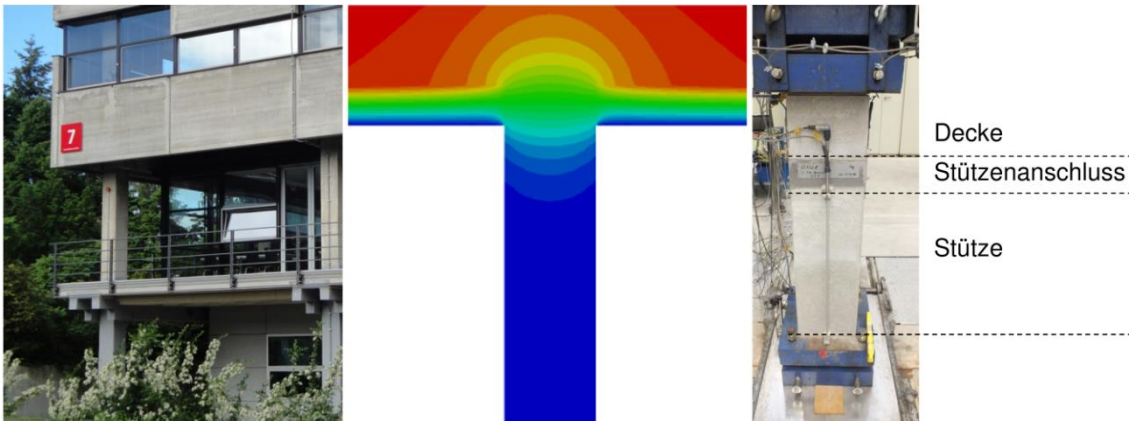



Abbildung 1: Gebäude mit Außenstützen (links), Thermische Modellierung (Mitte) und Prüfkörper (rechts)

Zur Ermittlung der wärmetechnischen Kennwerte ist ein Simulationsmodell (Basis FEM) für die entwickelten Varianten des Stützenanschlusses unter der Berücksichtigung der bauphysikalischen Eigenschaften erstellt (s. Abbildung 1) worden. Im experimentellen Teil erfolgte in einem umfangreichen Versuchsprogramm eine Analyse des Tragverhaltens der beiden geeignetsten Ausführungsvarianten der Stützenanschlüsse (flächiger Leichtbeton sowie Leichtbeton mit UHPC-Kern). Dabei war das Ziel eine hohe Ausnutzung der Querschnittstragfähigkeit der Stütze zu erreichen. Des Weiteren ist ein FEM-Modell zur numerischen Analyse des Tragverhaltens des Bauelements entwickelt und anhand der Versuchsergebnisse kalibriert worden. Dieses FEM-Modells diente zur Durchführung von umfangreichen Parameterstudien. Darauf aufbauend wurde ein Bemessungskonzept entwickelt mit dem eine zuverlässige Vorhersage der Versagenslast ermöglicht wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der neuartige Stützenanschluss eine hohe Tragfähigkeit aufweist und kostengünstig ist. Für in der Praxis übliche Stützen aus Stahlbeton ist eine Übertragung von 80 % bis 100 % der Querschnittstragfähigkeit bei Verwendung des Stützenanschlusses zu erreichen. Aus diesen Gründen wird mit einer zeitnahen Umsetzung der Forschungsergebnisse in ein zugelassenes Bauprodukt gerechnet. Das Vorhaben wurde dankenswerterweise durch die Schöck Bauteile GmbH maßgeblich durch Know-How und Materiallieferungen unterstützt.

# CARBON CONCRETE COMPOSITE – SCHWINDVERHALTEN DER C³-BETONE

Peter Ramge, Tilo Proske

Wie bereits in der letzten Ausgabe des DACON berichtet, ist das Institut für Massivbau am derzeit größten Bauforschungsprojekt Deutschlands beteiligt, dem Verbundforschungsvorhaben „C³ – Carbon Concrete Composite“. Das Verbundprojekt wurde im vergangenen Jahr mit zahlreichen Auszeichnungen geehrt unter anderem mit dem Deutschen Rohstoffeffizienzpreis 2015 und dem Deutschen Nachhaltigkeitspreis 2015.

Die erste Projektphase ist mittlerweile abgeschlossen und somit wurde auch das Teilprojekt TP15 „Umweltfreundliche Bindemittel und C³-Betone, Kriechen, Schwinden, Ökobilanzierung“ des Instituts für Massivbau Ende August 2016 abgeschlossen. Es wurden umfangreiche Versuche zur Ermittlung des Kriech- und Schwindverhaltens der neu entwickelten C³-Betone durchgeführt. Ferner wurden die entwickelten Mischungen einer ökobilanziellen Bewertung unterzogen. Als eine der wirkungsvollsten Maßnahmen zur Reduktion von Kriech- und Schwindverformungen bei gleichzeitig positiver Wirkung auf die Ökobilanz lässt sich die Substitution von Zementklinker durch inerte und/oder reaktive Ersatzstoffe nennen. Im vorliegenden Fall kamen Kalksteinmehl und Hüttensand hierfür zum Einsatz. Das Schwinden von zementgebundenen Baustoffen ist ein hochkomplexer Sachverhalt, der von verschiedenartigen Wechselwirkungen geprägt ist. Unter den vielen Einflussfaktoren nehmen die durch den Hydratationsprozess entstehenden CSH-Phasen eine Schlüsselrolle ein. Je größer die Menge der sich bildenden CSH-Phasen ist, desto größer sind die zu erwartenden Schwindverformungen. Eine Substitution von Zementklinker durch inertes Kalksteinmehl reduziert die Menge der sich bildenden CSH-Phasen und damit auch die Schwindverformungen signifikant. Die Substitution von Zementklinker durch Hüttensand ist aus diesem Grunde hinsicht-

lich des Schwindens weniger effektiv, da sich auch der Hüttensand am Hydratationsprozess beteiligt und zur CSH-Phasenbildung beiträgt. An der Tatsache, dass es aber ebendiese CSH-Phasen sind, die dem Beton seine Festigkeit verleihen, lässt sich bereits erkennen, dass der Optimierung einzelner Betoneigenschaften durch eine Reduzierung der CSH-Phasenbildung praktische Grenzen gesetzt sind. Im Falle der im Projekt entwickelten C³-Basismischungen bestünde hinsichtlich des Kriechens und Schwindens sowie der ökobilanziellen Mischungsoptimierung zwar durchaus noch Potenzial in einer weiteren Zementklinkersubstitution, jedoch setzen andere Anforderungen bzw. gewählte Randbedingungen hier Grenzen, z.B. der Wunsch nach einer hohen Festigkeit, die Beschränkung auf einen geringen Größtkorndurchmesser und die Vorgabe einer fließfähigen, nahezu selbstverdichtenden Konsistenz.

Hinsichtlich der Versuchsergebnisse zeigt sich, dass der Anteil des autogenen Schwindens am Gesamtschwinden bei den hochfesten und den höherfesten Mischungen deutlich ausgeprägter ist als bei den niedrigfesten bzw. normalfesten Betonen. Zu einigen Mischungen wurden auch Vergleichsrechnungen zur Prognose der Schwindverformungen nach dem Modellansatz aus DIN EN 1992-1-1 (EC2) Anhang B durchgeführt. Zusammenfassend lässt sich hierzu sagen, dass der normative Ansatz nur bedingt geeignet scheint, um die Schwindverformungen der C³-Betone zu prognostizieren. Das Hauptproblem liegt in der Abschätzung der autogenen Schwindverformungen. Hier nimmt mit steigender Betonfestigkeit die Prognosegenauigkeit deutlich ab. Zur Abschätzung neuer angepasster Modellparameter oder Korrekturfaktoren reichte die im Rahmen des Teilprojekts TP 15 vorliegende Datengrundlage jedoch nicht aus. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Zur Prognose der Kriechverformungen ist das Modell nach DIN EN 1992-1-1 (EC2) Anhang B jedoch auch für die entwickelten C³ Betone anwendbar ist. Ein Vergleich der experimentell ermittelten Verformungen bzw. der daraus abgeleiteten Kriechzahlen $\varphi(t,t_0)$ mit den nach dem Berechnungsmodell nach DIN EN 1992-1-1 (EC2) Anhang B prognostizierten Kriechzahlen bietet zufriedenstellende Ergebnisse.

