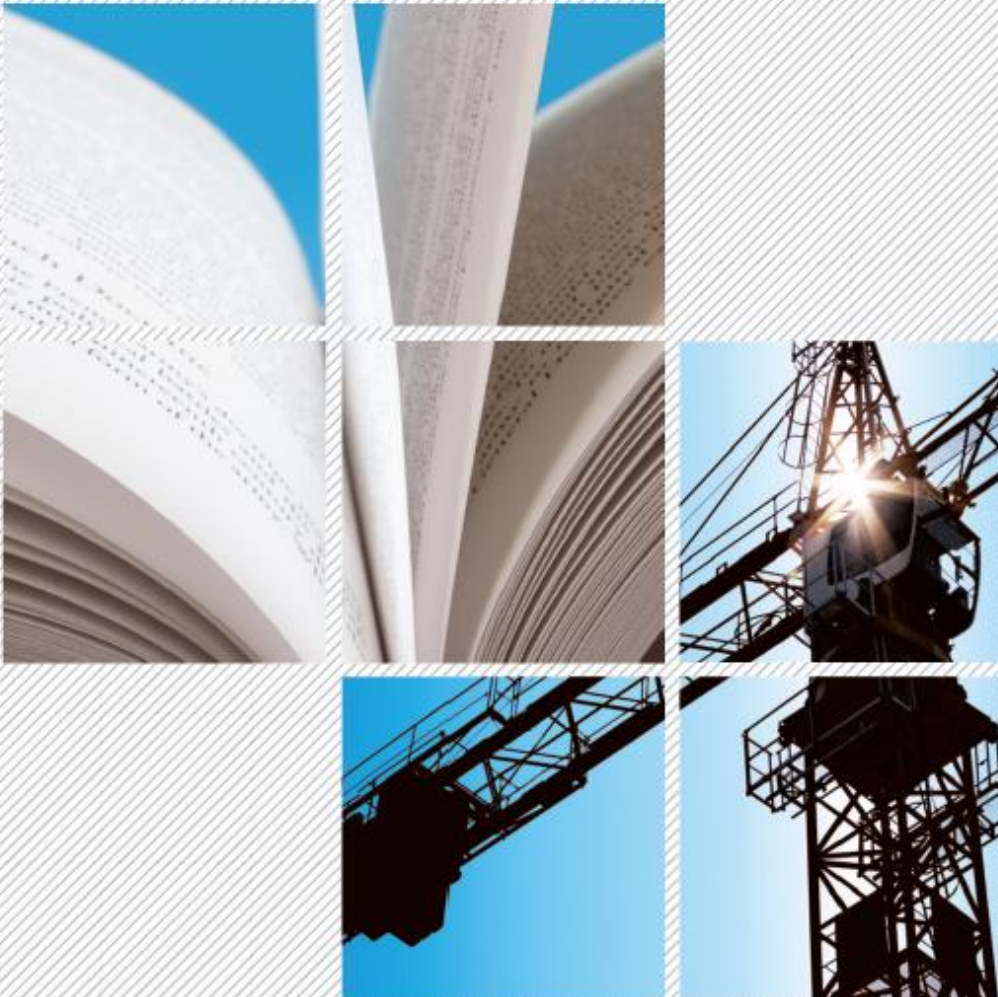




DAS
BAYERISCHE
BAUGEWERBE

HOCHSCHULPREIS

des Bayerischen Baugewerbes



Wettbewerbsbeiträge **2014**

Vorwort

Zum sechsten Mal zeichnete Franz-Xaver Peteranderl, Präsident der Bayerischen Baugewerbeverbände im Oskar von Miller Forum in München exzellente Bachelor- und Masterarbeiten der Technischen Universität München, der Universität der Bundeswehr München und der Bayerischen Hochschulen für angewandte Wissenschaften aus.

Im Jahr 2014 wurden insgesamt 18 Bachelor- und Masterarbeiten von der Hochschule für angewandte Wissenschaften in München, der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg, der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, der Universität der Bundeswehr in München und der Technischen Universität München eingereicht. 15 Arbeiten wurden nach der Vorprüfung der Zusammenfassungen in die engere Wahl für die Preisvergabe genommen. Aus diesen 15 Arbeiten hat der Wettbewerbsausschuss unter dem Vorsitz von Herrn Prof. Dr. Ing. Niels Oberbeck entschieden, zwölf Arbeiten mit einer Teilnahmeurkunde auszuzeichnen sowie einen ersten Preis mit 3.000 Euro dotiert, einen zweiten mit 2.000 Euro und einen dritten mit 1.000 Euro zu vergeben.

Neben der hohen Beteiligung mit 18 Arbeiten war erneut die große Dichte an exzellenten Arbeiten erfreulich. Drei Arbeiten ragten hervor und machten den Wettbewerb um die drei Geldpreise unter sich aus.

Entsprechend der Auslobung sollen sich die Arbeiten mit Themen befassen, die einen Beitrag zur Lösung aktueller Probleme der mittelständischen Bauunternehmen liefern. Im Auslobungstext heißt es wörtlich: „Mit dem Hochschulpreis des Bayerischen Baugewerbes werden herausragende Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten der Fachrichtung Bauingenieurwesen prämiert, die an einer Bayerischen Hochschule erarbeitet wurden und einen hohen Praxisbezug für die Anwendung in Unternehmen der mittelständisch geprägten Bauwirtschaft haben“.

Unter hohem Praxisbezug versteht der Wettbewerbsausschuss, dass ein wissenschaftlich komplexes Thema im Rahmen der Abschlussarbeit für die Praxis aufbereitet und verständlich wird oder dass ein praktisches Problem mit wissenschaftlichen Methoden untersucht und dadurch neue Erkenntnisse zur Lösung erarbeitet werden.

Diesem hohen Anspruch wurde die Siegerin des Hochschulwettbewerbes in vollem Umfang gerecht und sie kann sich über ein Preisgeld von 3.000 Euro freuen. Der zweite und dritte Preis wurden mit 2.000 Euro und 1.000 Euro prämiert.

1. Preis, 3.000 Euro Ricarda Gmür

Mit dem 1. Preis wurde Ricarda Gmür für ihre Bachelorarbeit ausgezeichnet. Die Arbeit entstand in Zusammenarbeit zwischen der Hochschule München und der Universität der Bundeswehr am dortigen Institut für Werkstoffe des Bauwesens zum Thema „Alterungseffekte calcinierter Tone und deren Einfluss auf die Eigenschaften in zementären Systemen“. Mit der Zugabe von calcinierten Tonen kann der Zementanteil im Beton verringert werden. Der Energieaufwand für die Herstellung calcinierter Tone ist deutlich geringer als für Zement. Dadurch kann der CO₂ – Ausstoß im Betonbau reduziert werden. Zudem können mit Zugabe calcinierter Tone betontechnologische Eigenschaften (Schwinden) positiv beeinflusst werden. In diesem Zusammenhang war die Alterung ein bislang noch nicht erforschter Aspekt. Die Arbeit leistet einen wichtigen Beitrag für den zukünftigen sicheren Einsatz calcinierter Tone in zementären Systemen. Sie wurde von Prof. Dr. Christoph Dauberschmidt (HS München) und Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl-Christian Thienel (UniBW) betreut.

