DARMSTADT CONCRETE

ANNUAL JOURNAL ON CONCRETE AND CONCRETE STRUCTURES

www.darmstadt-concrete.de



VOL. 32 2017 *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

Mitwirkung in Gremien vi

Seminare und Veranstaltungen vii

Exkursionen xiv

Personalia xvii

Preise xviii

Danksagungen xx

Veröffentlichungen xxiii

Konstruktion und Entwurf

CARBONBEWEHRTE BETONBAUTEILE UNTER STATISCHER DAUERBEANSPRUCHUNG
- VORVERSUCHE - 1
Redouan El Ghadioui, Larissa Krieger

SCHIEFE BIEGUNG UNBEWEHRTER BETON- UND MAUERWERKSDRUCKGLIEDER 3
Valentin Förster

ERMITTLUNG MECHANISCHER KENNGRÖßEN VON BASALTFASERVERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFSTÄBEN 5
Sebastian Hofmann, Tilo Proske

ANALYSE DES VERFAHRENS ZUR ERMITTLUNG VON PLATTENBIEGEMOMENTEN IN MAUERWERKSWÄNDEN 7
René Mazur

EINFLUSS RÄUMLICHER STREUUNGEN AUF DIE STATISTISCHE VERTEILUNG VON TRAGFÄHIGKEITEN 9
Dominik Müller

VERGLEICH VERSCHIEDENER BEMESSUNGSANSÄTZE ZUR BESTIMMUNG DER QUERKRAFTTRAGFÄHIGKEIT BEWEHRTER MAUERWERKSWÄNDE 11
Benjamin Purkert

SCHUBFESTIGKEIT IN GERISSENEM BETON 13
Ngoc Linh Tran

ENTWICKLUNG EINER THERMISCHEN ENTKOPPELUNG VON STAHLBETONWÄNDEN IM WAND-DECKEN-KNOTEN 15
Jochen Zeier

Werkstoffe

SCHWINDEN VON BETONEN AUS KALKSTEINREICHEN ZEMENTEN 17
Moien Rezvani

CO2-DIFFUSION IN KLINKERREDUZIERTEN BETONEN 19
Sarah Steiner, Tilo Proske

Nachhaltigkeit & Facility Management

EFFIZIENZVORTEILE DURCH ENERGIEDATENERFASSUNG UND -ANALYSE 21
Achim Knauff

ÖKOLOGISCHE UND ÖKONOMISCHE BEWERTUNG VON ERNEUERBARE-ENERGIEN-VERSORGUNGSOPTIONEN FÜR WOHNQUARTIERE 23
Claudia Weißmann

OPTIMIERUNGSPOTENZIAL DER INSTALLIERTEN LEISTUNG IN NAHWÄRMENETZEN 25
Claudia Weißmann, Patrick Wörner

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 32. Ausgabe von „Darmstadt Concrete“ möchten wir Sie in guter Tradition zum Jahreswechsel über die Aktivitäten des Instituts in Forschung, Lehre und Gremienarbeit im abgelaufenen Jahr 2017 in Kenntnis setzen und Sie gleichzeitig über aktuelle personelle Veränderungen informieren. Was sich in den vergangenen Jahren bereits abgezeichnet hat wurde jetzt auch formell vollzogen: Die Fachgebiete „Werkstoffe im Bauwesen“ und „Konstruktives Gestalten und Baukonstruktion“ wurden vom Fachbereich für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Technischen Universität Darmstadt als eigenständige Institute eingerichtet und sind damit nicht mehr Bestandteil des Instituts für Massivbau. Somit beinhaltet dieser Bericht zukünftig ausschließlich Inhalte zur Forschung und Lehre des ehemaligen Fachgebiets Massivbau, welches jetzt alleinig als Institut für Massivbau firmiert. Wir hoffen, dass dieser Überblick über unsere Aktivitäten ihr Interesse findet und wünschen viel Vergnügen bei der Lektüre.

Zwei besondere Veranstaltungen wurden im Jahr 2017 in Kooperation mit den Freunden des Instituts für Massivbau ausgerichtet. Anlässlich des 60. Geburtstags von Prof. Graubner Anfang September 2017 entschlossen sich aktuelle und ehemalige Mitarbeiter am 23.9.2017 ein institutsinternes Festkolloquium auszurichten, bei dem sich knapp 50 bereits Promovierte und aktuelle Doktoranden wieder einmal treffen, neu kennenlernen sowie beruflich und privat austauschen konnten. Ein sehr persönlich gehaltener Festvortrag von Frau Prof. Dr.-Ing. Shelley Lissel und 5 weitere Präsentationen ehemaliger Mitarbeiter zu ihrem beruflichen Lebensweg nach Abschluss der Promotion machten den Nachmittag zu einem besonderen Erlebnis, da nicht nur fachliche, sondern vor allem auch sehr individuelle Erfahrungen vorgestellt wurden. Eine Abendveranstaltung im alten Bahnhof im Mühltal rundete die sehr gelungene Veranstaltung ab.

Am 9.11.2017 fand dann das 39. Darmstädter Massivbauseminar statt, welches sich unter der fachkundigen Leitung von Frau Prof. Dr.-Ing Katharina Klemt-Albert und dem Titel „Digitali-

sierung im Bauwesen – Herausforderungen für die Tragwerksplanung“ mit hochaktuellen Entwicklungen zum Thema „Building Information Modeling (BIM)“ und den sich daraus für den Tragwerksplaner ergebenden Konsequenzen in fachlicher, personeller aber auch rechtlicher Hinsicht befasste. 10 Referenten beleuchteten diese Aspekte aus den verschiedenen Blickwinkeln und die Teilnehmer hatten die Gelegenheit sich über ihre bereits gewonnenen Erfahrungen auf diesem Gebiet austauschen.

In der Lehre wurden in 2017 insgesamt 12 Vorlesungsmodule, circa 28 Bachelorarbeiten und über 42 Masterarbeiten betreut. Gegenwärtig werden etwa 6 größere Forschungsprojekte bearbeitet. Sehr stolz sind wir in diesem Zusammenhang auf die Einwerbung von zwei DFG-Projekten, von denen eines im Rahmen des Schwerpunktprogramms SPP 2020 *„Zyklische Schädigungsprozesse in Hochleistungsbetonen im Experimental-Virtual-Lab“* in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Massivbau der TU Dresden gewonnen werden konnte. Das Projekt *„Einfluss lastinduzierter Temperaturfelder auf das Ermüdungsverhalten von UHPC bei Druckschwellbelastung“* wird von Herrn Dr.-Ing Linh Tran, seit vielen Jahren bei uns als post-doc tätig, wissenschaftlich bearbeitet. Auch in dem aktuell größten deutschen Bauforschungsprojekt *„C³ - Carbon Concrete Composite“* sind wir weiterhin mit 2 Projekten beteiligt. Weiterhin befindet sich derzeit gemeinsam mit dem Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt ein Großprojekt zur energetischen Vernetzung von Stadtquartieren beim Bundeswirtschaftsministerium in der hoffentlich erfolgreichen Antragsphase. Weiter verstärkt haben wir die Kooperation mit der Eidgenössischen Materialprüfanstalt (EMPA). Unsere Mitarbeiterin Sarah Steiner, welche als Stipendiatin der Graduiertenschule Energiewissenschaft und Energietechnik bei uns tätig ist, war im Sommer in Dübendorf wissenschaftlich aktiv. In diesem Kontext möchten wir der Darmstädter Graduiertenschule dafür danken, dass aktuell 3 ihrer Stipendiaten bei uns forschen können.

Mitarbeiter und Studierende des Instituts konnten auch im Jahre 2017 eine Reihe von Preisen gewinnen. So wurde Herr Dr.-Ing Ulf Grziwa auf der Jahresversammlung der Freunde des Instituts für Massivbau mit dem Förderpreis für seine exzellente Dissertation ausgezeichnet. Den Förderpreis der Freunde des Instituts für die beste Masterthesis auf dem Gebiet des Massivbaus

erhielt Herr Johann Kraft. Frau Melanie Stöcker erhielt den erstmalig ausgelobten Preis der Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e. V. für herausragende Studienleistungen auf dem Gebiet des Fertigteilbaus. Herr Maximilian Bienhaus konnte für seine Masterarbeit den 1. Platz in der Kategorie Bauingenieurwesen des Hessischen Baugewerbeverbandes erobern. Schließlich ging der diesjährige Dreßler-Preis - gestiftet von unserem Mitgliedsunternehmen Dreßler Bau GmbH - an Herrn Dominik Hiesch, der sich in seiner Bachelorarbeit mit der Biegebemessung von Bauteilen aus Textilbeton befasst hat.

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 Leistungen und Erfolge unseres Institutes in 2017 nicht denkbar gewesen.

In 2017 konnten eine Reihe von Institutsmitarbeitern ihre Promotion abschließen. Wir beglückwünschen hierzu:

Dr.-Ing **Ulf Grziwa**:	Zuverlässigkeit schlanker UHPC-Druckglieder mit räumlich streuenden Materialeigenschaften
Dr.-Ing. **Björn Freund**:	Frischbetondruck lotrechter, geneigter und gekrümmter Betonbauteile bei Verwendung von Betonen mit hoher Fließfähigkeit
Dr.-Ing. **Gökhan Uysal**:	Kostenrisiken von Industriebauten mit flexiblen Nutzungsszenarien
Dr.-Ing. **Moien Rezvani**:	Shrinkage model for concrete made of limestone-rich cements
Dr.-Ing. **Claudia Weißmann**:	Effizienter Einsatz erneuerbarer Energieträger in vernetzten Wohnquartieren
Dr.-Ing. **Michael Schmitt**:	Tragfähigkeit ausfachender Mauerwerkswände unter Berücksichtigung der verformungsbasierten Membranwirkung

Des Weiteren hat als externer Doktorand am Institut für Massivbau promoviert:

Dr.-Ing. **Markus Blatt**: Beitrag zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetondeckenknoten

Herr Dr.-Ing. Grziwa, Herr Dr.-Ing. Freund und Herr Dr.-Ing Schmitt sind bereits in verantwortungsvoller Position in der Ingenieur-Praxis tätig. Herr Dr.-Ing Uysal arbeitet weiterhin bei einem Automobilkonzern in München. Herr Dr.-Ing. Rezvani wird auf einer post-doc-Stelle des Instituts ein bereits bewilligtes Forschungsvorhaben der Deutschen Forschungsgemeinschaft zum Thema *„Schwinden aus klinkerarmen Betonen aus Zementen mit hohem Kalksteingehalt“* begleiten. Das Institut zum Jahresende verlassen und in ein Ingenieurbüro wechseln wird Herr Valentin Förster, der seine Dissertation zum Thema *„Tragfähigkeit unbewehrter Beton- und Mauerwerksdruckglieder bei zweiachsig exzentrischer Beanspruchung“* bereits eingereicht hat.

Als neue Mitarbeiter begrüßen wir:
Herrn André Müller, M.Sc. zum 01.01.2017
Herrn Sebastian Hofmann, M.Sc. zum 01.03.2017
Herrn Jonas Klein, M.Sc. zum 01.01.2018
Frau Marleen Fischer, M.Sc. zum 01.01.2018

Im letzten Jahr hat bei uns Herr Tarek Alzab, ein aus Syrien geflohener Bauingenieur, im Rahmen eines Förderprogramms der Bundestiftung Umwelt am Institut unterstützend mitgewirkt. Nachdem Herr Alzab seine Deutsch-Kenntnisse stark verbessern konnte und sich auch fachlich enorm weiterentwickelt hat, ist es ihm gelungen eine Anstellung in einem mittelständischen Bauunternehmen zu erhalten. Wir gratulieren und wünschen viel Glück.

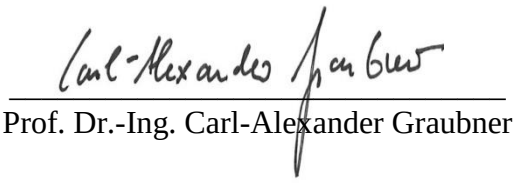
Nicht zuletzt möchten wir uns an dieser Stelle auch bei den Freunden des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt e.V. bedanken, ohne deren Unterstützung manch kleine aber auch größere Maßnahme am und für das Institut sowie die Studierenden nicht hätte stattfinden können. Namentlich gedankt sei an dieser Stelle dem Vorstandsvorsitzenden Herrn Dr.-Ing. M. Six, dem Schatzmeister Dipl.-Ing. D. Hanek sowie den Vorstandsmitgliedern Frau Prof. 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.

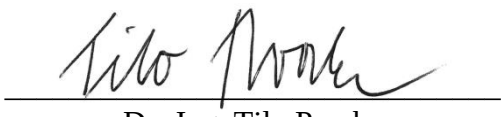
Die nachfolgend abgedruckten Kurzberichte sowohl in deutscher als auch in englischer Sprache geben Ihnen einen kurzen Einblick in die wissenschaftlichen Aktivitäten unserer Mitarbeiter. Bei weitergehendem Interesse kontaktieren Sie uns gerne. Eine Zusammenstellung der wissenschaftlichen Veröffentlichungen der Mitarbeiter im Jahre 2017 sowie weitere Informationen finden Sie auf der Homepage des Instituts unter:

www.massivbau.tu-darmstadt.de

Wir wünschen Ihnen und Ihren Angehörigen im Namen des gesamten Instituts für Massivbau besinnliche Festtage und einen guten Start im neuen Jahr.



Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner



Dr.-Ing. Tilo Proske

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 im Project Team 2. Auf der Agenda steht dabei weiterhin, den bereits begonnenen „systematic review“ von EN 1996 zu begleiten. Darüber hinaus hatte 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.

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“ sowie Herausgeber und Mitautor des Buchs „Mauerwerksbau – Praxishandbuch für Tragwerksplaner“, in welchem die neuesten Entwicklungen in Forschung und Praxis auf dem Gebiet des Mauerwerksbaus veröffentlicht werden.

Prof. Graubner ist 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 2017 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 circa 750 Tragwerksplaner begrüßt werden. Somit war die Seminarreihe fast ausgebucht und das Konzept der Veranstaltung wurde bestätigt. Die Seminarreihe im Jahr 2017 gab einen Überblick über die aktuellen technischen Entwicklungen im Bauwesen. Hierzu wurden im Frühjahr Beispiele aus dem Verbundbau, Planungsfehler und Bauschäden sowie die Bemessung von Befestigungsmitteln in Betonbauteilen behandelt. Im Herbst wurden neben der Neuauflage der DAfStb-Hefte 220 und 240 (neu: 630 und 631) Rechenbeispiele zur Vorspannung im Hochbau näher beleuchtet. Außerdem wurde das neue Format „Praktiker fragen, wir antworten“ erstmals angeboten. Nachfolgend sind die sechs Einzelveranstaltungen aufgelistet.

- Verbundbau – Rechenbeispiele | 15.02.2017
- Planungsfehler und Bauschäden | 01.03.2017
- Bemessung von Befestigungsmitteln in Betonbauteilen | 15.03.2017
- Neuauflage der DAfStb-Hefte 220 und 240 (neu: 630 und 631) | 13.09.2017
- Vorspannung im Hochbau – Rechenbeispiele | 27.09.2017
- Neu: „Praktiker fragen, wir antworten“ | 11.10.2017

Aufgrund der positiven Resonanz der Vorjahre werden wir auch im kommenden Jahr 2018 die Fortbildungsreihe erneut durchführen. Wir hoffen mit der Kombination von interessanten Themen und namenhaften Referenten aus Wissenschaft und Praxis wieder viele Tragwerksplaner ansprechen zu können.