# KRIECH- UND SCHWINDVERHALTEN VON BETONEN AUS UMWELTFREUNDLICHEN KOMPOSITZEMENTEN

Moien Rezvani, Tilo Proske

Im Forschungsprojekt „Reduzierung der Umweltwirkung der Betonbauweise durch neuartige hüttensandhaltige Zemente und daraus hergestellter Betone“ wurden in Kooperation mit der Firma Spenner Zement und dem Verein Deutscher Zementwerke e.V. neuartige klinkerreduzierte Zemente mit großen Anteilen an Hüttensand und Kalkstein entwickelt. Ein Einsatz dieser klima- und ressourcenschonenden Zemente zur Herstellung von Stahlbetonbauteilen ist jedoch zum Teil nur bei angepassten betontechnologischen Randbedingungen insbesondere bei reduzierten w/z-Werten möglich. Die Betone aus diesen klinkerarmen Zementen weisen ein bis zu 60 % geringeres Treibhauspotential auf. Im Rahmen des Forschungsvorhaben wurden verschiedene bemessungsrelevante Eigenschaften, wie z. B. Druck- und Zugfestigkeit oder Elastizitätsmodul, und Dauerhaftigkeitskenngrößen der Betone, wie z. B. Karbonatisierungswiderstand, Schwind- und Kriechverhalten, experimentell analysiert.

Die Schwind- und Kriechmessungen wurden an Zylindern mit Ø = 158 mm und h = 300 mm in Anlehnung an DAfStb-Heft 422 durchgeführt. Der Zementleimgehalt betrug 275 ± 5 l/m³. Nach dem Betonieren wurden die Probekörper einen Tag in der Schalung belassen, danach bis zum 7. Tag unter Wasser und anschließend bei einer Temperatur von 20 °C und einer rel. Luftfeuchte von 65 % gelagert. Die Kriechspannung von $\sigma_u = 1/3\ f_{c,cyl}$ wurde im Alter von 35 Tagen aufgebracht. Die gemessenen Schwinddehnungsverläufe der Betone mit verschiedenen w/z-Werten (0,35, 0,40 und 0,50) und Zementen aus unterschiedlichen Klinker- (K), Hüttensand- (S) und Kalksteinanteilen (LL) sind in Abbildung 1 (links) dargestellt. Der Referenzbeton mit CEM I 52,5 R weist das größte Schwindmaß auf. Es ist daher davon auszugehen, dass sich Kalkstein und Hüttensand positiv auf das Schwindverhalten auswirken. Da das

Schwindmaß des Betons B050-CEM (50K, 30S, 20LL) bei gleichem w/z-Wert größer ist als das Schwindmaß des B050-CEM III/A, kann unterstellt werden, dass sich Hüttensand auf das Schwindverhalten günstiger auswirken kann als Kalkstein. Bei Anpassung des w/z-Wertes auf 0,35 entspricht der Beton mit CEM (20K, 30S, 50LL) dem Referenzbeton mit CEM III/A 42,5 N.

Die gemessenen spezifischen Kriechmaße sind in Abbildung 1 (rechts) dargestellt. Es handelt sich um die reinen Kriechverkürzungen durch aufgebrachte Druckspannungen. Die Verkürzungen beziehen sich auf die Erstmessung unmittelbar nach dem Belastungsbeginn. Da der Beton mit CEM I 52,5 R das größte Kriechmaß hat, ist zu konstatieren, dass sich Kalkstein und Hüttensand positiv auf das Kriechverhalten auswirken. Beim Vergleich von B050-CEM III/A und B050-CEM (50K, 30S, 20LL) kann aufgrund des gleichen w/z-Wertes festgestellt werden, dass Hüttensand das Kriechverhalten etwas günstiger beeinflusst als Kalkstein. Bei Reduzierung des w/z-Wertes auf 0,40 bzw. 0,35 wirkt Kalkstein wie Hüttensand.

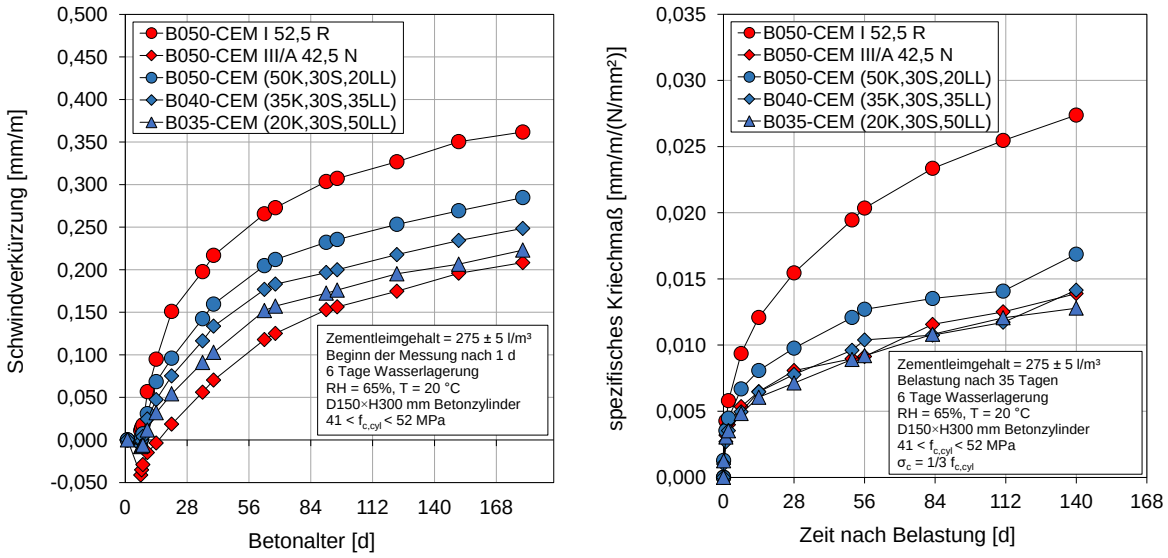



Abbildung 1: Verlauf der Schwindverformungen (links) und der Kriechverformung (rechts) der Referenzbetone und der Betone mit klinkereffizienten Zementen

# UNTERSUCHUNG VON KARBONATISIERUNGSPROFILEN IN KLINKER-REDUZIERTEN BETONEN

Sarah Steiner, Barbara Lothenbach (Empa), Tilo Proske, Frank Winnefeld (Empa)

Die Substitution von Portlandzementklinker durch Kalkstein ist ein vielversprechender Weg, die Umweltverträglichkeit von Betonen zu verbessern. Zu hohe Kalksteingehalte können jedoch die Haltbarkeit, insbesondere den Karbonatisierungswiderstand negativ beeinflussen (1). Um die Grenzen der maximal möglichen Kalksteinmehlgehalte im Zement genauer zu untersuchen, wurden in Zusammenarbeit mit der Schweizer Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) chemische Analysen von Karbonatisierungsprofilen durchgeführt.

Die Leimproben mit w/z-Werten (z: Zement + Kalksteinmehl) von 0,75 bis 0,3 wurden aus Portlandzementklinker (CEM I 52,5 R) mit verschiedenen Mengenanteilen an Kalksteinmehl (LL: 0 Gew.% bis 60 Gew.%) hergestellt. Um eine gerichtete Karbonatisierung zu gewährleisten, wurden die Mantelfläche und der Boden der zylindrischen Probenkörper mit Epoxidharz versiegelt. Im Anschluss erfolgte die Karbonatisierung bei 2 % $CO_2$ bzw. 20 % $CO_2$ und 65 % r.F. Für die Untersuchungen des Karbonatisierungsprofils mittels thermogravimetrischer Analyse (TGA) wurden die Leimproben im Bereich der Karbonatisierungsfront in 4 mm dicke Scheiben gesägt. Das Probenmaterial für die Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie (FTIR)-Messungen wurde unter Verwendung eines Bohrers (Ø = 1 mm) direkt entlang des Karbonatisierungsprofils gewonnen.