2. Preis, 2.000 Euro Maximilian Deubel

Den 2. Preis erhielt Maximilian Deubel für seine Masterarbeit „Analyse der Anbieterstruktur am Baumarkt zur Beurteilung des Markt- und Wettbewerbspotenzials auf Bundes-, Landes- und Kreisebene“. Die Arbeit wurde am Lehrstuhl von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Zimmermann erstellt.

3. Preis, 1.000 Euro Martin Kopp

Der 3. Preis ging an Martin Kopp, der an der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Verkehrswegebau bei Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Freudenstein eine Masterarbeit unter der Betreuung von Herrn Dipl.-Ing. Heinz Dirnhofer einreichte, die sich mit dem Thema „GIS-unterstützte Zustandserfassung und -bewertung innerstädtischer Straßen“ beschäftigte.

Auszeichnungen mit einer Teilnahmeurkunde

Mit einer Teilnahmeurkunde und einem Gutschein über 100 Euro für einen Kurs bei der Bayerischen BauAkademie wurden ausgezeichnet:

- Bachelorarbeit von Christian Boog, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
- Masters' Thesis von Robin Eisenhardt, Technische Universität München
- Masters' Thesis von Anna Friedl, Technische Universität München
- Masterarbeit von Michael Gampfer, Technische Universität München
- Bachelorarbeit von Michael Günthner, Hochschule für angewandte Wissenschaften München
- Masterarbeit von Sebastian Lange, Universität der Bundeswehr München
- Bachelorarbeit von Josef Obergröbner, Hochschule für angewandte Wissenschaften München
- Masterarbeit von Thomas Obermaier, Hochschule für angewandte Wissenschaften München
- Masterarbeit von Juliane Otto, Universität der Bundeswehr München
- Masters' Thesis von Alexander Peikos, Technische Universität München
- Masterarbeit von Hannes Spitzhüttl, Universität der Bundeswehr München
- Masterarbeit von Fabian Strobl, Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Fachkolloquium

zum Thema "Auswirkungen künftiger Energiestrukturen auf den Wohnungs- und Städtebau"
Professor Dipl.-Ing. Georg Sahner, Leiter des Studiengangs Energieeffizientes Planen und Bauen an der Hochschule Augsburg berichtete in einem interessanten Vortrag über seine Erfahrung aus der jahrzehntelangen Beschäftigung mit dem energieeffizienten Wohnungs- und Städtebau. Dabei hat sich sein Fokus in den vergangenen Jahren immer weiter von der hochwärmedämmenden Gebäudeaußenhülle zu den notwendigen Konsequenzen aus der Anpassung der Gebäude- und Quartiersplanung an den Klimawandel verschoben. Im Mittel soll sich in Deutschland eine Erwärmung bis zum Jahr 2100 um ca. 3,5° bis 4,5° gegenüber den Referenzjahren 1971 und 2000 einstellen. Vor

diesem Hintergrund sei zukünftig wesentlich mehr Augenmerk auf den Schutz vor Überhitzung durch hohe Außentemperaturen und Sonneneinstrahlung als bisher zu legen, so sein Fazit.

Präsident Peteranderl hob in seiner Rede hervor, dass die baugewerblichen Unternehmen mit ihren Bauweisen dem Mauerwerk und dem Stahlbeton für den Klimawandel gut gerüstet sind. Sie sind massiv und robust. Im Winter speichern Sie die Wärme und im Sommer kühlen sie. Er betonte in seiner Rede auch, dass Deutschland in drei der vier Jahreszeiten niederschlagsreicher wird, so die aktuellen Prognosen europäischer Forscher im Weltklimarat. Auch der Schutz vor Hochwasser und Stürmen müsse zukünftig noch mehr in der Wohnungs- und Quartiersplanung beachtet werden.



Von links nach rechts:

Präsident Peteranderl, Fabian Strobl, Ricarda Gmür, Maximilian Deubel, Josef Obergröbner, Martin Kopp, Christian Boog, Michael Gampfer, Alexander Peikos, Juliane Otto, Sebastian Lange, Thomas Obermaier, Michael Günthner, Anna Friedl



Prof. Dipl.-Ing. Georg Sahner



Präsident Peteranderl gratuliert Ricarda Gmür zum 1. Preis des Hochschulpreises des Bayerischen Baugewerbes

Inhaltsverzeichnis

Das Multimodell in iTWO als Basis für die modellorientierte Leistungsfeststellung Christian Boog, Bachelorarbeit, OTH Regensburg	Seite 9
Analyse der Anbieterstruktur am Baumarkt zur Beurteilung des Markt- und Wettbewerbspotenzials auf Bundes-, Landes- und Kreisebene Maximilian Deubel, Masterarbeit, TU München	Seite 15
Entwicklung eines standardisierten Prozessmodells für Planfeststellungsverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stakeholder, Leistungs- und Steuerungsprozesse Robin Eisenhardt, Masterarbeit, TU München	Seite 21
Vergleich von schienen- und straßengebundener Bauleistung am Beispiel des Augsburger Hauptbahnhofs Anna Friedl, Masterarbeit, TU München	Seite 27
Modellbildung und Analyse von Verbundträgern mit Verbunddübeln mittels nichtlinearer, dreidimensionaler FEM Michael Gampfer, Masterarbeit, TU München	Seite 33
Alterungseffekte calcinierter Tone und deren Einfluss auf die Eigenschaften in zementären Systemen Ricarda Gmür, Bachelorarbeit, Hochschule München, UniBw	Seite 39
Schutzpflicht des Auftragnehmers bis zur Abnahme nach §4 Abs. 5 VOB/B Michael Günthner, Bachelorarbeit, Hochschule München	Seite 45
GIS-unterstützte Zustandserfassung und -bewertung innerstädtischer Straßen Martin Kopp, Masterarbeit, TU München	Seite 51
Auswirkung calcinierter Tone auf die Eigenschaften von Spritzbeton Sebastian Lange, Masterarbeit, UniBw	Seite 57
Teil I : Entrauchungssimulation mit dem MRFC Zonenmodell Teil II: Brandschutztechnische Bemessung eines Stahlrahmens nach Eurocode Josef Obergröbner, Bachelorarbeit, Hochschule München	Seite 63
Die BIM Methode zur Optimierung des Planungsprozesses - Darlegung des Mehrwertes anhand einer 4D-Bauablaufsimulation Thomas Obermaier, Masterarbeit, Hochschule München	Seite 69
CO2-Bilanz für Betone im Tunnelbau- Auswirkungen der Verwendung verschiedener Zement Juliane Otto, Masterarbeit, UniBw	Seite 75
Analyse des vorbeugenden baulichen Brandschutzes bei Verwendung des Fresh-Air-Wall-Systems für Gebäude der Gebäudeklasse 4 Alexander Peikos, Masterarbeit, TU München,	Seite 81
Biegezugfestigkeitsprüfung an Dünnglas Hannes Spitzhüttl, Masterarbeit, UniBw	Seite 87
Die lineare Theorie von Schalenträgwerken und deren dynamisches Verhalten Fabian Strobl, Masterarbeit, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm	Seite 93