- Energieeffiziente Bauwerke nach EnEV 2016 und GEG | 28.02.2018
- Neuartige Bewehrung von Stahlbetonbauteilen | 07.03.2018
- Zwang in Betontragwerken | 21.03.2018
- Brandschutz | 12.09.2018
- Building Information Modelling (BIM) | 26.09.2018
- Schalungstechnik – Bemessung und Konstruktion | 10.10.2018

Aktuelle Informationen und das Anmeldeformular sind auf der Homepage des Instituts Massivbau (www.massivbau.tu-darmstadt.de) unter der Rubrik „Veranstaltungen“ zu finden. 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 dem InformationsZentrum Beton fand 2017 das 10-jährige Jubiläum der beliebten 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 100 Tragwerksplaner und Studierende zu der Seminarreihe begrüßt werden. Die Seminare wurden durch eine Fachausstellung namhafter Hersteller von Bauprodukten rund um das Thema Fertigteilbau ergänzt.



Abbildung 1: Verleihung des Fertigteilpreises 2017 (von links: Professor Graubner (TU Darmstadt), Melanie Stöcker (Preisträgerin), Elisabeth Hierlein (FDB e.V.))

Die Veranstaltung richtet sich neben den Ingenieuren aus der Praxis auch an Studierende, welche an einem gesonderten „Studententag“ die Bemessung von Betonfertigteilen näher behandeln. Somit kann die im Rahmen der Darmstädter Betonfertigteiltage stattfindende Vorlesung „Fertigteilkonstruktionen“ sinnvoll in ein konstruktives Studium eingebracht werden. Das 10-

jährige Jubiläum wurde mit einem Preis für den/die besten Absolventen/in im Fach Fertigteilkonstruktionen gefeiert und soll fortan in jedem Jahr verliehen werden. Der im Rahmen des Sommerfestes des Vereins der Freunde des Instituts für Massivbau verliehene Preis ging 2017 an Frau Melanie Sabine Stöcker, die sich durch ihre herausragende Leistung auszeichnen konnte.

Im kommenden Jahr wird die Seminarreihe mit interessanten Fachvorträgen, Praxisbeispielen und der gefragten Fachausstellung weiter fortgeführt. 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 2018 voraussichtlich behandelt werden:

- 08.03.2018 | Grundlagen der Planung (inkl. Impulsvortrag)
- 09.03.2018 | Betonfertigteilkonstruktionen
- 15.03.2018 | Brandschutz und Verbindungen
- 16.03.2018 | Beton und Fassaden

Aktuelle Informationen sind auf der Homepage des Instituts für Massivbau (www.massivbau.tu-darmstadt.de) unter der Rubrik „Veranstaltungen“ zu finden. Als Ansprechpartner stehen Ihnen Herr Redouan El Ghadioui M.Sc. und Herr Jonas Klein M.Sc. gerne zur Verfügung.

Festveranstaltung anlässlich des 60. Geburtstages von Herrn Professor Graubner

Am Samstag, den 23.09.2017, lud Herr Professor Graubner alle ehemaligen und aktuellen wissenschaftlichen Mitarbeiter sowie den Vorstand des Vereins der Freunde des Instituts für Massivbau zur Feier seines 60. Geburtstages ein. In diesem Rahmen veranstaltete der Verein der Freunde eine festliche Nachmittagsveranstaltung im Tagungshotel der Lufthansa in Seeheim-Jugenheim. Neben einem Rückblick auf die vergangenen 20 Jahre des Instituts für Massivbau inklusive Darstellung vergangener und aktueller Forschungsvorhaben, hörten die Gäste an diesem Tag spannende Vorträge und kamen bei strahlendem Wetter zusammen. So wurden nicht nur neue Bekanntschaften geknüpft, sondern auch alte wieder gefestigt.

Den Abend ließen die Gäste im Restaurant „Vanille-Stadtkoch“ in Mühltal-Traisa ausklingen. Neben delikaten Speisen und Getränken ließen die ehemaligen und aktuellen Mitarbeiter des IfM die letzten 20 Jahre am Institut in Bildern und Worten Revue passieren.



Aktuelle und ehemalige Doktoranden und Mitarbeiter des Instituts für Massivbau anlässlich des 60. Geburtstags von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

39. Darmstädter Massivbauseminar 2017: „Digitalisierung im Bauwesen – Herausforderungen für die Tragwerksplanung“

Die 39. Ausgabe des Darmstädter Massivbauseminars fand am 09. November 2017 auf dem Campus Lichtwiese der Technischen Universität Darmstadt statt. Ziel des diesjährigen Massivbauseminares war es, einen Einblick in die aktuellen Entwicklungen bezüglich der Digitalisierung im Bauwesen zu geben und dabei vor allem jene Herausforderungen zu beleuchten, die durch die immer schneller voranschreitende Digitalisierung an die Tragwerksplanung gestellt werden. Veranstaltet wurde das Seminar erneut vom Verein der Freunde des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt e.V. in Kooperation mit dem Institut für Massivbau.



Blick auf das Teilnehmerfeld des 39. Darmstädter Massivbauseminares

Die Referentinnen und Referenten des Seminares wurden aus verschiedenen Bereichen des Bauwesens eingeladen, um das Thema aus ganz unterschiedlichen Blickwinkeln zu betrachten. Auf diese Weise konnten die Gäste des Seminares erfahren, was das Voranschreiten der Digitalisierung sowohl für Planer und Baufirmen als auch für Bauherren und Bauaufsicht bedeutet, wie die rechtlichen und softwaretechnischen Rahmenbedingungen der Digitalisierung aussehen

und welche Auswirkungen die zunehmende Digitalisierung auf das Berufsbild des Tragwerksplaners hat. Ein Schwerpunkt des Seminares lag auf der Einführung des Building Information Modeling, kurz BIM.

Das Programm des 39. Darmstädter Massivbauseminares bestand aus den folgenden Vorträgen:

- Prof. Dr.-Ing. Katharina Klemt-Albert (ICoM, Universität Hannover):
  BIM – Was ist Realität? Was noch Vision?

- Dr.-Ing. Horst Alexander Göllner (Deutsche Lufthansa AG):
  Anwendung der BIM-Methode aus Sicht des Bauherren Lufthansa

- Hannes Schwarzwälder (Implenia Hochbau GmbH):
  BIM-Anforderungen an die Fachplanung aus der Sicht eines Generalunternehmers

- Momme Petersen (DB Netz AG):
  BIM-Pilotprojekt Fehmarnsundquerung – BIM-Anforderungen der DB Netz AG

- Gabriele Hornung, Fernando Suarez Garcia (Bauaufsicht Oberursel):
  Das Digitale Baugenehmigungsverfahren in der Cloud – Praxisbericht

- Markus Maier (Leonhardt, Andrä und Partner):
  Zeichnen Sie noch, oder BIM-en Sie schon? Erfahrungen mit modellbasierter Planung in der Tragwerksplanung

- Dr.-Ing. Matthias Bergmann (albert.ing GmbH), Robert Hartung (Uni Hannover):
  IT-Lösungen für die BIM-Methodik in der Tragwerksplanung – Anforderungen und Praxistests

- Dr. Nicolai Ritter (CMS Hasche Sigle):
  BIM – Rechtliche Rahmenbedingungen und Urheberrecht

- Dirk Kahl (AS+P Albert Speer + Partner):
  BIM – Mehr Chancen als Risiken aus Sicht des Architekten

Der Vorstand des Vereins der Freunde des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt e.V. dankt den Referentinnen und Referenten für die ausnahmslos sehr spannenden und interessanten Vorträge sowie allen Beteiligten für ihr hohes Engagement, das zum Erfolg der Veranstaltung maßgeblich beigetragen hat.

EXKURSIONEN

Pfingstexkursion ins Obere Rheintal

Traditionsgemäß fand auch in diesem Jahr wieder die Gemeinschaftsexkursion des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt (Professor Graubner, vertreten durch Herrn Dr.-Ing. Proske) und der Fachgebiete Stahlbau und Massivbau der TU Kaiserslautern (Professoren Kurz und Schnell (sowie zukünftiger Nachfolger Herr Dr.-Ing. Glock) statt. In der Woche nach Pfingsten, vom 06.06.2017 bis zum 09.06.2017, führte uns die diesjährige Exkursion in das Obere Rheintal und bescherte uns zahlreiche technische und kulturelle Eindrücke.

Der erste Exkursionstag führte die Reisegruppe zunächst zur Mainmetropole Frankfurt, in der der Bau der neuen Messehalle 12 vorangetrieben wird. Neben der Messehalle 12 wurde auch die Baustelle der Kornmarkt Arkaden besucht, welche durch die denkmalgeschützte Fassade eine besondere Herausforderung für die am Bau beteiligten darstellte. Bevor die Exkursionsteilnehmer dann in Richtung Kurhaus Trifels reisten, führte der letzte Halt die Exkursionsteilnehmer zum Neubau der Schiersteiner Brücke in Mainz/Wiesbaden.

Tag 2 begann mit einer Führung durch die Tunnelbaustelle auf der Neubaustrecke Karlsruhe/Basel der Deutschen Bahn. Fortgeführt wurde die Exkursion bei den Badischen Drahtwerken nahe der französischen Grenze, bei der die Möglichkeit bestand, bei der Stahlherstellung und Weiterverarbeitung über die Schultern zu schauen. Den Abend ließ die Reisegruppe in der Nähe von Straßburg ausklingen, inklusive originalen Elsäßer Flammkuchen und Pinot Noir.

Am dritten Exkursionstag besuchte die Reisegruppe das Fertigteilwerk FEHR, die Baustelle des neuen SAP-Hauptverwaltungsgebäude in Walldorf sowie das auf Vorspannung von Betontragwerken spezialisierte Unternehmen BBV Systems. Den letzten gemeinsamen Abend verbrachte die Gruppe im Kurhaus Trifels bei einem delikaten Barbecue und strahlendem Wetter.

Der letzte Exkursionstag begann mit einer Wanderung zur Reichsburg Trifels und daran anschließend mit einem spannenden Vortrag von Herrn Professor Dr.-Ing. em. Wieland Ramm über die Pfalz als Wiege des Stahlbetonbaus und das Leben von Conrad Freytag. Passend dazu führte uns die Firma Wayss&Freytag durch die Baustelle der alten IBAG-Hallen, welche früher als Produktionshallen genutzt und nun zu einem Prestige-Wohngebäude im Loft-Stil umgebaut

werden. Der letzte Programmpunkt der Exkursionswoche bestand in einem Besuch des Mausoleums der Familie Freytag. Das in Eisenbeton errichtete Bauwerk wurde von Conrad Freytag erbaut, der dieses Material bewusst auswählte und mit unterschiedlichen Techniken der Oberflächenbearbeitung auch das ästethische Potential des Werkstoffes Beton hervorhob. Eine Verwandte von Herrn Conrad Freytag, welche im Besitz der Schlüssel zum Mausoleum war, öffnete der Reisegruppe die Pforten – eine Gelegenheit, die nur wenigen Besuchern vorbehalten ist.

Nach einer eng getakteten, aber bestens durch die TU Kaiserslautern organisierten, spannenden und abwechslungsreichen Exkursionswoche war die Reisegruppe dankbar für die neu gewonnenen Einblicke und Impressionen.



Abbildung 1: Gruppenbild aller Teilnehmer in den ehemaligen IBAG-Hallen

Gemeinschaftsexkursion Technische Gebäudeausrüstung I und Strategisches Facility Management & Sustainable Design - Besichtigung der Produktionsstätte der Firma Viessmann in Allendorf/Eder

Am 02. Dezember 2016 fuhren 27 Studierende der Vorlesungen Technische Gebäudeausrüstung I und Strategisches Facility Management & Sustainable Design gemeinsam mit drei Mitarbeitern des Instituts für Massivbau und Herrn Dipl.-Ing. Thomas Heß, einem Lehrbeauftragten für die Vorlesungen Technische Gebäudeausrüstung I und II, nach Allendorf/Eder. Dort konnte die Produktionsstätte der Firma Viessmann, eines der führenden Unternehmen für Heiztechnik-Produkte und industrielle Energiesysteme, besichtigt werden.

Zu Beginn der Führung wurde den Studenten die Geschichte des Unternehmens näher gebracht sowie innovative Produkte im Bereich der erneuerbaren Energien vorgestellt. Im Anschluss konnten die Fertigung und die Energiezentrale des Unternehmens besichtigt werden. Nach einem großzügigen Mittagsbuffet wurden uns die Funktionsprinzipien der KWK- und der Brennstoffzellentechnologie sowie aktuelle Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung in der Heizenergie-Branche in einem Vortrag erläutert.



Die Teilnehmer der Exkursion im Ausstellungsbereich der Fa. Viessmann in Allendorf/Eder

Im Namen der Teilnehmer möchte sich das Institut für Massivbau bei Herrn Joschko und Herrn Daum (Fa. Viessmann) für die gelungene Organisation und Durchführung der Veranstaltung bedanken. Des Weiteren gilt unser Dank der Firma Viessmann und den Freunden des Instituts für Massivbau für die finanzielle Unterstützung der Veranstaltung.

PERSONALIA



Seit dem 01. Januar 2017 ist **Herr André Müller, M.Sc.** als Doktorand am Institut für Massivbau tätig. Herr Müller beendete den Masterstudiengang „Energy Science and Engineering“ der Exzellenz-Graduiertenschule für Energiewissenschaft und Energietechnik der TU Darmstadt, deren assoziiertes Mitglied Herr Müller heute ebenfalls ist, in 2016. Im Rahmen seiner Forschungstätigkeiten am Institut für Massivbau untersucht Herr Müller die energetischen Modernisierungspotenziale in Stadtquartieren unter Berücksichtigung konventioneller und vernetzter Versorgungsstrategien sowie durch Sektorkopplung. Ebenfalls obliegt Herrn Müller die Koordination der Lehrveranstaltung „Technische Gebäudeausrüstung I“. Neben seiner Doktorandentätigkeit am Institut für Massivbau forscht Herr Müller als Wissenschaftler des Institut Wohnen und Umwelt GmbH in den Forschungsfeldern „Strategische Entwicklung des Gebäudebestands“ und „Energetische Gebäudebewertung und -optimierung“ zu Wärme- und Strombedarfen von Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie Stadtquartieren.



Seit dem 01. März 2017 ist **Herr Sebastian Hofmann, M.Sc.** am Institut für Massivbau beschäftigt. Herr Hofmann studierte Bauingenieurwesen mit den Vertiefungsfächern Massivbau, Stahlbau und Statik an der TU Darmstadt. Seine Master-Thesis mit dem Thema “The application of the principle of prestressing on steel I-profile beams and on composite beams” verfasste er an der Universidad de Montevideo in Uruguay. Nach seinem Abschluss arbeitete er zunächst für die HOCHTIEF Engineering GmbH in Frankfurt am Main in der Stahlbauplanung, bevor er zur Hilti Deutschland AG wechselte. Dort war er als Berater in Spezialthemen der Befestigungstechnik sowie in Soderfragen zur Bauteilverstärkung beim Bauen um Bestand tätig. Im Rahmen seiner Promotion am Institut für Massivbau wird Herr Hofmann zunächst die Projekte des Forschungs- und Prüflabors für Massivbau betreuen.

PREISE

Preise des Vereins der Freunde des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt e.V. 2017

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 2017 wurde an Herrn **Dr.-Ing. Ulf Grziwa** verliehen. Er promovierte zum Thema „Zuverlässigkeit schlanker UHPC-Druckglieder mit räumlich streuenden Materialeigenschaften“. Wir gratulieren Herrn Dr.-Ing. Grziwa zu diesem Erfolg sehr herzlich!

Neben dem Preis für die herausragende Dissertation am Institut für Massivbau verleiht der Freunde-Verein auch einen Förderpreis an den Studierenden mit der besten Masterthesis am Institut für Massivbau, der von der Fa. GOLDBECK gestiftet wird. Der Preis wurde in diesem Jahr an Herrn **Johann Kraft, M.Sc.** für seine Thesis mit dem Titel „Untersuchungen zur Ermittlung zeitabhängiger Spannkraftverluste bei Fertigteilbindern“ vergeben. Wir gratulieren Herrn Kraft sehr herzlich!



Verleihung der Förderpreise des Freunde-Vereins auf dem Sommerfest 2017

Dreßler Bau-Preis 2017

Der Dreßler Bau-Preis wurde am 15. November 2017 zum fünften Mal für herausragende Bachelorarbeiten auf den Gebieten Massivbau und Baubetrieb verliehen. **Herr Dominik Hiesch, B.Sc.** fertigte seine Bachelorarbeit im Bereich Konstruktion und Bemessung, zum Thema „Entwicklung eines Bemessungsdiagramms für biegebeanspruchte, textilbewehrte Betonbauteile“, an. Wir gratulieren Herrn Hiesch zu diesem Erfolg.

Förderpreis des Hessischen Baugewerbes 2017

Zum 34. Mal verlieh der Verband baugewerblicher Unternehmer Hessen e. V. (VbU) den Förderpreis des Hessischen Baugewerbes. In der Kategorie Bauingenieurwesen konnte sich **Herr Maximilian Bienhaus, M.Sc.** durchsetzen, der seine Masterthesis am Institut für Massivbau angefertigt hat. Die Masterthesis, die durch Frau Larissa Krieger, M.Sc. betreut wurde, trägt den Titel „Konzeptionelle Entwicklung von Brückenkappen in Fertigteil- und Halbfertigteilbauweise“. Wir gratulieren Herrn Bienhaus zu dieser Leistung.



Verleihung des Förderpreises des Hessischen Baugewerbes

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:

Apleona HSG GmbH
Arbeitsgemeinschaft für industrielle Forschung
Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V.
BASF AG
bauart Konstruktions GmbH & Co. KG
Beton Kemmler 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 Basalt Faser GmbH
Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Deutsche Forschungsgemeinschaft e.V.
Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V. (DGfM)
Deutsche Poroton GmbH
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.
Deutsches Institut für Bautechnik
Dreßler Bau GmbH
Dyckerhoff AG
Empa Dübendorf
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
FTA Forschungsgesellschaft für Textiltechnik Albstadt mbH
Goldbeck GmbH
Güteschutzverband Betonschalungen e. V.
H-BAU Technik GmbH
Halfen GmbH & Co. KG
HeidelbergCement AG
Hilti Deutschland AG, Hochtief AG

Hoechst AG
HSE Technik GmbH
InformationsZentrum Beton GmbH
Ingenieurbüro Krebs und Kiefer
Ingenieurconsult Cornelius Schwarz Zeitler GmbH
Institut Wohnen und Umwelt
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
solidian GmbH
Spenner Zement GmbH & Co. KG
Strabag AG
Syspro-Gruppe Betonbauteile e. V.
thyssenkrupp Carbon Components GmbH
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	Angewandte 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. Besonderer Dank gebührt Herrn Dr.-Ing. U. Grziwa und Herrn Dr.-Ing. T. Kranzler, die während des Forschungssemesters von Herrn Professor Graubner die Lehre in den Fächern Stahlbetonbau und Mauerwerksbau vertreten haben:

Stahlbetonbau
Dr.-Ing. Ulf Grziwa
Angewandte Baudynamik
Dr.-Ing. Markus Spengler
Fertigteilkonstruktionen
Dipl.-Ing. Mathias Tillmann
Dipl.-Ing. Alice Becke
Dipl.-Ing. Ralf Niehüser
Dipl.-Ing. Erwin Scholz
Dr.-Ing. Diethelm Bosold
Dipl.-Ing. Werner Hochrein
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Elisabeth Hierlein
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Mike Richter
Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Peter Schermuly
Dr.-Ing. Matthias Molter
Dipl.-Ing. Wolfgang Ehrenberg
Friedhard Ströhmann
Massivbrückenbau und Traggerüste
Dr.-Ing. Gerhard Zehetmaier
Dr.-Ing. Stefan Kempf

Mauerwerksbau und Sonderfragen aus dem Betonbau
Dr.-Ing. Thomas Kranzler
Dr.-Ing. Stefan Daus
Dipl.-Ing. Rudolf Herz
Dipl.-Ing. (FH) Michael Pröll
Dipl.-Ing. Georg Flassenberg
Strategisches Facility Management & Sustainable Design
Dr.-Ing. Carmen Mielecke
Dr.-Ing. Torsten Mielecke
Dr.-Ing. Sebastian Pohl
Technische Gebäudeausrüstung
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
Dipl.-Ing. Patrik Bös
Dr.-Ing. Leif Pallmer

VERÖFFENTLICHUNGEN

Fachbücher:

Graubner, C.-A.; Rast, R.: Mauerwerksbau aktuell 2016, Beuth Verlag, Berlin, 2017, ISBN: 978-3-410-25205-4

Geier, R.; Angelmaier, V.; Graubner, C.-A.; Kohoutek, J.: Integrale Brücken, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2017, ISBN: 978-3-433-03030-1

Ausgewählte Fachartikel und Buchbeiträge:

Förster, V.: Load-bearing capacity of slender unreinforced masonry compression members under biaxial bending - Tragfähigkeit schlanker unbewehrter Mauerwerksdruckglieder unter schiefer Biegebeanspruchung, In: Mauerwerk, Vol. 21, Issue 5, 2017, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, S. 320-331, DOI: 10.1002/dama.201700015.

Mazur, R; Purkert, B.: Extension of the conditions for application of the simplified calculation methods according to DIN EN 1996-3/NA for the design of unreinforced masonry walls, In: Mauerwerk, Vol. 21, Issue 5, 2017, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, S. 306-319, DOI: 10.1002/dama.201700016.

Förster, V.: Tragfähigkeit unbewehrter schlanker Betondruckglieder - Schiefe Biegung mit Normalkraft, In: Beiträge zur 5. DAfStb-Jahrestagung mit 58. Forschungskolloquium, Band 2, 2017, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, S. 165-176, ISBN: 978-3-00-057267-8.

Zeier, J.: Thermische Entkopplung von Druckgliedern aus Stahlbeton, In: Beiträge zur 5. DAfStb-Jahrestagung mit 58. Forschungskolloquium, Band 2, 2017, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, S. 57-68, ISBN: 978-3-00-057267-8.

Zeier, J.: Thermische Entkopplung von Druckgliedern aus Stahlbeton, In: Beton- und Stahlbetonbau, Band 112, Heft 7, 2017, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, S. 496-496, DOI: 10.1002/best.201700022.

Zeier, J; Graubner, C.-A.: Thermisch entkoppelte Druckanschlüsse für Stahlbetonstützen, In: BFT International, Heft 2, 2017, Bauverlag.

Förster, V.: Tragfähigkeit unbewehrter schlanker Betondruckglieder - Schiefe Biegung mit Normalkraft, In: Beton- und Stahlbetonbau, Band 112, Heft 7, 2017, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, S. 447-447, DOI: 10.1002/best.201700022.

Grziwa, U; Proske, T.: Einfluss räumlich streuender Materialeigenschaften auf die Zuverlässigkeit schlanker UHPC-Druckglieder, In: Beton- und Stahlbetonbau, Band 112, Heft 10, 2017, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, S. 670-681, DOI: 10.1002/best.201700041.

Freund, B; Proske, T.: Frischbetondruck fließfähiger und selbstverdichtender Betone auf geneigte Schalungen, In: Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko, 2017, Institut für Baubetrieb, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.

Rezvani, M; Proske, T.: Influence of chemical-mineralogical properties of limestone on the shrinkage behaviour of cement paste and concrete made of limestone-rich cements, In: Construction and Building Materials, Vol. 157, 2017, Elsevier, Amsterdam, S. 818-828, DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.101.

Rezvani, M; Proske, T.; Graubner, C.-A.: Drying shrinkage of hardened cement paste and concrete made of cements with high limestone contents, In: Beiträge zur 5. DAfStb-Jahrestagung mit 58. Forschungskolloquium, 2017, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, S. 78-88, ISBN: 978-3-00-057267-8.

Rezvani, M.: Shrinkage model for concrete made of limestone-rich cements - An approach from cement paste to concrete (Modellierung des Schwindverhaltens von Beton aus kalksteinreichen Zementen), Dissertation, Institut für Massivbau.

Rezvani, M.: Schwinden von Beton aus kalksteinreichen Zementen, In: 58. DAfStb-Forschungskolloquium, 2017, TU Kaiserslautern, S. 473-474, DOI: 10.1002/best.201700022.

"Neufert, W; Reuken, I.; Müller, C.; Palm, S.; Graubner, C.-A.; Proske, T.; Rezvani, M.: Leistungsfähigkeit klinkereffizienter Zemente mit Hüttensand und Kalkstein, In: Beton, Heft 3, 2017."

Proske, T; Hainer, S.; Rezvani, M.; Graubner, C.-A.: Eco-Friendly Concretes With Reduced Water and Cement Content: Mix Design Principles and Experimental Tests, In: Handbook of Low Carbon Concrete, 2017, Elsevier, S. 63-87, ISBN: 978-0-12-804524-4, DOI: http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-804524-4.00004-X.

Dengler, K; Förster, V.: Numerical investigation of lateral earth pressure for unreinforced masonry walls / Numerische Analyse des Erddrucks für Kellerwände aus unbewehrtem Mauerwerk, In: Mauerwerk, Vol. 21, Issue 4, 2017, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, S. 253-266, DOI: 10.1002/dama.201700006.

Müller, D; Förster, V.; Graubner, C.-A.: Influence of material spatial variability on required safety factors for masonry walls in compression / Einfluss räumlicher Materialstreuungen auf den erforderlichen Sicherheitsbeiwert für druckbeanspruchte Mauerwerkswände, In: Mauerwerk, Vol. 21, Issue 4, 2017, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, S. 209-222, DOI: 10.1002/dama.201700004.

Mazur, R; Graubner, C.-A.: Simplified Design Procedures for Unreinforced Masonry Structures, In: Proceedings of the 13th Canadian Masonry Symposium, 2017, Canada Masonry Design Centre, Halifax, Canada, ISBN: 978-0-9737209-7-6.

Müller, D; Förster, V.; Graubner, C.-A.: Influence of Material Spatial Variability on the Reliability of Masonry Walls in Compression, In: 13th Canadian Masonry Symposium Proceedings , 2017, Canada Masonry Design Centre, Halifax, Canada, ISBN: 978-0-9737209-7-6.

Förster, V; Graubner, C.-A.: Slender Unreinforced Masonry Members under Axial Load and Biaxial Bending, In: 13th Canadian Masonry Symposium Proceedings , 2017, Canada Masonry Design Centre, Halifax, Canada, ISBN: 978-0-9737209-7-6.

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

Graubner, C.-A; Schmitt, M.; Förster, V.: Nachweis von Aussteifungsscheiben aus unbewehrtem Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA - Anhang K - anhand eines Berechnungsbeispiels, In: Mauerwerksbau – Praxishandbuch für Tragwerksplaner, 2017, Bauwerk Beuth Verlag, Berlin, ISBN: 978-3-410-26446-0.

Weißmann, C; Wörner, P.: Entwicklung von thermischen Gebäudelastprofilen für die Dimensionierung von Wärmeerzeugern und zur Simulation von Nahwärmenetzen, In: Bauphysik, Band 39, Heft 5, 2017, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, S. 291-298, DOI: 10.1002/bapi.201710035.

Weißmann, C; Hong, T.; Graubner, C.-A.: Analysis of heating load diversity in German residential districts and implications for the application in district heating systems, In: Energy and Buildings, Vol. 139, 2017, Elsevier, Amsterdam, S. 302-313, DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.12.096.

Ausgewählte Fachvorträge:

Graubner, C.-A.: Mauerwerk aus Poroton - Ein nachhaltiger Baustoff, Pressekonferenz Deutsche Poroton GmbH, Padova, Italy, 29.06.2016

Hainer, S.; Proske, T.; Graubner, C.-A.: Ein Prognosemodell zur Karbonatisierung von Beton aus Zementen mit geringem Klinkergehalt, Ulmer Betontage 2017, Ulm, Deutschland, 15.02.2017

Zeier, J.; Proske, T.; Graubner, C.-A.: Entwicklung thermisch entkoppelter Druckanschlüsse für Stahlbetonstützen, Ulmer Betontage 2017, Ulm, Deutschland, 15.02.2017

Graubner, C.-A.: Bemessung von unbewehrtem Mauerwerk nach DIN EN 1996-3 mit Nationalem Anhang, Fortbildungsveranstaltung Ingenieurkammer Bayern, Deutschland, 08.02.2017

Graubner, C.-A.: Neues aus dem Mauerwerksbau - Aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Praxis, Poroton Mauerwerkskongress 2017, Deutschland, in Ulm am 09.02.2017 und in München am 20.02.2017

Graubner, C.-A.: Mauerwerksbemessung nach DIN EN 1996/NA, Wienerberger Mauerwerkstage 2017, Deutschland

Graubner, C.-A.; El Ghadioui, R.; Mazur, R.; Müller, D.: Planungsfehler und Bauschäden - WU-und Mauerwerksbauten, Weiterbildung für Tragwerksplaner, Darmstadt, Deutschland, 01.03.2017

Graubner, C.-A.: Nachhaltig Bauen mit KS-Mauerwerk, KS Bauseminar 2017, Deutschland, 13.03.2017

Graubner, C.-A.: Energiewende – Mobilitätswende – Digitalisierung: Gesellschaftliche Herausforderungen im 21. Jahrhundert, Lions Club Bad Vilbel, Deutschland, 08.05.2017

Müller, D.: Influence of Material Spatial Variability on the Reliability of Masonry Walls in Compression, 13th Canadian Masonry Symposium, Halifax, Kanada, 04.06.2017 bis 07.06.2017

Förster, V.: Slender unreinforced masonry members under axial load and biaxial bending, 13th Canadian Masonry Symposium, Halifax, Kanada, 04.06.2017 bis 07.06.2017

Mazur, R.: Simplified design procedures for unreinforced masonry structures, 13th Canadian Masonry Symposium, Halifax, Kanada, 04.06.2017 bis 07.06.2017

Graubner, C.-A.: Nachhaltig Bauen für eine moderne Gesellschaft, Jahrestagung Bauchemie 2017, Lüneburg, Deutschland, 23.06.2017

Wörner, P.: Analysis of heating load diversity and application in a district heating system, Building Simulation 2017, San Francisco, USA, 07.08.2017

Graubner, C.-A.: Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240, Weiterbildung für Tragwerksplaner, Darmstadt, Deutschland, 13.09.2017

Steiner, S.: Einfluss der relativen Luftfeuchte auf die Carbonatisierung von Portlandit, Calciumsilicathydraten und Ettringit, Tagung Bauchemie, Weimar, Deutschland, 19.09.2017

Zeier, J.: Entwicklung thermisch entkoppelter Druckanschlüsse für Stahlbetonstützen, 58. Forschungskolloquium des DAfStb, Kaiserslautern, Deutschland, 21.09.2017

Rezvani, M.: Schwinden von Betonen aus kalksteinreichen Zementen, 58. Forschungskolloquium des DAfStb, Kaiserslautern, Deutschland, 21.09.2017

Förster, V.: Tragfähigkeit schlanker unbewehrter Betondruckglieder, 58. Forschungskolloquium des DAfStb, Kaiserslautern, Deutschland, 20.09.2017

Graubner, C.-A.: Nachhaltigkeit von Ziegelmauerwerk, Forschungs- und Entwicklungstag der Deutschen Poroton 2017, Zeilarn, Deutschland, 10.10.2017

Graubner, C.-A.; Mazur, R.: Bemessung vorgespannter Flachdecken nach DIN EN 1992-1-1/NA, Weiterbildung für Tragwerksplaner, Darmstadt, Deutschland, 18.10.2017

CARBONBEWEHRTE BETONBAUTEILE UNTER STATISCHER DAUERBEANSPRUCHUNG - VORVERSUCHE -

Redouan El Ghadioui, Larissa Krieger

Im Rahmen von vorbereitenden Tastversuchen für ein groß angelegtes Forschungsvorhaben zur Untersuchung des Dauerstandverhaltens von Carbonbeton wurden carbonbewehrte Plattenbauteile in 4-Punkt-Biegeversuchen hinsichtlich ihres Trag- und Verformungsverhaltens unter statischer Dauerbeanspruchung analysiert. Hierbei wurden zwei unterschiedliche Carbongelege untersucht, welche sich in ihrem Tränkungsmaterial, ihrer Querschnittsform und ihrem Entwicklungsstand deutlich unterschieden. Die Carbonfasern des im Entwicklungsstadium befindlichen Geleges mit der Kennzeichnung X sind mit einer wässrigen filmbildenden Dispersion (Styrol-Butadien) getränkt. Die Carbon-Rovings in Kettrichtung verfügen über einen annähernd runden Querschnitt. Hiergegen stehen die Gelege mit der Kennzeichnung S, die sich durch eine Epoxidharz-Tränkung und eine ovale Rovingform charakterisieren lassen.

In einer ersten Versuchsreihe wurden die Traglasten bei Aufbringung einer Kurzzeitbeanspruchung ermittelt. Bevor das eigentliche Bewehrungszugversagen (so wie bei den Bauteilen mit X-Gelegen festgestellt) auftrat, versagten die Bauteile mit den S-Gelegen vorzeitig auf Delamination. Diese Längsrissbildung wird durch die ovale Querschnittsform der Rovings begünstigt.

Aufbauend auf den Versuchen zur Ermittlung der Traglasten wurden insgesamt vier Bauteile unter statischer Dauerbeanspruchung bei Variation der Lastintensitäten untersucht. Das Beanspruchungsniveau α versteht sich als Quotient von aufgebrachter Last zur im Vorfeld ermittelten Traglast. Für die Bauteile mit den X-Gelegen wurde das Beanspruchungsniveau auf 50 %, 60 % und 70 % festgelegt. Das Bauteil mit dem S-Gelege wurde mit einem Beanspruchungsniveau von 70 % belastet. In dem in Abbildung 1 dargestellten Diagramm sind die im Rahmen

der Bauteilversuche ermittelten Durchbiegungen in Feldmitte über der Belastungszeit aufgetragen.

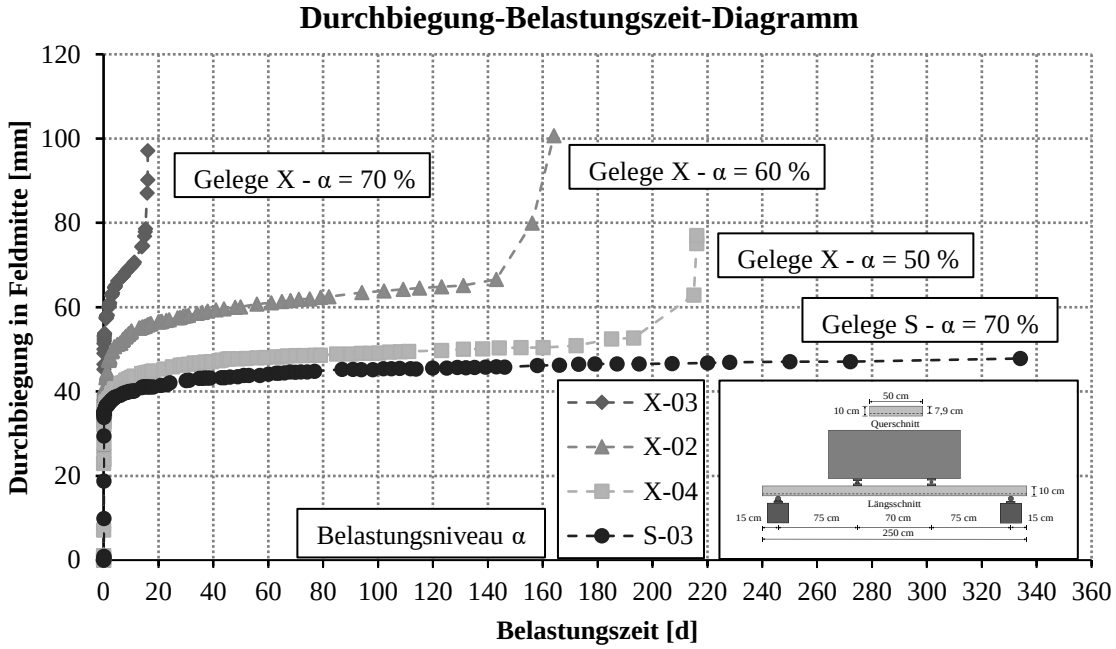


Abbildung 1: Durchbiegung-Belastungszeit-Diagramm

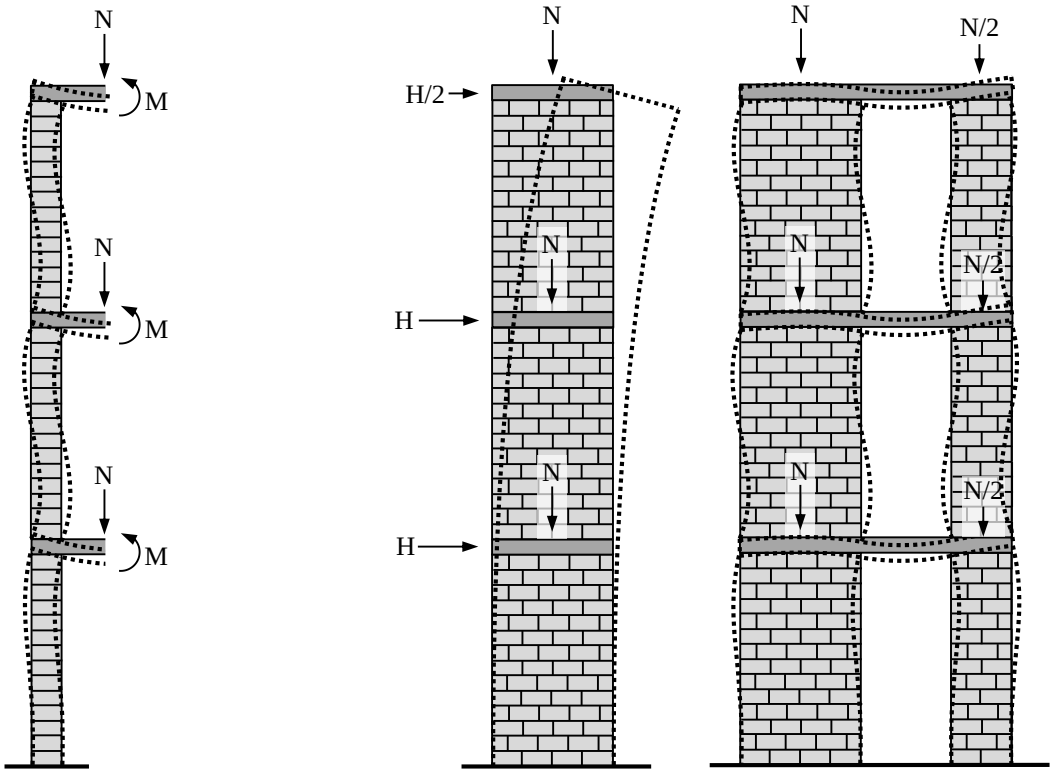
Bei den Bauteilen mit den X-Gelegen trat in Abhängigkeit des Belastungsniveaus nach 16, 165 und 216 Tagen ein Betondruckversagen auf. Bei hohen Beanspruchungsgraden können unterschiedliche Kriechphasen (primär, sekundär, tertiär) beobachtet werden. In der letzten Phase nehmen die Kriechrate und damit auch das Mikrorisswachstum im Betongefüge exponentiell zu. Es kommt zu einem Festigkeitsabfall des Betons, der wesentlich größer als die Nacherhärtung ist. Das Bauteil mit dem S-Gelege versagte auch nach weit über 300 Tagen nicht. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass aufgrund der im Traglastversuch aufgetretenen Delamination die Absolutlast und damit auch die Größe der kriecherzeugenden Spannungen dieses Dauerstandversuchs geringer sind. Das Versagen der Bauteile mit dem X-Gelege ist nicht zuletzt auch auf die geringe Verarbeitungsqualität der Gelege zurückzuführen (schlechter Verbund, mangelhafte Imprägnierung). Bedingt durch den schlechteren Verbund nimmt zunächst der Schlupf zu, wodurch sich die Druckzonenhöhe verringert und dadurch die Spannungen vergrößern.

SCHIEFE BIEGUNG UNBEWEHRTER BETON- UND MAUERWERKSDRUCKGLIEDER

Valentin Förster

In Deutschland werden in aller Regel schlanke Betondruckglieder, wie Stützen und Wände, bewehrt ausgeführt, wohingegen bei Mauerwerksdruckgliedern auf Bewehrung verzichtet wird. Dies verdeutlicht, dass zur Sicherstellung der Tragfähigkeit nicht zwangsläufig eine Bewehrung angeordnet muss, denn auch unbewehrte Druckglieder können nennenswerte Biegemomente abtragen. Der Verzicht auf unbewehrte Betondruckglieder ist vor allem darauf zurückzuführen, dass nur für den ebenen Fall (Druck mit einachsiger Biegung) und nicht für den allgemeingültigen räumlichen Fall (Druck mit zweiachsiger Biegung bzw. schiefer Biegung) einfache Bemessungsverfahren vorliegen. Biegemomente um zwei Achsen wirken nicht nur bei zweiachsiger Verdrehung der angrenzenden Bauteile, sondern beispielsweise auch bei einer einachsialer Verdrehung um die schwache Achse (z. B. infolge Deckendurchbiegung) in Kombination mit horizontalen Lasten in Richtung der starken Achse infolge der Aussteifung, siehe Abb. 1.
Um die bestehende Tragfähigkeitspotenziale nutzen zu können, wurde in (1) die Tragfähigkeit unbewehrter Beton- und Mauerwerksdruckglieder bei zweiachsig exzentrischer Beanspruchung untersucht. Mit Hilfe der ermittelten Momenten-Krümmungs-Beziehungen ist es gelungen die Systemtragfähigkeit von Durckgliedern mit linear-elastischem Werkstoffverhalten ohne Biegezugfestigkeit analytisch herzuleiten. Die analytische Lösung für den ungerissen Querschnitt ist auch für den Sonderfall des linear-elastischen Werkstoffverhaltens mit betragsmäßig gleicher Druck- und Biegezugfestigkeit gültig, was durch den Vergleich der Tragfähigkeiten mit denen der bestehenden Bemessungsnormen für Stahl und Holz demonstriert wird. Zudem wurde ein numerisches Berechnungsmodell entwickelt, mit dem die Näherung des analytischen Modells – die Abschätzung der Krümmungsverläufe – erfolgreich verifiziert wurde.

Darüber hinaus kann mit dem numerischen Modell beliebig nichtlineares Werkstoffverhalten berücksichtigt werden.



Biegung um die schwache Achse Biegung um die starke Achse

Abbildung 1: Beispielhafte Biegebeanspruchungen um die schwache und starke Achse (1)

Mit Hilfe von umfangreichen analytischen und numerischen Vergleichsrechnungen konnte zudem ein einfaches und praxisgerechtes Bemessungsverfahren entwickelt werden. Da dies die Systemtragfähigkeit zweiachsig exzentrisch beanspruchter Druckglieder mit der Tragfähigkeit ausschließlich einachsig exzentrisch beanspruchter Druckglieder approximiert, kann das Verfahren unkompliziert in die bestehenden Bemessungsnormen integriert werden.

(1) Förster, V.: Tragfähigkeit unbewehrter Beton- und Mauerwerksdruckglieder bei zweiachsig exzentrischer Beanspruchung. Dissertation (eingereicht), Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt.

ERMITTLUNG MECHANISCHER KENNGRÖßEN VON BASALTFASERVERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFSTÄBEN

Sebastian Hofmann, Tilo Proske

Die Verwendung von faserkunststoffverstärkter Bewehrung (FVK) im Bauwesen ist Gegenstand aktueller Forschungsvorhaben am Institut für Massivbau. Um die großformatigen Versuchskörper zielgerichtet dimensionieren und diese anschließend nummerisch modellieren zu können, sind genaue Kenntnisse der mechanischen Eigenschaften der FVK-Bewehrung unerlässlich. Zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von FVK-Bewehrung gibt es allerdings in Deutschland und Europa bisher noch kein einheitliches und genormtes Verfahren. Aus diesem Grund muss ein geeigneter Versuchsaufbau für die Durchführung von Zugfestigkeitsprüfungen an FVK-Bewehrung konzipiert werden.

In Vorbereitung eines Forschungsvorhabens zur Verwendung von baltfaserverstärkten Kunststoffstäben als Bewehrung im Betonbau wurden epoxidharzgetränkte und besandete Basaltfaserstäbe untersucht. Aufgrund ihrer Querdruckempfindlichkeit stellt insbesondere die Einspannung der Stäbe in die Zugprüfmaschine eine große Herausforderung dar. Zur gleichmäßigen Lasteinleitung wird der Stab im gewählten Versuchsaufbau in einer Kunststoffhülse mit den Abmessungen d = 36 mm und l = 200 mm zentriert und mit einem Füllmaterial umschlossen. Die Anforderungen an das Füllmaterial sind neben der Übertragung der Verbundkräfte auch eine einfache Verarbeitbarkeit und Wirtschaftlichkeit. Um ein geeignetes Füllmaterial zu identifizieren, wurden verschiedene Materialien, z. B. ein Verbundmörtel (V1), Methacrylharz (V2), Epoxidharz (V3) und Feinbeton (V4), unter sonst jeweils gleichen Bedingungen verwendet. In einer Versuchsreihe wurden basaltfaserverstärkte Kunststoffstäbe mit einem Nenndurchmesser von 6,0 mm und einer Länge von 700 mm an jedem Stabende mit dem Füllmaterial vergossen und nach dem Aushärten geprüft. Die Lasteinleitung erfolgte zunächst kraftgesteuert

mit 3,0 kN/min, während die Dehnungen bis unterhalb der zu erwartenden Bruchlast mit einem Extensometer in Stabmitte aufgezeichnet wurden. Die ersten Ergebnisse der Zugprüfungen ergaben, dass bei Verfüllmaterial V1 und V4 jeweils Verbundversagen der Verankerung eintrat und somit die Bruchspannung der Bewehrung nicht erreicht wurde (vgl. Abbildung 1).

Bei V2 und V3 hingegen konnte die Probe bis zum Erreichen der maximalen Zugfestigkeit des Stabes von ca. 1050 N/mm² belastet werden. Der E-Modul beträgt im Gebrauchsniveau ca. 59000 N/mm² und liegt damit etwas oberhalb von glasfaserverstärkten Kunststoff Stäben.

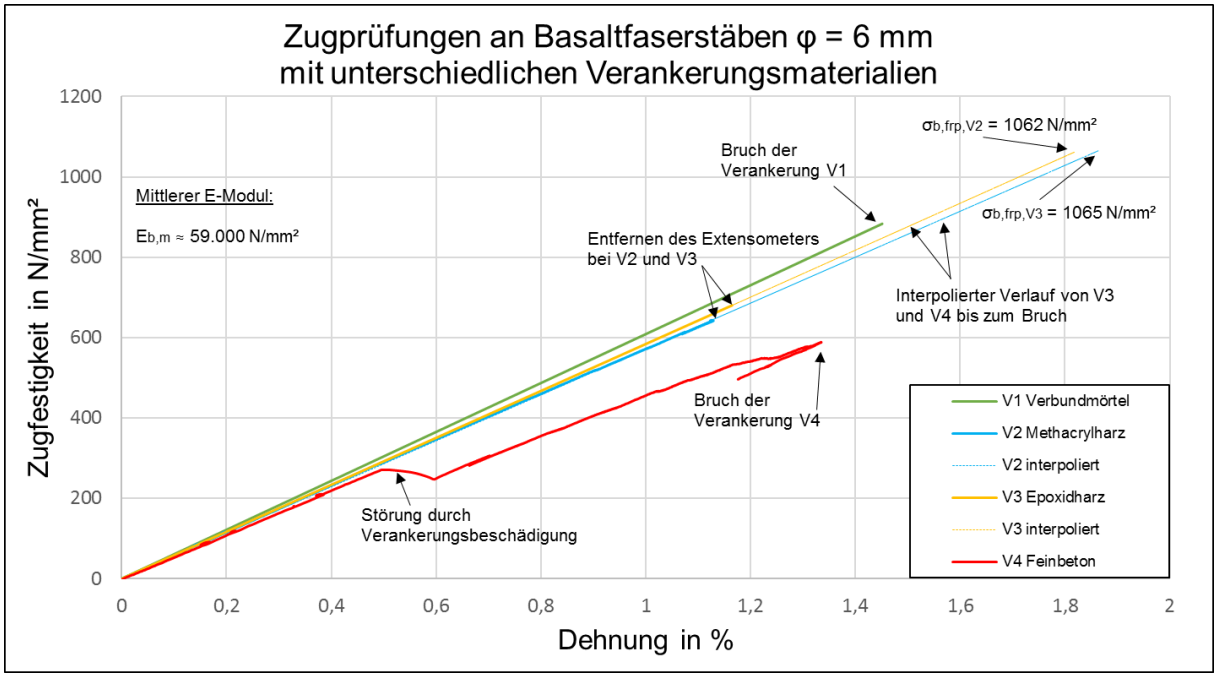


Abbildung 1: Spannungs-Dehnungs-Diagramm von Basaltfaserstäben mit d = 6 mm

Die Spannungs-Dehnungs-Linien der Versuche V1 bis V4 liegen dicht beieinander, was daraus schließen lässt, dass das Füllmaterial die Ergebnisse zum E-Modul nicht signifikant beeinflusst. Es sind jedoch weitere Versuche mit unterschiedlichen Stab- und Hülsendurchmessern sowie Verankerungslängen nötig, um die Ergebnisse zu verifizieren und den Versuchsaufbau zu optimieren.

ANALYSE DES VERFAHRENS ZUR ERMITTLUNG VON PLATTENBIEGEMOMENTEN IN MAUERWERKSWÄNDEN

René Mazur

Im Zuge der Überarbeitung des Eurocode 6 Teil 1-1 zur Bemessung von Mauerwerk wird aktuell auch das Verfahren nach Anhang C zur Ermittlung der in Mauerwerkswänden auftretenden Plattenbiegemomente infolge Deckenverdrehung angepasst. Die in diesem Zusammenhang größten Neuerungen sind die europaweite Integration der teilaufliegenden Decke und die Implementierung der infolge Wind entstehenden Plattenbiegemomente. Teilaufliegende Decken werden im Neuvorschlag genau wie zuvor nach EC 6-1-1 inklusive der in Deutschland abweichend getroffenen Regelungen in die Berechnung einbezogen. Die Integration der einwirkenden Windlast in das Verfahren nach Anhang C stellt hingegen eine gravierende Änderung dar und sollte daher ausführlich mit der aktuell in Deutschland üblichen Vorgehensweise verglichen werden, um sicherzustellen, dass keine Sicherheitsdefizite in der Bemessung entstehen.
Üblicherweise wird zur Ermittlung der Plattenbiegemomente einer Mauerwerkswand infolge Wind vom Tragwerksplaner eine ingenieurmäßig sinnvolle Verteilung gewählt. Hierbei können sowohl Voll- und Teileinspannung an Wandkopf und -fuß angenommen werden als auch gelenkige Lagerungen. Beispielsweise ist eine Aufteilung der Biegemomente auf Wandkopf, -höhenmitte und -fuß zu jeweils $|M_{Wind}| = 1/16 \cdot w_{Ed} \cdot h^2$ denkbar, wobei von Teileinspannungen an Wandkopf und -fuß ausgegangen wird und sich das Biegemoment in Wandhöhenmitte durch „Einhängen“ einer quadratischen Parabel ergibt. Im Neuvorschlag für Anhang C wird diese bisher übliche Methode nicht ausgeschlossen, es wird lediglich eine – vor allem für EDV-Anwendungen sinnvolle – weitere Möglichkeit der Berechnung gegeben.

Die folgende Gleichung beschreibt den neuen Ansatz des Überarbeiteten Anhang C, wobei die Symbolbezeichnungen unverändert zum aktuellen Ansatz gelten:

$$M_1 = -\frac{w_1 h_1^2}{4(n_1 - 1)} + \frac{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1}}{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} + \frac{n_3 E_3 I_3}{l_3} + \frac{n_4 E_4 I_4}{l_4}} \left[\frac{w_1 h_1^2}{4(n_1 - 1)} - \frac{w_2 h_2^2}{4(n_2 - 1)} + \frac{q_3 l_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{q_4 l_4^2}{4(n_4 - 1)} \right]$$

Im ersten Term ist direkt zu erkennen, dass die Einwirkung infolge Wind am Wandkopf bzw. -fuß zunächst immer mit $M_{Wind} = 1/8 \cdot w_{Ed} \cdot h^2$ bzw. $M_{Wind} = 1/12 \cdot w_{Ed} \cdot h^2$ (je nach angenommener Lagerung der Wand) eingeht. Im Belastungsterm wird das in der Wand entstehende Plattenbiegemoment infolge Wind bei unterschiedlichen Geschosshöhen, Windlasten oder Lagerungsbedingungen der zu betrachtenden Geschosse vergrößert bzw. verkleinert. Unter der Annahme identischer Geschosse ist in Abbildung 1 beispielhaft ein Vergleich zwischen dem aktuell in Deutschland gültigen Ansatz und dem Neuentwurf dargestellt. An diesem Beispiel wird gezeigt, dass der Neuvorschlag für Anhang C zu Ergebnissen führt, welche innerhalb der Grenzen der aktuellen Regeln liegen und somit die verschiedenen Ansätze der Windlast über- bzw. unterschreiten. Insgesamt kann das neue Berechnungsmodell als sicher angesehen werden. In einigen Fällen kann es jedoch weiterhin sinnvoll sein, den bisherigen Ansatz weiterhin zu verwenden, um eine gewisse Flexibilität bei der Bemessung zu erhalten.

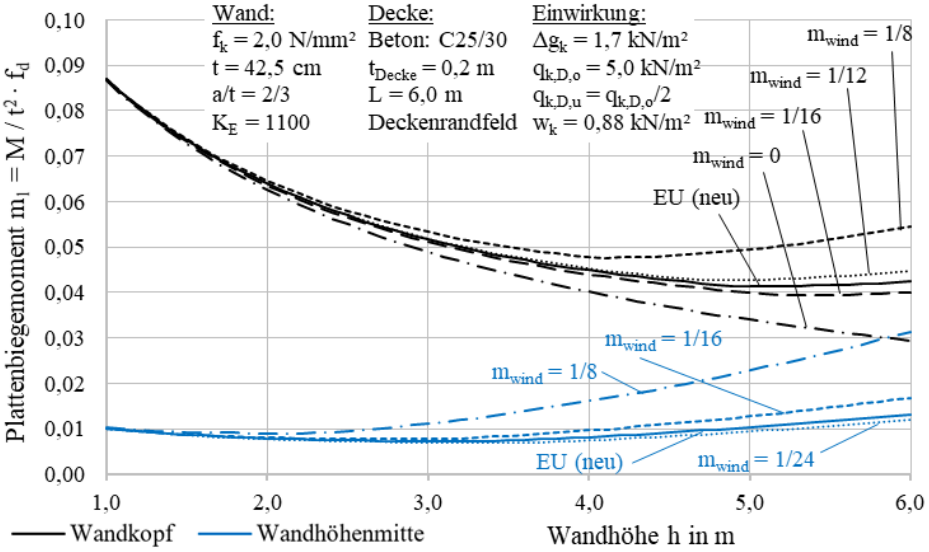


Abbildung 1: Beispielhafter Vergleich zw. EC6-1-1/NA Anhang C und dessen Neuvorschlag

EINFLUSS RÄUMLICHER STREUUNGEN AUF DIE STATISTISCHE VERTEILUNG VON TRAGFÄHIGKEITEN

Dominik Müller

Am Institut für Massivbau wird aktuell die Zuverlässigkeit überwiegend druckbeanspruchten Mauerwerks untersucht, siehe (1). Auf Grund der Zusammensetzung einer Mauerwerkswand aus einzelnen Steinen und Mörtelfügen tritt hierbei eine ausgeprägte räumliche Streuung der Materialeigenschaften (= zufällige Variation innerhalb des Bauteils) auf. Der prinzipielle Einfluss räumlicher Streuungen auf die Tragfähigkeit soll hier beispielhaft aufgezeigt werden. Zuverlässigkeitstheoretisch kann ein Bauteil mit räumlicher Streuung auch als ein aus mehreren Elementen zusammengesetztes System betrachtet werden. Das idealisierte Bauteil bestehe hier aus n = 10 gedachten Elementen, deren Festigkeiten unabhängig voneinander streuen. Die Festigkeiten seien dabei normalverteilt mit einem Variationskoeffizienten von 20 %. Es werden zwei Grenzfälle untersucht: Das serielle (schwächstes Glied bestimmt Tragfähigkeit) und das parallele System, vgl. Abb. 1. In parallelen Systemen wird zudem zwischen zwei verschiedenen Elementarten unterschieden: Bei ideal-duktilen Elementen ergibt sich die Systemtragfähigkeit aus der Summe der Elementfestigkeiten. Bei ideal-spröden Elementen fällt ein Element bei Erreichen der Festigkeit sofort aus, die Last kann jedoch weiter gesteigert werden, wenn die verbliebenen Elemente die Last des ausgefallenen Elementes aufnehmen können.

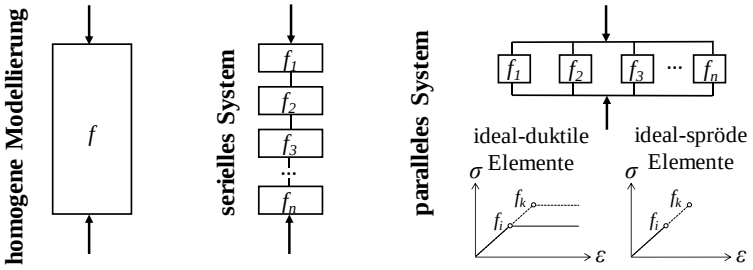


Abbildung 1: System- und Elementidealisierungen

Im Vergleich zu einer homogenen Modellierung weist die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Tragfähigkeit bei einer räumlichen Streuung stets eine geringere Varianz auf, siehe Abb. 2. Mit Ausnahme des parallelen Systems mit ideal-duktilen Elementen ist in Folge der räumlichen Streuung jedoch auch eine Reduzierung des Mittelwertes der Tragfähigkeit zu erkennen. Für die Tragwerkszuverlässigkeit sind die unteren Quantilwerte und damit die Fläche unter dem linken Schwanz der Wahrscheinlichkeitsverteilung entscheidend. Je nach System- und Elementidealisierung kann die räumliche Streuung demnach einen positiven (paralleles System mit ideal-duktilen Elementen), negativen (serielles System) oder vernachlässigbaren Einfluss auf die Tragwerkszuverlässigkeit besitzen.

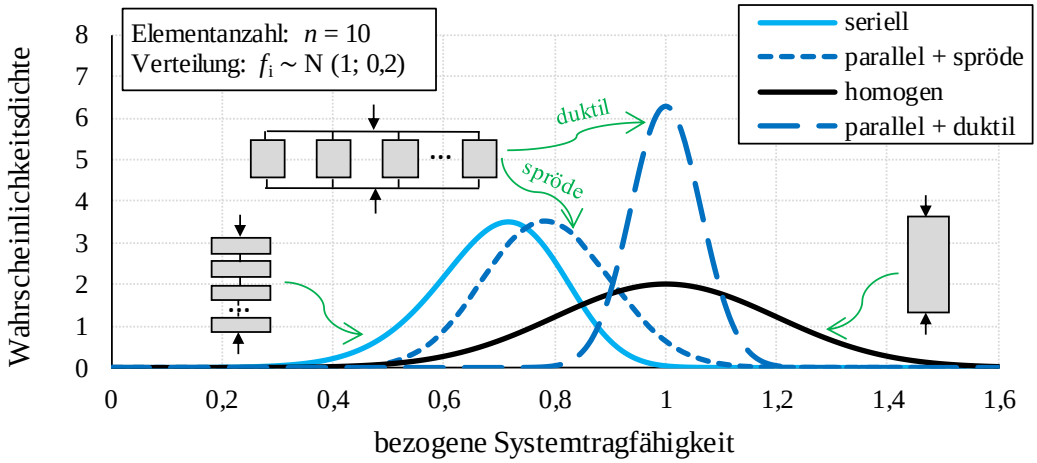


Abbildung 2: Wahrscheinlichkeitsverteilung in Abhängigkeit der Idealisierung

Das zuverlässigkeitstheoretische Verhalten einer realen Mauerwerkswand bewegt sich zwischen den hier gezeigten Idealisierungen. Die Eignung der einzelnen Idealisierungen wird durch den Versagensmodus (unter Druck: Querschnitts- oder Stabilitätsversagen), die Wandlänge und das Spannungs-Dehnungs-Verhalten des Materials bestimmt. In Abhängigkeit dieser Einflussfaktoren können somit gemischte Systeme mit realistischerem Elementverhalten entwickelt werden, auf Grundlage derer sich die Tragwerkszuverlässigkeit ermitteln lässt.

(1) Müller, D., Förster, V., Graubner, C.-A.: Einfluss räumlicher Materialstreuungen auf den erforderlichen Sicherheitsbeiwert für druckbeanspruchte Mauerwerkswände. Mauerwerk 21 (2017), S. 209–222.

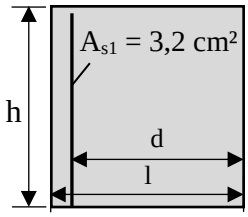
VERGLEICH VERSCHIEDENER BEMESSUNGSANSÄTZE ZUR BESTIMMUNG DER QUERKRAFTTRAGFÄHIGKEIT BEWEHRTER MAUERWERKSWÄNDE

Benjamin Purkert

Eine wirtschaftliche Bemessung von bewehrtem Mauerwerk ist in Deutschland aufgrund des national gewählten Teilsicherheitsbeiwerts von $\gamma_M = 10$ nicht möglich. Vor dem Hintergrund der Überarbeitung der Bemessungsnorm EN 1996-1-1 im Rahmen des „Systematic Review" stellt sich jedoch die Frage, ob diese Haltung zukünftig beibehalten werden soll oder der Neuvorschlag die Sicherheitsbedenken der deutschen Normungs-gremien – insbesondere hinsichtlich der Querkrafttragfähigkeit – ausräumen kann.

Aus diesem Grund wurden die Bemessungsansätze des im November 2017 in den Normenausschüssen verteilten Neuvorschlags von EN 1996-1-1 zur Ermittlung der Querkraft-tragfähigkeit bewehrter Mauerwerksscheiben mit den Nachweisgleichungen anderer Bemessungsnormen verglichen. Hierzu wurden neben der derzeit gültigen Fassung von EN 1996-1-1 die australische Norm AS 3700-2011, der kanadische Design Standard S304-14 sowie die amerikanische Bemessungsvorschrift TMS 402 einander gegenübergestellt und zusätzlich ein Bemessungsvorschlag aus der Dissertation von Ernst (1997) betrachtet.