Die Quantifizierung von Portlandit (CH) und Calciumcarbonat (Cc) in den hydratisierten und teilweise karbonatisierten Proben erfolgte anhand von TGA Messungen. Die DTG-Kurven der kalksteinreichen Proben (LL ≥ 20 % bei w/z-Wert ≤ 0,6 und LL ≥ 40 % bei w/z-Wert ≤ 0,4)

zeigten ein abruptes Verschwinden von CH beim Wechsel vom nicht-karbonatisierten in den bereits karbonatisierten Bereich der Probe. Leimproben ohne beigemengtes Kalksteinmehl wiesen hingegen eine breitere Karbonatisierungsfront in Bezug auf den Verbrauch von CH auf. Dieser durch eine graduelle Abnahme von CH gekennzeichnete Bereich scheint sich mit sinkendem w/z-Wert zu verbreitern. Die Karbonatisierung der C-S-H Phasen ist ein mehrstufiger Prozess, der mit einer Reduktion der Calcium/Silizium (C/S)-Verhältnisse einher geht (2). Anhand FTIR Messungen an kalksteinreichen Leimproben konnte die Anwesenheit von CH sowie C-S-H Phasen direkt am durch Phenolphtalein indizierten Umschlagpunkt aufgezeigt werden. Im bereits karbonatisierten Bereich nahe der Karbonatisierungsfront sind jedoch nur noch C-S-H Phasen mit geringem C/S-Verhältnis zu beobachtet (siehe Abb. 1).

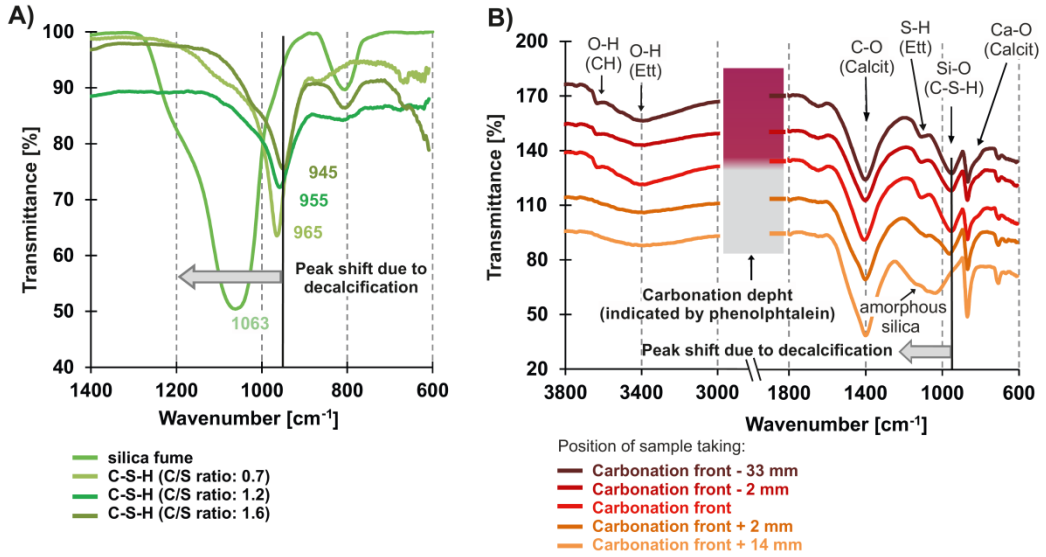



Abbildung 1: A) FTIR-Spektren von reinen C-S-H-Phasen bei unterschiedlichen C/S-Verhältnissen. B) FTIR-Messungen entlang der Karbonatisierungsfront einer kalksteinreichen Leimprobe (LL: 60%, w/z-Wert: 0,5 karbonisiert für 53 d bei 2 % $CO_2$;).

(1) S. Hainer; Dauerhaftigkeit klinkerreduzierter Betone - Ein Modell zur Bestimmung des Karbonatisierungsfortschrittes, Dissertation TU Darmstadt (2015)

(2) T. Sevelsted, J. Skibsted; Carbonation of C–S–H and C–A–S–H samples studied by 13C, 27Al and 29Si MAS NMR spectroscopy, Cem. Concr. Res. 71 (2015) 56–65

# MODELLIERUNG DER STOFFSTRÖME DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE DES BAUWESENS

Katharina Fritz

In der gesamten Wertschöpfungskette des Bauwesens, die sich von der Rohstoffgewinnung und -verarbeitung über die Produktherstellung und den gesamten Lebenszyklus der gebauten Umwelt sowie die Abfallbehandlung bzw. -beseitigung und die Gewinnung von Sekundärrohstoffen erstreckt, werden die verschiedensten Ressourcen in Anspruch genommen. Eine vollständige Auswertung dieser Ressourceninanspruchnahmen anhand der in der amtlichen Statistik oder in vergleichbar validen Datenquellen bereitgestellten Zeitreihen ist aufgrund der Art der Datenbereitstellung bisher nicht möglich. Um dennoch die Stoffströme in der Wertschöpfungskette des Bauwesens berechnen zu können, ist eine Modellierung aller Stoffströme der gebauten Umwelt notwendig. In einem ersten Schritt liegt der Fokus dabei auf der Modellierung der rohstofflichen Stoffströme, die anschließend jedoch um weitere Stoffströme ergänzt werden soll. So ist es beispielsweise möglich, die rohstofflichen Stoffströme mit LCA-Datensätzen zu verknüpfen, um damit die Emissionseinträge in die Umwelt und demzufolge die Inanspruchnahmen weiterer natürlicher Ressourcen zu ermitteln.

Ausgangspunkt der Modellierung bildet die gebaute Umwelt in Deutschland, die alle Gebäude (Wohn- und Nichtwohngebäude) und Infrastrukturen (Verkehrs-, Energie-, Wasser- sowie Informations- und Kommunikationsinfrastrukturen) mit ihren sämtlichen Einzelelementen (Brücken, Freileitungsmasten, Kläranlagen etc.) umfasst. Für die Modellierung sind jährliche Bestandszahlen als Eingangsparameter für die Berechnung notwendig. Daher startet die Konzeptionierung des Modells mit einer Analyse der amtlichen Statistik, verschiedener Studien und weiterer Fachliteratur bzgl. möglicher Eingangsparameter. Nach Festlegung der Eingangsparameter für alle Einzelelemente der gebauten Umwelt ist die Berechnung von Materialkenn-

ziffern für den Neubau, die Instandhaltung sowie den Rückbau für alle Einzelelemente erforderlich. Auch diese werden anhand von Studien sowie weiterer Fachliteratur identifiziert und für die Berechnung in sogenannten Steckbriefen für jedes Einzelelement hinterlegt. Für einige Einzelelemente der gebauten Umwelt ist die Datenlage zu Eingangsparametern und Materialkennziffern als gut zu bezeichnen, bei zahlreichen Parametern (Instandhaltungszyklen etc.) sind für eine vollständige Abbildung dennoch einige Annahmen erforderlich. Dagegen ist die Datenlage für andere Einzelelemente deutlich schlechter, sodass diese bisher nur näherungsweise abgebildet werden können und weiterer Forschungsbedarf zur Festlegung realitätsnaher Materialkennziffern existiert. Durch Verknüpfung der Informationen aus den Steckbriefen und den Bestandszahlen zweier ausgewählter Jahre kann ein Materialstrom ermittelt werden (siehe Abbildung). Es handelt sich lediglich um einen Materialstrom, da sich die Materialkennziffern in der identifizierten Literatur noch häufig auf Baustoffe und -produkte (Materialien), wie z. B. Beton oder Stahl, beziehen. Durch Einbezug von Kennwerten zum Rohstoffaufwand der verschiedenen Baustoffe und -produkte ist es jedoch möglich, eine Rückrechnung auf die rohstoffliche Ebene vorzunehmen. Allerdings liegen solche Kennwerte bisher nur für einzelne Baustoffe und -produkte vor.