DAS MULTIMODELL IN ITWO ALS BASIS FÜR DIE MODELLORIENTIERTE LEISTUNGSFESTSTELLUNG

Bachelorarbeit

Christian Boog

Die Analyse, Verbesserung und Qualitätssicherung von Bauprozessen ist inzwischen zwingender Bestandteil der Unternehmensorganisation von Bauunternehmen. Die genannten Bauprozesse umfassen dabei interne, sowie externe Prozessstrukturen, die mit möglichst hoher Interoperabilität ineinander greifen. Um die Analyse, Verbesserung und Qualitätssicherung zu erreichen, müssen entsprechende Methoden und passende IT-Instrumente gefunden werden. Es wurde die Methode BIM, das Bauwerksmodell als Wissensträger und Teil des Controllingbestandteils Planung und das Instrument iTWO der RIB Software AG ausgewählt, welches die zentrale Rolle einnimmt. Es wird in der Bachelorarbeit erläutert, dass beispielsweise schon in regelmäßig anfallenden Projektstatusmeetings ein Mehrwert durch die Arbeit mit „3D-Modellen“ im Multimodell entsteht, die Konzentration auf Entscheidungen. Ist das 3D-Modell für den Entscheidungsträger visuell aufbereitet, und ein Controlling-Status wie der Fortschritt der Leistungsmengen auf einen Blick erkennbar, kann auf Basis dieser Multimodellvisualisierung die Baustellensteuerung erfolgen.

Keywords: Multimodell, RIB iTWO, BIM, Modellqualität, Modellvisualisierung, Leistungsfeststellung, Max Bögl, Hochschulpreis, Baugewerbe, Zusammenfassung.

Potentiale der IT in Bauunternehmen

In modernen Bauunternehmen jeglicher Größe steht die Analyse und Verbesserung von Unternehmensprozessen wie Strategieentwicklung, Organisationsentwicklung und Teamentwicklung, sowie Projektprozesse wie der Wertschöpfungsprozess, Akquisitions- und

AVA-Prozess, Baustellensteuerungsprozess, Beschaffungs- und Logistikprozess, Aufmaß- und Abrechnungsprozess im Mittelpunkt. Optimierungspotentiale bestehen dabei zum großen Teil an einer kollaborativ, an einem gemeinsamen Ziel ausgerichteten Zusammenarbeit aller am Projekt Beteiligten, in der baupraktischen Innovation, in strukturellen

Prozessoptimierungen und in dem unterstützenden Einsatz verschiedener Softwareprodukte in den einzelnen Prozessen.

Die genannten Bauprozesse umfassen dabei interne, sowie externe Prozessstrukturen, die mit möglichst hoher Interoperabilität ineinander greifen müssen um den Zusammenfluss von internen und externen Informationsströmen in den Projektinformationsstrom zu ermöglichen. Dieses Potential kann durch Informationstechnologie gefördert werden und unterstützen damit die Weiterentwicklung der Bauprozesse. Um diese zu erreichen müssen entsprechende Methoden und passende Instrumente im Bauunternehmen eingeführt werden.

Es wurde hierfür die Methode BIM, das Bauwerksmodell als zentraler Informationsträger und die Software iTWO der RIB Software AG ausgewählt. Der Einsatz von iTWO erfordert von Seiten der Bauunternehmung eine Abstimmung bezüglich Phasen und Erstellung eines Bauwerksmodells in einer frühen Planungsphase, im Rahmen der Möglichkeiten und Vorgaben von iTWO.

Diese Abstimmung ist notwendig, um interne Informationsströme entlang der Wertschöpfungskette durch den Einsatz dieses technischen ERP-Systems zu integrieren. Die sich daraus ergebenden Potentiale in nachgelagerten Prozessen können jedoch erst genutzt werden, wenn diese adäquat in der richtigen Form bedient werden können. Im Umkehrschluss müssen die nachgelagerten Prozesse, die mit BIM geforderten und ermöglichten Daten verarbeiten können.

Kann der Auftraggeber respektive Bauherr über Schnittstellen modellorientiert bedient werden, vorausgesetzt der Bauherr nutzt dem Zweck entsprechende BIM-Tools, wirkt sich dies zum Einen positiv auf die Prozesse des Kunden aus, und zum Anderen im Umkehrschluss auch wieder auf die Integration von externen

Informationsströmen in den internen Informationsstrom des Projektes und damit des Bauunternehmens.

Das Multimodell in iTWO

Als wichtiger Bestandteil dieser modellorientierten Projektabwicklung ist das technische ERP-System iTWO in der Lage, ein 3D-Modell zu integrieren und ein Multimodell zu erstellen. Dieses beinhaltet minimal das 3D-Modell, die Kalkulation, das LV, den Terminplan und die modellorientiert berechneten Mengen, wobei auf diesen ein besonderer Fokus liegt. Das Mengenmodell bildet innerhalb der sogenannten Fachmodelle das Schlüsselmodell, da andere Module von diesen Mengen direkt abhängig sind.

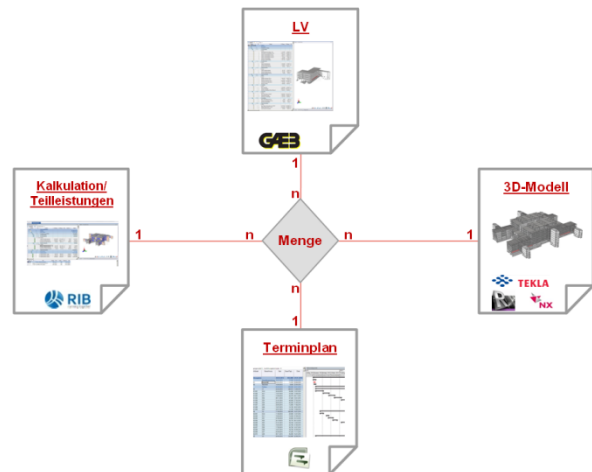


Abb. 1: Multimodellnetz in iTWO

Multimodellvisualisierung in iTWO

In Bezug auf das Controlling ermöglicht das Multimodell durch das zentrale Mengenmodell jederzeit aktuelle Mengen. Mengenvergleiche und zeitnahe Prognosen. Jedoch muss eine Möglichkeit vorhanden sein, die notwendigen Informationen aufbereitet darzustellen, um die Effizienz des Controllingprozesses zu gewährleisten. Der vorgelagerte Aufwand in der Planungsphase muss sich nicht nur in vom Multimodell abgeleiteten Soll-Ist-Vergleichstabellen niederschlagen, sondern auch durch eine einfache Darstellung komplexer

Sachverhalte, im mit Informationen angereicherten Modell. Dazu gehört die regelbasierte Multimodellvisualisierung, welche zukünftig eine wichtige Rolle in iTWO übernehmen.

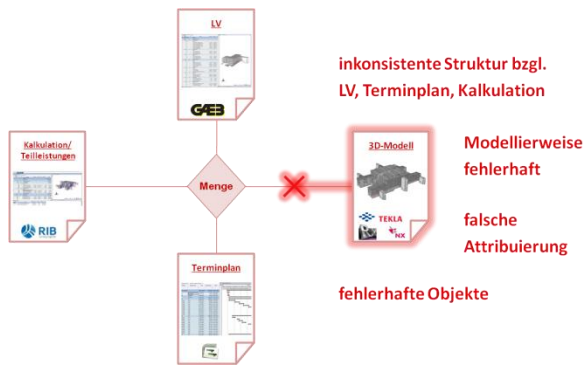


Abb. 2: Direkte Abhängigkeit von Modellqualität und -struktur

Diese ermöglichen das 3D-Modell und Multimodell an verschiedenen Stellen im Prozess auf Qualität und strukturelle Anforderungen zu prüfen, beispielsweise dem Zweck entsprechende Eignung, Vollständigkeit der Verknüpfungen im Multimodell, strukturelle Eignung für modellorientierte Mengenermittlung und Leistungsfeststellung – ohne ein qualitativ hochwertiges 3D-Modell und Multimodell ist kein durchgängiger, modellbasierter Prozess möglich.

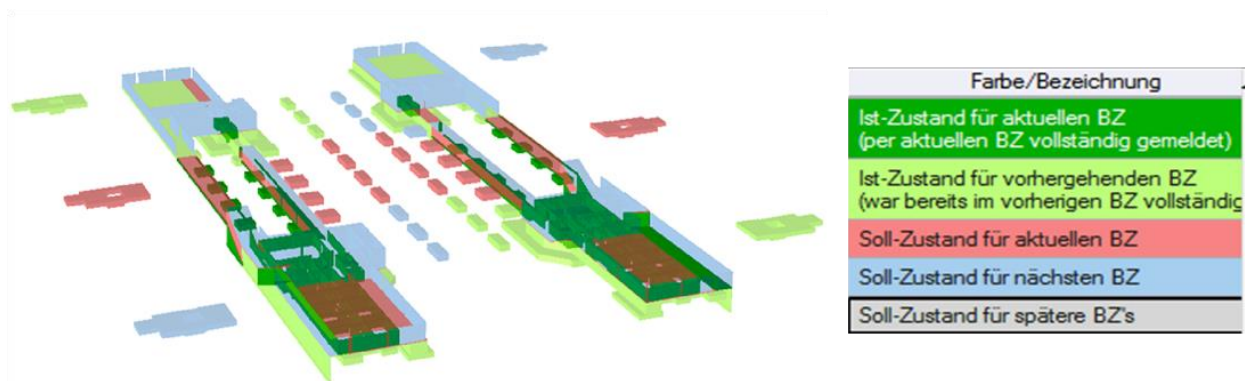


Abb. 3: Multimodellvisualisierung der Leistungsfeststellung in zeitlichem Kontext

Multimodellübergabe an den AG

Zudem wird im Ausblick der Bachelor-Thesis die mögliche modellorientierte Abrechnung auf Basis der zuvor beleuchteten modellorientierten Mengenermittlung sowie Mengen- und

Modellorientierte Leistungsfeststellung

Durch die in der Bachelorarbeit erläuterte modellorientierte Leistungsfeststellung können Leistungen an einem bestimmten Tag bauteilorientiert als fertiggestellt zurückgemeldet werden, wodurch das Multimodell aktiviert und Automatismen angeworfen werden, die die neue Situation, eine Leistungsmenge wurde erzeugt, bewertet und über multimodellbasierte Visualisierungen, zusätzlich zu den klassischen Methoden des Controlling, darstellt.

Durch die Visualisierungen ist das Modell für den Entscheidungsträger visuell aufbereitet und ein Controlling-Status wie der Fortschritt der Leistungsmengen auf einen Blick erkennbar. Auf dieser Basis können anstatt langwieriger Erklärungen und Diskussionen Entscheidungen getroffen werden. Dadurch ist es möglich sein Fehler im Bauverfahren oder im Bauablauf sowie Budget-, Terminüberschreitungen oder Qualitätseinbußen frühzeitig zu erkennen, um Gegenmaßnahmen einzuleiten. Im Verständnis des Controllings befinden wir uns hier im Bereich des Steuerns.

Leistungsfeststellung betrachtet. Kern dieser modellorientierten Bauabrechnung ist das durch die modellorientierte Mengenermittlung generierbare Aufmaß. In der klassischen Vorgehensweise ist dies ein zeitaufwändiger Prozess, welcher durch den Einsatz von BIM verkürzt werden kann. Ebenfalls begünstigt

durch diesen Prozess ist der Auftraggeber, der, abhängig von zu erarbeitenden Voraussetzungen, dieses Aufmaß nur stichprobenartig zu prüfen hat. Die daraus entstehende Genauigkeit erlaubt eine zeitnahe Abwicklung der Rechnungsstellung,

Rechnungsprüfung durch den Auftraggeber und die Bezahlung der Abschlagsrechnungen durch den Auftragnehmer, wodurch die Akzeptanz dieser Methodik auch auf Seiten des Auftraggebers zu erreichen ist.

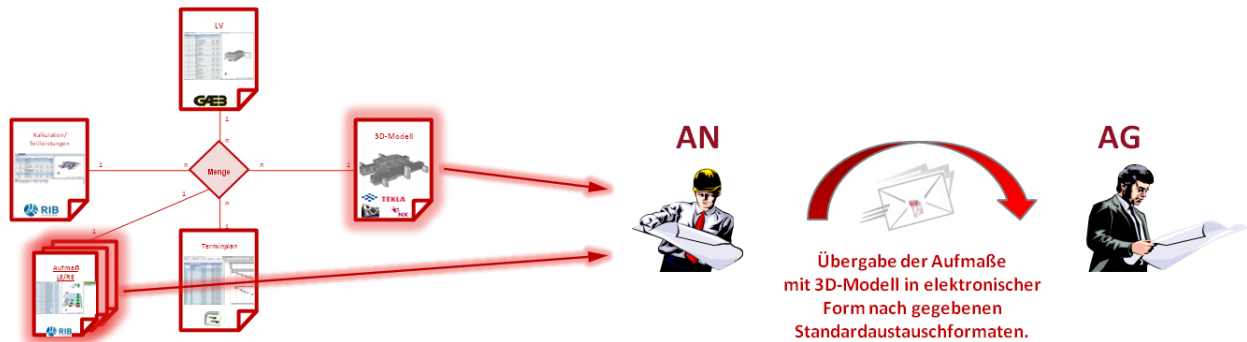


Abb. 4: Übergabe des Multimodells mit modellbasiertem Aufmaß an Auftraggeber

Potentiale des Multimodells

Im Gesamten verbessert das Multimodell und die Visualisierungsmöglichkeiten am Bauwerksmodell den internen Prozess entlang der Wertschöpfungskette und sorgt durch die bauteilbezogene Leistungsfeststellung in iTWO, und durch das Wegfallen von Zweiteingaben, zu geringerem Aufwand, geringerer Fehleranfälligkeit, höherer Transparenz, einer höheren Frequenz der Leistungsfeststellung und zu einer automatisierten Auswertung auf Basis der Leistungsfeststellung, ohne auf die klassischen Controllingberichte in iTWO zu verzichten.

Dadurch kann die jeweilige Controllinginstanz in beliebig definierten Abständen den Baufortschritt abfragen und auf Abweichungen oder sich ergebende Risiken und Chancen reagieren.

Literaturverzeichnis

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie: IT-Kostenstruktur-Benchmark 2013. Hg. v. BBSR Hauptv. der Dt. Bauindustrie. Online verfügbar unter http://www.bauindustrie.de/media/attachments/25-13_Anlage_Benchmark%20IT-Kostenstruktur2013-final_oeffentlicheKurzfassung.pdf. zuletzt geprüft am 28.11.2013.
2. Borrmann, André; Günthner, Willibald A. (2011): Digitale Baustelle-innovativer Planen, effizienter Ausführen. Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert. Dordrecht, New York: Springer.
3. Liebich, Schweer, Wernik: Die Auswirkungen von BIM auf die Leistungsbilder und Vergütungsstruktur für Architekten und Ingenieure sowie auf die Vertragsgestaltung. Hg. v. BBSR (Zukunft Bau | BIM-HOAI). Online verfügbar unter http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/3Rahmenbedingungen/2010/BIM/Endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 28.11.2013.
4. Nußbaumer, Manfred (2009): Die Zukunft des Bauens. Mefisto Auftaktveranstaltung. BMBF. Berlin, 01.07.2009. unveröffentlicht.
5. RIB-Software AG Handbücher, Produktprospekt, Release Notes iTWO 2012 – Neues in V3.pdf, CPIXML-SDK.
6. Verfahrensbeschreibungen für die elektronische Bauabrechnung. GAEB-VB. Berlin: Beuth.



Autor

Christian Boog wurde am 25.02.1984 in Sigmaringen geboren. Nach der allgemeinen Hochschulreife an der Wirtschaftsoberschule Riedlingen studierte er von April 2010 bis März 2014 an der Ostbayerischen Technischen Hochschule in Regensburg in der Fachrichtung Bauingenieurwesen mit dem Abschluss Bachelor of Engineering.

Während zweier längerer Auslandsaufenthalte in Peru und Finnland erwarb er sich besondere Sprachkenntnisse in Spanisch und Finnisch. Seit August 2013 ist Herr Boog als IT-Projektleiter bei der Firmengruppe Max Bögl im Bereich Unternehmensentwicklung beschäftigt.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Lehrstuhl für Baubetriebsmanagement, Fachbereich Bauingenieurwesen der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg, Professor Dipl.-Ing. Bernhard Denk in Kooperation mit der Firmengruppe Max Bögl – Abteilung Technische IT Anwendungen, Dr.-Ing. Christoph Pflug.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

ANALYSE DER ANBIETERSTRUKTUR AM BAUMARKT ZUR BEURTEILUNG DES MARKT- UND WETTBEWERBSPOTENZIALS AUF BUNDES-, LANDES- UND KREISEBENE

Master's Thesis

Maximilian Deubel

Die Master's Thesis untersucht, entgegen vieler statistischer Veröffentlichungen, das gesamte Baugewerbe (Bauhaupt- und Ausbaugewerbe). Dies erfolgt in wirtschaftlich tiefgegliederter Form bis auf die Unterklassen der Wirtschaftszweigsystematik. Daneben werden regionale Unterschiede betrachtet, indem zusätzlich bis auf die Ebene der Landkreise eingegangen wird. Dadurch wird der Ist-Zustand des Baugewerbes nahezu vollständig erfasst. In einem zweiten Schritt wird ein Ansatz entwickelt, durch den die theoretische Kapazität eines Bauunternehmens bestimmt werden kann (Soll-Situation). Der Soll-Ist-Vergleich gibt Auskunft über die tatsächliche Performance der Unternehmen. Abschließend wird die Blickrichtung zum Auftraggeber gewendet und untersucht welche Auswirkungen die Anbieterstruktur auf eine geplante Vergabe hat. Durch geeignete Vergabestrategien lassen sich Wettbewerbspotenziale generieren und erfolgreich nutzen.

Keywords: Hochschulpreis, Baugewerbe, Zusammenfassung, Bauhauptgewerbe, Ausbaugewerbe, Kapazität, Leistungsprozess, Steuerungsprozess, Leitungsspanne, Vergabestrategie

Statistische Daten des Baugewerbes

Zu Beginn werden theoretische Grundlagen aufgearbeitet. Dazu zählt die Einordnung des Bauhaupt- und Ausbaugewerbes in den gesamtwirtschaftlichen Zusammenhang als auch die Zuordnung in der Bauwirtschaft selbst. Des Weiteren werden die einzelnen Wirtschaftszweige genau vorgestellt. Die tiefste Gliederung sind dabei die

Wirtschaftsunterklassen. Ein großer Teil der Arbeit beschäftigt sich dann mit der ausführlichen statistischen Untersuchung. Dazu werden die verwendeten Quellen vorgestellt und deren Eignung für die geplanten Auswertungen bewertet. Die größte Informationsfülle bieten die jährlichen Ergänzungserhebungen im Bauhauptgewerbe sowie die Totalerhebungen im Ausbaugewerbe der einzelnen Bundesländer (Fachberichte). Dort wird das Bauhauptgewerbe

jährlich im Juni vollständig erfasst. Der Berichtskreis des Ausbaugewerbes wird dagegen bei Betrieben mit weniger als 10 tätigen Personen abgegrenzt. Aus diesem Grund werden weitere Quellen verwendet (z.B. die Ergebnisse der Umsatzsteuerstatistik und der Bundesagentur für Arbeit), damit auch das Ausbaugewerbe zumindest ansatzweise realistisch abgebildet werden kann. Durch näherungsweise Kombination verschiedener Statistiken kann so gezeigt werden, dass die Anzahl der Betriebe in der Betriebsgrößenklasse (BGK) mit 1 bis 9 tätigen Personen im Ausbaugewerbe nicht nur relativ zu den anderen Betriebsgrößenklassen, sondern vor allem absolut betrachtet, dem Bauhauptgewerbe deutlich überwiegt. Sowohl Bauhaupt- als auch Ausbaugewerbe sind von einer sehr hohen Anzahl an Kleinstbetrieben geprägt, während zugleich ein Großteil des Umsatzes durch große Bauunternehmen erwirtschaftet wird.

So ergibt eine Näherungsrechnung für die Anzahl der Betriebe im Ausbaugewerbe in der BGK 1 – 19 einen Wert von etwa 118.000, während die Fachberichte lediglich auf 11.154 Betriebe kommen, da die BGK 1 – 9 nicht erfasst wird. Ähnlich sieht es bei der Anzahl der tätigen Personen aus. Während die Fachberichte in der BGK 1 – 19 152.353 tätige Personen erfassen und die BGK 1 – 9 nicht berücksichtigen, ergibt eine Näherungsrechnung, dass die BGK 1 – 19 im Ausbaugewerbe tatsächlich etwa 612.000 Personen umfasst. Diese Ergebnisse zeigen, dass bei einer Berichtskreisabgrenzung ein verzerrtes Bild der tatsächlichen Situation entsteht.

Im Zuge der Auswertung werden weitere Zusammenhänge einzelner Kennwerte herausgearbeitet und mit Hilfe der vorhandenen Datenbasis bestätigt oder widerlegt. Dies erfolgt je nach regionaler Tiefe in unterschiedlicher Form, da aufgrund von statistischen Geheimhaltungen und dem Arbeitsaufwand der einzelnen Bundesländer verschiedene Daten

(-mengen) für Deutschland, die Bundesländer sowie die Landkreise erhältlich sind.

Ausgewählte Ergebnisse

Je größer die Betriebsgrößenklasse, desto geringer ist der Anteil der Materialkosten am Bruttoproduktionswert. Die Hypothese trifft auf 13 von 27 Wirtschaftsunterklassen (48,1%) zu und ist bis BGK 500 – 999 gültig.

Je größer die Betriebsgrößenklasse, desto höher ist der Anteil der Kosten für Nachunternehmerleistungen am Bruttoproduktionswert. Die Hypothese trifft bis BGK 1000 und mehr (Bauhauptgewerbe) und bis BGK 500 – 999 (Ausbaugewerbe) auf Bundesebene zu.

Je größer die Betriebsgrößenklasse, desto geringer ist der Anteil der Personalkosten am Bruttoproduktionswert. Die Hypothese trifft auf 14 von 27 Wirtschaftsunterklassen (51,9%) zu.

Je komplexer der Wirtschaftszweig beziehungsweise die Tätigkeiten, desto geringer ist die Zahl der gewerblichen Mitarbeiter pro Angestellten (G-A-Wert). Auf Bundesebene trifft das zu. Das Maler- und Lackierergewerbe hat mit durchschnittlich 4,3 gewerblichen Arbeitnehmern pro Angestellten den höchsten G-A-Wert bei der geringsten Komplexitätswertung von 16,8, während der Wasserbau mit 30,7 die höchste Komplexität und den geringsten G-A-Wert (1,7) besitzt.

Je mehr gewerbliche Arbeitnehmer auf einen Angestellten kommen, desto geringer ist der Umsatz pro tätige Person im jeweiligen Wirtschaftszweig. Das konnte aufgrund der unvollständigen Datenbasis nur für die meisten Wirtschaftsunterklassen in Sachsen geprüft werden. Die Werte schwanken stark, wodurch keine eindeutige Aussage getroffen werden kann, wobei die Trendlinie einen sinkenden Umsatz bei steigendem G-A-Wert zeigt und

unter dieser Vereinfachung die Hypothese bestätigt.

Je mehr gewerbliche Arbeitnehmer auf einen Angestellten kommen, desto geringer ist der Umsatz pro tätige Person im jeweiligen Landkreis. Die Werte schwanken stark, wobei die steigende Trendlinie zeigt, dass der Umsatz pro tätige Person steigt, je mehr gewerbliche Arbeitnehmer auf einen Angestellten kommen und damit die Hypothese widerlegt.

Die theoretische Kapazität

Der zweite Schwerpunkt der Arbeit beschäftigt sich mit einem einzelnen Bauunternehmen. Da die statistischen Daten die Ist-Situation am Baumarkt abbilden, soll versucht werden, die theoretische Kapazität eines Bauunternehmens zu bestimmen. Dies entspricht der Soll-Situation. Durch einen Abgleich von Ist und Soll ergeben sich Erkenntnisse darüber, wie die tatsächliche Leistung der Anbieter am Baumarkt zu werten ist.

Die theoretische Kapazität wird von vielen Faktoren beeinflusst. Dazu zählen Bereiche, die das Unternehmen selbst nicht oder nur bedingt steuern kann, wie etwa staatliche Regelungen oder Ressourcenknappheit. Zudem ist die Kapazität eines Unternehmens immer im Zusammenhang mit der Nachfrageseite zu betrachten. Nur wenn diese über das erforderliche Einkommen verfügt und das Bedürfnis nach dem angebotenen Produkt vorhanden ist, kann die Anbieterseite etwas produzieren beziehungsweise verkaufen [1].

Auf der anderen Seite hängt die Kapazität auch vom Unternehmen selbst ab. Die eigentliche Herstellung des Bauprodukts erfolgt durch die Leistungsprozesse. Zur Ausführung dieser müssen die notwendigen Kompetenzen im Unternehmen vorhanden sein. Gleichzeitig müssen die einzelnen Leistungsprozesse

gesteuert werden. Für diese Steuerungsprozesse sind zusätzliche Kompetenzen notwendig. Die sogenannte Leitungsspanne gibt dabei Auskunft, wie viele Personen (Ausführungsstellen) eine Führungskraft (Leitungsstelle) steuern kann [2]. Sie hängt unter anderem von der Schwierigkeit und der Häufigkeit der Tätigkeit sowie der Qualifikation der ausführenden Mitarbeiter ab. Sie wird aber auch zu einem Großteil durch die Qualifikation der Führungskraft beeinflusst. Die Leitungsspanne bestimmt somit maßgeblich, wie viele Personen von einer anderen Person gesteuert werden können und beeinflusst somit die Unternehmensgröße.

Aus diesem Grund werden die einzelnen am Bau auftretenden Leistungen hinsichtlich der bereits vorgestellten Kriterien zur Wahl der Leitungsspanne sowie zusätzlich im Hinblick auf die Gefahr für Leib und Leben bei unsachgemäßer Ausführung, der Schwierigkeit Ausführungsfehler zu beheben sowie der Bedeutung für die Standsicherheit, bewertet. Dadurch ergeben sich relative Unterschiede zwischen den einzelnen Leistungen. Die Leistungen mit der höchsten Bewertungssumme werden als komplex, die mit der geringsten dagegen als einfach angesehen, wobei mit steigender Summe die Leitungsspanne abnehmen sollte. Diese Bewertung ist kein abschließendes Ergebnis, sondern ein erster Versuch Unterschiede herauszuarbeiten. So ergibt sich, dass die Leistungen „Bodenerkundungen“ den höchsten Wert und die „Innenputzarbeiten“ den geringsten Wert erlangen.

Obwohl die statistischen Daten keine Ergebnisse einzelner Unternehmen liefern, sondern diese lediglich in Betriebsgrößenklassen einteilen, konnte der durchschnittliche Umsatz pro tätige Person ermittelt und mit dem theoretischen Wert für eine tätige Person abgeglichen werden.

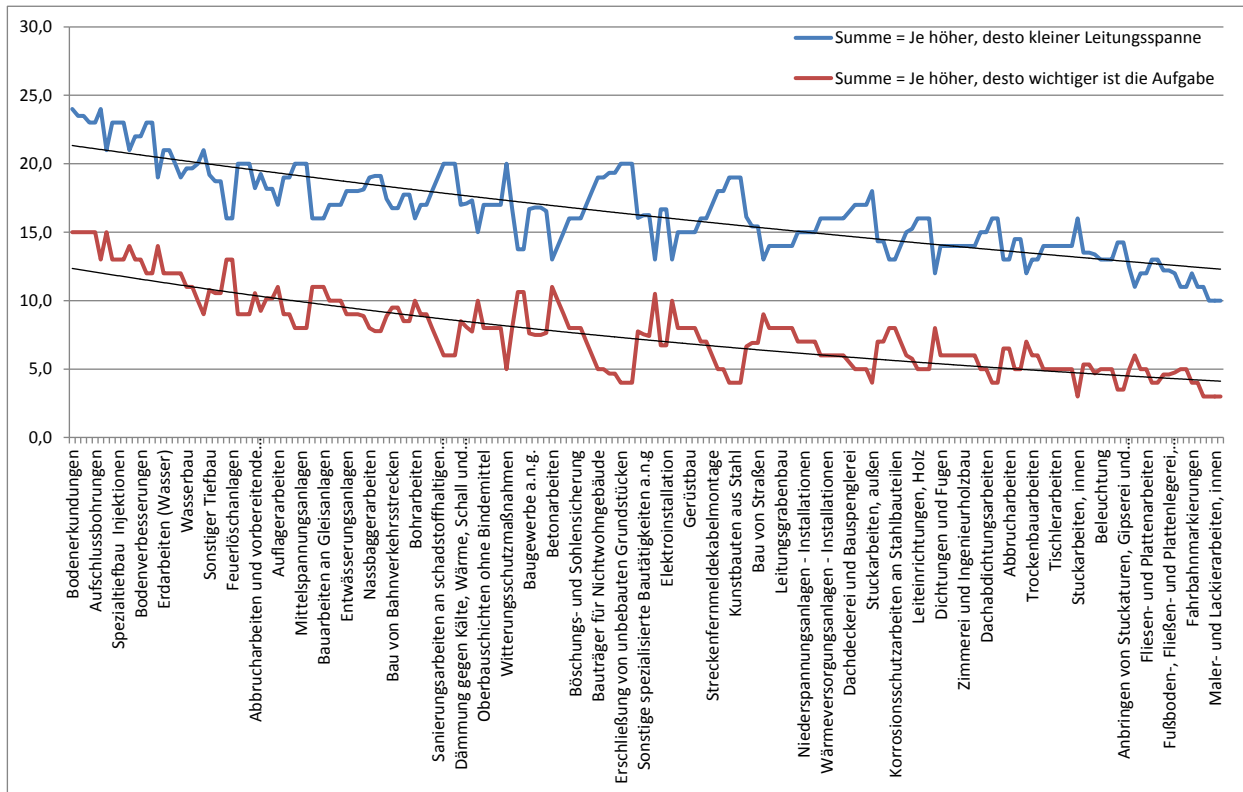


Abb. 1: Leistungsbewertung. Aus Gründen der Übersicht sind nicht alle Leistungen namentlich aufgeführt.

Der theoretische Wert muss somit auch durchschnittliche Leistungen enthalten, da sonst große Abweichungen zum statistischen Wert entstehen können. Dazu werden typische Leistungen einzelner Unterklassen (Bau von Gebäude als Beispiel für das Bauhauptgewerbe und Elektroinstallationen als Beispiel für das Ausbaugewerbe) ermittelt und mit Einheitspreisen [€ / Einheit], den Zeitaufwandswerten [Einheit / h] sowie den Arbeitsstunden [h] des Bezugsmonates Juni multipliziert, wodurch sich ein theoretischer Umsatz pro tätige Person ergibt. Dieser kann über oder unter dem statistischen Wert liegen, da es verschiedene Abweichungsgründe gibt. Neben der Problematik der Durchschnittswerte ist es vorstellbar, dass die tatsächliche Kapazitätsauslastung über oder unter dem angenommen Wert der Arbeitsstunden liegt. Zudem treten in der Realität Arbeitszeitverluste, beispielsweise durch schlecht koordinierte Abläufe oder Störungen, auf.

Mit dem entwickelten Modell ist die theoretische Kapazitätsbestimmung möglich, die Aussagekraft der Ergebnisse muss jedoch immer kritisch hinterfragt und im Kontext zu den Vergleichswerten betrachtet werden.

Vergabestrategien

In einem letzten Schritt wird die Blickrichtung hin zur Auftraggeberseite gewechselt und die Frage beantwortet, welche Auswirkungen die Anbieterstruktur auf eine geplante Vergabe hat. Einzelne Einflüsse werden herausgearbeitet und – sofern möglich – deren Auswirkungen mit Hilfe der statistischen Daten untersucht. So kann der erhebliche Einfluss des Ausschreibungsradius und der Vergabeart auf die Anzahl der möglichen Anbieter gezeigt werden. Diese Wettbewerbspotenziale sollten aus Auftragbersicht genutzt werden, um Qualität und Preis der angefragten Leistung zu optimieren.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: Thommen, Jean-Paul; Achleitner, Ann-Christin: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht, 5. überarbeitete und erweiterte Auflage, Gabler Verlag, München, 2006, S. 145-146.
- [2]: Picot, Arnold; Dietl, Helmut; Franck, Egon: Organisation: eine ökonomische Perspektive. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Schäffer Poeschel Verlag, Stuttgart, 1999, S. 219-220.

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Berichte der statistischen Länder, Jährliche Erhebungen im Bauhaupt- und Ausbaugewerbe im Juni 2011.
2. Bundesagentur für Arbeit: Statistik der Bundesagentur für Arbeit: Arbeitsmarkt in Zahlen, Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte und Betriebe am Arbeitsort, Berichtsmonat 30.06.2011, Nürnberg, Juli 2013.
3. Thomas, Robert: Struktur des Baumarkts – Gliederung von Bauleistungen aus Auftraggeber- und Auftragnehmersicht, Master's Thesis am Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung der Technischen Universität München, 2012.
4. Wiedersheim, Lars: Analyse von Kompetenzen in der Bauausführung hinsichtlich Steuerungs- und Leistungsprozessen auf Projekt- und Unternehmensebene, Master's Thesis am Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung der Technischen Universität München, 2012.
5. Zimmermann, Josef: Geschäftsprozessmanagement in der Bauwirtschaft, Vorlesungsskriptum zur gleichnamigen Vorlesung am Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung der Technischen Universität München, Ausgabe 05/2012.
6. Zimmermann, Josef: Kybernetik der Planungsprozesse, Vorlesungsskriptum zur gleichnamigen Vorlesung am Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung der Technischen Universität München, Ausgabe 05/2013.



Autor

Maximilian Deubel wurde am 19. Oktober 1986 in Lich (Hessen) geboren. Nach der Fachhochschulreife und dem Zivildienst studierte er von Oktober 2008 bis Januar 2014 an der Technischen Hochschule Mittelhessen (B.Eng.), Queensland University of Technology (Brisbane, Australien) und an der Technischen Universität München (M.Sc.) mit den Schwerpunkten Bauprozessmanagement und Immobilienprojektentwicklung Bauingenieurwesen. Maximilian Deubel war Stipendiat des DAAD und des Landes Hessen. Daneben war er an verschiedenen Lehrstühlen in der Lehre und Forschung sowie als Werkstudent bei der Strabag SE tätig. Seit April 2013 ist er bei dem Engineering- und Servicekonzern Bilfinger angestellt.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung an der Technischen Universität München. Lehrstuhlinhaber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Zimmermann. Betreuung durch Dipl.-Ing. Christoph Gottanka.

Die Arbeit wurde mit dem 2. Preis ausgezeichnet.

ENTWICKLUNG EINES STANDARDISIERTEN PROZESSMODELLS FÜR PLANFESTSTELLUNGS-VERFAHREN UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER STAKEHOLDER; LEISTUNGS- UND STEUERUNGSPROZESSE

Master's Thesis

M.Sc. Robin Eisenhardt

Große Infrastrukturprojekte, wie zum Beispiel Flughäfen, Autobahnen, Stromtrassen, Eisenbahntrassen, werden in Deutschland durch ein Planfeststellungsverfahren genehmigt. Diese Verfahren sind zum Teil sehr zeit- und kostenintensiv. Insbesondere bei Großprojekten ist das öffentliche Interesse besonders hoch. Es hat sich allerdings gezeigt, dass es noch Optimierungsbedarf in der Öffentlichkeitsbeteiligung gibt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein standardisiertes Prozessmodell entwickelt, welches zur Optimierung des Planfeststellungsverfahrens dient. Neben den theoretischen Grundlagen wurden dazu auch drei ausgewählte Planfeststellungsverfahren untersucht.

Keywords: Planfeststellungsverfahren, Genehmigungsverfahren, Raumordnung, Flughafen Frankfurt, Offshore-Windpark, Neubau B50, Hochmoselquerung, Prozessmodell

Problematik

Große Infrastrukturvorhaben, wie zum Beispiel Flughäfen, Bundesstraßen, Autobahnen, Bahntrassen und Stromtrassen, bedürfen in Deutschland der Planfeststellung. Planfeststellungsverfahren sind häufig kosten- und zeitintensiv. Nach wie vor steht die Öffentlichkeit Großprojekten zunehmend skeptisch gegenüber. Diese Arbeit befasst sich mit der Optimierung von Planfeststellungsverfahren, da sich gezeigt hat, dass in diesen Verfahren nicht nur die Öffentlichkeitsbeteiligung optimierungsbedürftig

ist. Manche Planfeststellungsverfahren ziehen sich über Jahre hinweg und kosten mehrere Millionen Euro.

Das Planfeststellungsverfahren ist in den jeweiligen Fachgesetzen sowie im Verwaltungsverfahrensgesetz geregelt. Zweck des Verfahrens ist es, Baurecht durch eine einzige Entscheidung zu schaffen. In der Vergangenheit, waren Planfeststellungsverfahren häufig sehr langwierig und wurden häufig von Bürgerprotesten begleitet.

Ziel dieser Arbeit war, Optimierungspotential in Planfeststellungsverfahren zu identifizieren, um anschließend ein standardisiertes Prozessmodell zu entwickeln. Dadurch sollte ein transparentes und optimiertes Verfahren geschaffen werden. Das Prozessmodell sollte unabhängig von den Fachplanungsgesetzen Anwendung finden können.

Vorgehen

Zunächst wurden die theoretischen und gesetzlichen Grundlagen des Planfeststellungsverfahrens untersucht. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde eine Analyse der Stakeholder durchgeführt. Anschließend wurden drei Planfeststellungsverfahren analysiert. Dabei handelte es sich um das Planfeststellungsverfahren zum Ausbau des Flughafens Frankfurt, das Planfeststellungsverfahren zur Netzanbindung des Offshore-Windparks DolWin1 sowie das Planfeststellungsverfahren zum Neubau der B50, welches auch unter dem Namen Hochmoselquerung oder Hochmoselübergang bekannt ist. Neben der Auswertung der Planfeststellungsbeschlüsse wurden dazu auch Interviews mit Beteiligten des Planfeststellungsverfahrens durchgeführt, um darzustellen wie das Verfahren in den einzelnen Projekten abgelaufen ist. Die gewonnenen Informationen wurden in Balkendiagrammen dargestellt. Anschließend wurde ein standardisiertes Prozessmodell entwickelt. In diesem Prozessmodell wurden sowohl die theoretischen Grundlagen des Planfeststellungsverfahrens, als auch die Erkenntnisse aus den untersuchten Verfahren verwertet. Prozesse, die sich positiv auf das Verfahren ausgewirkt haben, wurden dabei in das Modell übernommen. Des Weiteren wurden Prozesse optimiert und hinzugefügt. Das Prozessmodell wurde so entwickelt, dass es in ein EDV-System implementierbar ist und den gesetzlichen Anforderungen entspricht. Im letzten Teil der Arbeit wurden weitere Verbesserungsmöglichkeiten diskutiert, welche

unabhängig vom Prozessmodell Anwendung finden können und zum Teil erst durch Gesetzesänderungen realisiert werden können.

Erkenntnisse

Durch die Analyse der beispielhaft untersuchten Planfeststellungsverfahren wurde eine Reihe von Problemen identifiziert, welche eine Verlängerung des Verfahrens zur Folge hatten. Teilweise traten diese nur in einzelnen Verfahren auf, teilweise konnten diese jedoch auch in mehreren Verfahren identifiziert werden. Eine Vielzahl von kleineren Problemen konnten auf fehlende oder mangelhaft durchgeführte Steuerungsprozesse der Anhörungsbehörde zurückgeführt werden. Es hat sich gezeigt, dass die Auslegungsgemeinden rechtzeitig von der Anhörungsbehörde zu benachrichtigen sind, die Planfeststellungsunterlagen auszulegen, um eine Verzögerung zu vermeiden. Durch den Einsatz von digitalen Planfeststellungsunterlagen können Kosten- und Zeitersparnisse realisiert werden. Im Feststellungsverfahren sind keine gesetzlichen Fristen vorgegeben, verbunden mit der Trennung der Anhörungs- und Planfeststellungsbehörde führt das dazu, dass weitere Gutachten und Maßnahmen der Planfeststellungsbehörde erst zu einem sehr späten Zeitpunkt beauftragt werden. Weiterhin wurde sichtbar, dass Nachbesserungen der Planung sowie Neubeauftragung von Gutachten nach dem Erörterungstermin Verzögerungen des Planfeststellungsverfahrens, insbesondere unter dem Gesichtspunkt, dass verschiedene Prognosen und Gutachten aufeinander aufbauen, zu Folge hat. Werden durch Planungsänderungen Betroffene erstmalig oder stärker als zuvor betroffen, ist die Anhörung zu wiederholen. Dies führt zu einer enormen Verzögerung. Die Qualität der Planung ist also ein sehr wichtiger Punkt. Verfahrensfehler oder Fehler in der Abwägung führen ebenfalls zu einer wesentlichen Erhöhung der Dauer des Planfeststellungsverfahrens. Außerdem hat sich gezeigt, dass auf dem Gebiet der

Öffentlichkeitsbeteiligung noch Optimierungspotential besteht. Das äußert sich im Planfeststellungsverfahren durch die Einwendungen der Betroffenen. Ein zügiger Abschluss des Planfeststellungsverfahrens wird dabei durch eine geringe Anzahl von Einwendungen begünstigt. Die Anzahl der Einwendungen künstlich niedrig zu halten, indem die Öffnungszeiten der Auslegung bewusst kurz gehalten werden, ist nicht sinnvoll. Dadurch schwindet die Akzeptanz des Vorhabens und im schlimmsten Fall kommt es zu Demonstrationen und unangenehmen Auseinandersetzungen. Die Anzahl der Einwendungen kann also nur durch eine hohe Qualität der Planung und durch vorherige Öffentlichkeitsbeteiligung verringert

werden. