

HOCHSCHULPREIS

des Bayerischen Baugewerbes



Wettbewerbsbeiträge **2020**

IMPRESSUM

Herausgeber

Stiftung Berufsförderung Bayerisches Baugewerbe
Bavariaring 31 | 80336 München
Telefon +49 89 76 79 - 0 Telefax +49 89 76 79 - 154

info@lbb-bayern.de | www.lbb-bayern.de

Mit Beiträgen von:

Daniel Auer • Daniel Ballmann • Henrik Gutsch • Philipp Hofmann • Anthea Jaitner • Sabrina Schmidt •
Alexander Dominik Schunn • Andre Strotmann

Redaktion

RA Andreas Demharter (verantwortlich)

Gestaltungskonzept, Layout und Realisation

Landesverband Bayerischer Bauinnungen
Bavariaring 31 | 80336 München
Telefon +49 89 76 79 - 0 Telefax +49 89 76 79 - 154

info@lbb-bayern.de | www.lbb-bayern.de

Bildquellen

Autoren, falls nicht abweichende Angabe am jeweiligen Bild

Druck

Druck + Verlag Ernst Vögel GmbH Kalvarienbergstraße 22 | 93491 Stamsried www.voegel.com

München, April 2020

VORWORT

Die Stiftung Berufsförderung Bayerisches Baugewerbe schreibt jährlich den Hochschulpreis des Bayerischen Baugewerbes aus. Herausragende Bachelor- und Masterarbeiten der Fachrichtung Bauingenieurwesen mit hohem Praxisbezug für die Anwendung in Unternehmen der klein- und mittelständisch geprägten Bauwirtschaft werden ausgezeichnet. Der Preis wird 2020 zum zwölften Mal vergeben. Aufgrund der Corona-Pandemie musste die Preisverleihungsfeier im Oskar von Miller Forum in München abgesagt werden.

In der vorliegenden Veröffentlichung werden die Arbeiten, die 2020 für die Teilnahme am Hochschulpreis ausgewählt wurden, in der von den Verfassern gelieferten Zusammenfassung in alphabetischer Reihenfolge herausgegeben. Zu jeder Arbeit gibt es ergänzende Informationen zu Verfasser, Betreuer und Auszeichnung.

In diesem Jahr wurden insgesamt acht Bachelor- und Masterarbeiten von

- der Technischen Universität München (TUM)
- der Universität der Bundeswehr München (UniBwM)
- der Hochschule für angewandte Wissenschaften München (HAW München)
- der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt (HAW Würzburg) und
- der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg (OTH)

eingereicht. Aus den acht Arbeiten hat der Wettbewerbsausschuss entschieden, zwei Arbeiten mit einem Geldpreis und sechs Arbeiten mit einer Teilnahmeurkunde auszuzeichnen.

Mit dem 1. Preis wurde Herr Henrik Gutsch für seine Bachelorarbeit „Untersuchungen zu den Schwindeigenschaften von Infra-Leichtbetonen“ ausgezeichnet.

Den 2. Preis erhielt Frau Anthea Jaitner mit ihrer Bachelorarbeit „Rissinjektion mit feuchteverträglichen Epoxidharzen und kraftschlüssigen Polyurethanen an Betonprobestkörpern“.

Der 3. Preis wurde nicht vergeben.

Zur Begründung:

Dem Auslober des Wettbewerbs geht es neben der wissenschaftlichen Qualität und dem baugewerblichen Nutzen der Arbeiten insbesondere um eine verständliche und nutzenorientierte Darstellung der Arbeitsergebnisse. Daher werden insbesondere die Qualität der Zusammenfassungen und Poster sowie die transparente Nachvollziehbarkeit der so stark gekürzten Arbeitsergebnisse aus der Bachelor-/ Masterarbeit bewertet. Auch der angemessene Umfang der Arbeit und ein ausgewogenes Verhältnis zu den ECTS-Punkten werden berücksichtigt. Die Arbeiten von Frau Jaitner und Herrn Gutsch konnten diesen Anforderungen in preiswürdiger Weise genügen.

Der Wettbewerbsausschuss:

Benedikt Baumann

Georg Gerhäuser

Prof. Dr.-Ing. Thomas Neidhart

Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann

Thomas Schneider

Ricarda Sposito

Olaf Techmer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl-Christian Thienel

Inhaltsverzeichnis

Daniel Auer , Master´s Thesis, Bestimmung von zentrischen Nachrisszugfestigkeit von Stahlfaserbetonen aus Biegezugversuchen unter Anwendung von B-Splines	Seite 3
Daniel Ballmann , Master´s Thesis, Herleitung und Quantifizierung der Bedienungs-, Inspektions- und Wartungsleistungen – von Büro- und Wohnimmobilien	Seite 8
Henrik Gutsch , Bachelorarbeit, Untersuchungen zu den Schwindeigenschaften von Infra-Leichtbetonen	Seite 13
Philipp Hofmann , Bachelorarbeit, Nachtragskalkulation im Zuge des neuen Bauvertragsrechts im Vergleich zur VOB/B	Seite 18
Anthea Jaitner , Bachelorarbeit Rissinjektion mit feuchteverträglichen Epoxidharzen und kraftschlüssigen Polyurethanen an Betonprobekörpern	Seite 23
Sabrina Schmidt , Bachelorarbeit, Verschwendungsanalyse am Beispiel Tunnel Vötting: Testlauf einer Anwendungssoftware von Wayss & Freytag	Seite 28
Alexander Dominik Schunn , Bachelorarbeit, Modellorientierte Bauabrechnung Anwendung und Vergleich der modellorientierten und konventionellen Abrechnung	Seite 33
Andre Strotmann , Master´s Thesis, Instandsetzung und/oder Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mittels dünner UHPFRC-Schichten	Seite 38

GANZHEITLICHER ANSATZ EINER INVERSEN ANALYSE ZUR BESTIMMUNG DES RISSBREITENABHÄNGIGEN TRAGVERHALTENS VON STAHLFASERBETONEN AUF BASIS PARAMETRISCHER B-SPLINES

Masterarbeit

Daniel Auer

Grundlage realitätsnaher numerischer Berechnungen ist die Kenntnis des Betontragverhaltens unter einaxialer Druck- und Zugbeanspruchung. Insbesondere das Verhalten unter Zugbeanspruchung ist bei Stahlfaserbetonen gegenüber unbewehrtem Beton aufgrund seiner ausgeprägten Nachrisszugfestigkeit von besonderer Bedeutung. Im vorliegenden Beitrag wird ein Algorithmus zur Ermittlung der zentrischen Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehung von Stahlfaserbeton vorgestellt. Als Eingangswert dient eine aus Biegezugversuchen erhaltene Kraft-Rissöffnungs-Kurve. Im Rahmen einer inversen Analyse wird das Zugtragverhalten unter Anwendung von B-Splines bestimmt, die aufgrund der variablen Kombination der Kontrollpunktanzahl und des Polynomgrades eine hohe Approximationsgüte ermöglichen. Beispielhaft wird anschließend der entwickelte Algorithmus durch numerische Nachrechnungen von experimentell durchgeführten, gekerbten 3-Punkt-Biegezugversuchen aus Stahlfaserbetonen validiert. Mit der gewonnenen konstitutiven Beziehung kann eine sehr gute Übereinstimmung zwischen simuliertem und experimentell beobachtetem Betontragverhalten gezeigt werden.

Keywords: Stahlfaserbeton, Nachrisszugfestigkeiten, Finite-Elemente Methode, Materialmodell

Inverse Analyse

Bei einaxialen Zugversuchen ergeben sich zur Bestimmung der zentrischen Nachrisszugfestigkeit meist aus der Gewährleistung einer zentrischen Lasteinleitung sowie der Ausführung der Lagerungsart der Versuchskörper Schwierigkeiten [1,2]. Um diese Probleme zu umgehen, haben sich in der Baustoffprüfung national wie international aufgrund der robusteren

und weniger fehleranfälligen Versuchsdurchführung 3-Punkt- und 4-Punkt-Biegezugversuche an Balken durchgesetzt. Die zentrische Nachrisszugfestigkeit kann bei diesen Versuchen jedoch nur indirekt anhand einer iterativen Rückrechnung - einer sogenannten inversen Analyse - bestimmt werden, wodurch in der Versuchsauswertung im Vergleich zu axialen Zugversuchen ein erhöhter Aufwand resultiert.

Als inverse Analyse werden in den Ingenieurwissenschaften Problemstellungen bezeichnet, bei denen von der beobachteten Wirkung eines Systems auf deren zugrundeliegende Ursache rückgeschlossen werden soll [3,4]. Übertragen auf den vorliegenden bruchmechanischen Kontext bedeutet dies, dass ausgehend von der aus einem Biegezugversuch gemessenen Kraft-Rissöffnungs-Kurve als Wirkung die Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehung des Stahlfaserbetons als Ursache abgeleitet werden soll. Die Aufgabe der inversen Analyse besteht folglich darin, bei Kenntnis der Druckspannungs-Stauchungs-Beziehung die im Rissquerschnitt vorliegende Zugspannungsverteilung des Stahlfaserbetons für beliebige Rissöffnungszustände iterativ zu bestimmen und daraus letztendlich die gesuchte Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehung abzuleiten. Mittels eines bruchmechanischen Ersatzmodells (z. B. aus [5]) oder eines Finite-Elemente-Modells erfolgt unter Annahme einer konstitutiven Beziehung die Berechnung der Kraft-Rissöffnungs-Kurve und anschließend deren Vergleich mit der experimentellen Kurve. Unter Berücksichtigung eines festgelegten Toleranzkriteriums wird dieser Ablauf unter Anpassung der Nachrisszugfestigkeit wiederholt, bis die experimentellen mit den numerischen Ergebnissen hinreichend genau übereinstimmen.

Algorithmus zur Bestimmung der Zugspannungs – Rissöffnungs – Beziehung

In der Vergangenheit wurden bereits zahlreiche Verfahren zur Durchführung von inversen Analysen entwickelt. Der Großteil dieser Verfahren verwendet entweder polylineare Ansätze (z. B. [6,7]) oder mit wenigen Parametern variierbare, nichtlineare Funktionen (z. B. [5,8]) zur Beschreibung der zu identifizierenden Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehung. Im Folgenden wird ein Ansatz vorgestellt, der es erlaubt nichtlineare Zugspannungs-Rissöffnungs-

Beziehungen mittels B-Splines beliebigen Polynomgrades unter Variation sogenannter Kontrollpunkte zu beschreiben. Als Eingangsgrößen des Ansatzes ist lediglich die Kenntnis der Betondruckfestigkeit, des Elastizitätsmoduls sowie der Betonstauchung bei Erreichen der Betondruckfestigkeit erforderlich. Im Folgenden werden die mathematischen Grundlagen parametrischer Basisfunktionen behandelt, um anschließend Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehungen möglichst flexibel beschreiben zu können.

Mathematische Grundlagen

Zur Definition von n B-Spline Basisfunktionen $S_{i,p}(\xi)$ des Polynomgrades p muss ein Knotenvektor Ξ gemäß Gleichung (1) eingeführt werden, welcher den parametrischen Raum $\xi \in [0,1]$ in $(m-1)$ Intervalle von $[\xi_l, \xi_{l+1}]$ mit $l = 1, \dots, (m-1)$, auch Knotenspanne genannt, zerlegt [9]. Die Einträge ξ_l des Knotenvektors Ξ werden Knoten genannt, die den Beginn und das Ende eines Knotenspanns beschreiben, sofern sich die aufeinanderfolgenden Knoten unterscheiden, also $\xi_l \neq \xi_{l+1}$. Der erste Eintrag ξ_1 entspricht dem Beginn des Parameterraums, der letzte Eintrag des Knotenvektors ξ_m dem Ende des Parameterraums [10]. Die Knoten müssen dabei positive Zahlen beschreiben und in nicht absteigender Reihenfolge geordnet sein. Die Anforderung der nicht absteigenden Reihenfolge impliziert, dass mehrere konsekutive Knoten den gleichen Wert besitzen dürfen. Allgemein üblich ist die Begrenzung des Parameterraums auf $\xi \in [0,1]$.

$$\Xi = [\xi_1 \quad \xi_2 \quad \xi_3 \quad \dots \quad \xi_l \quad \dots \quad \xi_{m-1} \quad \xi_m] \quad (1)$$

Aufgrund der rekursiven Bildungsvorschrift entsprechend Gleichung (2) sind zum Erhalt von n Basisfunktionen des Polynomgrades p anfänglich $(n+p)$ konstante Basisfunktionen nach Gleichung (3) notwendig, die in den $(n+p)$ Knotenspannen definiert sind. Die $(n+p)$ Knotenspannen werden durch $m = (n+p+1)$ Knoten begrenzt („off by one error“).

Für $p \geq 1$ ergibt sich die Basisfunktion $S_{i,p}(\xi)$ mit $1 \leq i < (m-p)$ aus der Linearinterpolation der zwei Basisfunktionen $S_{i,p-1}(\xi)$ und $S_{i+1,p-1}(\xi)$ des Polynomgrades $(p-1)$, wodurch die Basisfunktion $S_{i,p}(\xi)$ in den durch die Knoten ξ_i und ξ_{i+p+1} begrenzten Knotenspannen definiert wird.

$$S_{i,p}(\xi) = \left[\frac{\xi - \xi_i}{\xi_{i+p} - \xi_i} \right] \cdot S_{i,p-1}(\xi) + \left[\frac{\xi_{i+p+1} - \xi}{\xi_{i+p+1} - \xi_{i+1}} \right] \cdot S_{i+1,p-1}(\xi) \quad (2)$$

Die B-Spline Basisfunktion $S_{i,p}(\xi)$ für $p = 0$ ist eine konstante Funktion, die im Knotenspann $\xi \in [\xi_i, \xi_{i+p+1}]$, also $\xi \in [\xi_i, \xi_{i+1}]$ als $S_{i,p}(\xi) = 1$ definiert ist. Außerhalb dieses Bereichs ist die Funktion als $S_{i,p}(\xi) = 0$ definiert [11].

$$S_{i,0}(\xi) = \begin{cases} 1 & \xi \in [\xi_i, \xi_{i+1}] \\ 0 & \xi \notin [\xi_i, \xi_{i+1}] \end{cases} \quad (3)$$

Abb. 1 zeigt Gleichung (2) für die Parameter $n = 6$ und $p = 3$ ausgewertet.

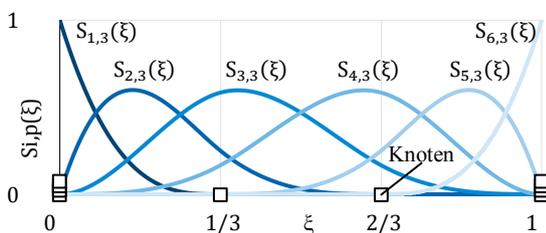


Abb. 1: $n = 6$ B-Splines des Polynomgrades $p = 3$ mit uniform verteiltem Knotenvektor \mathcal{E}

Gegeben sei eine parametrische Kurve $m(\xi)$ nach Gleichung (4), die das Äquivalent zur Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehung $\sigma(w)$ darstellt. $m(\xi)$ verläuft in Richtung der Rissöffnung w streng monoton, sodass für alle Kontrollpunktkoordinaten $w_i < w_{i+1}$ gilt.

$$\sigma(w) = m(\xi) = \left[\frac{\sigma(\xi)}{w(\xi)} \right] = \sum_{i=1}^n S_{i,p}(\xi) \cdot \left[\frac{\sigma_i}{w_i} \right] \quad (4)$$

Abb. 2 zeigt beispielhaft die Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehung $\sigma(w)$ mit $w \in [0, w_{cr}]$ und zugleich durch Wechsel des Betrachtungsraums die Spannungsverteilung $\sigma(z_3)$ mit $z_3 \in [0, l_{cr}]$ über das Rissufer der Länge

l_{cr} bei einem Riss der Breite w_{cr} auf der Sekundärachse oben. Ebenso ist die resultierende Stahlfaserzugkraft F_{ft} und deren Abstand z_{ft} zur Risswurzel dargestellt.

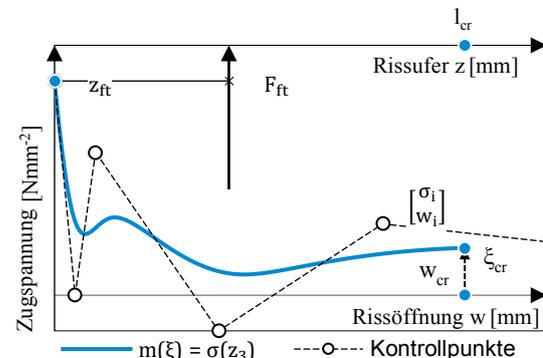


Abb. 2: . Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehung $m(\xi)$ bei parametrischer Rissbreite ξ_{cr} und Spannungsverteilung im Riss $\sigma(z)$ der Breite w_{cr} und Länge l_{cr}

Ziel der inversen Analyse ist es, die Koordinaten σ_i und w_i der n Kontrollpunkte der Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehung vom Polynomgrad p so zu bestimmen, dass für alle Nachrechnungspunkte k_{nr} am bruchmechanischen Ersatzmodell eine minimale Diskrepanz zwischen experimentell gemessener Tragfähigkeit $F_{exp,k}$ und numerisch simulierter Tragfähigkeit $F_{num,k}$ entsteht.