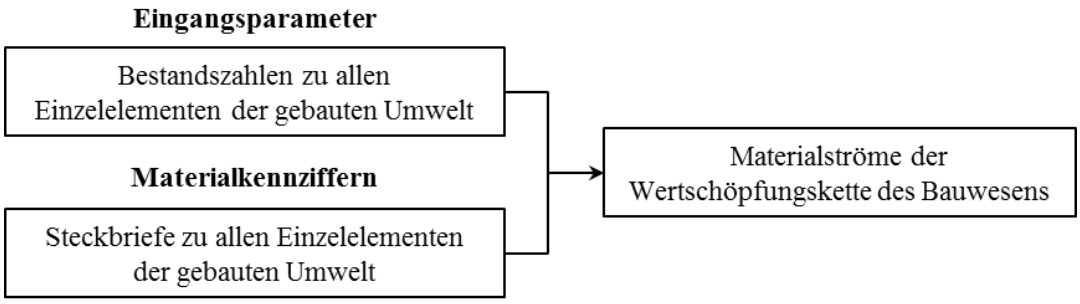



Abbildung 1: Vorgehensweise zur Ermittlung der Materialströme

Abschließend lässt sich konstatieren, dass mit einem solchen Modell die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen in der Wertschöpfungskette des Bauwesens grundsätzlich gut abbildbar ist, sofern die Forschungsbedarfe bzgl. der Datenlücken zukünftig angegangen werden.

# NACHHALTIGKEIT DER HOLZBAUWEISE | TEIL 1

Sebastian Pohl (LCEE), Astrid Reuber (LCEE)

Der allgemeine Nachhaltigkeitstrend im Bauwesen führt auch zu Aktivitäten des Nachhaltigkeitslobbyismus, z. B. mit dem Ziel, einzelne Bauweisen als exklusiv nachhaltig zu propagieren. Besonders umtriebig geriert sich hierbei die Holzlobby, die mit kaum erträglicher Leichtigkeit ihre „grün“ gefärbten, im Kern fragilen Argumentationsketten bei (nachhaltigkeits-) unbedarften Adressaten zu platzieren versucht.

Das Institut für Massivbau (IfM) hat gemeinsam mit seinem Spin-off LCEE Life Cycle Engineering Experts in diversen Studien klargestellt, dass Nachhaltigkeit mitnichten der verengten Interpretationsweise der Holzlobby entspricht, sondern (i) eine Balance aus ökologischen, ökonomischen und sozialen Attributen darstellen muss, die sich (ii) über den Lebenszyklus einer (iii) zielführenden Betrachtungseinheit (hier: Gebäude) einstellen muss. Es konnte auch gezeigt werden, dass sich Gebäude aus Mauerwerk durch eine solche ganzheitliche Nachhaltigkeitsqualität auszeichnen und keine Nachteile gegenüber dem Holzbau aufweisen. Aktuell arbeiten IfM/LCEE an einer weiteren Studie, um die von der Holzlobby propagierten pauschalen Nachhaltigkeitsqualitäten der Holzbauweise aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu analysieren. Im hier komprimiert dargestellten ersten Teil zu den Mythen des Holzbaus lag der Schwerpunkt auf folgenden zentralen Fragestellungen:

- Verfügt Deutschland über ausreichende Holzressourcen, um eine exorbitant ausgeweitete bauliche Holznachfrage überhaupt abdecken zu können, und zwar ohne von den Grundsätzen einer nachhaltigen Waldwirtschaft abzurücken?
- Wie wirken sich Szenarien der Verwendung ausländischer Importholzwerkstoffe auf die ökologische Qualität (Ökobilanz) eines Gebäudes aus?

Die Analysen der Studie geben hierauf eindeutige Antworten. So ist bzgl. der inländischen Holzressourcen und ihrer Verwendung festzuhalten, dass *bereits heute*

- die Nutzung des für das Bauwesen entscheidenden Nadelholzbestands um bis zu 15 % über der natürlichen Zuwachsrate liegt,
- Deutschland zur Bedarfsdeckung gleichzeitig Nadelhölzer importieren muss und
- das Bauwesen v.a. mit der Energiebranche um die Ressource Holz konkurrieren muss (siehe Abbildung 1).

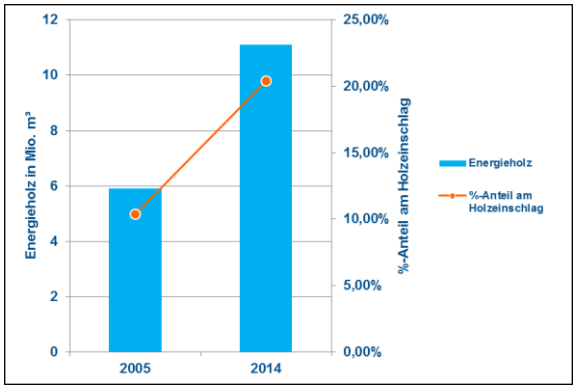



Abbildung 1: Energieholz in Deutschland und sein Anteil am Holzeinschlag

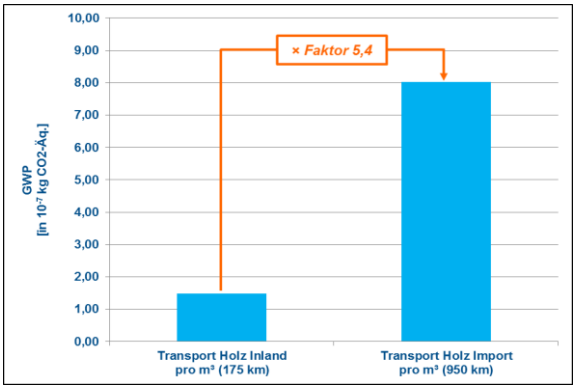



Abbildung 2: Effekt des Holzimports auf ökobilanzielle Wirkungen des Transports

Hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen des Holzimports lässt sich konstatieren, dass

- der Import die ökobilanziellen Wirkungen des Transport durchschnittlich um mehr als den Faktor 5 steigert (siehe Abbildung 2),
- auch wenn dieser Effekt auf die Gesamtergebnisebene einer Ökobilanz aufgrund anderer Ergebnistreiber kaum mehr durchschlägt,
- wohingegen die Unterschiedlichkeit zwischen in- und ausländischen Datensätzen einen massiven Ergebniseinfluss von bis zu zweistelligen %-Werten hat.

Der geplante zweite Teil der Studie wird sich flankierend u. a. mit der Nachhaltigkeitsqualität des Holzbaus aus baukonstruktiver Perspektive befassen.

# VEREINFACHTE ÖKOBILANZANALYSE ZUM VERGLEICH DEZENTRALER ENERGIEVERSORGUNGSOPTIONEN

Fabian Staab, Claudia Weißmann

Die Dezentralität der Energieversorgung wird gemeinhin als entscheidender Faktor dafür erachtet, den Anteil erneuerbarer Energien am Energieverbrauch zu steigern. Durch Quartiersvernetzung kann die Nutzung fossiler Energieträger deutlich verringert werden und dadurch ein ökologischer Nutzen generiert werden. Gleichwohl geht mit dem ökologischen Nutzen oft auch ein ökologischer Aufwand einher, z. B. in Form von zusätzlicher Anlagentechnik. Um die ökologischen Implikationen der Energieversorgung der Quartiere verursachungsgerecht abbilden zu können, ist der aktuelle, auf Einzelgebäude bezogene Ansatz des BNB/DGNB-Systems nicht angemessen, da die Systemgrenze dort nur das jeweilige Gebäude umfasst. Stattdessen muss im Quartierkontext, in dem Energie über Gebäudegrenzen hinweg verteilt und genutzt wird, das Gesamtquartier betrachtet werden, da Anlagen wie Stromspeicher oder PV-Anlagen von allen Quartiersgebäuden genutzt werden und ihr Interaktionsverhalten in kleinen Zeitschritten abläuft. Das Institut für Massivbau hat zu diesem Zweck einen neuen Ansatz für eine vereinfachte Ökobilanz entwickelt, der zum Vergleich dezentraler Energieversorgungsoptionen genutzt werden kann (1). Während der bisherige Ansatz einer Gebäudeökobilanz nach BNB/DGNB die Gebäudesubstanz, die TGA und den Energieverbrauch für Raumwärme erfasst, klammert der neue Ansatz die Gebäudesubstanz aus und bewertet stattdessen die TGA und Anlagentechnik sowie den Energieverbrauch für Raumwärme und elektrische Verbraucher im gesamten Quartier.