Vergleichsgrundlage ist die in Abbildung 1 angegebene Wand. Die Querkrafttragfähigkeit wird unter der Annahme berechnet, dass die Bewehrung voll ausgenutzt ist. Daher wird stets das maximal mögliche Biegemoment, welches mit zunehmender einwirkenden Drucknormalkraft ansteigt, als Einwirkung zugrunde gelegt. Darüber hinaus wird unterstellt, dass alle vertikalen Aussparungen in den Mauersteinen mit Mörtel verfüllt sind, sodass die volle Querschnittsbreite im Nachweis angesetzt werden darf. Der Sicherheitsbeiwert für Mauerwerk zur Ermittlung der Tragfähigkeit nach EN 1996-1-1 wird zu $\gamma_M = 1{,}70$ gewählt.



Abmessungen:	**Festigkeit**:
h = 2,75 m	f_k = 5 MN/m²
l = 2,0 m	f_d = 2,94 MN/m²
t = 0,24 m	f_{yk} = 500 MN/m²
d = 1,75 m	f_{yd} = 435 MN/m²

Abbildung 1: Eingangswerte für die Berechnung der Querkrafttragfähigkeit

Wie aus Abbildung 2 zu erkennen ist, differieren die Tragfähigkeiten zum Teil sehr stark. Gute Übereinstimmung besteht zwischen der kanadischen Norm und dem Vorschlag von Ernst (1997) bei Vernachlässigung des Traganteils der Vertikalbewehrung. Wird dieser berücksichtigt, so ergibt sich nach Ernst (1997) etwa die doppelte Tragfähigkeit. Die Ergebnisse nach Eurocode 6 stimmen dagegen insbesondere bei niedrigen Normalkräften größtenteils mit denen der amerikanischen Vorschrift überein und liegen zwischen den beiden Ansätzen nach Ernst (1997). Die australische Norm liefert unabhängig von Normalkraft und Biegemoment die größte Tragfähigkeit. Insgesamt kann somit konstatiert werden, dass die

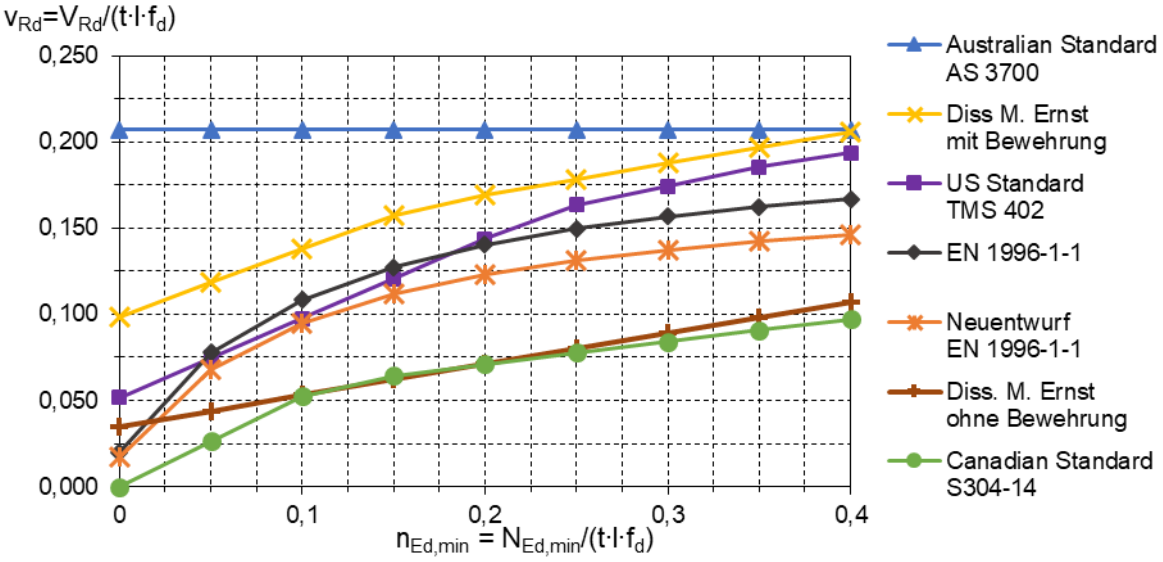


Abbildung 2: Vergleich der Querkrafttragfähigkeiten verschiedener Regelwerke

Ernst, M (1997): Untersuchungen zum Tragverhalten von bewehrtem Mauerwerk aus Hochlochziegeln. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 4 Nr. 137. VDI Verlag Düsseldorf

SCHUBFESTIGKEIT IN GERISSENEM BETON

Ngoc Linh Tran

Das nichtlineare Verhalten von Betonbauwerken ist in erster Linie auf die Entstehung von Betonrissen zurückzuführen. In Betonbauteilen können die Kräfte aufgrund der Gesteinskörnung auch in Rissen übertragen werden. Eine Erhöhung der Rissöffnung vermindert die über den Riss übertragenen Normal- und Schubspannungen. Während die Abnahme der Zugspannung in gerissenem Beton gut als Funktion der Rissöffnung *w* nach Hordijk (1991) beschrieben werden kann, ist es schwierig, die Schubfestigkeitsreduzierung von Beton präzise zu bestimmen, da die Betonschubfestigkeit nicht nur von der Rissbreite *w*, sondern auch vom Scherschlupf *s* abhängt. Basierend auf experimentellen Ergebnissen wird das Verhältnis zwischen *s* und *w* nach Kolmar (1985) über $s = 1.4 \cdot w^{1.2}$ für Normalbeton und $s = 1.87 \cdot w^{1.4}$ für Normalbeton beschrieben. Dies zeigt, dass der Reduzierungsfaktor der Schubfestigkeit auch von der Betonfestigkeit abhängt. Unter Berücksichtigung der Einflussparameter des Betons wie Elastizitätsmodul E_c, maximaler Zuschlagsdurchmesser a_g, Betonfestigkeiten f_c und f_{ct} wird in diesem Beitrag eine neue Formel für den Schubfestigkeitsreduzierungsfaktor β vorgeschlagen, die entsprechend Gl. (a) formuliert wird.

$$\beta = \frac{1}{1 + c \cdot \left(w / l_{ch} \right)} \tag{a}$$

Hier wird die charakteristische Länge als $l_{ch} = G_F E_c \,/\, f_{ct}^2$ nach Hillerborg et al. (1976) definiert und *c* ist eine Konstante, die nach experimentellen Ergebnissen bestimmt wird. Die Bruchenergie wird nach Marí et al. (2015) als $G_F = 0.028 \cdot f_c^{0.18} \cdot a_g^{0.32}$ N/mm berechnet. In dieser Studie wird der Faktor *c* als 20000 gewählt, basierend auf experimentellen Ergebnissen von Shinohara (2001), siehe Abb. 1. Der große Vorteil der neuen Formel liegt darin, dass durch allein die charakteristische Länge l_{ch} viele Einflussgrößen berücksichtigt werden.

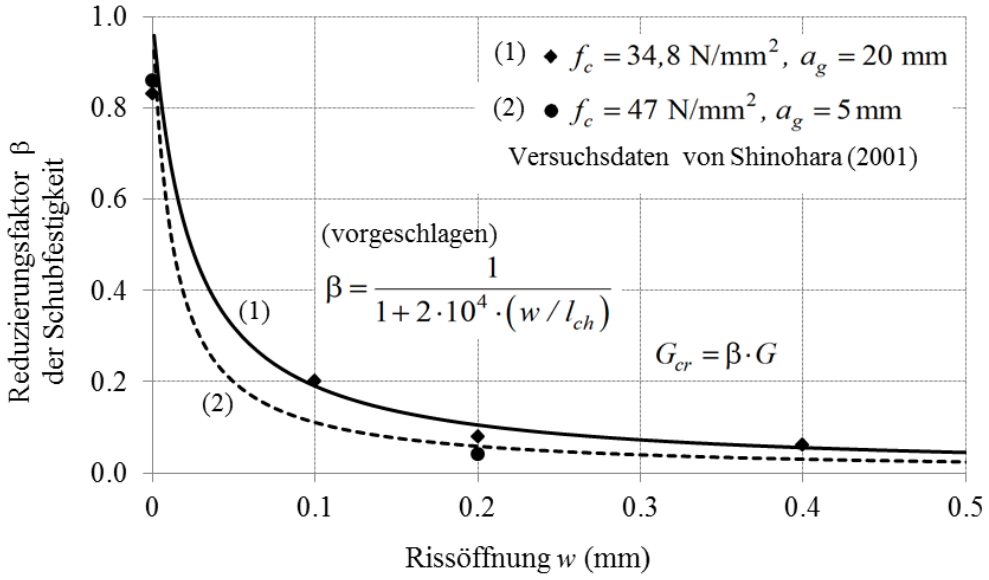


Abbildung 1: Reduzierung der Schubfestigkeit bei zunehmender Rissöffnung

Die vorgeschlagene Formel für die Schubfestigkeitsreduzierung β kann zur Berechnung der Schubtragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen ohne Schubbewehrung verwendet werden.

(1) Hordijk, D.A. (1991): Local approach to fatigue of concrete. Dissertation. Delft University of Technology, The Netherlands, 1991.

(2) Kolmar, W. (1985): Beschreibung der Kraftübertragung über Risse in nichtlinearen Finite-Element-Berechnungen von Stahlbetontragwerken. Dissertation. Technische Hochschule Darmstadt, 1985.

(3) Hillerborg, A; Modéer, M.; Petersson, P.E. (1976): Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements. Cement and concrete research, 6(6), S.773-782, 1976.

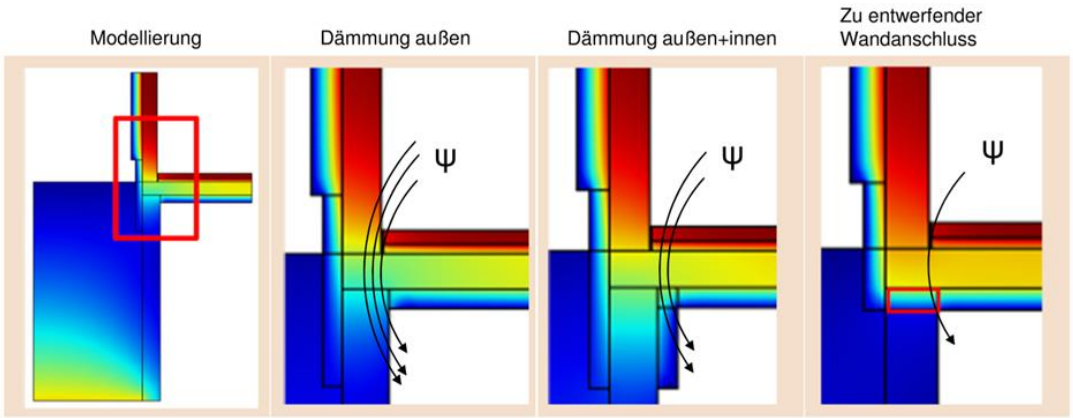
(4) Marí, A.; Bairán, J.; Cladera, A.; Oller, E.; Ribas, C. (2015): Shear-flexural strength mechanical model for the design and assessment of reinforced concrete beams. Structure and Infrastructure Engineering, 11(11), S. 1399-1419, 2015.

(5) Shinohara, Y. (2001): Shear behavior in fracture process zone of concrete. Fracture Mechanics of Concrete Structures, de Borst et al (eds), 2001 Swets & Zeitlinger, Lisse, p. 439-446.

ENTWICKLUNG EINER THERMISCHEN ENTKOPPELUNG VON STAHLBETONWÄNDEN IM WAND-DECKEN-KNOTEN

Jochen Zeier

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. Für überwiegend druckbeanspruchte Stützen sind die wissenschaftlichen Grundlagen bereits im Rahmen eines Forschungsprojektes am Institut für Massivbau erforscht worden. Somit verbleibt die druckbelastete Außenwand zu der bisher noch keine entsprechende Lösung vorhanden ist.



Ziel des Forschungsvorhabens ist somit die Entwicklung eines Bauelements, welches eine ausreichende thermische Entkopplung der Stahlbetonwand (im Bereich kalter Außenluft) von der

Stahlbetondecke (warmer Innenraum) ermöglicht und gleichzeitig hohe Normalkräfte übertragen kann sowie den Temperaturänderungen widerstehen kann. Das Hauptanwendungsgebiet wird bei Wohn- und Bürogebäuden mit Tiefgaragen gesehen.

Im theoretischen Teil des Vorhabens erfolgte eine Zusammenstellung der bauphysikalischen Anforderungen für Wand-Decken-Anschlüsse. 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 statt.

Ein wesentlicher Aspekt in diesem Forschungsprojekt ist die Bestimmung der Anforderungen, die sich aus den Verformungen der Außenwand im Vergleich zu der Decke aufgrund von Temperaturänderungen ergeben. Die Temperatur der Wand folgt der Temperatur der Außenluft, wohingegen die Temperatur der Decke aufgrund der Dämmung stets der nahezu konstanten Innenraumtemperatur entspricht.

Im experimentellen Teil erfolgt in einem umfangreichen Versuchsprogramm eine Analyse des Tragverhaltens im Hinblick auf die horizontalen Kräfte aus der Verformung der Wand gegenüber der Decke. Dabei ist das Ziel eine möglichst große Tragfähigkeit der Fuge zwischen dem Element und der Wand bzw. Decke zu erreichen.

Des Weiteren wird ein FEM-Modell zur numerischen Analyse des Tragverhaltens des Bauelements entwickelt und anhand der Versuchsergebnisse kalibriert. Dieses FEM-Modells dient zur Durchführung von umfangreichen Parameterstudien. Darauf aufbauend wird ein Bemessungskonzept entwickelt, mit dem eine zuverlässige Vorhersage der Versagenslast ermöglicht wird.

Das Vorhaben wird dankenswerterweise durch die Schöck Bauteile GmbH maßgeblich durch Know-How und Materiallieferungen unterstützt.

SCHWINDEN VON BETONEN AUS KALKSTEINREICHEN ZEMENTEN

Moien Rezvani

Die Zementindustrie (Klinkerherstellung) verantwortet weltweit ca. 6 % der vom Menschen verursachten Kohlendioxid-Emissionen. Die Reduzierung des Klinkergehalts in Zement und Beton durch Anwendung kalksteinreicher Zemente kann daher zu einer Absenkung des Treibhauspotentials beitragen. Es wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes festgestellt, dass Beton aus Zement mit 50 M.-% Kalkstein und einem reduzierten Wasser-Zement-Wert von 0,35; neben einer deutlichen CO_2-Einsparung gegenüber konventionellen Betonen bis zu 25%, geeinigte Frisch- und Festbeton-eigenschaften aufweist [1]. Es wurde weiterhin beobachtet, dass die Verformungseigenschaften der Betone mit hohen Kalksteingehalten, insbesondere das Kriech- und Schwindverhalten, signifikant von der Art des Kalksteins beeinflusst [1].

Im Rahmen einer vertiefenden Forschungsarbeit, wurden das Trocknungsschwinden, das autogenes Schwinden und das Karbonatisierungsschwinden von Zementstein und Beton mit unterschiedlichen Kalksteingehalten und Kalksteinarten experimentell analysiert. Es wurde festgestellt, dass das Schwinden der kalksteinreichen Betone stark von den chemisch-mineralogischen Eigenschaften des Kalksteins abhängt. Dabei wurde der Einfluss des Alkaligehalts sowie des Methylenblauwerts des Kalksteins als maßgebliche Einflussgroße identifiziert.

Auf Basis der thermodynamischen und mechanischen Gesetzmäßigkeiten wurde ein analytisches Modell zum Trocknungsschwinden von Zementstein und Beton in Abhängigkeit des Kalksteingehalts und der chemisch-mineralogischen Eigenschaften des Kalksteins entwickelt [2]. Dieses Modell berücksichtigt die gleichzeitige Wirkung des Spaltdrucks und des Kapillardrucks als dominierende Schwindmechanismen (vgl. Abbildung 1).

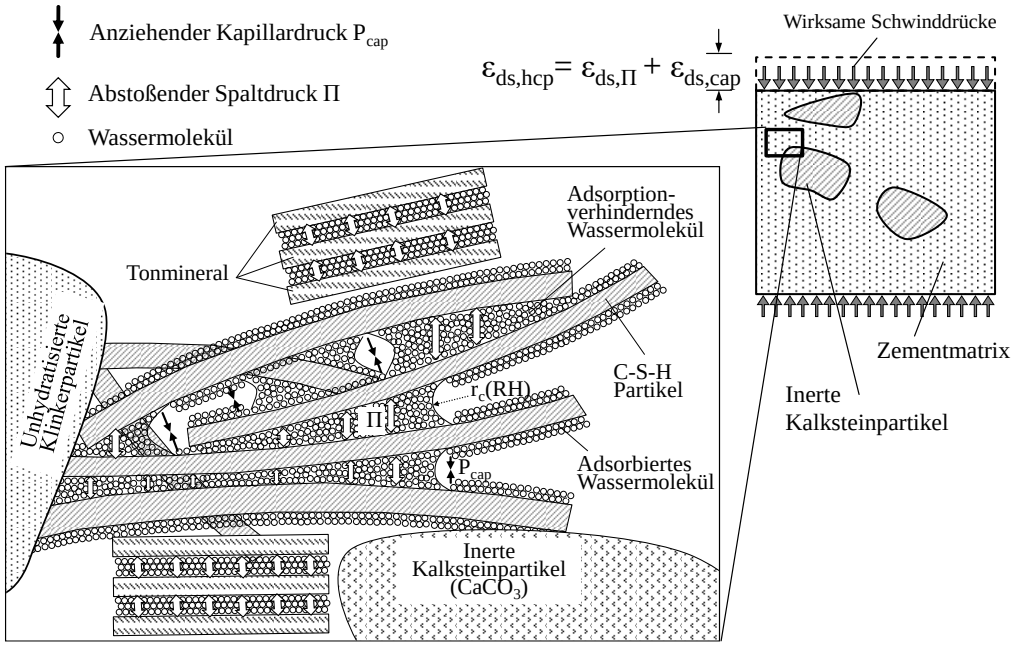


Abbildung 1: Abbildung des abstoßen Spaltdrucks und des anziehenden Kapillar-drucks im Zementstein

Weiterhin wurde die Eignung der aktuellen DIN EN 1992-1-1 für kalksteinreiche Betone geprüft und einen Vorschlag zur Anpassung des Bemessungsansatzes unter Berücksichtigung des Kalksteingehalts und dessen chemisch-mineralogischer Zusammensetzung präsentiert.

Literatur

[1] Palm, S.; Proske, T.; Rezvani, M.; Hainer, S.; Müller, C.; Graubner, C.-A.: Cements with a high limestone content – Mechanical properties, durability and ecological characteristics of the concrete. Construction and building materials 119 (2016), S. 308–318.

[2] Rezvani, M.: Shrinkage model for concrete made of limestone-rich cements – An approach from cement paste to concrete. Dissertation, Technische Universität Darmstadt 2017.

CO_2-DIFFUSION IN KLINKERREDUZIERTEN BETONEN

Sarah Steiner, Tilo Proske

Die Herstellung von Portlandzement ist mit hohen Umweltwirkungen verbunden, weshalb derzeit intensiv an der Entwicklung von klinkerreduzierten Zementen und Betonen gearbeitet wird. Die Substitution von Portlandzementklinker durch Kalkstein ist ein vielversprechender Ansatz, die Umweltverträglichkeit von Beton zu verbessern. Zu hohe Kalksteingehalte können jedoch die Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen, insbesondere gegenüber einer karbonatisierungsinduzierten Bewehrungskorrosion, negativ beeinflussen (1). Dies liegt hauptsächlich an der verringerten Menge an karbonatisierbaren Bestandteilen (Portlandit, C-S-H Phasen und Ettringit) im Beton. Begegnet werden kann dem durch die Erhöhung des CO_2-Diffusionswiderstandes bzw. einer Reduzierung des Wasser-Zement-Wertes (w/z). Für die Entwicklung ökologisch optimierter Betone mit einem hinreichenden Karbonatisierungswiderstand, ist daher ein besseres Verständnis der CO_2-Diffusion in Beton von entscheidender Bedeutung.

Um eine gerichtete CO_2-Diffusion durch Betonproben zu erreichen, wurde eigens ein Versuchsstand für scheibenförmige Versuchskörper entwickelt, siehe Abbildung 1 (A). Im Innern einer zylindrischen Messzelle aus Plexiglas ist ein CO_2-Sensor installiert. Kopfseitig wird in die Messzelle eine bereits vollständig karbonatisierte Probe eingebaut. Im Rahmen von ersten Diffusionsversuchen wurden Feinbetonproben mit w/z-Werten von 0,30 bis 0,75 untersucht. Der Laborzement z bestand dabei aus der Klinkerkomponente Portlandzement (CEM I 52,5 R) und verschiedenen Kalksteinanteilen (LL) von bis zu 60 M.-%. Die Nachbehandlung der Proben erfolgte unter verschiedenen CO_2-Konzentrationen (400 ppm bis zu 100 Vol.-% CO_2), um den Einfluss der CO_2-Konzentrationen auf die Strukturbildung und den Diffusionswiderstand zu untersuchen. Die Messzelle wurde für die Diffusionsmessungen in einem Klimagerät platziert,

wobei die Umweltbedingungen 100 Vol.-% CO_2, 20°C und 65% r. F betrugen. In weiteren Versuchen erfolgte die Beaufschlagung mit geringeren Konzentrationen von 2 und 20 Vol.-%. In der Messzelle wurde zudem eine relative Luftfeuchte von etwa 65% r. F mittels einer gesättigten Salzlösung (NH_4NO_3) eingestellt. Dadurch konnte eine zusätzliche Wasserdampfdiffusion vermieden werden.

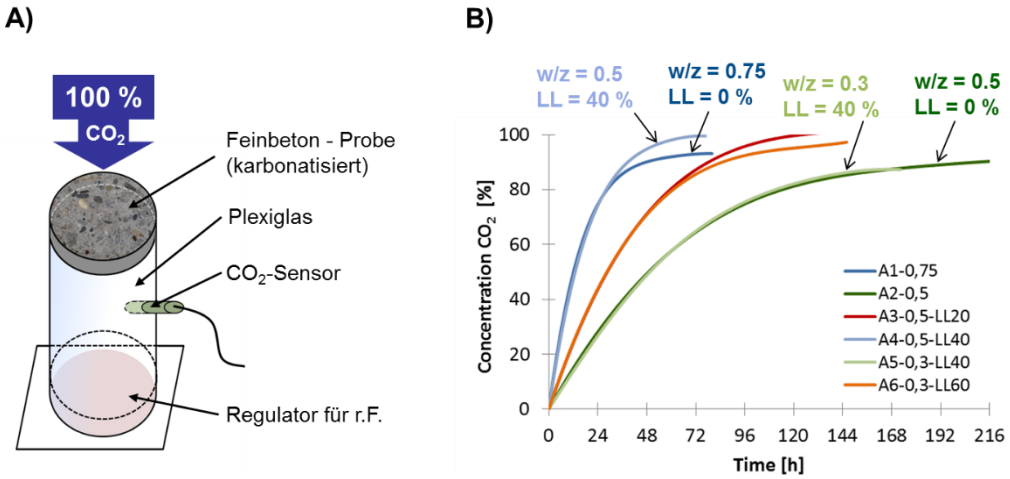


Abbildung 1: (A) Versuchsaufbau zur Messung der CO_2-Diffusion. (B) Verlauf der zeitabhängigen CO_2-Konzentration in der Messzelle.

Abbildung 1 (B) zeigt die Entwicklung der gemessenen, zeitabhängigen CO_2-Konzentrationen innerhalb der Messzelle für ausgewählte Mischungszusammensetzungen bei einer CO_2-Umgebungskonzentration von annähernd 100 Vol.-%. Die materialabhängigen Diffusionskoeffizienten wurden anhand des zweiten Fick´schen Gesetzes berechnet. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass bei einer Substitution von Portlandzementklinker bei gleichzeitiger Verringerung des Wassergehaltes Diffusionswiderstände erreicht werden können, die vergleichbar sind mit jenen von reinen Portlandzement-Betonen oder Mischungen mit geringerem Gehalt an LL. So wurde beispielsweise bei einem geringen Kalksteinanteil von 20 M.-% und einem w/z-Wert von 0,5 (A3-0,5-LL20) ein Diffusionskoeffizient von ca. $2{,}7 \cdot 10^{-8}$ m^2/s ermittelt. Mit einem Diffusionskoeffizienten von ca. $2{,}8 \cdot 10^{-8}$ m^2/s wies der Beton mit 60 M.-% Kalkstein und w/z = 0,3 (A6-0,3-LL60) einen ähnlichen Wert auf.

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

EFFIZIENZVORTEILE DURCH ENERGIEDATENERFASSUNG UND -ANALYSE

Achim Knauff

Um wirtschaftlich zu handeln und höhere Gewinne zu erzielen, wird es für Unternehmen immer wichtiger eine detaillierte Bilanzierung ihrer Ausgaben zu erstellen. Insbesondere das Gebiet der Energiedatenanalyse bietet hierzu die Möglichkeit Optimierungspotentiale zu erkennen, sodass Einsparmaßnahmen umgesetzt und laufenden Energiekosten signifikant gesenkt werden können. Umgesetzte Einsparmaßnahmen wirken generell fortwährend, sodass es mit jedem weiteren gefundenen Optimierungspotential, nach dessen Umsetzung, zu einer erheblichen Kumulierung der Kostenreduktionen über Jahre hinweg kommt.

Die Energiedatenanalyse umfasst im ersten Schritt die Plausibilisierung des Energie- und Medienverbrauchs zur Identifizierung ineffizienter Betriebszustände. Zu beachten gilt, dass es sich bei aufgezeichneten Verbrauchsdaten um zurückliegende Ereignisse handelt, sodass nur reaktiv auf auffällige Verbrauchsdaten eingegangen werden kann. Ein großer Mehrwert wird daher zusätzlich erzielt, wenn die vergangenen Betriebszustände strategisch zur proaktiven Aufdeckung zukünftiger Optimierungspotentiale genutzt werden. So können durch die kontinuierliche Erfassung und Analyse Optimierungspotentiale aus i) dem Abgleich des Verbrauchs eines Versorgungsbereiches gegenüber der zugehörigen Nutzung, ii) Kontrollen von Anlagenbetriebs- gegenüber den Nutzungszeiten oder iii) der Effizienzüberwachung von Einzelanlagen und Anlagensystemen resultieren.

Beispielhaft wird der Vorteil der Energiedatenerfassung anhand der methodischen Analyse der Energiegestehungskosten eines Energieverbundsystems für Wärme und Kälte verdeutlicht. Energieverbundsysteme kommen insbesondere in Gebäuden, Komplexen und Quartieren zum Einsatz, die einen zeitgleichen Bedarf an mehreren Energieformen haben. Durch eine angemes-

sen detaillierte Energiedatenerfassung können so die Quellen und Senken der einzelnen Energieformen kontinuierlich erfasst und hinsichtlich der resultierenden Energiegestehungskosten analysiert werden. Ziel dabei ist den Bedarf zukünftig optimal unter den zur Verfügung stehenden Erzeugern aufzuteilen. Zur Verdeutlichung werden in Abbildung 1 zum einen die Summe der Energiegestehungskosten für Heizen und Kühlen durch eine kältegeführte Kältemaschinen-Eisspeicher-Kombination visualisiert. Zum anderen ist die Aufteilung des Wärmebedarfs zwischen der Rückgewinnung der Kältemaschinen-abwärme für Heizzwecke sowie die Nachspeisung eines Spitzenlastwärmeerzeugers dargestellt. Bei niedrigem Kältebedarf wechselt das System zwischen den Betriebsmodi „A“ Entladen und „B“ Laden des Eisspeichers. Steigt der Kältebedarf erfolgt die Kälteerzeugung ohne Beteiligung des Eisspeichers im Betriebsmodus „C“.

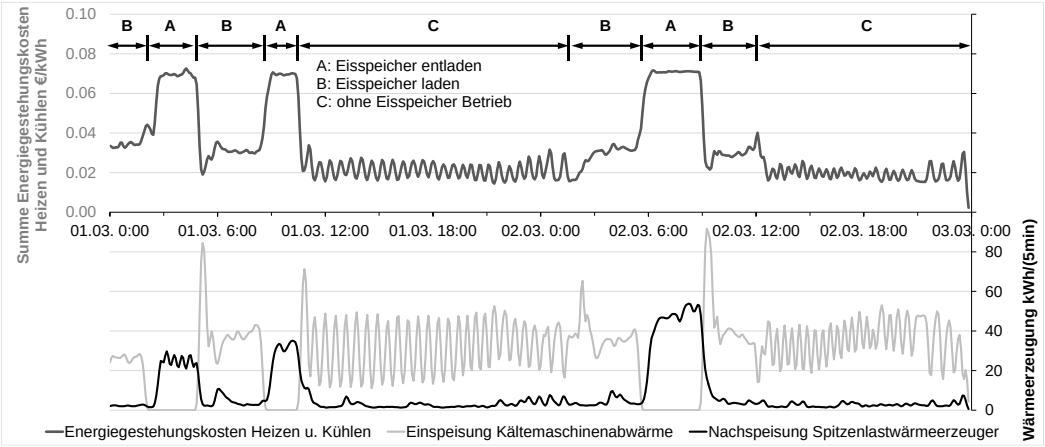


Abbildung 1: Analyse Energiegestehungskosten Energieverbundsystem

Der Vorteil von Energieverbundsystemen zeigt sich in den Betriebsmodi „B“ und „C“, wenn sowohl die erzeugte Wärme als auch die erzeugte Kälte der Kältemaschine genutzt werden können. Dadurch tendieren die Energiegestehungskosten zum geringeren Energiepreis, der sich aus dem mit der Kältemaschineneffizienz bewerteten Strompreis ergibt. Dagegen tendieren die Energiegestehungskosten während der Entladung des Eisspeichers im Betriebs-modus „A“ zum höheren Energiepreis der Spitzenlastwärmeerzeugung. Ein Optimierungspo-tential besteht nun darin, im Rahmen der technischen Möglichkeiten, den Betriebsmodus „C“ ohne Beteiligung des Eisspeichers in den Bereich des niedrigen Kältebedarfs auszuweiten.

ÖKOLOGISCHE UND ÖKONOMISCHE BEWERTUNG VON ERNEUERBARE-ENERGIEN-VERSORGUNGSOPTIONEN FÜR WOHNQUARTIERE

Claudia Weißmann

Im Kontext des drohenden Klimawandels lautet ein wesentliches Ziel des nationalen Energiekonzepts erneuerbare Energieträger stärker in die Energieversorgung von Gebäuden zu integrieren. Hierdurch sollen die Treibhausgasemissionen langfristig gesenkt werden. Gleichzeitig muss jedoch gewährleistet werden, dass diese Transformation des deutschen Energieversorgungssystems die Gesellschaft ökonomisch nicht wesentlich benachteiligt. Unklar ist bislang allerdings welche Erneuerbare-Energien-Technologie das größte Potential hinsichtlich dieser Zielperspektiven bietet. Dies gilt insbesondere dann, wenn anstelle einzelner Gebäude ganze Quartierkonzepte betrachtet werden, bei denen zudem zwischen vernetzten und unvernetzten Versorgungsoptionen zu differenzieren ist. Vor diesem Hintergrund wurde eine Szenario-Analyse für ein exemplarisches Wohnquartier mit variierender Technologieausstattung durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden präsentiert werden.

Das exemplarische Quartier besteht aus 50 Einfamilienhäusern, deren Gebäudehülle den Anforderungen der EnEV 2016 entspricht. Tabelle 1 bietet eine Übersicht über die untersuchten Technologieausstattungen der Szenarien. Im Basisszenario liegt eine konventio-nelle Versorgung durch Gas-Brennwertkessel und das öffentliche Stromnetz vor.

Tabelle 1: Übersicht – Technologieausstattung der Szenarien

Szenario	Technologieausstattung	Vernetzung
Basis	Brennwertkessel	Keine
A.1	Sole/Wasser-Wärmepumpe	Keine
A.2	Sole/Wasser-Wärmepumpe, Photovoltaik	Keine
A.3	Sole/Wasser-Wärmepumpe, Photovoltaik, Batterie	Quartierstromnetz
B.1	Brennwertkessel, Solarthermie	Keine
B.2	Brennwertkessel, Solares Nahwärmenetz	Nahwärmenetz
B.3	Brennwertkessel, Solares Nahwärmenetz, KWK	Nahwärme- und Quartierstromnetz

In der Szenariengruppe A liegt der Fokus auf der Stromversorgung aus erneuerbaren Energieträgern, während in der Gruppe B vor allem die Wärmeerzeugung aus regenerativen Quellen analysiert wird. Die Energieflüsse des Quartiers werden durch Lastprofile abgebildet, die zuvor simulationsbasiert ermittelt bzw. aus Messwerten abgeleitet wurden. Für die ökologische Bewertung wird die Methode der Ökobilanzierung gemäß DIN EN ISO 14040 angewendet. Als Kennzahl wird das Treibhauspotential (GWP) ermittelt, wobei auch die Herstellung und die Entsorgung der technischen Anlagen abgebildet werden. Die ökonomische Kennzahl ist der Kapitalwert (C_0), der im Rahmen einer Lebenszykluskostenanalyse für jede Versorgungsoption ermittelt wird. Die angewendeten Methoden sind detailliert in (1) erläutert. Abbildung 1 zeigt, dass alle Erneuerbare-Energien-Szenarien ökologisch besser bewertet sind als das Basisszenario, wobei die A-Szenarien vorteilhafter gegenüber den B-Szenarien sind. Alle B-Szenarien sind des Weiteren ökonomisch schlechter bewertet als das Basisszenario. Zudem wird deutlich, dass vernetzte Szenarien stets ökonomisch schlechter jedoch ökologisch vorteilhafter bewertet sind als die unvernetzten Szenarien aus der gleichen Gruppe (siehe A.1, A.2 vs. A.3 bzw. B.1 vs. B.2, B.3). Schließlich verdeutlicht die Analyse, dass sowohl aus der ökologischen als auch aus der ökonomischen Perspektive gegenwärtig Versorgungskonzepte mit Sole/Wasser-Wärmepumpe und Photovoltaik für die Versorgung von neu errichteten Wohnquartieren zu präferieren sind.

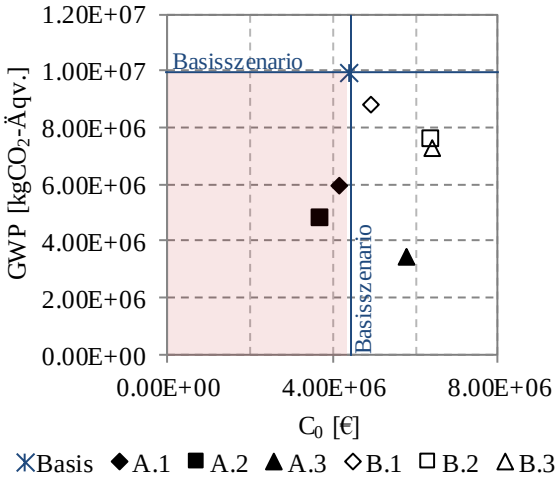


Abbildung 1: Gegenüberstellung der ökologischen und ökonomischen Szenarien-Bewertung

(1) Weißmann, C.: Effizienter Einsatz erneuerbarer Energieträger in vernetzten Wohnquartieren – Entwicklung eines simulationsbasierten Verfahrens zur energetischen, ökologischen und ökonomischen Bewertung. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Massivbau, Heft 37, 2017, Darmstadt.

OPTIMIERUNGSPOTENZIAL DER INSTALLIERTEN LEISTUNG IN NAHWÄRMENETZEN

Claudia Weißmann, Patrick Wörner

In Nahwärmenetzen ist die installierte Leistung des zentralen Wärmeerzeugers so auszulegen, dass die maximale Wärmelast des zu versorgenden Quartiers jederzeit bedient werden kann. Eine hohe Diversität unter den thermischen Lastprofilen der individuellen Quartiersgebäude gleicht den Einfluss einzelner Spitzenlasten aus und führt somit insgesamt zu einer niedrigeren notwendigen Nennleistung der zentralen Anlage. Dies optimiert sowohl Energieeffizienz als auch Investitionskosten. Der Hintergrund zu dieser Annahme ist in Abbildung 1 dargestellt: Bei einer Vielzahl von Gebäuden innerhalb des Quartiers fallen die Zeitschritte mit der jeweiligen Spitzenlast üblicherweise auseinander. Folglich ist die maximale thermische Gesamtlast des Quartiers (QL) niedriger als die Summe der individuellen Spitzenlasten (SIL).

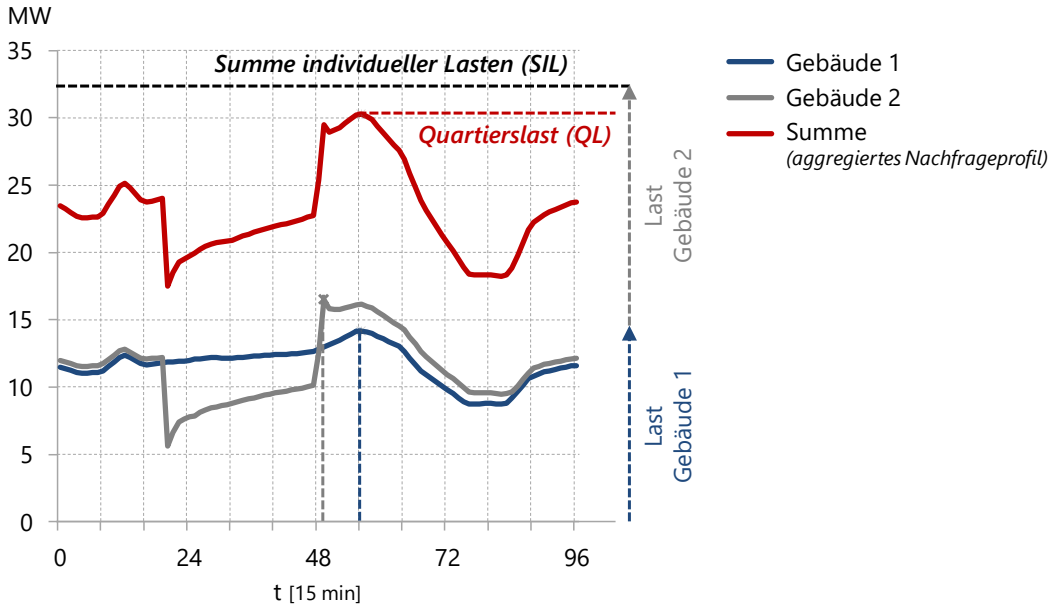


Abbildung 1: Summe individueller Lasten (SIL) und Quartierslast (QL)

Um diesen theoretischen Vorteil eines Nahwärmenetzes zu quantifizieren, lässt sich mithilfe des Indikators *Spitzenlastverhältnis (SLV)* die prozentuale Reduktion der maximalen Quartierslast im Vergleich zur Summe der individuellen Spitzenlasten der Einzelgebäude ermitteln. Auf diese Weise wird der Einfluss gebäude- und nutzerbezogener Eigenschaften auf das thermische Gesamtlastprofil des Quartiers analysiert. Die Ergebnisse wurden auf der internationalen *IBPSA Building Simulation 2017* Konferenz in San Francisco vorgestellt. (1)

Basierend auf 144 individuellen thermischen Lastprofilen, die mit der dynamischen Gebäudesimulationssoftware IDA ICE entwickelt wurden, lässt sich der SLV-Indikator auf fiktive Testquartiere anwenden. Eine beispielhafte Kombination dieser Profile erreicht einen SLV von 15 %. Im Fall eines Nahwärmenetzes impliziert dies eine Reduktion der zu installierenden Kapazität um 15 % verglichen zu einem Quartier mit dezentralen Wärmeerzeugern in den Einzelgebäuden. Weitere Untersuchungen zeigen, dass sich der SLV generell erhöht, wenn Gebäude, die konform zu den Maßgaben der EnEV 2016 errichtet werden, zu einem Quartier mit Bestandsgebäuden hinzugefügt werden oder wenn Mehrfamilienhäuser ein Quartier mit Einfamilienhäusern ergänzen. Des Weiteren steigt der SLV in den meisten Fällen an, wenn ein Quartier um Gebäude mit abweichenden Nutzungsprofilen erweitert wird. Daneben hat auch die Temperaturregelung (z.B. Nachtabsenkungen) einen deutlichen Einfluss. Um den beschriebenen Vorteil der Kapazitätsreduktion dem praktischen Nachteil der Verteilungsverluste gegenüberzustellen, werden die Ergebnisse der SLV-Analyse im Rahmen eines Nahwärme-Simulationsmodells angewendet. Das Resultat zeigt, dass insbesondere in Quartieren mit einer hohen Nutzeranzahl je Gebäude sowie mit Gebäuden nach aktuellen energetischen Anforderungen der Vorteil der Lastdiversität ausgenutzt werden kann. Dennoch sind die Wärmeverluste innerhalb des Verteilnetzes nicht zu vernachlässigen. (2)

(1) Weissmann, C; Wörner, P.; Hong, T. (2017): Analysis of heating load diversity and application in a district heating system, In: Proceedings of the 15th IBPSA Conference (Building Simulation 2017), 7.-9. August 2017, San Francisco, CA, S. 11-20, ISBN: 978-0-692-89710-2.

(2) Weissmann, C; Hong, T.; Graubner, C.-A. (2017): Analysis of heating load diversity in German residential districts and implications for the application in district heating systems, In: Energy and Buildings, Vol. 139, 2017, Elsevier, Amsterdam, S. 302-313, DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.12.096.

KOPPLUNG DER ENERGIESEKTOREN IM GEBÄUDEKONTEXT MITTELS POWER-TO-GAS

Patrick Wörner

Bis zum Jahr 2050 soll sektorenübergreifend mindestens 60 % des deutschen Bruttoendenergieverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt werden. Während der Ausbau regenerativer Stromerzeuger voranschreitet, beträgt der erneuerbare Anteil in den von fossilen Energieträgern geprägten Sektoren Wärme und Verkehr derzeit nur 13 % bzw. 7 %. (1) Daneben wird mit einem weiteren Zuwachs der regenerativen Stromerzeugung aus fluktuierender Sonnen- und Windenergie der Stromspeicherbedarf sowohl zentral als auch dezentral stark ansteigen. Weil Gebäude eine wesentliche Schnittstelle zwischen dem Strom-, Wärme- und Verkehrssektor besetzen, rücken Energieerzeugung und -verbrauch im Kontext von Gebäuden und Quartieren in den Fokus, denn sie bieten zahlreiche Ansatzpunkte zur Aufnahme von Stromüberschüssen und zur Erhöhung des erneuerbaren Anteils.

In diesem Zusammenhang erweist sich *Power-to-Gas (P2G)* als eine erfolgversprechende Technologie, da sie neben verschiedensten Nutzungspfaden auch eine Langzeitspeicherung von Strom erlaubt. Außerdem ermöglichen P2G-Anlagen im Sinne der Netzdienlichkeit einen Ausgleich von Prognosefehlern und eignen sich als flexible Verbraucher zur Erbringung von Regelleistung. Am Anfang einer Prozesskette wird hierfür zunächst mit regenerativ erzeugten Stromüberschüssen Wasserstoff (H_2) mittels Wasserelektrolyse produziert:

$$2\,H_2O \rightarrow 2\,H_2 + O_2 \qquad \Delta H_R^0 = +572\,kJ/mol \tag{a}$$

Unter Zugabe von Kohlenstoffdioxid (CO_2), z.B. aus Biogasanlagen, Klärwerken oder CO_2-Abscheidungen in Kohlekraftwerken, ist in einem nachfolgenden Schritt eine chemische Reaktion zu Methan (CH_4) möglich:

$$4\,H_2 + CO_2 \rightarrow\ CH_4 + 2\,H_2O \qquad \Delta H_R^0 = -165\,kJ/mol \tag{b}$$

Im Anschluss kann Methan unbegrenzt in das öffentliche Gasnetz eingespeist werden und somit die bestehende Versorgungsinfrastruktur nutzen. Bei Wasserstoff ist hingegen eine Beimischungsgrenze von 2-5 % einzuhalten. Beide Produktgase lassen sich komprimiert in Tankbehältern oder Kavernenspeichern mehrere Monate vorhalten, bis sie in Zeiten eines erhöhten Energiebedarfs rückverstromt werden. Bei der Wandlung von H_2 in einer Brennstoffzelle bzw. der Verbrennung von CH_4 in einem Blockheizkraftwerk wird auch Wärme freigesetzt, die zur Deckung des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs von Gebäuden abgeschöpft werden kann. Im Fall von Methan ist wie bei der Redox-Reaktion von Wasserstoff ein emissionsfreier Kreislauf denkbar, sofern ausgestoßenes CO_2 gespeichert und später wieder dem Methanisierungsreaktor zugeführt wird. (2)

Die P2G-Technologie befindet sich noch im Entwicklungsstadium und wird vor allem im Hinblick auf einzelne Komponenten in einer Reihe von Demonstrationsvorhaben untersucht. In der Praxis verhindert jedoch die geringe Kosteneffizienz wegen hoher spezifischer Investitionskosten und fehlender Umlagebefreiungen den Durchbruch synthetischer Gase. Zurzeit bietet lediglich der Verkehrssektor Ansatzpunkte für eine Markteinführung, weil hier aufgrund von Mineralölsteuern vergleichsweise hohe Absatzpreise erzielbar sind. (3) Dabei würde die verstärkte Nutzung in der Mobilität letztlich auch zu sektorenübergreifenden Optimierungen des Gesamtwirkungsgrads führen. Ferner sollten kombinierte Lösungen mit einer möglichst effizienten Abwärmenutzung erprobt werden, denn bereits bei Elektrolyse und Methanisierung entstehen Temperaturniveaus, die sich für eine Integration in Nahwärmenetze eignen. Quartiere bergen auf diese Weise enorme Synergieeffekte.

(1) European Commission (2017): EU Energy in Figures: Statistical Pocketbook 2017. Publications Office of the European Union, Luxembourg, S. 120 f.

(2) Sterner, M.; Stadler, I. (2017): Energiebedarf – Bedarf, Technologien, Integration. 2. Aufl., Springer Vieweg, Berlin [u.a.], S. 449 ff.

(3) Zapf, M. (2017): Stromspeicher und Power-to-Gas im deutschen Energiesystem. Rahmenbedingungen, Bedarf und Einsatzmöglichkeiten. 1. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden, S. 251 ff.