Numerische Untersuchungen zur Validierung des Algorithmus mittels FEM

Um zu überprüfen, inwieweit das globale Tragverhalten und lokale Charakteristika einzelner, im Gegensatz zu Mittelwertkurven wenig glatten, Biegezugversuche mit dem entwickelten Ansatz erfasst und letztendlich mit der FEM abgebildet werden können, wurde aus der Versuchsserie V-2 (0,50 Vol.-% Dramix 5D) der Balken B1 nachgerechnet. Hierzu wurde die kommerzielle Finite – Elemente-Software ABAQUS Unified FEA in der Version 2017 der Dassault Systèmes SE verwendet.

Abb. 4 zeigt den Vergleich der experimentellen Messergebnisse der Biegezugversuche (blau) mit den Ergebnissen der mit dem entwickelten Finite-Elemente-Modell nachgerechneten Simulation

(schwarz) des 3-Punkt-Biegezugversuche in Form von Kraft-Rissöffnungs-Verläufen. Es wird deutlich, dass mit den gewonnenen Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehungen (vgl. Abb. 3) sowohl das Traglastniveau als auch das Verformungsverhalten der Biegezugbalken im ansteigenden Ast und im gesamten Nachbruchbereich mit sehr guter Übereinstimmung erfasst werden kann. Unabhängig vom gewählten Fasergehalt und Fasertyp können die Versuchskurven (Mittelwerte und Einzelmessungen) mit hoher Genauigkeit numerisch abgebildet werden.

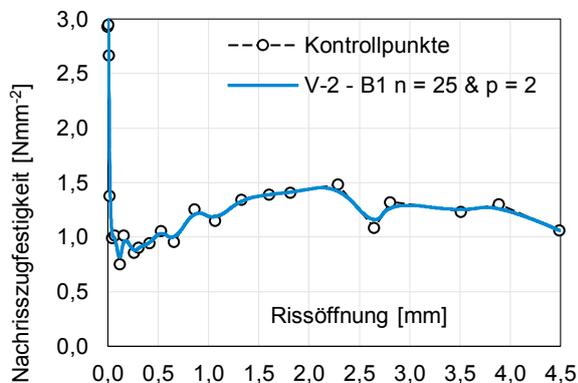


Abb. 3: Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehung für Versuchsnachrechnungen V-2 - B1 unter Variation der Anzahl der Kontrollpunkte n (hier: 25) und des Polynomgrades p (hier: 2)

Im Abb. 4 (Mitte, unten) sind die oben mit a) und b) gekennzeichneten Detailauszüge der Kraft-Rissöffnungs-Kurve dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass mit den abgeleiteten Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehungen nach Abb. 3 sowohl Krümmungswechsel im Kurvenverlauf (vgl. a)) als auch ein schlagartiger Lastabfall (vgl. b)) bei der numerischen Nachrechnung in hoher Qualität erfasst werden können. In a) zeigt sich dennoch ein geringer Versatz zwischen der numerischen und der experimentellen Kurve, jedoch liegt der relative Fehler mit unter einem Prozent in einem zu vernachlässigenden Bereich.

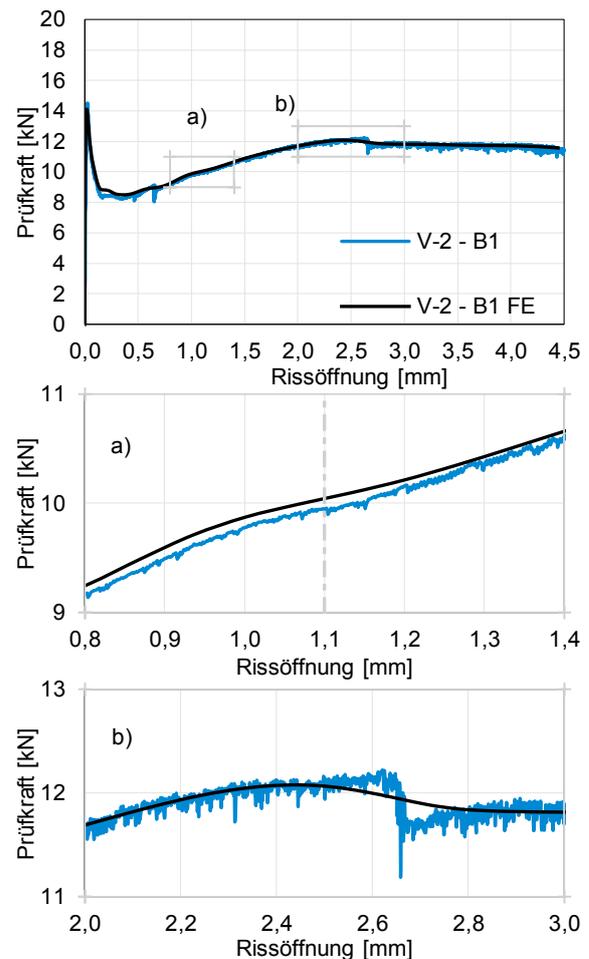


Abb. 4: Vergleich des experimentell und numerisch berechneten Prüfkraft-CMOD-Verlaufs des Versuchs B1 aus V-2 mit Detailauszügen a) und b)

Fazit

Zusammenfassend lässt sich auch in der Detailbetrachtung die nahezu exakte Übereinstimmung zwischen experimentellen und numerischen Ergebnissen bestätigen. Es gelingt mit dem entwickelten Algorithmus das Tragverhalten der Stahlfaserbetonprüfkörper präzise abzubilden. Durch eben jene realitätsnahe Beschreibung des Bauteilverhaltens unter Belastung kann das Potential des Materials besser genutzt werden, wodurch aufgrund eines geringeren Materialeinsatzes wirtschaftliche und ökologische (CO_2 -Ausstoß bei Zementherstellung) Vorteile entstehen.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: Wille, K.; El-Tawil, S.; Naaman, A.E.: Properties of strain hardening ultra high performance fiber reinforced concrete (UHP-FRC) under direct tensile loading. In: Cement and Concrete Composites 48 (2014), S. 53-66
- [2]: Leutbecher, T.; Rebling, J.-F.: Experimentelle Untersuchungen zur Ableitung der zentrischen Nachrisszugfestigkeit von UHFB aus Biegeversuchen. In: Bauingenieur 93 (2018), Heft 11, S. 463-472.
- [3]: Richter, M.: Inverse Probleme. Springer-Verlag, Berlin, 2015.
- [4]: Maier, G.; Bocciarelli, M.; Bolzon, G. et al.: Inverse analyses in fracture mechanics. In: Carpinteri, A.; Mai, Y.-W.; Ritchie, R.O. (Hrsg.): Advances in Fracture Research. Springer-Verlag, Dordrecht, 2006, S. 47-73.
- [5]: Strack, M.: Modellbildung zum rissbreitenabhängigen Tragverhalten von Stahlfaserbeton unter Biegebeanspruchung. Bochum, Ruhr-Universität Bochum, Dissertation, 2007.
- [6]: Bretschneider, N.: Inverse Analyse zur Ermittlung der bruchmechanischen Eigenschaften entfestigender und verfestigender zementgebundener Werkstoffe. Dresden, Technische Universität Dresden, Dissertation, 2011.
- [7]: Oettel, V.; Matz, H.; Empelmann, M.: Bestimmung der zentrischen Nachrisszugfestigkeit von UHPFRC mithilfe gekerbter 3-Punkt-Biegezugversuche. In: Beton- und Stahlbetonbau 114 (2019), Heft 4, S. 255-264.
- [8]: Gödde, L.: Numerische Simulation und Bemessung von Flächentragwerken aus Stahlfaserbeton sowie stahlfaserverstärktem Stahl- und Spannbeton. Bochum, Ruhr-Universität Bochum, Dissertation, 2013.
- [9]: Piegl, L.; Tiller, W.: The NURBS Book. Springer-Verlag, Berlin, 1995.
- [10]: Patrikalakis, N.M.; Maekawa, T.: Shape Interrogation for Computer Aided Design and Manufacturing. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [11]: Boor, C. de: A Practical Guide to Splines. Springer-Verlag, New York, 2001.

Autor

Daniel Auer, M.Sc.

seit 2019 wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität München

Betreuer

Die Arbeit wurde am Lehrstuhl für Massivbau (Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer) der Technischen Universität München unter Betreuung von Josef Landler, M.Sc. angefertigt. Die wesentlichen Erkenntnisse der Masterarbeit wurden im Rahmen eines Review-Verfahrens wissenschaftlich begutachtet und als Hauptaufsatz in der Fachzeitschrift „Bauingenieur“ veröffentlicht.

- [12]: Auer, D.; Landler, J.; Fischer, O.: Bestimmung der zentrischen Nachrisszugfestigkeit von Stahlfaserbetonen aus Biegezugversuchen unter Anwendung von B-Splines. In: Bauingenieur 94 (2019), Heft 11, S. 451-460.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

HERLEITUNG UND QUANTIFIZIERUNG DER BEDIENUNGS-, INSPEKTIONS- UND WARTUNGSLEISTUNGEN VON BÜRO- UND WOHNIMMOBILIEN

Master's Thesis

Daniel Ballmann

Die Instandhaltung leistet einen essentiellen Beitrag zur Bewirtschaftung einer Immobilie. Dabei kommen den Instandhaltungsgrundmaßnahmen der Bedienung, der Inspektion und der Wartung vor dem Hintergrund eines nachhaltigen und störungsfreien Objektbetriebes bedeutende Stellenwerte zugute. Der Betreiber einer Immobilie sollte sich jederzeit im Klaren über die Pflichten und Inhalte dieser Leistungen sein, um Haftungsrisiken zu vermeiden und betriebliche Kostenoptimierungen zu ermöglichen. Die vorliegende Arbeit dient der Herleitung und Quantifizierung der Bedienungs-, Inspektions- und Wartungsleistungen von Büro- und Wohnimmobilien unter Berücksichtigung der Literatur und der rechtlichen Rahmenbedingungen. Ziel ist es, den Eigentümern und Objektbetreibern potentielle Stellschrauben zur Kostenreduktion im Gebäudebetrieb aufzuzeigen sowie einen Leistungskatalog zum rechtlich konformen Objektbetrieb zur Verfügung zu stellen.

Keywords: Hochschulpreis, Baugewerbe, Immobilienmanagement, Betreiberpflicht, Instandhaltung, Objektbetrieb, Betriebskosten, Nutzer, Kostenoptimierungspotenziale, rechtliche Rahmenbedingungen

Einleitung und Motivation

Die Lebenszykluskosten einer Immobilie umfassen alle Kosten beginnend von der ersten Idee, bis hin zur Verwertung eines Objektes. Bei genauerer Betrachtung des Lebenszyklus wird allerdings deutlich, dass bei handelsüblichen Immobilien die Kosten der Betriebs- und Nutzungsphase die Kosten der Projektentwicklung und -realisierung deutlich übersteigen. Neben sämtlichen Betriebstätig-

keiten, die die Kernaufgabe der Immobilie im Sinne des Funktionsbetriebes bilden, gibt es eine Vielzahl an Aufgaben, welche nicht die eigentliche Funktion erfüllen. Als einer der Bestandteile des Objektbetriebes kommt der Instandhaltung eine bedeutende Rolle in der Immobilienbewirtschaftung zu.¹ Das heutige wirtschaftliche Denken und das rechtliche Handeln rufen zu einem Paradigmenwechsel angesichts des gegenwärtigen Instandhaltungsgedankens auf. Dabei liegt der Fokus der wirtschaftlichen

Betrachtung auf der prozessorientierten Kostensenkung unter gleichzeitiger Gewährleistung einer hohen betrieblichen Qualität. Zusätzlich zeichnet sich die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben und die damit verbundene Vermeidung von Haftungsrisiken auf einem rechtlichen Hintergrund ab. Basierend auf dieser Ausgangssituation stellt sich vielen Objektbetreibern und Eigentümern die Frage nach den Inhalten einer nachhaltigen, rechtlich konformen und wirtschaftlich optimierten Instandhaltung zum Werterhalt ihrer Immobilie.

Forschungsgegenstand, Methodik, Zielsetzung

Um eine Antwort auf diese Frage zu liefern, setzt sich diese Master's Thesis mit den der Nutzungskostengruppe 350 der DIN 18960 zugrundeliegenden Bedienungs-, Inspektions- und Wartungsleistungen von Büro- und Wohnimmobilien auseinander. Das Ziel der Arbeit ist es, die Leistungen der zu bedienenden, zu inspizierenden und zu wartenden Baukonstruktionen und technischen Anlagen erschöpfend und unter Berücksichtigung der Literatur sowie der rechtlichen Rahmenbedingungen herzuleiten und in einer klaren Struktur darzustellen. Überdies wird mit der Ausarbeitung intendiert, die Ergebnisse der Herleitung empirisch zu quantifizieren und in Abhängigkeit ihrer maßgebenden Einflussgrößen darzustellen. Der regressiven Auswertungsmethodik liegen dabei 67 Objekte institutioneller Büro- und Wohnimmobilienfonds zugrunde. Die Ausarbeitungsstruktur orientiert sich an den Inhalten der DIN 18960 als auch der DIN 276-1.

Inhalte der Arbeit

Bereits mit der Ausarbeitung der Immobiliengrundlagen im ersten Schritt zeigt sich, dass eine Immobilie aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet und beschrieben werden kann. Dieser Sachverhalt widerspiegelte sich in der Herleitung der Bedienungs-, Inspektions- und Wartungsleistungen einer Wohn- und Büroimmobilie. Mit der Immobilie als Unikat geht eine unmögliche Pauschalisierung der Leistungen einher. Bedingt durch diverse Einflussfaktoren wie z.B. dem Baujahr, der Nutzungsart sowie der Höhe eines Gebäudes, weist jedes Objekt eine unterschiedliche Gebäudesubstanz und damit verschiedene Anforderungen an die Instandhaltung auf. Um eine erschöpfende Zusammenstellung der individuellen Bedienungs-, Inspektions- und Wartungsleistungen zu ermöglichen, wurde auf der Basis rechtlicher Auflagen und normativer Anforderungen ein Herleitungsmodell entwickelt, welches jedem Leistungsgegenstand als Eingangsgröße eines iterativen Prozesses zugrunde lag. Aus der Herleitung resultieren 79 Leistungsgegenstände und Leistungen, welche z.T. weitere Bedienungs-, Inspektions- und Wartungsleistungen subsumieren.

Für die Darstellung der Ergebnisse wurden Leistungskarten entworfen, die es dem Betreiber bzw. Eigentümer einer Immobilie ermöglichen anhand eines Baukastensystems die individuellen Leistungsbilder der Immobilie zu identifizieren und zu implementieren. Den Inhalt einer jeden Leistungskarte prägen, neben der Darstellung der Bedienungs-, Inspektions- und Wartungsleistungen, die Angabe der rechtlich geforderten oder normativ empfohlenen Wiederholungsintervalle, die vorausgesetzte Personalqualifikation zur Durchführung der Maßnahmen, die Verweisung auf die maßgebenden Literatur sowie die Zuweisung des Leistungsgegenstandes bzw. der Leistung nach den Strukturen der DIN 276-1 und DIN 18960.

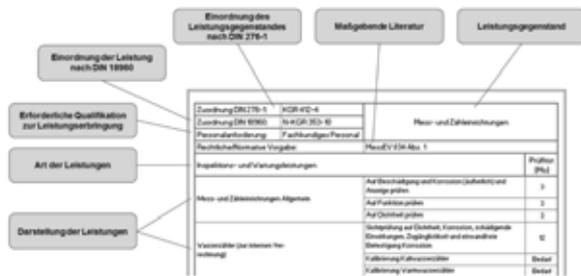


Abb. 1: Einführung in die Leistungskartei

Im Anschluss an die Herleitung erfolgt die empirische Untersuchung der Betriebskosten basierend auf den vorliegenden Objektkosten. Dabei handelt es sich um 67 Objekte aus dem Büro- und Wohnimmobilienbereich. Der Fokus der Auswertung liegt auf der Identifikation der maßgebenden, einflussnehmenden Objekteigenschaften in Bezug auf die zuvor hergeleiteten Bedienungs-, Inspektions- und Wartungsleistungen. Die Beziehungen der jeweiligen Variablen werden anhand von Regressionsanalysen bewertet.

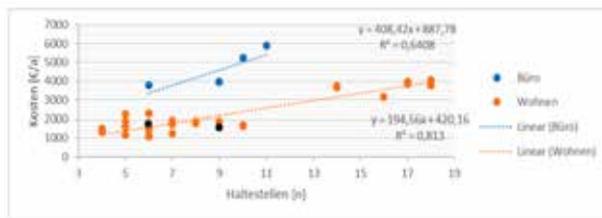


Abb. 2: Lineare Regressionsanalyse der KGR 461-3 und 461-4 (Seil- und Hydraulikaufzüge) – Kosten der Inspektion und Wartung in Abhängigkeit der Haltestellen [€/a]

Weiterhin ermöglichen Box-Whisker-Plots die grafische Darstellung der Werteverteilung und die Quantifizierung der Leistungen anhand einer Fünf-Punkte-Zusammenfassung.

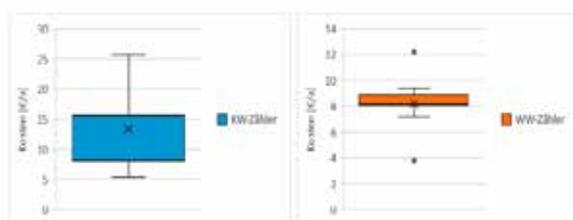


Abb. 3: Kosten der jährlichen Inspektion und Wartung eines Kaltwasserzählers (KW) und eines Warmwasserzählers (WW) [€/a]

Die behandelten Objekte umfassen insgesamt 39.304,30 m² (NRF-Büroimmobilien) und 153.541,45 m² (Wohnfläche-Wohnimmobilien).

Ergebnisse, Resümee und Ausblick

Mit Hilfe von Korrelations- und Regressionsanalysen konnte gezeigt werden, dass diverse leistungsgegenstandsspezifische Einflussgrößen die Betriebskosten eines Objektes signifikant beeinflussen. Den jeweiligen Gegenständen liegen dabei die unterschiedlichsten Kostentreiber zugrunde.

Weiterhin wurde während der Ausarbeitung deutlich, dass die Betriebskosten mit einem zunehmenden Detaillierungsgrad der Nutzungskostengruppen stark an ihrer Struktur und ihrer Erfassungsmethodik verlieren. Die Leistungen werden z.T. ohne eine Interpretation der Kostenzusammensetzung der nächst höheren Nutzungskostengruppe zugeschrieben. Dabei werden potentielle Stellschrauben zur betrieblichen Kostenreduktion systematisch ignoriert und die allgemeine Auswertung der Daten undurchführbar.

Die Erarbeitung einer ergänzenden Erfassungsstruktur würde helfen, auch die Nutzungskosten jenseits der dritten Gliederungsebene nach DIN 18960 zu harmonisieren. Potenziale für die Zukunft ergeben sich hierbei vor allem durch die Automatisierung und Digitalisierung der Prozesse, beispielsweise durch die Erfassung über ein Computer-Aided-Facility-Management (CAFM).

Angaben zu Verfasser, Lehrstuhl und Betreuer

Die vorliegende Master's Thesis wurde am Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung (LBI) der Technischen Universität München verfasst. Bei den Prüfern handelte es sich um den bereits emeritierten Herrn Prof. Dr. Josef Zimmermann sowie um Herrn Dr. Eber. Ein besonderer Dank gilt Herrn Julian Jetter, welcher als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Betreuer der Arbeit am LBI tätig war. Die Inhalte der Master's Thesis orientierten sich an Herrn Jetters Forschungsschwerpunkt: den Betriebskosten im Hochbau.

Daniel Ballmann, geboren am 09.09.1993 in München, begann seinem Abitur folgend, im Jahr 2013 mit dem Studium des Bauingenieurwesens an der TUM. Mit der Teilnahme am 9. Doka Studentenwettbewerb als Bachelorarbeit wurden bereits die Grundlagen zur vertiefteren Forschung in den Teilbereichen des Bauprozessmanagements und der Immobilienentwicklung geschaffen. Diese Grundlagen konnte er während seiner Tätigkeit als wissenschaftliche Hilfskraft am LBI weiter ausbauen und schließlich mit der vorliegenden Master's Thesis zur Herleitung und Quantifizierung der Bedienungs-, Inspektions- und Wartungsarbeiten von Büro- und Wohnimmobilien vertieft anhand der aktuellen Immobilienwirtschaft anwenden.

Der wissenschaftlichen Arbeit treu geblieben, trat Herr Ballmann im Juli 2019 eine Stelle als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Braunschweig an. Im Fokus der Tätigkeit am Lehrstuhl für Infrastruktur- und Immobilienmanagement unter Frau Prof. Dr. Kessel stehen für ihn weiterhin die aktuellen Themen der Objektbewirtschaftung. Diese insbesondere unter Berücksichtigung der fortschreitenden Digitalisierung durch Building Information Modeling (BIM) und CAFM.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: Zimmermann, Josef: Immobilienprojektentwicklung. Vorlesungsskriptum zur gleichnamigen Vorlesung am Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung der Technischen Universität München. Ausgabe 04/2017, S.1-3.

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Arbeitskreis Maschinen und Elektrotechnik (Hrsg.): Wartung, Inspektion und damit verbundene kleine Instandsetzungsarbeiten von technischen Anlagen und Einrichtungen in öffentlichen Gebäuden (Wartung 2018). Ausgabe 2018, lfd. Nr. 142. Berlin 2018.
2. Deutsches Institut für Normung e.V.: Deutsches Institut für Normen e.V.: DIN 18960:2008-2 "Nutzungskosten im Hochbau". Beuth Verlag, 2008 sowie DIN 276-1:2008-12 "Kosten im Bauwesen - Teil 1: Hochbau", 2008.
3. Nävy, Jens: Facility Management – Grundlagen, Informationstechnologie, Systemimplementierung, Anwendungsbeispiele. 5. Auflage Berlin: Springer Verlag, 2018.
4. Palotas, David: Quantitative Analyse der Betriebskosten von Wohnimmobilien. Master's Thesis. Technische Universität München, Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung. München 2019.
5. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA): VDMA 24186 Teil 1 bis Teil 7

Autor, Coautoren

Daniel Ballmann, Master of Science (M.Sc.), Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Braunschweig (Lehrstuhl für Infrastruktur- und Immobilienmanagement)

Betreuer

Die vorliegende Master's Thesis wurde am Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung (LBI) der Technischen Universität München verfasst. Bei den Prüfern handelte es sich um den bereits emeritierten Herrn Prof. Dr. Josef Zimmermann sowie um Herrn Dr. Eber. Ein besonderer Dank gilt Herrn Julian Jetter, welcher als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Betreuer der Arbeit am LBI tätig war.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

UNTERSUCHUNGEN ZU DEN SCHWINDEIGENSCHAFTEN VON INFRA-LEICHTBETONEN

Bachelorarbeit

Henrik Gutsch

Infraleichtbeton ist ein innovativer Baustoff, der auf Grund seiner hochporösen Matrix Wärmedämmung und Druckfestigkeit vereinigt und es ermöglicht architektonisch anspruchsvolle Bauwerke in monolithischer Bauweise auszuführen. Allerdings sind aus betontechnologischer Sicht noch immer einige Fragen unbeantwortet. Um die porosierte Bindemittelmatrix im Infraleichtbeton zu erzeugen, ist der Einsatz von Luftporenbildnern häufig unerlässlich. Des Weiteren können durch die Zugabe von Fasern die Betoneigenschaften wesentlich beeinflusst werden. Die vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit den Auswirkungen einer gezielten Luftporenbildner- bzw. Faserzugabe auf das Schwindverhalten von Infraleichtbeton. Die Untersuchungen zeigen, dass mit Erhöhung der Luftporenbildner-Dosierung ein erhöhtes Schwindmaß und ein Nachporosierungseffekt festzustellen ist, die Mischung aber deutlich stabiler werden kann und weniger zum Entmischen neigt. Variationen in der Faserart zeigen hingegen keine stringenten Effekte auf das Schwinden. Die Dosierungshöhe des Luftporenbildners und die Mischdauer stellen somit maßgebliche Einflussgrößen für die Schwindeigenschaften des Infraleichtbetons dar. Diese Arbeit liefert damit eine Grundlage für die Beurteilung der Schwindeigenschaften und zeigt die Notwendigkeit einer besonderen Beachtung dieses Verhaltens beim Einsatz des aussichtsreichen Infraleichtbetons in der Praxis.

Keywords: Beton, Leichtbeton, Infraleichtbeton, Schwinden, Luftporenbildner, Monolithisches Bauen

Forschungsmotivation

Die **monolithische Bauweise** war lange Zeit von Leichtbetonen geprägt [1]. Sie ermöglichte Architekten in der Formgebung neue Wege zu beschreiten, vereinfacht das Bauen durch die **Simplifizierung** von Anschlüssen und beschleunigt den Bauablauf [2]. Durch die

Verwendung von einem Baustoff werden **Recycling** und die Entsorgung beim Rückbau des Bauwerks begünstigt und damit die **Ökobilanz** gegenüber der klassischen Bauweise aus tragender Stahlbetonwand und dämmendem Wärmedämmverbundsystem verbessert [2]. Allerdings sorgten die immer strenger werdenden Vorschriften der **Energieeinsparverordnung**

dafür, dass Beton nach DIN EN 206-1 [3] die Anforderungen an diese Bauweise nicht mehr erfüllen kann. Die Entwicklung neuer, hochmoderner Baustoffe, wie Infralichtbeton (engl.: infra-lightweight concrete, kurz: ILC) ist die Konsequenz. Die guten Wärmedämmeigenschaften des ILC verbunden mit einer äußerst geringen Rohdichte bei gleichzeitig ausreichender Festigkeit, bieten die Möglichkeit, die **Anforderungen sowohl an Ästhetik, Statik als auch an Wärmedämmung** moderner Gebäude zu erfüllen und somit monolithisches Bauen zu ermöglichen [4].

Gerade für den **gehobenen Einfamilienhausbau** und öffentliche Einrichtungen/Verwaltungsbauten ergeben sich hier beeindruckende Möglichkeiten, wie die Abbildung 1 mit dem Geschäfts- und Wohngebäude im Judenhof in Ulm [5] zeigt.



Abbildung 1: Geschäfts- und Wohngebäude im Judenhof Ulm, Architekt Hofstrasser [5]

Das **Schwindverhalten** ist für den Einsatz von Beton eine maßgebliche Eigenschaft. Das Schwindmaß sollte geringgehalten werden, um innere Spannungen und **Rissbildungen** im Beton zu reduzieren und damit verbundenen Einbußen in der Dauerhaftigkeit des Betons entgegenzusteuern. Durch den Einsatz von leichter Gesteinskörnung und einer

geschäumten Zementsteinmatrix im ILC kann das Schwinden begünstigt werden [6]. Aufgrund dieser Eigenschaften und fehlender Erfahrungswerte, sind Untersuchungen zum Schwindverhalten von ILC von großem Interesse.

Zielstellung dieser Bachelorarbeit ist es daher, den Einfluss des **Luftporenbildners** auf das **Schwindverhalten** sowie weitere Frisch- und Festbetoneigenschaften von ILC zu untersuchen. Zusätzlich werden der Einfluss verschiedener **Fasern** auf die **Verarbeitbarkeit** und das Frühschwinden des ILC geprüft. Durch die Ergebnisse dieser Arbeit soll das Schwindverhalten von ILC und dadurch die Eignung für die Bauindustrie besser eingeschätzt werden. Außerdem bietet die Arbeit Anknüpfungspunkte für weitere Forschungen im Bereich der Infralichtbetone.

Eigenschaften von Infralichtbeton

Infralichtbeton (ILC) ist mit einer **Rohdichte** $< 800 \text{ kg/m}^3$ leichter als normativ geregelter Leichtbeton [3] und weicht auch deutlich von vorgefertigten, haufwerksporigen Leichtbetonen ab [7]. ILC weist zwar eine so **hohe Porosität** auf, dass er strenggenommen als haufwerksporig gilt [4]. Andererseits besitzt er eine **porosierete Zementsteinmatrix**, die wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, die Haufwerksporen ausfüllt [8].

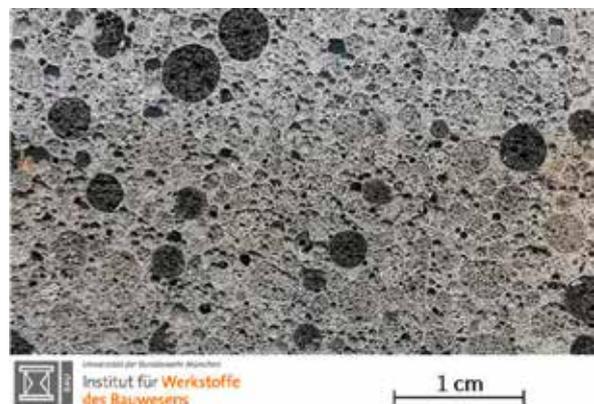


Abbildung 2: Aufnahme von ILC mit porosierter Zementsteinmatrix und Blähglas sowie Blähton als leichte Gesteinskörnung

In der Baupraxis steht man noch zusätzlich vor der Aufgabe, die Konformitätskriterien des ILC als **Transportbeton** zu definieren.

Somit lässt sich ILC weder als Leichtbeton nach DIN EN 206-1 [3] noch als haufwerksporiger Leichtbeton nach DIN EN 1520 [7] definieren und es ergeben sich keine festgelegten normativen Definitionen und Beschreibungen des ILC. **Infraleichtbeton ist damit derzeit ein Beton außerhalb der Norm.**

Die verschiedenen Definitionen in anderen wissenschaftlichen Arbeiten stimmen allerdings in den Punkten überein, dass er gleichzeitig konstruktive als auch bauphysikalische Anforderungen erfüllen kann [2, 8-10].

So reichen die **28d Festigkeiten** bereits erprobter Rezepturen von **6,3 bis zu 14,2 MPa** bei einer gleichzeitigen **Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{tr,10}$ von 0,15 bis zu 0,19 W/(mK)** und liegen somit jeweils knapp über denen von Porenbeton [5, 10].

Neben der bereits genannten hohen Porosität unterscheidet sich ILC im Vergleich zu Normalbeton durch einen **hohen Bindemittelanteil** und einen meist **geringen w/z-Wert** [10].

Diese Eigenschaften begünstigen das Schwindverhalten von Beton, sodass grundsätzlich von einem **erhöhten Schwinden** von ILC ausgegangen werden muss. Dies zeigt auch der Vergleich von normativ geregelten Leichtbeton und haufwerksporigem Leichtbeton mit Normalbeton der ein bis zu zweimal größeres Schwindmaß aufweist, als Normalbeton gleicher Festigkeit [7, 11-13].

Allerdings bringt die verwendete **leichte Gesteinskörnung** den Vorteil mit sich, dass sie einen geringeren Elastizitätsmodul aufweist und somit **geringere innere Spannungen** auftreten. Dies kann bei größerem Schwindmaß zu geringeren, feiner verteilten Schwindrissen führen [14].

Material und Methoden

Um die gewünschten Eigenschaften des ILC zu erreichen wird eine **leichte Gesteinskörnung** eingesetzt. Aufgrund der guten wärmedämmenden Wirkung des ILC, die bereits während des Aushärtens gegeben ist, wird ein Zement mit **niedriger Hydratationswärme** gewählt, damit die Kerntemperatur des Bauteils nicht zu weit ansteigt. Des Weiteren kommt **Silikastaub** als puzzoloner Zusatzstoffe zum Einsatz. Zur Stabilisierung der Mischungen werden **Kunststofffasern** zugegeben, die gleichzeitig auch die Schwindrissbildung reduzieren. Als Betonzusatzmittel werden auf die Bindemittel abgestimmte **Fließmittel und Luftporenbildner** eingesetzt.

Für die vorliegende Arbeit wird eine Referenzrezeptur aus reiner Blähglaskörnung mit einem Größtkorn von 4 mm in den Parametern Luftporenbildner-Dosierung und Faserart variiert. So wird die Luftporenbildner-Dosierung schrittweise von 0,14 Massenprozent (M.-%) auf 0,5 M.-% angehoben. Die Kunststofffasern in der Referenzrezeptur werden durch Stahl-, Glas- und längere Kunststofffasern ersetzt. Außerdem wird eine Rezeptur gänzlich ohne Fasern untersucht. In der Praxis kann es zu einer **Nachporosierung** des ILC mit einhergehendem Verlust der Druckfestigkeit kommen. Deshalb werden die Rezepturen jeweils nach 5, 30, 60, und 90 Minuten auf ihre Verarbeitbarkeit und Rohdichte geprüft.

Die Rezepturen werden mit Hilfe kontaktloser Messung auf ihr Frühschwinden hin und mit Schwindprismen auf ihr Trocknungsschwinden und Endschwindmaß untersucht.

Zusätzlich wird die Druckfestigkeit nach 28 Tagen geprüft.

Ergebnisse und Ausblick

Die Ergebnisse der Bachelorarbeit bieten die Grundlage zur Abschätzung der **Schwindeigenschaften und der Verarbeitbarkeit** von Infraleichtbetonen. Dabei spielt vor allem die **Dosierung des Luftporenbildners** eine maßgebliche Rolle. Eine erhöhte Dosierung begünstigt das Trocknungsschwinden und sorgt für ein **deutlich höheres Endschwindmaß**.

Die Auswirkungen der **Nachporosierung** werden insbesondere bei den untersuchten Rezepturen mit höherer Luftporenbildner-Dosierung ($> 0,2$ M.-%) sichtbar. Die Verringerung in Frischbeton- und Trockenrohddichte beträgt in diesem Zusammenhang jeweils bis zu 20 %. **Längeres Mischen** führt neben der Nachporosierung, auch zu einem bis zu 10 % **geringeren Schwindmaß** und einer verbesserten Verarbeitbarkeit.

In Abbildung 3 sind Endschwindmaße mit veränderter Luftporenbildner-Dosierung über ihrer Trockenrohddichte dargestellt. Bei höherer Luftporenbildner-Dosierung und dadurch geringerer Rohddichte steigt das Endschwindmaß an. Die Rezepturen mit **längerer Mischdauer** sind in ihren Eigenschaften **deutlich stabiler**.

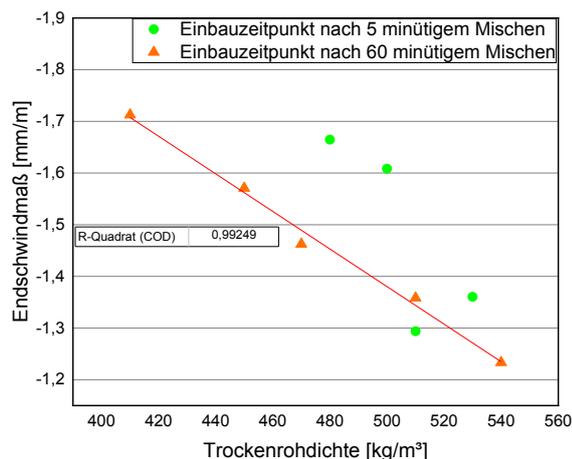


Abbildung 3: Korrelation zwischen Trockenrohddichte und Endschwindmaß der Rezepturen mit 5 und 60 Minuten Mischablauf

Um das Endschwindmaß zukünftiger, optimierter Infraleichtbeton-Rezepturen abzuschätzen,

bieten diese Ergebnisse eine fundierte Grundlage.

Zu Beginn des Schwindverlaufes ist ein **Quellen** des ILC festzustellen. Für dieses Verhalten konnte im Rahmen dieser Arbeit jedoch keine abschließende Begründung gefunden werden.

Der Einsatz von **anderen Faserarten** (Stahl, Glas) und ein Weglassen der Fasern führen in erster Linie zu **starken Entmischungen** und schlechter Verarbeitbarkeit. Somit können die bereits heute in der Praxis eingesetzten **Kunststofffasern** als **Empfehlenswerteste** bezeichnet werden.

Die Faserart hat Einfluss auf das anfängliche Quellen des ILC, korreliert aber nicht mit einer bestimmten Eigenschaft der eingesetzten Fasern. Das **Quellen** tritt ebenfalls bei der Rezeptur ohne Fasern auf. Ursächlich für das Quellen ist somit vermutlich die leichte Gesteinskörnung, der Luftporenbildner, das Mischregime oder die **Wechselwirkung** der genannten Besonderheiten des ILC. Eine weitere Untersuchung der frühen Abbindemechanismen im ILC sollte Teil weiterer Forschungen werden.

Zusammenfassend bildet die Arbeit die Grundlage für weitere Forschungen um die **Praxistauglichkeit** des Infraleichtbetons zu optimieren. Eine Kombination der ermittelten Ergebnisse kann dazu beitragen neue, **verbesserte Rezepturen** eines Infraleichtbetons zu entwickeln und sein Verhalten besser vorab einschätzen zu können. In der **Baupraxis** bietet vor allem der Einsatz einer **hohen Luftporenbildner-Dosierung** in Verbindung mit einer optimierten, **praxisnahen Mischdauer** für die Bauindustrie die beste Möglichkeit die positiven Eigenschaften des Infraleichtbetons besser nutzbar zu machen.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte und für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

- [1] Thienel, K.-C. and M. Peck, *Die Renaissance leichter Betone in der Architektur*. DETAIL, 2007(5): p. 522 – 534.
- [2] Gartmann, P., *Das Potenzial von Dämmbeton*, in 3. *Schweizer Betonforum*. 2009, BETONSUISSE AG: Zürich.
- [3] DIN EN 206-1, *Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*. 2001, Beuth-Verlag.
- [4] Thienel, K.-C., *Leichtbeton im Hochbau - Woher kommen wir und wo geht die Reise hin?*, in *Leichtbeton*. 2019, InformationsZentrum Beton GmbH: Heilbronn. p. 7.
- [5] Rothenbacher, W., *Infraleichtbeton – Der Baustoff für monolithisches Bauen*, in *Schwenk BetonSeminar*. 2020: Heidenheim. p. 36.
- [6] Schließer, A.E., *Warmbeton - Mischungsentwicklung mit verbesserter Übertragbarkeit in den Realmaßstab*, in *Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften*. 2019, Universität Stuttgart: Stuttgart. p. 197.
- [7] DIN EN 1520, *Vorgefertigte Bauteile aus haufwerksporigem Leichtbeton und mit statisch anrechenbarer oder nicht anrechenbarer Bewehrung*. 2011. p. 119.
- [8] Lösch, C. and P. Rieseberg, *Infraleichtbeton*, ed. M. Schlaich and R. Leibinger. Vol. 2016. 2018: Fraunhofer IRB Verlag. 214.
- [9] El Zareef, M.A.M., *Conceptual and Structural Design of Buildings Made of Lightweight and Infra-Lightweight Concrete*, in *Fakultät VI – Planen Bauen Umwelt*. 2010, Technische Universität Berlin: Berlin. p. 119.
- [10] Schlaich, M. and A. Hückler, *Infraleichtbeton: Reif für die Praxis*. Beton- und Stahlbetonbau, 2017. 112(12): p. 772-783.
- [11] Grube, H. and W. Herold, *Der Beton der Rheinbrücke Köln-Deutz*. Beton-Informationen, 1979. 19(2+3): p. 4.
- [12] Schulze, J. and W. Breit, *Experimentalgebäude aus Infraleichtbeton – monolithisch und hochwärmedämmend*. Beton- und Stahlbetonbau, 2016. 111(6): p. 377-384.
- [13] Reinsdorf, S. and G. Kühne, *Hochfeste konstruktive Leichtbetone - Formänderungs- und Festigkeitskennwerte*, in *Schriftenreihe der Bauforschung Reihe Stahlbeton*. 1972: Berlin. p. 55.
- [14] Chandra, S. and L. Berntsson, *Lightweight Aggregate Concrete*. 1st ed. Building Materials Science Series, ed. V.S. Ramachandran. 2002, Norwich: Noyes Publications. 450.

Autor

Henrik Gutsch wurde 1999 in Wismar geboren. In der Grundschule konnte er die 3. Klasse überspringen und ging ab der 5. Klasse am Gymnasium Fridericianum in Schwerin in eine Förderklasse für Hochbegabte. Nach dem Abitur 2016 schlug er die Offizierslaufbahn bei der Bundeswehr ein und ist für die Pioniertruppe eingeplant. Er studiert seit 2017 im Rahmen der Offiziersausbildung Bauingenieurswesen und Umweltwissenschaft an der Universität der Bundeswehr München und vertieft dort den Konstruktiven Ingenieurbau.

Betreuer

Die Bachelorarbeit wurde am Institut für Werkstoffe des Bauwesens an der Universität der Bundeswehr München bei Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl-Christian Thienel angefertigt. Die Betreuung erfolgte durch M.Sc. Timo Haller.

Die Arbeit wurde mit dem 1. Preis ausgezeichnet.

NACHTRAGSKALKULATION IM ZUGE DES NEUEN BAUVERTRAGSRECHTS IM VERGLEICH ZUR VERGABE- UND VERTRAGSORDNUNG FÜR BAULEISTUNGEN (VOB/B)

Philipp Hofmann

Fast kaum ein Vertrag im Bauwesen wird ohne Nachforderungen (Nachträge) abgewickelt. Einige der häufigsten Gründe dafür sind: unzureichende oder fehlerhafte Planungen, mangelhafte und/oder unvollständige Ausschreibungen, spekulative Angebote des Auftragnehmers oder Änderungswünsche des Auftraggebers. Oftmals ergeben sich auch Kombinationen aus diesen Ursachen. Mit der Reform des Bauvertragsrechts zum 01.01.2018 wurde das Bürgerliche Gesetzbuch umfassend geändert und zwar hinsichtlich des Verbraucherschutzes und der Haftungsgerechtigkeit bei Bauvorhaben. Demnach gilt für Nachforderungen zu Bauverträgen nun der § 650c BGB parallel zu den bewährten Regelungen des § 2 VOB/B. Die neuen Regelungen haben zum einen den Effekt, den Auftragnehmer davor zu schützen, die angeordneten Mehrleistungen vom Besteller auf Basis nur knapp oder nicht auskömmlicher Vertragspreise erbringen zu müssen, zum anderen eventuell überhöhte Preisspekulation des Auftragnehmers zu Lasten des Bestellers einzudämmen. Besonders zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang die Urteile zu „Spekulativ überhöhter EP“¹ und „Mischkalkulation, Rudower Höhe“². Ziel dieser Arbeit ist es, dem Leser aus technisch-vertraglicher Sicht die Änderungen aus dem neuen Bauvertragsrecht und der aktuellen Rechtsprechung verständlich und übersichtlich darzustellen.

Keywords: Nachtragsvergütung, Bürgerliches Gesetzbuch, Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Bau-Soll, Bau-Ist, Baustellengemeinkosten, Allgemeine Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn, einseitiges Anordnungsrecht, tatsächlich (erforderliche) Kosten, angemessene Zuschläge

¹ vgl. BGH „Spekulativ überhöhter EP“, BGH Urteil v. 18.12.2008, - VII ZR 201/06, BauR 2009, 491, 493, Rn. 11.

² vgl. BGH „Mischkalkulation, Rudower Höhe“, BGH Urteil v. 18.05.2004 – X ZB 7/04, NZBau 2004, 487.

Einleitung/Hintergrund

In der Baupraxis tritt der Begriff „Nachtrag“ regelmäßig in Erscheinung und ist somit nicht mehr wegzudenken. Ein Nachtrag erfasst eine nachträgliche Änderung des Vertrages zu dem ursprünglich vereinbarten Bau-Soll, also dem, was konkret und unter welchen Randbedingungen gebaut werden soll, und dem Bau-Ist, was den aktuellen Baufortschritt zu einem gewissen Zeitpunkt aufzeigt. Zudem stellt der Nachtrag eine Forderung auf Anpassung der Vergütung einschließlich möglicher finanzieller Ausgleichs aus unterschiedlichen Gründen dar.

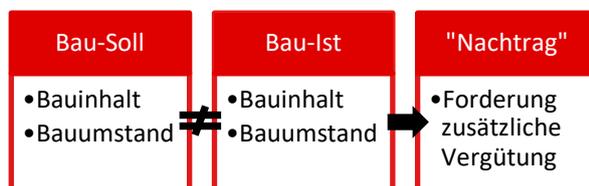


Abb. 4: Voraussetzung Nachtrag

Die heutige Zeit wird geprägt von immer komplexer werdenden Bauprojekten und gleichzeitig beherrschen die betriebswirtschaftlichen Aspekte den täglichen Ablauf in modernen Baubetrieben. Dadurch ist der Bauausführende im Wettbewerb bei eher knapp kalkulierten Preisen sowie nicht vorhersehbaren technischen Schwierigkeiten oder Störungen im Bauablauf immer häufiger auf Nachtragsansätze angewiesen, um den benötigten Deckungsbeitrag bei jedem Bauvorhaben zu erwirtschaften, der zum Erhalt des Unternehmens notwendig ist, und darüber hinaus möglichst einen Gewinn zu erzielen. In vielen Fällen herrscht jedoch Uneinigkeit und der Nachtrag wird möglicherweise dem Grunde nach oder der Höhe nach bestritten. Oft sind die Ursachen für einen Nachtrag gegeben, wie zum Beispiel eine unzureichend detaillierte Leistungsbeschreibung oder Bau-Soll Modifikationen während dem laufenden Planungs- und Bauprozess. Dabei muss beachtet werden, dass eine lückenlose Dokumentation eine Grundvoraussetzung für die

Rechtfertigung jedes Nachtrags für den Auftragnehmer einnimmt. Jedoch werden auch regelmäßig vom Auftragnehmer Ansatzpunkte für einen Nachtrag künstlich erzeugt, mit denen er versucht eine zusätzliche Vergütung, die ihm laut Vertrag nicht zusteht, zu generieren. Demgegenüber hat der Auftraggeber Interesse daran, dass das Bauprojekt möglichst zu der ursprünglich vertraglich vereinbarten Endsumme abgerechnet wird, da er seine Finanzierung und eine erwartete Rendite aus dem Projekt darauf abgestimmt hat. Durch diesen Interessenkonflikt zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber kann ein schwer zu durchschauender Sachverhalt entstehen.

Forschungsmotivation

Das Gesetz zur Reform des Bauvertragsrechts, welches am 01.01.2018 für alle abgeschlossenen oder abzuschließenden Verträge gilt, schafft erstmalig für die verschiedenen Vertragstypen des Bauvertragsrechts angepasste Regelungen. Ergänzend zum allgemeinen Werkvertrag werden der Bauvertrag, der Verbrauchervertrag, der Architekten- und Ingenieurvertrag und der Bauträgervertrag sowohl definiert als auch in unterschiedlicher Intensität geregelt. Mit der Einführung des einseitigen Anordnungsrechts des Bestellers wurde mit dem § 650c BGB eine neue Regelung zur Nachtragsvergütung normiert. Im Zuge dieser Arbeit soll dem Baugewerbe ein Überblick über das neue Bauvertragsrecht geschaffen sowie die Unterschiede zu dem bisher gültigen Maßstab der VOB/B aufgezeigt werden. Des Weiteren dient es dem Bauunternehmer als Orientierungshilfe zur Berechnung der Nachtragsvergütung und weist ihn gleichzeitig auf die bevorstehenden Änderungen bzw. Problematiken der Nachtragsvergütung nach dem BGB hin.

Wissenschaftliche Herangehensweise

Vorab muss erwähnt werden, dass das neue Bauvertragsrecht noch keine derart hinreichend gesicherte Rechtsprechung wie die VOB/B aufweist. Deswegen wurde die Arbeit auf Basis der gesetzlichen Grundlage sowie deren Begründungen und der herrschenden Meinung in der Literatur verfasst. Anfangs wird über den Beweggrund für die Neuregelung der Vergütung von Nachträgen berichtet sowie werden die wichtigsten Begriffe definiert, um den Sachverstand besser verstehen zu können. Danach wird eine Analyse der Vergütung der Nachtragsleistungen nach VOB/B und BGB vorgenommen, siehe hierzu die nachfolgend detailliertere Aufteilung. Abschließend wird die Thematik an konkreten Rechenbeispielen verdeutlicht.

Vergütung der Nachtragsleistungen nach VOB/B

Der maßgebende § 2 VOB/B wird separat in seinen einzelnen Absätzen behandelt, wobei eine nähere Beleuchtung des § 2 Abs. 7 VOB/B nicht stattfindet, da hierbei der maßgebende Vertrag kein Einheitspreisvertrag ist. Des Weiteren wird die VOB/B einer Inhaltskontrolle unterzogen.

- Mengenänderung nach § 2 Abs. 3 VOB/B

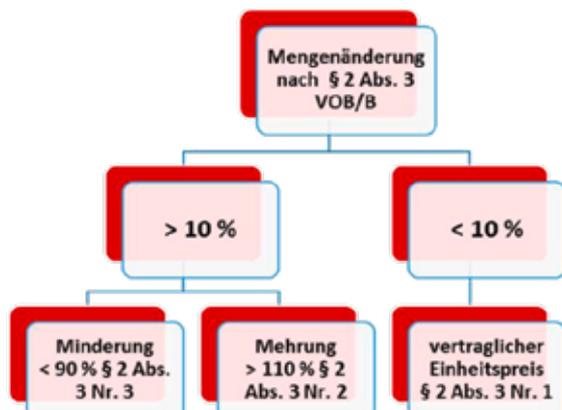


Abb. 5: Differenzierung der Mengenänderung

- Selbstübernahme nach § 2 Abs. 4 VOB/B und freie Kündigung § 8 Abs. 1 VOB/B
- Abgrenzung geänderte Leistung nach § 2 Abs. 5 VOB/B und zusätzliche Leistung nach § 2 Abs. 6 VOB/B
- Leistungen ohne Auftrag nach § 2 Abs. 8 VOB/B
- Zusätzliche Unterlagen nach § 2 Abs. 9 VOB/B

Vergütung der Nachtragsleistungen nach BGB

Der maßgebende § 650c BGB wird ebenfalls in Abschnitten identisch zum Gesetzestext unterteilt und analysiert. Ergänzend werden Meinungsstände zu unklaren und interpretationsfähigen Textpassagen (rot markiert) des neuen Bauvertragsrechts ausgeführt. Die Berechnung der Nachtragsvergütung nach § 650c BGB kann anhand zwei Ermittlungswegen erfolgen.

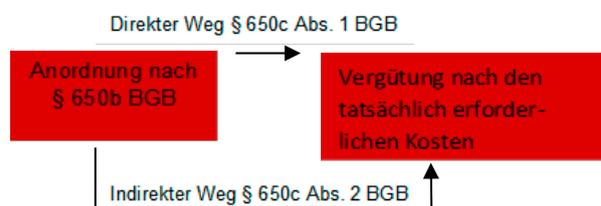


Abb. 6: Ermittlungswege nach § 650c BGB

- Vergütung nach § 650c Abs. 1 BGB

Der direkte Weg wird wie folgt ausgeführt:

*„Die Höhe des Vergütungsanspruchs für den infolge einer Anordnung des Bestellers nach § 650b Absatz 2 vermehrten oder verminderten Aufwand ist nach den **tatsächlich erforderlichen Kosten mit angemessenen Zuschlägen für allgemeine Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn** zu ermitteln.*

Umfasst die Leistungspflicht des Unternehmers auch die Planung des Bauwerks oder der Außenanlage, steht diesem im Fall des § 650b Absatz 1 Satz 1 Nummer 2 kein Anspruch auf Vergütung für vermehrten Aufwand zu.“

- Vergütung nach § 650c Abs. 2 BGB

Der indirekte Weg erfolgt wie nachstehend über die vereinbarungsgemäß hinterlegte Urkalkulation und der Fortschreibung der kalkulierten Ansätze:

„Der Unternehmer kann zur Berechnung der Vergütung für den Nachtrag auf die Ansätze in einer vereinbarungsgemäß hinterlegten Urkalkulation zurückgreifen. Es wird vermutet, dass die auf Basis der Urkalkulation fortgeschriebene Vergütung der Vergütung nach Absatz 1 entspricht.“

Ergebnisse der Arbeit

Es lässt sich feststellen, dass die Regelungen in § 650c BGB durch die unklare Gesetzesbegründung genauso umstritten und juristisch nicht abschließend sind, wie die Regelungen nach der VOB/B. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass zu den Regelungen der VOB/B eine relativ gesicherte Rechtsprechung vorliegt. Anhand von den interpretationsfähigen Textpassagen im § 650c BGB und den Berechnungsbeispielen erkennt man diese Problematik eindeutig, da gegenwärtig kein einheitlicher Leitfaden für die Wortauslegung und die daraus entstehende Berechnungsmethode vorhanden ist.