Der Nutzen des neuen Ansatzes soll an nachfolgendem Beispiel verdeutlicht werden: Es werden zwei Szenarien eines Quartiers aus fünf Gebäuden verglichen. Szenario 1 umfasst fünf Gebäude nach EnEV 2014, die Solarthermie zur Warmwasserbereitung und einen Gasbrenn-

wertkessel zur Raumheizung nutzen. Dieses Szenario 1 soll verglichen werden mit Szenario 2, in dem drei EnEV 2014-Gebäude vorhanden sind, aber es sich bei zwei Gebäuden um Plus-Energie-Gebäude handelt, die mit strombetriebenen Wärmepumpen beheizt werden und durch Photovoltaikanlagen einen temporären Überschuss an Strom produzieren. Zusätzlich wird ein Batteriespeicher installiert, der die Überschüsse aufnehmen und verzögert an das Quartier abgeben kann. Eine konventionelle Ökobilanz ließe einen Vergleich dieser beider Szenarien nicht zu, da die Wechselwirkungen der Gebäude mit dem Speicher nicht ohne Weiteres erfasst werden können und die Zurechnung der PV-Anlagen zu den Einzelgebäuden den Nutzen für die angrenzenden Gebäude nicht angemessen widerspiegeln würde. Durch den neuen Ökobilanzansatz hingegen lassen sich die ökobilanziellen Auswirkungen beispielhaft für die Wirkungskategorie „Treibhauspotenzial“ beurteilen (vgl. Abb. 1): Während in Szenario 2 zwar ein deutlich höherer Umwelteinfluss durch die Herstellung der Technischen Gebäudeausrüstung entsteht, werden diese Einflüsse durch den verminderten $CO_2$-Ausstoß für Raumwärme und Strom mehr als aufgewogen. Die Umsetzung von Szenario 2 wäre also hinsichtlich dieser Wirkungskategorie deutlich vorteilhaft.

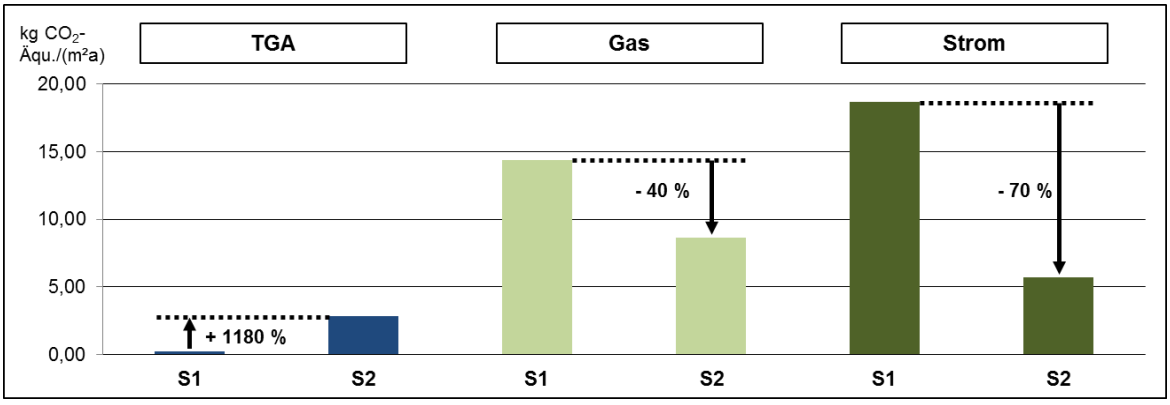



Abbildung 1: Vergleichsergebnisse für Treibhauspotenzial der Szenarien 1 (S1) und 2 (S2)

(1) Weißmann, C.; Staab, F.; Graubner, C.-A.: Development of a simple approach for applying LCA analysis to compare decentralized energy supply options for urban areas, In: Proceedings SBE 16 Hamburg – International Conference on Sustainable Built Environment, 2016, Hamburg, S. 370-379.

# IMPLIKATIONEN DES EEG 2017 FÜR DEN EINSATZ ERNEUERBARER ENERGIEN IM GEBÄUDESEKTOR

Fabian Staab, Patrick Wörner

Am 8. Juli 2016 hat der Deutsche Bundestag mit dem „Gesetz zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien“ (1) die Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) beschlossen. Dementsprechend werden sich mit Inkrafttreten des neuen EEG 2017 am 1. Januar 2017 die gesetzlichen Rahmenbedingungen ändern, unter denen in Deutschland erneuerbare Energien erzeugt, gefördert und vergütet werden. Unverändert bleibt dabei die zentrale Rolle dieses Gesetzes für die Umsetzung der Energiewende in Deutschland, deren Gelingen maßgeblich von der Wirksamkeit seiner Förderungen und der Akzeptanz seiner Ausgleichsmechanismen, wie z. B. der EEG-Umlage, abhängt. Die Auswirkungen der EEG-Novelle auf Erzeugung und Einsatz erneuerbarer Energien im Gebäudesektor werden nachfolgend umrissen.

Eine wegweisende Änderung im Zuge der Novellierung des EEG betrifft die Fördersystematik und Steuerung des Zubaus von Erneuerbaren-Energien-Anlagen (EEA). Die Förderung von EEA basierte bis zum Jahr 2014 maßgeblich auf gesetzlich festgelegten Einspeisevergütungen für den produzierten Strom, was den Durchbruch dieser Anlagen auf dem Markt ermöglicht hat. Bereits mit dem EEG 2014 wurde für Freiflächenphotovoltaikanlagen ein Ausschreibungsverfahren gestartet, das nun im EEG 2017 generell auf Photovoltaikanlagen, Windenergieanlagen an Land sowie Biomasseanlagen ausgeweitet wird. Die für den Gebäudesektor besonders relevanten Photovoltaikanlagen bleiben hierbei bis zu einer installierten Nennleistung von 750 kW von der Ausschreibungspflicht ausgenommen. Für diese Anlagen wird bis zu einer installierten Leistung von bis zu 100 kW weiterhin eine feste Einspeisevergütung gezahlt und für Anlagen einer Leistung über 100 kW gilt die Direktvermarktungs-

pflicht mit Zahlung einer ausgleichenden Marktprämie. Ein Blick auf die Zubauzahlen der Bundesnetzagentur des Kalenderjahres 2015 zeigt, dass etwa 21 % der installierten Nennleistung aller nach dem EEG gemeldeten PV-Anlagen von der o. g. Ausschreibungspflicht betroffen gewesen wären. Die Einführung der Ausschreibungspflicht in dieser Form kann somit als Schritt hin zu einer marktnäheren Steuerung betrachtet werden, wird jedoch auf kurze und mittlere Sicht nur bedingt Auswirkungen für PV-Anlagen auf Gebäude- oder Quartiersebene haben, da diese in der Regel eine Leistung deutlich unterhalb 750 kW aufweisen. Da eine Ausdehnung auf Anlagen unterhalb von 750 kW von der Bundesregierung u. a. als schädlich für die Erhaltung der Akteursvielfalt erachtet wird und mit beachtlichem administrativem Aufwand verbunden sei (2), scheint eine derartige Ausweitung der Ausschreibungspflicht zum jetzigen Zeitpunkt unwahrscheinlich.

Die zweite, für Gebäude und Quartiere maßgebende Änderung im novellierten EEG 2017 betrifft die Nutzung von Stromspeichern, die besonders für eine Steigerung des Eigenverbrauchs von Strom aus erneuerbaren Energien im Umfeld des Erzeugungsortes von großer Bedeutung sind. Bis dato unterlag der Verbrauch aus Stromspeichern grundsätzlich einer Doppelbelastung durch die EEG-Umlage, da die Vorgänge der Ein- und Ausspeicherung des Stroms jeweils als eigenständige Verbrauchsvorgänge betrachtet wurden. Diese Doppelbelastung wurde nun mit der Neufassung des EEG 2017 weitgehend beseitigt und dürfte somit eine wirtschaftliche Anwendung von Speichertechnologien unterstützen, mit der beispielsweise nachmittäglich erzeugter PV-Strom in den abendlichen Hauptlaststunden genutzt werden könnte, ohne die Stromnetze durch den Einspeisevorgang zu belasten.

(1) BR-Drucksache 355/16 vom 08.07.2016: Gesetzesbeschluss des Deutschen Bundestags – Gesetz zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien.

(2) BT-Drucksache 18/8860 vom 21.06.2016: Gesetzentwurf der Fraktionen der CDU/CSU und SPD – Entwurf eines Gesetzes zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien.

# ANFORDERUNGEN AN DIE BAULOGISTIK AUS SICHT UNTERSCHIEDLICHER INTERESSENSGRUPPEN

André Tischer

Sowohl für die optimale Planung logistischer Fragestellungen als auch für deren erfolgreiche Umsetzung sind bei Baumaßnahmen stets eine Reihe branchenspezifischer Einschränkungen und Besonderheiten zu berücksichtigen. So sind Bauprojekte beispielsweise oftmals durch ein hohes Maß an Individualität geprägt oder an eine Vielzahl standortspezifischer Vorgaben gebunden. Die Baulogistik muss derartige Beschränkungen stets berücksichtigen, gleichzeitig aber auch ein breites Spektrum von Anforderungen beachten, die von unterschiedlichen Interessensgruppen und ihren Vertretern aus dem direkten Umfeld eines jeden Bauprojekts an die Baulogistik herangetragen werden. Zu den wichtigsten Interessengruppen gehören beispielsweise: (i) Bauherr oder einer seiner Vertreter, (ii) Öffentlichkeit und/oder öffentliche Hand, (iii) Baufirmen und ihre Lieferanten, sowie (iv) Entsorgungsunternehmen.

(i) Der Bauherr, als Initiator eines Bauvorhabens, ist mitverantwortlich für das Aufsetzen von aus baulogistischer Sicht wichtiger, zu beachtender Parameter wie Typ und Größe eines Bauprojekts und dessen Lage. Auch ist er oder einer seiner Vertreter in der Regel für alle Beteiligten eines Bauprojekts der Hauptansprechpartner und legt wichtige Projektziele fest. Kostenwirksamkeit, Einhaltung gesetzlicher Mindestanforderungen oder ein effizienter und reibungsloser Bauablauf sind hierbei aus seiner Sicht wesentliche Anforderungen, anhand derer sich der Erfolg baulogistischer Konzepte und Maßnahmen bestimmen lässt.

(ii) Die Öffentlichkeit, einschließlich der direkt betroffenen Nachbarn und Anlieger eines jeden Bauprojekts, stellt zusammen mit den öffentlichen Behörden Anforderungen an die Einhaltung der aus baulogistischer Sicht relevanten Gesetze und Vorschriften. Diese Anforderungen müssen stets sowohl bei der Entwicklung eines baulogistischen Konzepts berücksichtigt,

als auch bei dessen Umsetzung eingehalten werden. So wird beispielsweise oftmals gefordert, durch eine entsprechende Koordinierung von Materialtransporten zur Baustelle hin den öffentlichen Verkehr im unmittelbaren Umfeld einer Baustelle nicht zu stören, oder aber Bauabfälle nach den gesetzlichen Bestimmungen zu trennen und zu entsorgen.

(iii) Bauunternehmen und Auftragnehmer verpflichten sich gegenüber dem Bauherrn und Auftraggeber, den vertraglich vereinbarten Umfang ihrer Fertigungsleistungen zu erbringen. Sie sind daher stets an einem reibungslosen Baufortschritt ihrer eigenen Arbeit interessiert. Aus diesem Grund stellen Bauunternehmen an die Baulogistik die Anforderung an eine optimale Unterstützung und Koordination ihrer avisierten Materialtransporte zur Baustelle sowie an eine sachgerechte Handhabung der benötigen Baumaterialien auf der Baustelle. Aber auch die Lieferanten der Bauunternehmen stellen derartige Anforderungen an die Baulogistik, denn auch sie sind an einem reibungslosen Materialfluss zur Baustelle hin und an einem optimalen Entladeprozess ihrer Materiallieferungen interessiert.

(iv) Schließlich stellen im Rahmen der Entsorgungslogistik die mit der Entsorgung von Baustellenabfällen beauftragten Unternehmen die Anforderung an die Baulogistik, dass Abfälle entsprechend der in der Baulogistikplanung erstellten Konzepte gesammelt und getrennt werden, um sie vertragskonform zu entsorgen.

Die vorstehenden Überlegungen zeigen auf, dass es eine Vielzahl an individuellen Anforderungen an eine optimale Planung und an eine zielgerechte Umsetzung logistischer Fragestellungen für ein Bauprojekt gibt, welche sowohl die Versorgungslogistik als auch die Entsorgungslogistik tangieren.

# BEWERTUNG DER KOSTENRISIKEN IM LEBENSZYKLUS VON INDUSTRIEBAUTEN

Gökhan Uysal, Carl-Alexander Graubner

Trotz stetig steigender Absatzzahlen sind Industrieunternehmen zunehmend mit gesättigten Märkten und turbulenten Marktbedingungen konfrontiert. Auf diese volatile Nachfragesituation reagieren Unternehmen mit einer Diversifikation ihrer Produktpalette und der Erhöhung von Individualisierungsmöglichkeiten. Damit steigt jedoch auch die Komplexität in der Produktion und somit auch bei Fabrikgebäuden. Dem Anstieg der Komplexität steht der Trend zur Verkürzung des Produktlebenszyklus gegenüber. Um die Reaktionsfähigkeit auf die heutigen Absatzmärkte aufrechtzuerhalten, werden Entwicklungszeiten und Produktionslaufzeiten immer stärker verkürzt. Hierdurch entsteht ein zusätzlicher zeitlicher Druck auf die Planung und Realisierung von Fabrikgebäuden. Insbesondere bei Konsum-gütern, die durch eine synchrone Entwicklung von Produkt und Produktionssystem gekennzeichnet sind, kommt den frühen Planungsphasen eine entscheidende Bedeutung zu, da dort die Kostenbeeinflussbarkeit am höchsten ist. Aufgrund der zunehmenden Planungsunsicherheit sowie der verkürzten Planungszeit, werden jedoch die Planungs-grundlagen immer ungenauer. So muss zu Beginn der Gebäudeplanung mit unscharfen Daten bezüglich des Produkts und des Produktionsprogramms gearbeitet werden. Dies führt vor allem zu Kostenrisiken im Lebenszyklus von Gebäuden. Grundsätzlich wurden in der Vergangenheit Gebäude im Anschluss an die Produktionsplanung geplant. Dabei wurde die Gebäudeplanung über das Produktionslayout gelegt und daraus u. a. Flächen für die Lebenszykluskostenplanung abgeleitet. Dem steht heute gegenüber, dass sich der Baubeginn häufig vor der eigentlichen Definition der Produktionsplanung befindet. Die Abbildung 1 zeigt diesen Zielkonflikt und veranschaulicht, wie Unsicherheiten in den frühen Planungsphasen das Kostenrisiko maßgeblich beeinflussen.

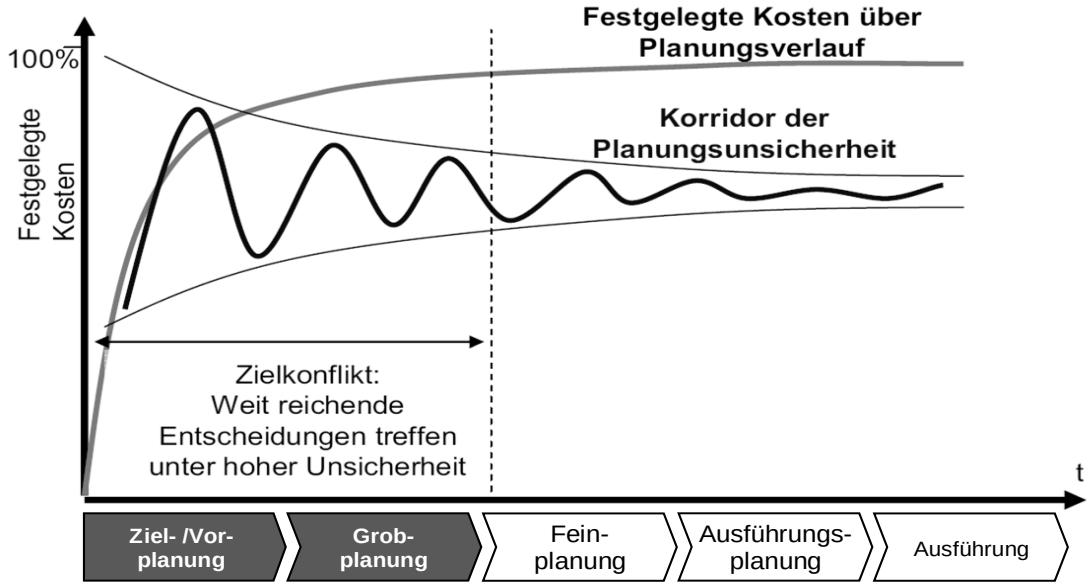



Abbildung 1: Entscheidung unter Unsicherheit in der Fabrikplanung

Um den geschilderten Unsicherheitsfaktoren zu begegnen, wird derzeit am Institut für Massivbau ein Verfahren zur Lebenszykluskostenberechnung auf probabilistischer Grundlage entwickelt. Der Ansatz erlaubt es erstmals, die beiden Zielfelder der ökonomischen Nachhaltigkeit „Lebenszykluskosten“ und „Umnutzungsfähigkeit“ in einem Berechnungsmodell abzubilden. Das Modell ist insbesondere für die frühen Planungs-phasen ausgelegt und benötigt zur Berechnung von Lebenszykluskosten aufgrund eines neuartigen Kostenflächenartenverfahrens nur einen minimalen Informationsbedarf. Weiterhin erlaubt das Verfahren die objektive Messung bzw. Auslegung des Flexibilitäts-niveaus von Gebäuden. Hierbei werden in Abhängigkeit der Gebäudeflexibilität mithilfe von statistisch normierten Korrekturfaktoren, die Lebenszykluskosten inkl. der Änderungskosten abgeschätzt. Die Berechnungen sind zudem in einen probabilistischen Entscheidungsbaum eingebettet. Dies bedeutet, dass sowohl Kostenrisiken aufgrund von unsicheren Eingangsgrößen durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen, als auch Kostenrisiken aufgrund von unsicheren Lebenszyklen und Nutzungsszenarien durch zustandsabhängige Erwartungswertberechnungen quantifiziert werden können. Somit können schließlich diese Risiken ebenfalls in der Investitionsauswahlentscheidung berücksichtigt werden.

# ENTWICKLUNG VON STROM-LASTPROFILEN FÜR SCHULGEBÄUDE

Claudia Weißmann

Die Umsetzung der Energiewende stellt eines der wichtigsten Ziele für eine zuverlässige, umweltschonende und wirtschaftliche Energieversorgung in der Zukunft dar. Durch die hohe Fluktuation der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen ist es notwendig, den Strombedarf von Gebäuden in kleinen Zeitschrittweiten zu kennen. Hierfür eignen sich Lastprofile, die die typische Variabilität des Strombedarfs über den Tagesverlauf beschreiben. Lastprofile für Wohn-, Büro- und Handelsgebäude wurden bereits vom Bundesverband der Elektrizitäts- und Wasserwirtschaft (BDEW) sowie im Rahmen der VDI Richtlinie 4655 entwickelt. Für Schulgebäude existieren bislang keine charakteristischen Strom-Lastprofile. Die Entwicklung dieser Profile für eine weiterführende Schule, basierend auf den Realdaten von sechs Schulgebäuden (1), wird im Folgenden erläutert.

Zunächst ist hierfür die notwendige Anzahl an Typtagekategorien definiert. Es ist davon auszugehen, dass der Strombedarf von Schulgebäuden jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt. Deswegen wird wie bei den BDEW- und bei den VDI 4655-Profilen eine Unterscheidung in Winter (W), Übergang (Ü) und Sommer (S) vorgenommen. Als Differenzierungskriterium dient, wie in der VDI 4655 vorgeschlagen, die Tagesmitteltemperatur. Eine weitere notwendige Differenzierung ergibt sich aus der unterschiedlichen Nutzung der Schulgebäude an den Werktagen von Montag bis Freitag (W) und den Wochenendtagen Samstag und Sonntag (S). Somit ergeben sich insgesamt sechs verschiedene Typtage. Da die Messdaten in 15-minütigen Zeitschritten vorlagen, stellt eine Viertelstunde gleichzeitig den minimal möglichen Zeitschritt für die zu entwickelnden Strom-Lastprofile dar. Dies entspricht auch dem Zeitschritt der BDEW Standardlastprofile sowie jenem der VDI 4655 Profile für Mehrfamilienhäuser

und vereinfacht eine zukünftige Verknüpfung der verschiedenen Profile miteinander. Nach der Zuweisung zu Typtagen werden die Messdaten normiert, kumuliert und der durchschnittliche Lastgang je Typtagkategorie ermittelt. Bei dem finalen Lastprofil handelt es sich dann um den Realdatensatz, der dem Durchschnittsprofil am ähnlichsten ist und damit als repräsentativ für alle Gebäude des Schultyps angenommen wird. Dieser wird mittels der Methode der kleinsten quadratischen Abweichung ermittelt.

Abbildung 1 veranschaulicht die entwickelten Profile bezogen auf den saisonal variierenden durchschnittlichen Tagesbedarf. Es wird deutlich, dass an Werktagen die maximale Lastspitze im Winter am größten ist, was durch die verstärkte Nutzung von Beleuchtung und Hilfsenergie für das Heizsystem erklärt werden kann. Die durchschnittliche tägliche Stromlast an den Wochenenden ist aufgrund der Nichtnutzung der Gebäude deutlich geringer. Zu Betriebszeiten wird die Variabilität der Stromlast (z.B. durch Pausen) gut durch die Profile dargestellt. Die entwickelten Lastprofile eignen sich daher sowohl für die Bewertung von stromerzeugenden Anlagen (PV oder KWK) in Schulen als auch für die Analyse von vernetzen Versorgungskonzepten auf Quartiersebene.

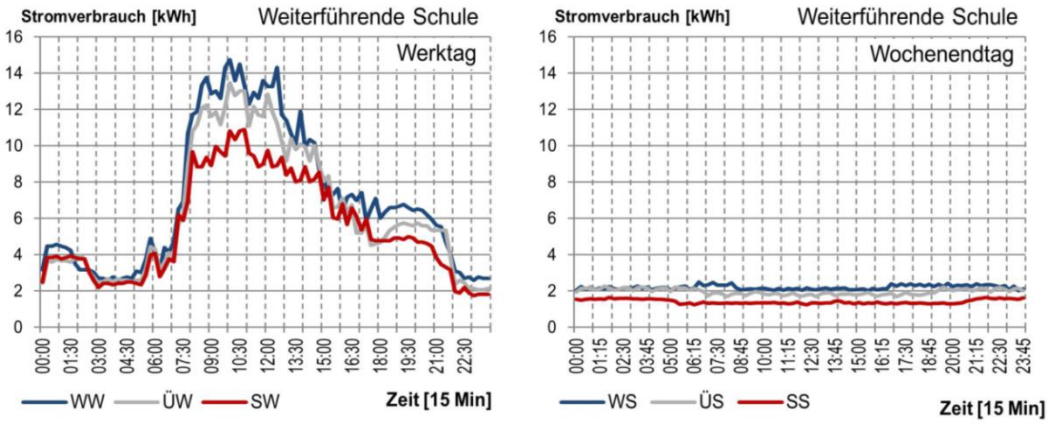



Abbildung 1: Stromlastprofile – Weiterführende Schule: Werktag (links) und Wochenendtag (rechts), bezogen auf den durchschnittlichen Tagesbedarf

(1) Stadt Frankfurt am Main: Hochbauamt, Abteilung Energiemanagement: Automatische Verbrauchserfassung. Online: http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de.

# DIE ELEKTRIFIZIERUNG DES WÄRMEBEREICHS ALS MITTEL ZUR ENERGIEWENDE IM GEBÄUDESEKTOR

Patrick Wörner, Fabian Staab

Vor dem Hintergrund der Energiewende soll der Einsatz fossiler Energieträger in den nächsten Jahren stark zurückgefahren und der Anteil erneuerbarer Energien erheblich ausgebaut werden. Bereits heute beruht die deutsche Stromproduktion zu mehr als einem Viertel auf regenerativen Energien, doch bei der Wärmeversorgung liegt deren Anteil bei nur knapp 10%. (1) Zwingende Voraussetzung für die Energiewende ist daher neben einer weiteren Integration erneuerbarer Energien im Stromsektor vor allem die verstärkte Substitution fossiler Energieträger im elektrizitätsfernen Wärmebereich. Hier besteht das derzeitige Hauptproblem allerdings darin, in Anbetracht der fluktuierend verfügbaren Sonnen- oder Windenergie eine Balance zwischen Energieerzeugung und -verbrauch zu erreichen, wie dies in konventionellen Energiesystemen relativ unproblematisch möglich ist. Neben Unterdeckungen in Zeiten von Nachfragespitzen werden bei steigendem Anteil dieser Energieträger insbesondere Erzeugungsspitzen das deutsche Stromnetz zunehmend belasten. Als Konsequenz muss es zu einer Flexibilisierung des Energiesystems, sprich einer Vernetzung des Strom- und Wärmebereichs kommen, um regenerativ erzeugte Stromüberschüsse sinnvoll verwenden zu können.

Durch die Einführung entsprechender strombasierter Heizsysteme bei der energetischen Sanierung von Gebäuden ließen sich die oben genannten Erzeugungsspitzen durch die zusätzlich entstehende Stromnachfrage sinnvoll verwenden, während nebenbei die Energiewende auch im Gebäudesektor vorangetrieben werden könnte. Der Einsatz von Widerstandsheizungen (z.B. in Form elektrischer Fußbodenheizungen) und Nachtspeicheröfen erwies sich dabei in der Vergangenheit als äußerst ineffizient und führte zu einer teilweise skeptischen Grundhaltung gegenüber elektrischen Heizsystemen. Inzwischen haben jedoch vor allem Wärmepum-

penheizungen ihre Eignung für eine flächendeckende Anwendung bewiesen. (2) Zudem lassen sich über Verfahren wie Power-to-Heat regenerative Stromüberschüsse zur Wärmeversorgung nutzen. Nicht zuletzt können in Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung Spitzenheizlasten anhand solcher Überschüsse abgedeckt werden. (3) Diese beispielhaften Technologien ebnen den Weg für eine flexible sowie effiziente Nutzung von Strom zur Beheizung von Gebäuden. In Kombination mit einem Energiespeicher ließe sich die ökologische und ökonomische Vorteilhaftigkeit noch verstärken, da Stromangebot und -nachfrage zeitlich entkoppelt werden könnten. Hier kann langfristig auch die thermische Speicherfähigkeit der Gebäudemasse erschlossen werden, um in Zeiten hohen regenerativen Stromangebots Wärmeenergie aufzunehmen und diese in Zeiten geringen Angebots wieder an den Raum abzugeben. Hierfür eignen sich insbesondere massive Baustoffe mit hoher spezifischer Wärmekapazität.

Sobald belastbare Studien die Effizienz der verschiedenen Einzeltechnologien und Technologiekombinationen aufzeigen, wird elektrischer Strom aus regenerativen Quellen die dominante Energieform der Zukunft darstellen – auch im Wärmebereich. (4) Durch die Elektrifizierung des Wärmebereichs, die damit ermöglichte sinnvolle Verwertung von Erzeugungsspitzen und daraus folgende Synchronisation von Energieproduktion und -nachfrage mittels intelligenter strombasierter Heizungsanlagen bewegt sich die Energiewende von einer Stromwende in Richtung einer Wärmewende.

(1) European Commission (2016): EU Energy in Figures: Statistical Pocketbook 2016. Publications Office of the European Union, Luxembourg, S. 27.

(2) Günther, M. (2015): Energieeffizienz durch Erneuerbare Energien. Möglichkeiten, Potenziale, Systeme. 1. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden, S. 103 und S. 108 ff.

(3) Lund, H. et al. (2012): From electricity smart grids to smart energy systems – A market operation based approach and understanding. In: Energy, Vol. 42, Issue 1, S. 96-102, S. 97 f.

(4) Williams, J. H. et al. (2012): The Technology Path to Deep Greenhouse Gas Emissions Cuts by 2050: The Pivotal Role of Electricity. In: Science, Vol. 335, Issue 6064, S. 53-59.

# PFINGSTEXKURSION NACH NÜRNBERG

René Mazur, Benjamin Purkert

Die alljährlich in der Woche nach Pfingsten stattfindende Gemeinschaftsexkursion der Fachgebiete Massivbau (Professor Schnell) und Stahlbau (Professor Kurz) der TU Kaiserslautern und des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt (Professor Graubner) führte in diesem Jahr 42 Studierende sowie ihre Betreuer nach Nürnberg. Vom 17.05. bis zum 20.05.2016 warteten dort sowie auf dem Weg dorthin wieder einige spannende Baustellen auf die Reisegruppe.

Die Exkursion begann am Dienstagmorgen pünktlich um 7:45 Uhr an der Lichtwiese vor dem Institutsgebäude; die Darmstädter wurden von der Gruppe aus Kaiserslautern mit dem Bus abgeholt. Auf dem Programm stand an diesem Tag die Busfahrt nach Nürnberg mit Zwischenstopps in Würzburg und in Großreuth bei Schweinau. Während in Würzburg die im Bau befindliche Talbrücke Heidingsfeld und die Würzburger Residenz besichtigt werden konnten, lag in Großreuth der Fokus auf dem Neubau eines Schulzentrums. Am Abend folgte eine Altstadtführung in Nürnberg. Am Mittwoch warteten dann in Nürnberg verschiedenste interessante Programmpunkte auf die Reisegruppe: eine Spezialführung zur Baugeschichte über das Reichsparteitagsgelände, eine Werksbesichtigung im Kalksandsteinwerk der Firma Zapf und die Baustellenbesichtigung des Neubaus der U-Bahn-Linie U3. Das Besondere an dieser U-Bahn-Baustelle waren die außergewöhnlichen Anforderungen an den Lärmschutz während des Baus. Hierzu mussten viele Spezialmaßnahmen, wie das Errichten temporärer Lärmschutzwände oder der Einsatz von besonders leisen Baumaschinen, ergriffen werden. Beendet wurde der zweite Tag mit einem gemeinsamen Besuch Erlanger Bergkirchweih. Der dritte Tag begann mit der Besichtigung des Fertighauswerks der Firma LUXHAUS. Hier erwartete die Teilnehmer eine ausführliche Führung über das gesamte Werksgelände, wobei sämtliche Produktionsschritte bei der Herstellung eines Fertighauses beleuchtet wurden. Im

Anschluss ging es nach Ingolstadt zu einer virtuellen Betriebsführung bei Audi und der Besichtigung eines im Bau befindlichen Bürogebäudes. Zurück in Nürnberg fand der letzte Abend bei einem gemeinsamen Abendessen seinen Ausklang. Auf der Rückfahrt nach Darmstadt konnten die Teilnehmer noch die Baustelle der DB-Neubaustrecke im Bereich Breitengüßbach/Zapfendorf kennenlernen. Außerdem konnte bei der Besichtigung der Aurachtalbrücke der Bau einer Spannbetonbrücke hautnah miterlebt werden.



Abbildung 1: Gruppenbild der Darmstädter Teilnehmer auf der Zeppelintribüne

Insgesamt wurde somit die gesamte Bandbreite von bereits fertiggestellten Objekten bis hin zu noch in der Planung befindlichen Projekten abgedeckt. Doch auch der kulturelle Aspekt kam dabei nicht zu kurz und sorgte für eine gesunde Mischung. Für die großzügige finanzielle Unterstützung der Exkursion durch den Verein der Freunde des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt möchten wir uns nochmals herzlich bedanken.

Die Jubiläumspfingstexkursion 2017 wird von den Mitarbeitern der TU Kaiserslautern organisiert. Als Ansprechpartner steht Ihnen Herr René Mazur, M.Sc. gerne zur Verfügung.