Im Hinblick auf die Berechnung der Nachtragsvergütung auf Basis der tatsächlich erforderlichen Kosten nach § 650c BGB wird vermutet, dass diese im Regelfall keine Anwendung findet, insofern sich die Parteien nicht auf eine andere Art und Weise über die Höhe der

Nachtragsvergütung einigen können. Denn eine Ermittlung der tatsächlich erforderlichen Kosten ist in einigen Fällen problematisch und benötigt einen unverhältnismäßigen Zeitaufwand.

Außerdem ist aufgrund des sehr hohen Dokumentationsaufwandes für beide Vertragsparteien und den interpretationsfähigen Begriffen bezüglich „Erforderlichkeit“ (tatsächlich erforderlichen Kosten) und „Angemessenheit“ (angemessenen Zuschläge für Allgemeine Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn) davon auszugehen, dass die Ermittlung der Nachtragsvergütung nach den tatsächlich erforderlichen Kosten (§ 650c Abs. 1 BGB) eher bei kleineren Baumaßnahmen bzw. gut abgrenzbaren Einzelleistungen zur Anwendung kommt. Folglich wird für größere und komplexere Bauprojekte die Berechnung der Nachtragsvergütung nach § 650c Abs. 2 durch die Fortschreibung der ursprünglich kalkulierten Kosten maßgebend sein.³

Fazit

Der Deutsche Vergabe- und Vertragsausschuss lehnt die Anpassung der VOB/B an das gesetzliche Leitbild zum aktuellen Zeitpunkt noch ab, da sich die Regelungen des § 650c BGB sowohl in der Baupraxis als auch in der Rechtsprechung noch nicht bewährt haben. Somit befindet sich im Moment die VOB/B auf dem Prüfstand. Für die Zukunft kann man gespannt sein, wie eine aktualisierte Ausgabe der VOB/B aussieht und ob dies auch das Ende der Korbion'schen Formel bedeutet.

³ vgl. Sindermann in: Sundermeier/Meinen, Bauwirtschaft, S.194.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

[1]: Sundermeier/Meinen: Bauwirtschaft, Heft 4 Dezember 2019, 4. Jahrgang, Werner Verlag

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Ingenstau/Korbion: VOB Kommentar Teil A und B, 20. Auflage 2016, Werner Verlag
2. Kapellmann/Schiffers: Vergütung, Nachträge und Behinderungsfolgen beim Bauvertrag, Band 1: Einheitspreisvertrag, 7. Auflage 2017, Werner Verlag
3. Kniffka/Koebler: Kompendium des Baurechts, privates Baurecht und Bauprozess, 3. Auflage 2008, Verlag C.H. Beck
4. Kniffka: Bauvertragsrecht: Kommentar zu §§ 631 - 650v BGB unter besonderer Berücksichtigung der Rechtsprechung des BGH, 3. Auflage 2018, Verlag C.H. Beck
5. Leupertz/Preussner/Sienz: Bauvertragsrecht Kommentar, 1. Auflage 2018, Werner Verlag
6. Drittlar: Nachträge und Nachtragsprüfung beim Bau- und Anlagenbauvertrag, 3. Auflage 2016, Werner Verlag
7. Langen/Berger/Dauner/Lieb: Kommentar zum neuen Bauvertragsrecht, 1. Auflage 2018, Werner Verlag

Autor, Coautoren

Philipp Hofmann, Bachelor of Engineering des Studienganges Bauingenieurwesen

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Lehrstuhl Baubetrieb, Fachbereich der Fachhochschule Würzburg - Schweinfurt, Prof. Dr. sc. Christian Schmidle

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

UNTERSUCHUNGEN ZU RISSFÜLLSTOFFEN AUSSERHALB DER ZTV-ING RISSINJEKTION MIT FEUCHTEVERTRÄGLICHEN EPOXIDHARZEN UND KRAFTSCHLÜSSIGEN POLYURETHANEN AN BETONPROBEKÖRPERN

Bachelorarbeit

Anthea Jaitner

Im Bestandsbau sind Risse vor allem in erdberührten Bauteilen problematisch. Das Eindringen von Wasser und Schadstoffen durch Bauwerksrisse kann durch dessen Verfüllung deutlich verringert werden. Dies kann zur Erhöhung der Nutzungsdauer eines Gebäudes führen und findet deshalb in Instandsetzungsmaßnahmen große Anwendung. Die ZTV-ING stellt eine der wichtigsten Regelwerke zur Erfassung der in der Baupraxis üblichen Rissfüllstoffe dar. Hier werden jedoch nicht alle auf dem Markt erhältlichen Produkte und Produktgruppen definiert. Um diese weiter zu untersuchen, wurden praxisähnliche Probekörper in verschiedenen Feuchtezuständen hergestellt und diese mit jeweils zwei ausgewählten Polyurethan- und Epoxidharzen verpresst. Zur Untersuchung der Kraftschlüssigkeit der verwendeten Produkte wurden Abziehversuche zur Ermittlung der spezifischen Abziehfestigkeit in Abhängigkeit des Feuchtezustandes mittels Stempelzugprüfgerät durchgeführt. Durch diese Versuche hat sich gezeigt, dass die untersuchten Materialien nur begrenzt kraftschlüssig verbinden. Sie sind jedoch bis zu einer gewissen Zugfestigkeit auch in feuchten oder druckwasserführenden Bauteilen bereits in der Baupraxis einsetzbar.

Sanierung von Rissen

Die Instandsetzung von Rissen in Bestandsgebäuden gewinnt in ganz Deutschland immer mehr an Bedeutung. Dies liegt daran, dass bestehende Gebäude beispielsweise aus abfallwirtschaftlichen und Umweltschutzgründen zunehmend erhalten bleiben sollen.

In den Bereichen Denkmalschutz und Tiefbau, aber vor allem in Tiefgaragen können z.B.

aufgrund hoher Spannungen Risse in Wänden und Bodenplatten auftreten. Diese können in schlimmen Fällen zum Eintrag von Wasser und/oder Chloriden und daraus folgenden Korrosionsschäden und Tragfähigkeitsverlusten führen. [1] [3] [5]

Um diese Schädigungsprozesse einzudämmen bzw. zu unterbinden werden Risse oft als

Instandsetzungsmaßnahme mittels Injektionsharzen verfüllt. [1] [2] [4]

Um die Sanierung solcher Risse zu vereinheitlichen, stellt die ZTV-ING verschiedene Verfüllvarianten und Rissfüllstoffe vor und bildet somit eines der wichtigsten Regelwerke für das Verfüllen von Rissen in der Instandsetzung von Gebäuden. [2]

Fragestellung

Die ZTV-ING definiert jedoch nicht alle bereits auf dem Markt erhältlichen Produkte zur Rissverfüllung. So werden beispielsweise keine Epoxidharze zum kraftschlüssigen Verbinden in feuchten, drucklos wasserführenden oder druckwasserführenden Rissen definiert. Die Anwendung von Polyurethanharzen zum kraftschlüssigen Verbinden ist nach der ZTV-Ing gänzlich ausgeschlossen. [2]

Es sind jedoch bereits sowohl kraftschlüssig verbindende Polyurethanharze sowie feuchteverträgliche Epoxid- und Polyurethanharze auf dem freien Markt erhältlich. Um diese genauer zu definieren und eine problemlose Anwendung im Bauwesen zu ermöglichen sind einige Untersuchungen bezüglich ihrer Produkteigenschaften notwendig.

Aufgrund dessen sollten in dieser Arbeit Untersuchungen zum kraftschlüssigen Verbinden von Epoxid- und Polyurethanharzen in den Feuchtezuständen trocken, feucht und druckwasserführend vorgestellt werden.

Herstellung der Probekörper

Hier wurden zunächst zwölf Betonbalken aus Normbeton hergestellt, welche nach 24 Stunden ausgeschalt und anschließend über 30 Tage abgedeckt gelagert wurden.

Eine anschließende Zugfestigkeitsprüfung von Referenzprismen aus derselben Frischbetoncharge ergab eine mittlere Zugfestigkeit von etwa 3,22 N/mm². Eine stichprobenartige Stempelzug-

prüfung an der Oberfläche der ausgehärteten Betonbalken lag mit etwa 3,0 N/mm² bei einer ähnlichen Zugfestigkeit.

Um die Probekörper für das Einbringen der Injektionsharze vorzubereiten waren einige weitere Bearbeitungsschritte notwendig.

Vorbereitung der Probekörper

Um die Probekörper für das anschließende Verfüllen vorzubereiten wurden diese zunächst bis zur Gesteinskörnung abgefräst.

Außerdem wurden jeweils zwei Bohrlöcher mittels Schlagbohrmaschine eingebracht, welche später zum Eindrehen der Bohrpacker dienen.

Als nächstes erfolgte das Einspannen und Spalten in der Spaltzugprüfmaschine und eine Reinigung der Probekörper mittels Druckluft, um diese möglichst staubfrei zu bekommen.

Eine einheitliche Rissbreite von etwa 0,4 mm wurde durch eingelegte Aluminiumbleche und das anschließende Zusammenspannen beider Rissflanken eingestellt.

Im Anschluss daran folgte das Setzen von Bohr- und Klebepackern und das Verdämmen der Probekörper um diese gegen drückendes Wasser abzudichten.

An den Klebepackern wurden daraufhin Kunststoffschläuche mit Schlauchschellen befestigt, welche zum Einfüllen des Wassers sowie zur Simulation der Feuchtezustände dienten.

Nach einer Dichtheitsprüfung erfolgte die Simulation der Feuchtezustände „feucht“ und „druckwasserführend“.

Für den Zustand „druckwasserführend“ verblieb anstehendes Wasser mit etwa 0,8 m Wassersäule bis zur Injektion im Schlauch und in den Probekörpern. Zwei Tage nach der Befüllung erfolgte schließlich die Injektion.

So ergaben sich die in **Abbildung 1** dargestellten Feuchtezustände.

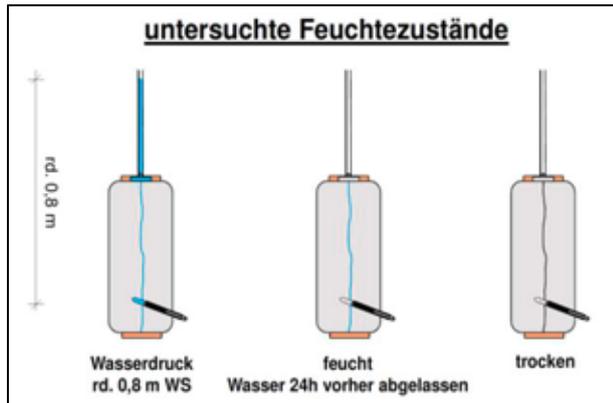


Abbildung 1: untersuchte Feuchtezustände

Rissinjektion

Aufgrund der vorangegangenen Vorbereitungen ergab sich so der in **Abbildung 2** dargestellte Prüfkörperaufbau.

Nun wurden die Prüfkörper über die angebrachten Bohrpacker verpresst.

Der Klebepacker an der zur Einfüllrichtung abgewandten Seite, an dem ein Schlauch angeschlossen ist, dient hierbei zur Entlüftung, zur Wasserbeaufschlagung und als Wasserreservoir.

Die Rissinjektion wurde durch Anwendungstechniker der jeweiligen Injektionsharzhersteller durchgeführt.

Die Injektion erfolgte mit einem Epoxidharz und einem Polyurethanharz je Hersteller.

Es wurde so lange injiziert bis keine Blasenbildung am Austrittspunkt des Klebepackers mehr zu erkennen war.

Nach etwa 10 bis 15 min fand eine Nachinjektion statt.

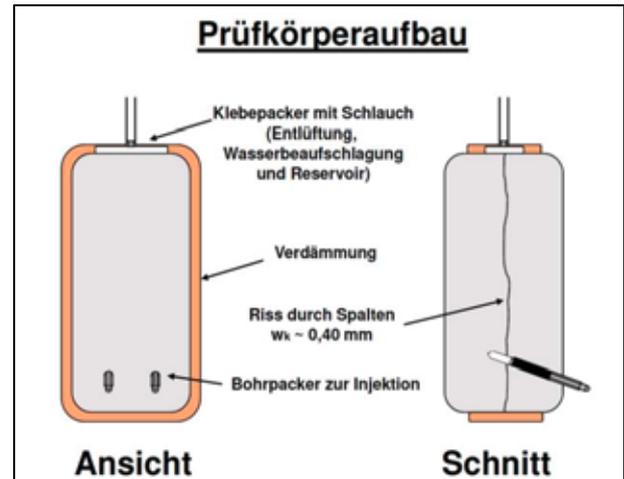


Abbildung 2: Prüfkörperaufbau

Haftzugfestigkeitsprüfung

Nach einer 15-tägigen Aushärtungszeit wurden alle Probekörper mit jeweils drei 12 cm tiefen Bohrkernnuten versehen.

Diese überbohren den Riss und ermöglichen es mittels einer Stempelzugprüfmaschine Werte zur Haftzugfestigkeit an drei verschiedenen Prüfstellen zu gewinnen (siehe **Abbildung 3**).

Im Anschluss erfolgte die Stempelzugprüfung an je drei Bohrstellen im Eintrittsbereich, im Austrittsbereich und mittig jedes Probekörpers. Je nach Zug- und/ oder Verbundfestigkeit versagte der Bohrkern als Kohäsionsbruch im Beton, als Adhäsionsbruch an der Kontaktstelle zwischen Harz und Beton oder als Mischbruch.

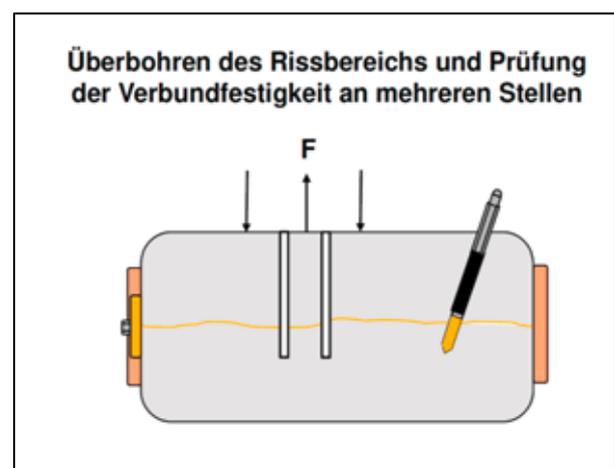


Abbildung 3: Überbohren des Rissbereichs

Ergebnisse Epoxidharze

Wie in **Abbildung 4** (Seite 5) erkennbar ergab sich eine mittlere Haftzugfestigkeit der trockenen Epoxidharze zu etwa $3,0 \text{ N/mm}^2$, welche aufgrund der reinen Kohäsionsbrüche in diesem Fall etwa der Betonzugfestigkeit entspricht (im Diagramm: Versagensart A).

Die Haftzugprüfung an den feuchten und druckwasserführenden Rissen in den Epoxidprüfkörpern ergab ein ähnliches Bild. In beiden ist eine mittlere Verbundfestigkeit von etwa $2,0 \text{ N/mm}^2$ zu beobachten.

Außerdem versagen die Prüfkörper zu jeweils etwa 50% im Beton (entspricht der Betonzugfestigkeit) und zu jeweils etwa 25% als reiner Adhäsionsbruch in der Verbundfuge zwischen Harz und Beton (im Diagramm: Versagensart C) oder als Mischbruch (im Diagramm: Versagensart B).

Ergebnisse Polyurethanharze

Die mittlere Haftzugfestigkeit der Polyurethanharze ist mit ca. $2,0 \text{ N/mm}^2$ um etwa $1,0 \text{ N/mm}^2$ kleiner als die der Epoxidharze (siehe **Abbildung 5**). Dies ist auch daran zu erkennen, dass weniger als 20% der im trockenen Zustand ausgehärteten Prüfkörper als Kohäsionsbruch im Beton aufgetreten sind. Weitere 27% brachen als Mischbruch und ganze 55% der getesteten Polyurethan Prüfkörper lösten sich in der Verbundfuge zwischen Harz und Beton.

Ähnliches Verhalten ist auch in den feuchten und druckwasserführenden Prüfkörpern zu beobachten.

Im druckwasserführenden Riss versagten weniger als 20% im Beton, im feuchten Zustand fand kein Kohäsionsversagen statt. Der Rest bildete sich als Misch- oder Adhäsionsbruch aus. Dies spiegelt sich auch in einer mittleren Verbundfestigkeit von etwa $1,5 \text{ N/mm}^2$ wieder.

Fazit

Grundsätzlich ist festzustellen, dass mittlerweile einige Produkte auf dem Markt vertreten sind, die nicht in der ZTV-ING definiert wurden. Die fehlende Einbindung in Regelwerke führt jedoch dazu, dass diese in der Baupraxis aktuell nur selten Verwendung finden. Die gezeigten Untersuchungen lassen jedoch darauf schließen, dass derartige Injektionssysteme ein hohes Potential für Spezialanwendungen aufweisen. So erreichen einige Epoxidharze sogar im wasserführenden Zustand eine Verbundfestigkeit von bis zu $2,0 \text{ N/mm}^2$.

Für die Baupraxis bedeutet das ein zukünftiges Aufweiten der Einsatzgrenzen von Epoxid- und möglicherweise auch von Polyurethanharzen. Diese könnten einen wirtschaftlichen Vorteil gegenüber anderen Alternativen bedeuten. Das liegt daran, dass diese oftmals sehr viel aufwendiger sind, was eine zeitliche und somit auch eine finanzielle Steigerung gegenüber konventionellen Injektionsharzen zufolge haben kann.

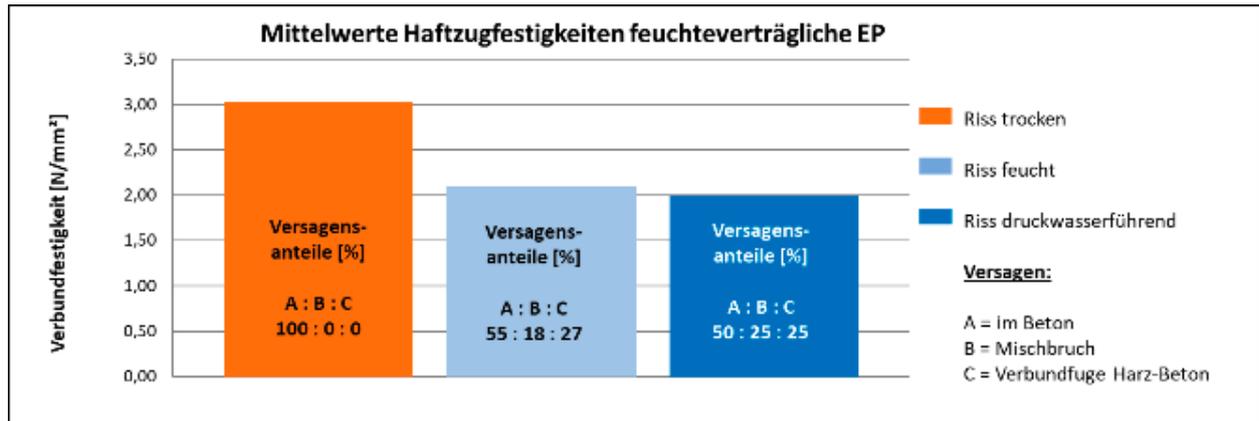


Abbildung 4: Ergebnisse Epoxidharze

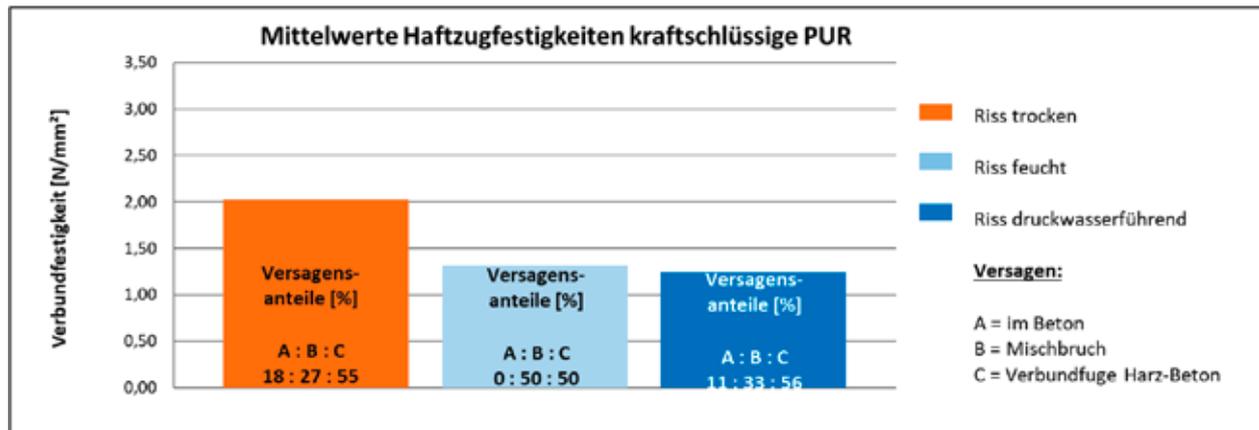


Abbildung 5: Ergebnisse Polyurethanharze

Literaturverzeichnis

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. D. p. D.-I. H. Reul, „Handbuch Bautenschutz und Bausanierung – Schadensursachen, Diagnoseverfahren, Sanierungsmöglichkeiten,“ Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH&Co.KG, 4.Auflage.
2. „ZTV-ING Teil 3 Massivbau, Abschnitt 5 Füllen von Rissen und Hohlräumen in Betonbauteilen (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten),“ Stand:2012/12.
3. „DIN EN 206 Beton, Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität,“ Juli 2001.
4. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, „DAfStb-Richtlinie, Instandhaltung von Betonbauteilen (Instandhaltungs-Richtlinie), Gelbdruckentwurf,“ Stand: 2016-06-14, Bisheriger Ersatz für Ausgabe Oktober 2001; bisherige Vertriebsnummer 65030.
5. D. B.-. u. B.-V. E.V., Bautechnik Merkblätter: Parkhäuser und Tiefgaragen, Januar 2018.

Autor, Coautoren

Anthea Jaitner, Bachelor of Engineering, Hochschule München, Masterstudent an der OTH Regensburg

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Lehrstuhl für Baustoffkunde der Hochschule München und wurde von Professor Dr.-Ing. Christoph Dauberschmidt und M. Eng. Andreas Fraundorfer betreut.

Die Arbeit wurde mit dem 2. Preis ausgezeichnet.

VERSCHWENDUNGSANALYSE AM BEISPIEL TUNNEL VÖTTING: TESTLAUF EINER ANWENDUNGS SOFTWARE VON WAYSS & FREYTAG

Bachelorarbeit

Sabrina Schmidt

Die vorliegende Bachelorarbeit gibt einen Überblick über das Thema Verschwendungsanalyse aus dem Bereich Lean Construction und kann gleichzeitig als Leitfaden für deren Durchführung herangezogen werden. Ziel der Arbeit ist es, eine neu entwickelte, sich in der Beta-Version befindende, Anwendungssoftware der Firma Wayss & Freytag zu testen. Es gilt herauszufinden, welche Potentiale und welche Schwachstelle die App als Werkzeug für eine digitale Tätigkeitsanalyse besitzt. Neben einer allgemeinen Einführung in das Thema Lean Construction wird auf einer aktuellen Tunnelbaustelle der Firma Wayss & Freytag eine Verschwendungsanalyse sowohl mit der App, als auch auf konventionelle Art in Papierform durchgeführt. Auf Grundlage dieses Methodenvergleichs konnten Optimierungsempfehlungen für die App erstellt werden, wobei sowohl das App-Layout überarbeitet als auch der Inhalt und die Features angepasst wurden.

Keywords: Lean Construction, Verschwendungsanalyse, Multimomentaufnahme, digitale Tätigkeitsanalyse, Zeiteinsparung, Kennzahlen der Produktivität

Problemstellung

Gegenwärtig weisen die meisten Großbaustellen Optimierungspotential im Rahmen der Produktivität auf [1]. Studien belegen, dass in dem Zeitraum von 1991 bis 2018 lediglich eine geringe Steigerung der Produktivität je geleisteter Erwerbstätigen-Stunde von 5,6 % erreicht wurde. [2]

Dies ist zumeist auf komplexe und gestörte Bauabläufe zurückzuführen, die in Verbindung mit nicht kontinuierlichen Arbeitskrachteinsätzen bzw.

wechselnden Baustellenpersonal verkompliziert werden. Für aufwendige Analysen und umfassende Auswertungen fehlt meist die Zeit und das Personal, um diese durchzuführen.

Eine Lösung für dieses Problem bietet eine Anwendungssoftware von Wayss & Freytag, die ohne größeren Personaleinsatz und mithilfe automatisierter Auswertung den Zeitbedarf einer Analyse auf ein Minimum reduzieren soll.

Konzept der Anwendungssoftware

Um die Produktivität einer Baustelle zu optimieren, sind verlässliche Datenmengen und Kennzahlen der Produktivität unerlässlich. Diesbezüglich müssen Tätigkeitsanalysen vor Ort durchgeführt und umfassend ausgewertet werden.

Mithilfe der Anwendungssoftware von Wayss & Freytag (siehe Abb. 1) soll eine zeiteinsparende Analysemethode geschaffen werden, die eine automatisierte Übertragung der aufgenommenen Datenmengen in eine Excel Datei ermöglicht und daraus eine fehlerfreie und schnelle Auswertung der Aufnahmen resultiert.



Abb. 1: Startbildschirm der „Lean App“

Die App befindet sich derzeit in einer Beta-Version. Ziel der Arbeit war es, diese App zu testen und Optimierungsempfehlungen zu erarbeiten.

Verschwendungsanalyse am Beispiel Tunnel Vötting

Um herauszufinden, welche Potentiale und welche Schwachstellen die App als Werkzeug für eine digitale Tätigkeitsanalyse besitzt, wurden auf einer Tunnelbaustelle der Firma Wayss & Freytag Verschwendungsanalysen sowohl mit der App, als auch vergleichend auf konventionelle Art in Papierform, durchgeführt.

Für die konventionelle Art wurde auf die Methode der Multimomentaufnahme (MMA) zurückge-

griffen. Bei einer MMA handelt es sich um eine Tätigkeitsanalyse, die Zeitanteile an einer Gesamtzeit feststellt (vgl. Abb.2). Hierfür wird die Häufigkeit zuvor festgelegter Ablaufarten an einem oder mehreren gleichartigen Arbeitssystemen mit Hilfe von stichprobenartig durchgeführten Kurzeitbeobachtungen (Momentaufnahmen) ausgewertet. Diese Methode eignet sich sowohl für Einzelbeobachtungen (Mensch/Maschine) oder Gruppenaufnahmen, bei denen eine Gruppenstärke von zwei bis max. 10 Personen auf einmal aufgenommen werden kann.

Zählen:

Keine Einzelzeiten

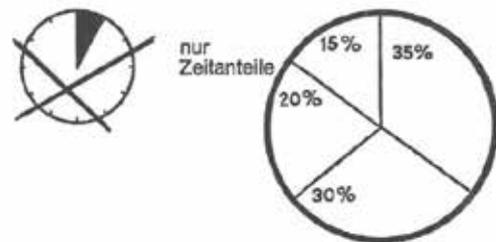


Abb. 2: Zähltechnik der Multimomentaufnahme: Feststellung von Zeitanteilen an einer gesamten Zeit [3]

Die einzelnen Beobachtungen werden im Nachgang den Kategorien Wertschöpfung, notwendige Verschwendung und offensichtliche Verschwendung zugeteilt. Die Definition der jeweiligen Kategorie entspricht der Sicht des Auftragnehmers und wurde wie folgt angepasst, um eine realitätsnahe Abbildung des Bauprozesses zu gewährleisten:

Als wertschöpfend werden jene Tätigkeiten bezeichnet, die Materialien oder Informationen umwandeln und für das Unternehmen gewinnbringend sind. Die Verschwendungsmerkmale unterscheiden sich darin, dass eine notwendige Verschwendung lediglich reduziert aber nicht vollständig eliminiert werden kann. Die Einteilung der Aufnahmen in ihre Kategorien erfolgt bei beiden Analysemethoden gleich.

Aufnahmen

Für die konventionelle Analyseverfahren wurde als zu beobachtender Bauprozess die Herstellung der Wände im Abschnitt der Deckelbauweise ausgewählt. In diesem Prozess wurde eine Gruppenstärke von durchschnittlich acht Mann über einen Zeitraum von vier Wochen aufgenommen, wobei rund 860 Momentaufnahmen dokumentiert wurden.

Für die Probeaufnahmen zum Testen der Anwendungssoftware wurde als Prozess der Aushub unter dem Deckel gewählt.

Zum Zeitpunkt der Aufnahmen war die App noch nicht für Gruppenaufnahmen ausgelegt, weswegen ein Prozess mit aufeinander folgenden Prozessschritten gewählt werden musste. Dieser bestand am Beispiel Aushub unter dem Deckel aus Lösen, Schüttern und Abfuhr des Materials.

Im Gegensatz zur MMA folgt die App bislang dem Prinzip der Zeitaufnahme. Die einzelnen Prozessschritte werden mithilfe einer digitalen Stoppuhr aufgenommen. Schwachstellen der App fielen relativ schnell auf, weswegen eine Gesamtbeobachtungszeit von etwa einer Stunde völlig ausreichte, um Optimierungsempfehlungen auszusprechen.

Auswertung der Aufnahmen

Zusätzlich zum Methodenvergleich und den daraus entwickelten Optimierungsempfehlungen für die App, konnte durch die Auswertung der aufgenommenen Datenmengen ein guter Einblick in die vorherrschenden Verschwendungsmerkmale der Baustelle erzielt werden.

Als Gesamtergebnis wurde ein Verschwendungsanteil von 62 bis 75 % dokumentiert, wobei, unabhängig von der Analyseverfahren, in beiden Beobachtungsbereichen ein offensichtlicher Verschwendungsanteil von ca. 40 % ermittelt wurde (vgl. Abb. 3).

Für die offensichtliche Verschwendung waren vorwiegend zwei Faktoren ausschlaggebend:

Wartezeiten und Personenbewegungen. Der Hauptanteil der Wartezeit wurde durch einen unstimmgigen Bauablauf hervorgerufen. Beispielsweise entstanden durch das Warten auf den Mischer während einer Betonage oder das Warten auf den zurückkehrenden LKW für ein erneutes Beladen sehr hohe Wartezeiten, die durch einen erhöhten LKW-Einsatz oder einer Umverteilung der Arbeiten reduziert hätten werden können.

Unter Personenbewegungen fielen beispielsweise das Holen von Material oder sonstige Bewegungen, deren Ursache eine unweckmäßige Baustelleneinrichtung bildete.



Abb. 3.: Auswertung der konventionellen Analyseverfahren

Gegenüberstellung beider Analyseverfahren

Für den direkten Vergleich beider Methoden wurde eine Nutzwertanalyse erstellt, die sieben Kriterien bewertet: Anwendung bei Kälte, Anwendung bei Dunkelheit, Zeitaufwand für die Auswertung, Handhabung, Benutzerfreundlichkeit, Eignung für Gruppenaufnahmen und Ordnungscharakter, welche Leserlichkeit und Ablageart umfasst. Dabei wurden die Kriterien zunächst nach Bedeutung gewichtet und anschließend mit Zahlen von 1 bis 10 beurteilt. Je niedriger die Zahl, desto schlechter sind die Voraussetzungen der Methode für das Kriterium. Nach Multiplikation der Gewichtung mit der Beurteilung und anschließender Aufsummierung der Werte, ergibt sich pro Methode eine vergleichbare Nutzwertsumme. Bei der

Gewichtung wurden die Kriterien Zeitersparnis und Eignung für Gruppenaufnahmen hervorgehoben.

Die App konnte in puncto Zeitersparnis aufgrund eines Programmfehlers bei der digitalen Auswertung bislang nicht überzeugen. Lediglich die automatisierte Übertragung der aufgenommenen Daten in die Excel Datei führten im Vergleich zur konventionellen Methode zu einer schnelleren Auswertbarkeit.

Ebenfalls waren Gruppenaufnahmen im derzeitigen Entwicklungsstand nicht möglich, was eine deutliche Einschränkung der Vor-Ort-Anwendung mit sich führte. Bei der konventionellen Methode konnte an dieser Stelle flexibel reagiert werden.

Hinsichtlich der Handhabung und Benutzerfreundlichkeit war eine intuitive Nutzung der App nur erschwert möglich. Nach einer Einweisung war jedoch die Bedienung der App mitsamt Back-End Voreinstellung schnell zu erlernen und eine Aufnahme leicht durchzuführen.

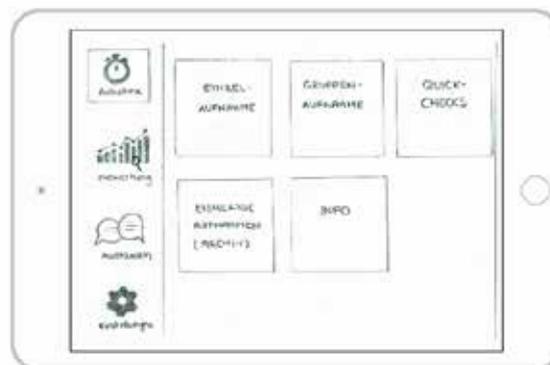
Hinsichtlich der Kriterien Kälte und Dunkelheit, sowie beim Ordnungscharakter erzielte die App, im Vergleich zur konventionellen Analyse-methode, deutliche Vorteile.

Die Ergebnisse des Methodenvergleichs ergaben, dass die App trotz vermehrter Schwachstellen in puncto Zeitersparnis und Eignung für Gruppenaufnahmen, der konventionellen Methode in Papierform vorzuziehen ist.

Optimierungsempfehlungen der App

Generell sollte die automatisierte Übertragung der Datenmengen in die Excel Datei überarbeitet und eine visuelle Auswertung miteingebunden werden.

Das App-Layout wurde soweit überarbeitet, dass eine intuitive Nutzung ermöglicht wird und damit die Benutzerfreundlichkeit und Handhabung optimiert werden konnten. Hierzu wurde eine



Handskizze erstellt, die Abbildung 4 entnommen werden kann.

Abb.4.: Optimierung des App-Layouts (Handskizze)

Fazit

Grundsätzlich beinhaltet die App als Methode zur digitalen Tätigkeitsanalyse ein nicht zu unterschätzendes Kosten- und Zeiteinsparungspotential.

Sollte die App in dem Maße verbessert werden, dass die Auswertung vollkommen automatisiert stattfindet, kann eine Zeitersparnis von bis zu mehreren Stunden pro Aufnahme erzielt werden. Da für eine aussagekräftige Analyse eine Vielzahl an Aufnahmen benötigt wird, entstehen erhebliche Datenmengen, die mittels der App sowohl schneller als auch kostengünstiger ausgewertet werden können. Dies bietet sowohl für mittelständische als auch große Baufirmen eine gewinnbringende Investition, um bislang einen Verschwendungsanteil von 40 % nachhaltig reduzieren zu können.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: vgl. Kim Kirchbach (2005) zit. nach Bent Flyvbjerg, Mette Skamris Holm und Søren Buhl (2002)
- [2]: vgl. Statistisches Bundesamt (2019). Inlandsproduktberechnung - Detaillierte Jahresergebnisse (vorläufige Ergebnisse) - Fachserie 18 Reihe 1.4 - 2018 (Stand: Mai 2019), S.78
- [3]: Pornschlegel u. Schiffer (1975), S.5

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. **Alarcón, Luis F.:** Lean Construction. Rotterdam and Brookfield, VT, USA: A.A. Balkema, 1997. – ISBN 90–5410–648–4
2. **Fiedler, Martin (Hrsg.):** Lean Construction - das Managementhandbuch: Agile Methoden und Lean Management im Bauwesen. Berlin: Springer Gabler, 2018. – ISBN 978–3–662–55337–4
3. **Gruß, Renata:** Schlanke Unikatfertigung: Zweistufiges Taktphasenmodell zur Steigerung der Prozesseffizienz in der Unikatfertigung auf Basis der Lean Production. 1. Aufl. s.l. : Gabler Verlag, 2010 (Beiträge zur Produktionswirtschaft). – ISBN 978–3–8349–2506–0
4. **Kim Kirchbach:** Anwendung von Lean-Prinzipien im Erdbau Entwicklung eines Baustellenleitstands auf Basis von Virtual Reality. Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation, 20.05.2014. <https://pdfs.semanticscholar.org/054d/0980b619a0cd44cc4d6f575bfe5cab7eb98e.pdf>. – Zuletzt geprüft am 03.11.2019
5. **Ohno, T., Hof, W., Rother, M.:** Das Toyota-Produktionssystem. 3. erweitert und aktualisiert Auflage. Frankfurt and New York: Campus, 2013. – ISBN 978–3–593–38836–6
6. **Pornschlegel, Hans; Schiffer, Karl H.:** Arbeits- und betriebskundliche Reihe. Bd. 16: Das Zählen von Ereignissen: Die Multimomentaufnahme; ein teilprogrammiertes Arbeitsbuch zur Verwendung im Medienverbund oder zum Selbstunterricht. 2. durchges. Aufl. Köln: Bund-Verl., 1975. – ISBN 3766300598
7. **VDI-Richtlinie 2553:** Lean Construction. Berlin, März 2019. – (Wiedergegeben mit Erlaubnis des Verein Deutscher Ingenieure e.V.)
8. **Womack, James P. (Hrsg.):** Jones, Daniel T. (Hrsg.); Roos, Daniel (Hrsg.): Die zweite Revolution in der Autoindustrie: Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology. 3. Aufl. Frankfurt/Main: Campus-Verlag, 1991. – ISBN 3–593–34548–X
9. **Zollondz, Hans-Dieter:** Grundlagen Lean Management: Einführung in Geschichte, Begriffe, Systeme, Techniken sowie Gestaltungs- und Implementierungsansätze eines modernen Managementparadigmas. München: Oldenbourg, 2013 (Edition Management). – ISBN 978–3–486–71647–4

Autor

Sabrina Schmidt, B. Eng., Studentin im Fachbereich Bauingenieurwesen an der Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

Co-Autoren

Prof. Dipl.-Ing. Bernhard Denk
Carolin Scheuerer, M. Eng.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Lehrstuhl für Baubetrieb mit Schwerpunkt im Projektmanagement, Fachbereich der OTH Regensburg, Professor Dipl.-Ing. Bernhard Denk.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

MODELLORIENTIERTE BAUABRECHNUNG ANWENDUNG UND VERGLEICH DER MODELLORIENTIER- TEN UND KONVENTIONELLEN ABRECHNUNG

Bachelorarbeit

Alexander Dominik Schunn

Durch die zunehmende Digitalisierung des Bauwesens und das damit einhergehende Thema der BIM-Methode, haben sich viele Fragen in Bezug auf die praxisnahe Anwendung aufgetan. Das Ziel dieser Arbeit war es einen Vergleich zwischen der konventionellen und der modellorientierten Abrechnung zu schaffen. Das Ergebnis zeigt deutlich den Mehrwert der modellorientierten Variante. Verstärkt wurde in der Arbeit auf die Modellierung in dem Programm Revit und in der Abrechnung auf das Programm ITWO eingegangen. Das Ergebnis war die Erstellung eines praxisnahen Leitfadens für die Anwendung der modellorientierten Methode. Zudem wurden auch die rechtlichen Hintergründe aus dem BGB, VOB und HOAI in Bezug auf Honorierung und Abrechnung der Methode aufgegriffen und dazu Lösungen erarbeitet.

Nachträge und deren gesetzliche Grundlage zwischen AG und AN nach der Novelle 2018

Mit der Thematik „Nachträge“ befasst sich früher oder später jeder Auftraggeber und Auftragnehmer. Hier liegt auch eines der größten Streitpotenziale im Bauwesen.

Aber wieso ist das so?

Nachträge stellen einen sehr hohen Risikofaktor in Bezug auf Kostenregulierung dar. Zusätzliche Kosten werden vom Auftraggeber nicht eingeplant und führen so zu Unverständnis in ihrer Notwendigkeit.

Dennoch wird dem Auftragnehmer dadurch die Möglichkeit gegeben notwendige

Leistungen geltend zu machen, die sich aus Veränderungen und Abweichungen der Ausführungsplanung ergeben.

Seit der Novellierung 2018 wurde auch dem Auftraggeber ein Anordnungsrecht unter §650b BGB zugesprochen. Das BGB ermöglicht ihm dadurch Änderungen des vereinbarten Werkerfolgs rechtlich geltend zu machen. Zusätzlich darf er „eine Änderung, die zur Erreichung des vereinbarten Werkerfolgs notwendig ist“ anordnen.

Vor der Novelle standen dem AG keine Rechte diesbezüglich zu. Er musste sich außervertraglich mit dem AN einigen.

Das BGB beschreibt weiterhin, dass der AN verpflichtet ist, „[...] ein Angebot über die Mehr- oder Mindervergütung zu erstellen [...] jedoch nur, wenn ihm die Ausführung der Änderung zumutbar ist.“. Im Falle eines für die Planung zuständigen Bestellers, muss dieser erst dem Unternehmer eine für die Mehr- oder Mindervergütung geltende Planung vorlegen, bevor der Unternehmer sein Angebot abgeben muss. Diese Regelung wirkt sich positiv für den Unternehmer aus.

Weiterhin entsteht hierdurch eine klare Zuordnung der Planungsverantwortung. Somit wird festgelegt, dass der Besteller diese Planungsleistungen zu übernehmen hat und diese nicht von dem Unternehmer übernommen werden. Die damit verbundene Verantwortung wird automatisch dem Besteller zugewiesen.⁴

Im §650b Abs. 2 sieht das BGB ein Anordnungsrecht des Bestellers gegenüber dem Unternehmer vor. Wird binnen 30 Tagen keine Einigung der Parteien beschlossen, ist der Besteller dazu befähigt eine Änderung in Textform anzuordnen. Dieser Aufforderung muss der Unternehmer Folge leisten, es sei denn, dies sei ihm unzumutbar.

Diese Regelungen sind erst seit der Novellierung 2018 eingeführt worden. Damit wird der Unternehmer zur Handlung gezwungen, welches sich vorteilhaft für den Besteller auswirkt. Die sich daraus entwickelnde Vergütungsanpassung für den Unternehmer ist im darauffolgenden §650c BGB geregelt.

Mangelnde Honorarregelungen der HOAI bei einer modelorienterten Arbeitsweise

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Betrachtung der modellorientierten Arbeitsweise, ist dessen Honorierung gegenüber Architekten und Ingenieuren.

Die dafür zuständige Verordnung HOAI beinhaltet bis zur Novellierung im Jahr 2013 keine Aussagen darüber. Nach der Novelle wurden in Anlage 10 unter Punkt 10.1 „Leistungsbild Gebäude und Innenräume“ in der Leistungsphase 2 „Vorplanung“ BIM-Leistungen mit aufgeführt. Unter der Spalte besonderen Leistungen steht:

- „Anfertigung von besonderen Präsentationshilfen, die für die Klärung im Vorentwurfsprozess nicht notwendig sind, zum Beispiel
 - Präsentationsmodelle
 - [...]
 - digitales Geländemodell
- 3-D oder 4-D Gebäudemodellbearbeitung (Building Information Modelling BIM)“

Somit fallen BIM Leistungen unter besondere Leistungen. Diese sind unter §3 Abs. 3 der HOAI „Leistungen und Leistungsbilder“ geregelt. Dort ist beschrieben, dass bei besonderen Leistungen das Honorar frei vereinbart werden darf. Daraus lässt sich schließen, dass sich die Honorierung von BIM-Leistungen nicht nach den unter § 7 Abs. 1 beschriebenen Mindest- und Höchstsätzen der HOAI richtet.

Da die HOAI aber eine methodenneutrale Verordnung ist, wird der Arbeitsaufwand durch die Erstellung mit der BIM-Methodik nicht zusätzlich honoriert.

⁴ Reister, D.; Werner, M. (2019), S.10

Somit befinden sich Leistungen aus der konventionellen CAD-Planung auf derselben Honorarebene, als die der BIM-Planung. Fraglich ist nun, wie der Mehrwert der BIM-Leistungen vergütet werden soll. Hier gibt die Verordnung keine genauen Richtlinien vor. Mögliche Vorschläge wären zu einem, eine pauschale Erhöhung der Honorarzone oder eine Honorierung in Höhe eines prozentualen Anteils an den Leistungsphasen 1-7.⁵

Leitfaden zur Modellierung in „Revit“

Der Inhalt der Arbeit soll als praxisnahes Handbuch für die Erstellung von Modellen in dem Programm „Revit“ von Autodesk GmbH verstanden werden. Dies wird durch die Modellierung einer Gipskartonwand mit verschiedenen Anschlüssen veranschaulicht. Dieses Bauteil wurde aus einem aktuellen Projekt der Firma TM Ausbau GmbH entnommen. Das in Abbildung 1 dargestellte Gebäudemodell zeigt nur die nach Trockenbau gefilterten Bauteile des Projekts.

Um den hohen Informationsgehalt des

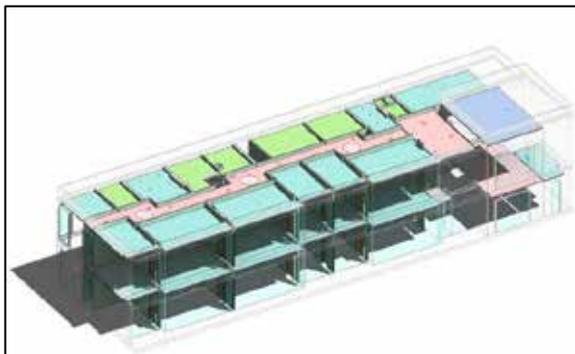


Abbildung 7: Darstellung Trockenbauarbeiten Gesamtprojekt (Quelle: TM Ausbau)

Modells zu gewährleisten, muss bei der Modellierung auf verschiedene Punkte geachtet werden.

Hier spielen Bauteilinformationen eine wichtige Rolle. Dem Bauteil wird nicht nur Lage und Beschreibung zugeordnet, sondern

auch sich automatisch erstellende Mengenangaben zu Höhen, Volumina, Schichtdicken und für die Abrechnung relevanten LV-Nummern.

Das in Abbildung 2 dargestellte

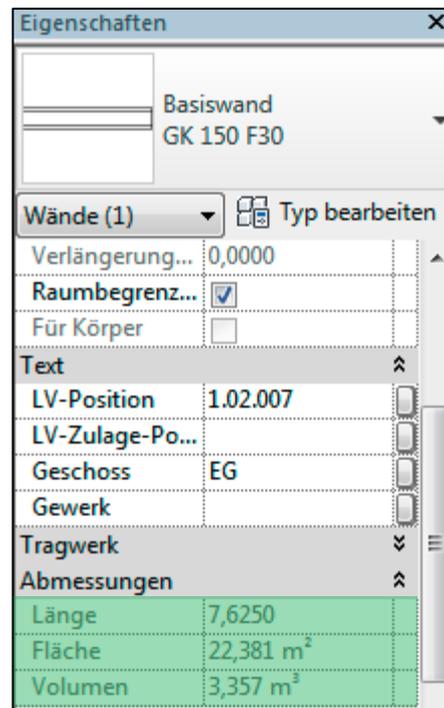


Abbildung 2: Wand Attribute (Quelle: Revit)

Eigenschaftsfenster aus Revit, zeigt die oben benannten Attribute einer Gipskartonwand. Beispielsweise errechnet das Programm die Höhe der Wand, durch die Abhängigkeiten zu den Geschossen und deren Höhenkoten. Revit ermöglicht zudem die Erstellung von eigenen Bauteileigenschaften, wie die der LV-Position. Diese werde dem Bauteil bereits in der Modellierung zu geordnet. Abrechnungsrelevante Informationen können so direkt in iTWO eingespielt und dort ausgewertet werden.

⁵ Esch, C.; Vöhringer-Gamper, C. (2018) S.2

Modellorientierte Abrechnung in RIB ITWO

Das zuvor dargestellte Modell kann zur Abrechnung in RIB ITWO, direkt aus Revit importiert werden. Dabei werden alle zugeordneten Bauteil-Attribute übernommen. Durch die in ITWO vorhandene Filterfunktion, können verschiedene Bauteile zu sogenannten Auswahlgruppen zusammengefasst werden.

Diese Auswahlgruppen werden dann durch die Bauteilattribute „LV-Nummer“ direkt mit dem vorhandenen LV verknüpft und kriegen so automatisch Kosten zugeordnet. Anhand unterschiedlicher Abfrage- bzw. Rechenregeln, ermittelt das Programm Mengenansätze wie Länge, Volumen und Stückzahl. Diese sogenannten QTO Formeln ermöglichen durch eine Vielzahl an Möglichkeiten, eine genaue Massenberechnung. Durch vorgefertigte Bausteine können dort sogar die Übermessungsregelungen der VOB/C mit einbezogen werden. In der konventionellen Weise, müssen an dieser Stelle die Massen per Hand in das Programm eingegeben werden. Die Massenberechnung anhand des Modells bietet dadurch eine präzise Mengenermittlung.

Um die Unterschiede beider Abrechnungsvarianten deutlich zu machen, wurden die Mengen eines schmalen Deckenfrieses durch beide Methoden ermittelt. Besonderheit hierbei waren zwei Rundstützen, an die der Fries an gearbeitet werden musste. In der Mengenberechnung war klar ersichtlich, dass die modellorientierte Variante die komplexen geometrischen Formen des Frieses genauer erfassen konnte und sich somit Mehrmengen ergaben. Durch das vereinfachte Aufmaß per Hand entfielen solche Mengen. Somit wurden die

Übermessungsregelungen nach VOB/C mit der präzisen Mengenermittlung des Programms verglichen. Ergebnis sind die klaren Vorteile der modellorientierten Mengenermittlung:

- Exakte Mengenermittlung
- Vereinfachung komplexer geometrischer Formen
- Darstellung der IST-Mengen

Daraus stellt sich die Frage ob die Übermessungsregeln der VOB/C bei einer modellorientierten Mengenermittlung noch sinnvoll sind. Die Übermessungsregelungen dienten zuvor der Vereinfachung von komplexen Bauteilen. Durch die aktuellen leistungsstarken Programme können die Mengen jedes Bauteils automatisch bestimmt werden. Die Regelungen stellen sogar eher ein Hindernis, als eine Hilfe dar. Sie müssen mühsam in die Programme eingearbeitet werden, obwohl die tatsächlichen Mengen bereits vorhanden sind. Daraus wurde klar, dass anhand der modellorientierten Variante, Bauleistungen genauer erfasst werden und die realistische Abbildung des Arbeitsaufwandes im Angebotspreis immer mehr der Realität entspricht.

Fazit

Die modellorientierte Abrechnung bietet in ein paar Bereichen, wie Honorierung und Modellierung, noch keine genauen Erfahrungswerte. Dennoch überwiegen ihre anwendungsbezogene Arbeitsweise und die daraus resultierenden Kontrollmöglichkeiten und machen diese Methode im Vergleich zur vielversprechenderen Variante.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1] Reister, D.; Werner, M. (2019): Nachträge beim Bauvertrag, 4. Aufl., Köln (Werner Verlag GmbH)
- [2] Esch, C.; Vöhringer-Gampper, C. (2018): BIM & HOAI: Rechtliche Aspekte von BIM in der Planung, in: Deutsche Bauzeitschrift (7.8.2018), S. 2
URL: https://www.dbz.de/artikel/dbz_BIM_HOAI_3191081.html
(Onlineabfrage 1.4.2019)

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Bielefeld, B. (Hrsg.) (2017): Kommentar zur VOB/C: Mit Beispielen für Ausschreibung und Abrechnung, 18. Aufl., Dortmund (Springer Vieweg Verlag GmbH)
2. Bramann, H.; Mänz, V.; Schmid, T. (2016): Trockenbauarbeiten: Kommentar zur VOB Teil C, ATV DIN 18340, ATV DIN 18299, 4. Aufl., Berlin (Beuth Verlag GmbH)
3. Pastor, W.; Werner, U. (2018): Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen; Bürgerliches Gesetzbuch; Honorarordnung für Architekten und Ingenieure, 34. Aufl., München (dtv Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG)
4. Schmidt, A. (2016): Abrechnung und Bezahlung von Bauleistungen: Schnelleinstieg für Architekten und Bauingenieure, Köln (Springer Vieweg Verlag GmbH)

Autor

Alexander Dominik Schunn

- Geboren 31.07.1997, München
- Wohnhaft Garching bei München
- 2015 – 2019 Bachelor of Engineering, Hochschule für angewandte Wissenschaften München
- Seit 2019 Bauleiter, ZECH Roh- und SF-Bau
Aktuelles Projekt: Siemenscampus Erlangen Modul 1

Die Bachelorarbeit ist in Kooperation mit TM Ausbau GmbH entstanden. Besonderen Dank gilt meiner dortigen Betreuerin Daniela Preischl.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt im Fachbereich Baubetriebsplanung und Projektentwicklung der Hochschule für angewandte Wissenschaften München, bei Professor T. Clausen.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

INSTANDSETZUNG UND/ODER VERSTÄRKUNG VON STAHLBETONBAUTEILEN MITTELS DÜNNER UHPFRC-SCHICHTEN

Masterarbeit

Strotmann, Andre

UHPFRC-Betonverbundbauteile entstehen bei der Instandsetzung und/oder Verstärkung von Stahlbetonbauteilen unter der Verwendung von Ultrahochleistungs Faserbeton (UHPFRC). Die verschiedenen Materialeigenschaften und Alter der Komponenten erfordern eine genaue Betrachtung der Rissbildung. Die Tragfähigkeitseigenschaften des Bauteils werden durch die Ergänzung einer bewehrten oder unbewehrten UHPFRC-Schicht zusätzlich beeinflusst, welche ebenfalls detailliert betrachtet werden müssen.

Die Fragestellungen wurden durch die experimentelle Ermittlung der Materialeigenschaften des jeweilig verwendeten Baustoffes und die Prüfung von Kleinprobekörpern unter statischer Belastung bearbeitet. Mittels elektronischer und optischer Dehnungsmessung sind die Dehnungszustände aus Zwangsspannungen und äußerer Belastung am Probekörper ermittelt worden. Während der experimentellen Untersuchung ist die Entstehung des Rissbildes dokumentiert und die maximale Belastung des Verbundkörpers ermittelt worden. Die theoretische Analyse des Rissverhaltens und der Tragfähigkeitseigenschaften des UHPFRC-Beton Verbundbauteils wurden nach bereits determinierten Ansätzen durchgeführt. Die rechnerischen Ergebnisse und die aus der experimentellen Untersuchung ermittelten Werte sind gegenübergestellt worden. Die Anwendung der Instandsetzung/Verstärkung soll an einem fiktiven Szenario dargestellt werden.

Mit Hilfe der Untersuchungen konnte das Tragverhalten anhand von Berechnungsansätzen nachvollzogen werden. Bei der Rissbildung und der Verbundfugentragfähigkeit sind Erkenntnisse abweichend von den angenommenen Verhalten festgestellt worden.

Keywords: Ultrahochleistungs Faserbeton (UHPFRC), Instandsetzung und Verstärkung, Vorstudie UHPFRC Spritzbeton, Anwendungsoptimierung

Motivation

Für die Instandsetzung und die Verstärkung von Stahlbetonbauwerken besonders im Bereich der Infrastruktur werden aktuell verstärkt innovative Anwendungskonzepte gesucht und erforscht. Der große, zumeist durch chloridinduzierte Korrosion hervorgerufene Instandsetzungs- und Verstärkungsbedarf in der Bundesrepublik Deutschland kann durch die Verwendung von Ultra-high Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC) gelöst werden. Bei der Technologie handelt es sich um den Schutz des geschädigten Stahlbetonbauteils durch das Aufbringen einer dünnen Ultrahochleistungs Faserbeton (UHPFRC)-Schicht. Hierdurch wird das Eindringen von weiteren Chloriden unterbunden und das bestehende Bauteil kann erhalten bleiben, ohne dass lange Ausfallzeiten des Bauwerkes durch Neubau oder konventionelle Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen entstehen. Die Verwendung des Baustoffes ermöglicht Vorteile hinsichtlich des Bauprozessmanagements in Bezug auf Qualitäts-, Kosten- und Zeitplanungssicherheit. Die Weiterentwicklung des Baustoffes durch die Optimierung zu einem Ultrahochleistungs-Spritzbeton erhöht den wirtschaftlichen Nutzen nochmals in Hinsicht auf die vereinfachte Anwendung und damit eingehenden Stabilisierung des Qualitäts-, Kosten- und Zeitmanagements.

Aus der nachträglich aufgetragenen UHPFRC-Schicht entstehenden Zwangsspannungen durch Schwinden und Kriechen. Diese bilden neben den Einflüssen aus Belastung einen zusätzlich einen Faktor hinsichtlich der Rissbildung und somit auch auf die Dauerhaftigkeit des Verbundbauteils. Die UHPFRC-Schicht kann u.a. unter der Verwendung von eingelegter Stahlbewehrung für die Verstärkung verwendet werden. Die besonderen Fragestellungen im Zusammenhang mit der Materialtechnologie und der Bemessung werden angepasste Bauablaufprozesse notwendig.

Die Arbeit dient der Grundlagenermittlung für die Anwendung von dünnen UHPFRC-Spritzbetonschichten bei der Instandsetzung/Verstärkung von Stahlbetonbauteilen. Besonders in diesen Bereichen sind weiterführende Untersuchungen nötig.

Fragestellungen und Aufbau

Bei der Ausarbeitung werden Fragestellungen zur Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit bearbeitet. Hierunter fallen die Bildung von Rissen und die Tragfähigkeitssteigerung bei unterschiedlichen Variationen der UHPFRC-Schicht.

Folgende Fragestellungen ergeben sich wie folgt:

Welche Berechnungsansätze werden für die Rissbreitenermittlung und der Tragfähigkeitsberechnung von UHPFRC-Bauteilen nach Regeln der Technik angewendet/ vorgegeben?

Wie groß sind die Zwangsspannungen in der nachträglich aufgetragenen UHPFRC-Schicht?

Welche Risscharakteristika stellen sich in der UHPFRC-Schicht unter Zwangsspannungen oder den Spannungen aus Belastung ein?

Welche veränderten Tragfähigkeitseigenschaften können festgestellt werden?

Wie groß ist die Tragfähigkeit der Verbundbauteile?

Sind die rechnerischen Ansätze der Rissberechnung und Berechnung der Tragfähigkeit mit den Ergebnissen aus den Versuchen an Kleinkörperproben nachzuziehen?

Die Bearbeitung der Fragestellungen wird anhand eines fiktiven Szenarios durchgeführt. Zunächst wird anhand der imaginären Situation der Anwendungsbereich des Verfahrens eingegrenzt, ebenso werden die Anforderungen an die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit bestimmt.

Anhand der Randbedingungen und Anforderungen aus dem Szenario werden Probekörpergeometrien abgeleitet. Für den jeweiligen zuvor ausgearbeiteten Anwendungsfall des zu verstärkenden Bauwerkes bzw. Bauteils werden Kleinkörperproben in verschiedenen

Variationen der Ausführung gewählt. Die zuvor bestimmten Kleinprobekörper in den unterschiedlichen Variationen werden auf den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und den Grenzzustand der Tragfähigkeit bemessen. Für die Bemessung werden die Ansätze für den Verbundbaukörper herausgearbeitet und angewendet. Bei der Betrachtung der Tragfähigkeit und der Rissbildung wird der Schwerpunkt auf die Biegetragfähigkeit gelegt.

Im Folgenden wird der Aufbau der Arbeit strukturiert dargestellt (Abbildung 1). Es werden analytische Betrachtung angestellt, ebenso werden experimentelle Untersuchung von zuvor bemessenen Proben aus Stahlbeton mit einer UHPFRC-Ergänzung durchgeführt. Die beiden Bereiche werden anschließend miteinander verglichen. Abschließend sollen mit der vergleichenden Untersuchung der analytischen Ansätze bestätigt und gegebenenfalls Verbesserung oder Erweiterung ergänzt werden.



Abb. 1: Aufbau der Arbeit

Analytische Untersuchung

Zunächst wurde eine analytische Untersuchung der Proben durchgeführt. Die Berechnung basiert auf der SIA 2052 und erfolgte unter besonderer Berücksichtigung der Dehnungen und Spannungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sowie dem Grenzzustand der Tragfähigkeit [1]. Hierzu wurde eine automatisierte Berechnung programmiert, dass eine effiziente Bemessung der Verbundelemente mit unterschiedlichen Materialeigenschaften ermöglicht. Für die UHPFRC-Betonverbundelemente wurden Materialmodelle für den Normalbeton und UHPFRC definiert.

Ebenso wurden Ansätze für die Ausbildung von Zwangsspannungen berücksichtigt.

Experimentelle Untersuchung

Es wurden Vier-Punkt-Biegeversuche an Balken mit einer Länge von 1,15m, einer Breite von 15cm und einer Höhe von 12cm sowie 5 verschiedenen UHPFRC-Schichtdicken à 3 Proben durchgeführt. Die Proben wurden unter positiver oder negativer Biegung untersucht.

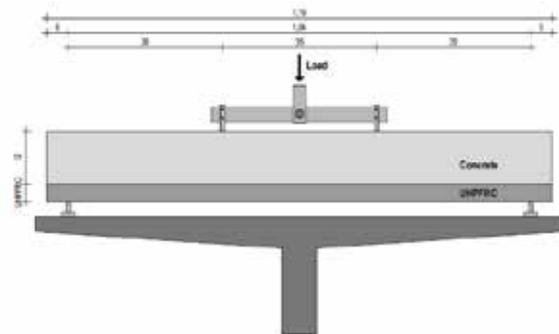


Abb. 2: Versuchsaufbau

Dehnungsmessstreifen wurden auf den Bewehrungsstäben angebracht, um die induzierten Spannungen aus Schwinden und Kriechen während des Aushärtungsprozesses aufzunehmen. Diese Messungen liefern Informationen über die Zwangsspannungen und den Rückhaltegrad μ der dünnen UHPFRC-Schichten.

Die Dehnungsmessstreifen auf den Bewehrungsstäben haben während des Vier-Punkt-Biegeversuchs Dehnungen gemessen und aufgenommen. Die Proben wurden auch mit optischer und induktiver Messtechnik ausgestattet. Bei der optischen Messung auch digitale Bildkorrelation handelt es sich um ein kamerabasiertes Verfahren zur berührungslosen Verformungsmessung, wobei die induktiven Messungen die Änderungen durch beispielsweise Verformungen in einem erzeugten Magnetfeld aufnehmen und verwerten. Abbildung 3 zeigt die Position von virtuellen Dehnungsmessstreifen in verschiedenen Höhen über das UHPFRC-Betonverbundelement verteilt. Auf der Probenoberfläche ist die Verformung des

Verbundelements aus optischer Messung dargestellt.

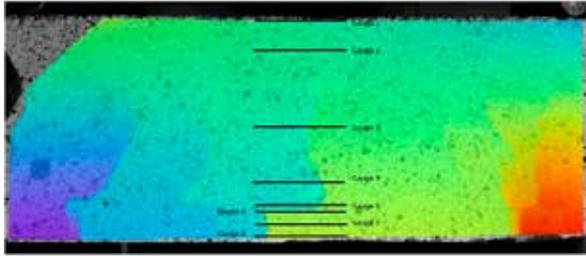


Abb. 3: Optische Dehnungsmessung

Vergleich

Der Vergleich der analytischen und experimentellen Untersuchungen ermöglicht Rückschlüsse auf die Anwendbarkeit des vereinfachten Bemessungsansatzes für die praktische Anwendung. Der Bemessungsansatz dient als einfaches Werkzeug zur Bemessung einer angemessenen Nachrüstung und Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit dünnen UHPFRC-Schichten sowie von UHPFRC als Spritzbeton.

Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen zur Verwendung von Ultrahochleistungsbeton hat die grundsätzliche Anwendbarkeit zur Instandsetzung und Verstärkung gezeigt. Hier kann somit die übergeordnete Entwicklung des UHPFRC-Spritzbetons fortgesetzt werden. Mit der Entwicklung der Instandsetzungsmethode unter der Verwendung von UHPFRC Spritzbeton wird zukünftig ein technisch sowie wirtschaftliches hervorragendes Instandsetzungsprinzip für Lösung der Verkehrsinfrastrukturproblematik zur Verfügung stehen.

Erste Nachrechnungen haben den optimierten Bemessungsansatz der UHPFRC-Betonverbund-

elemente bestätigt. Für eine endgültige Bestätigung des Ansatzes sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Während der Versuchsserie traten Probleme mit der Verbundfuge auf. Weitere Untersuchungen sind hierzu notwendig. Die vollständige Biegefestigkeit kann nur aktiviert werden, wenn die Verbundfestigkeit ausreichend hoch ist.

Für die Verarbeitung des Materials als Spritzbeton sind bereits erste Ergebnisse aufzuweisen. Auf Abbildung 4 zeigt die ersten Spritzversuche mit dem Werkstoff UHPFRC. Dies ermöglicht die effiziente und wirtschaftliche Nutzung des Instandsetzungs- und Verstärkungskonzeptes hinsichtlich des Bauprozesses.



Abb. 4: UHPFRC-Spritzbeton

Ebenso konnten die Materialeigenschaften des UHPFRCs auf den gespritzten Ultrahochleistungs-Beton übertragen werden.

Abschließend kann formuliert werden, dass das Konzept große Potentiale für die Zukunft liefert. Zum einen können bautechnische Problemstellungen behandelt werden und baubetrieblich können Synergieeffekte im Qualitäts-, Kosten- und Zeitmanagement genutzt werden.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1] Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein: Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHPFRC) –Baustoffe, Bemessung und Ausführung. SIA 2052, Zürich, 206.

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Habel, Katrin (2004): Structural behaviour of elements combining Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concretes (UHPFRC) and Reinforced Concrete. Dissertation. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
2. Jungwirth, Jörg (2006): Zum Tragverhalten von zugbeanspruchten Bauteilen aus Ultra-Hochleistungs-Faserbeton. Dissertation. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
3. Leutbecher, Torsten (2007): Rissbildung und Zugtragverhalten von mit Stabstahl und Fasern bewehrtem ultrahochfesten Beton (UHPC). Zugl.: Kassel, Univ., Diss., Kassel.

Autor

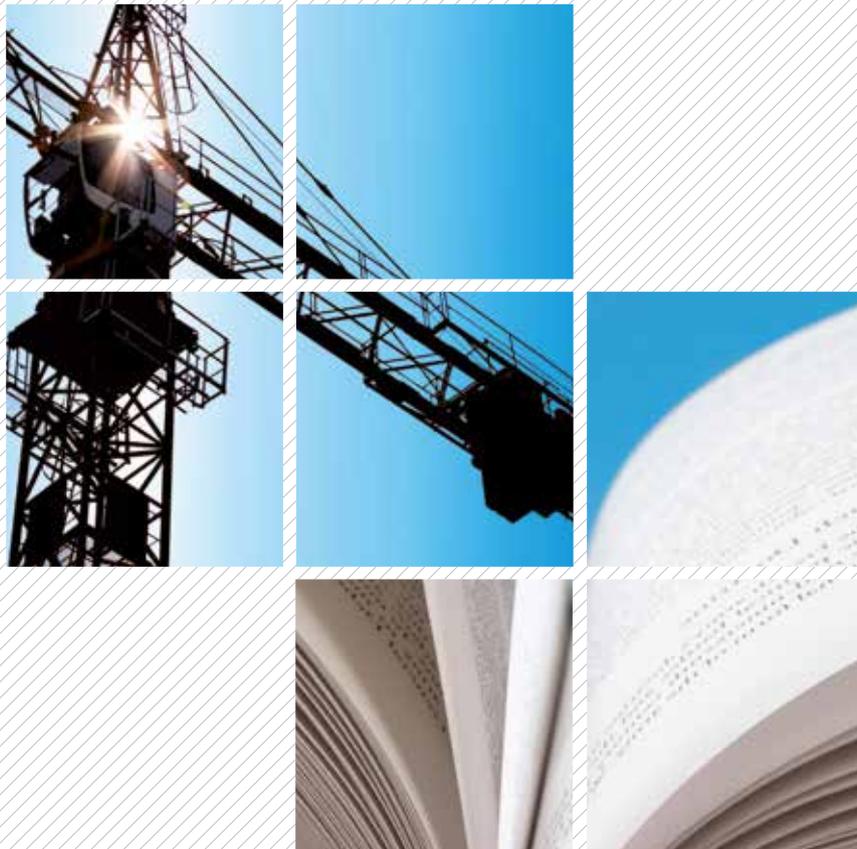
Andre Strotmann, M.Eng.

seit 2019	Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Hochschule München, Massivbau
2017 – 2019	Masterstudiengang „Allgemeiner Ingenieurbau“ an der Hochschule München (Teilzeit)
2017 – 2019	Lehrassistent der Hochschule München (Teilzeit)
2014 – 2017	Bachelorstudiengang „Bauingenieurwesen“ an der Fachhochschule Bielefeld
2011 – 2014	Allgemeine Hochschulreife, Augustin-Wibbelt-Gymnasium Warendorf

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt an der Hochschule für angewandte Wissenschaften München an der Fakultät für Bauingenieurwesen im Studiengang Allgemeiner Ingenieurbau. Betreuer war Prof. Dr. Jörg Jungwirth, Professor für Massivbau und konstruktiven Ingenieurbau.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.



ISBN 978-3-89650-502-6 // € (D)

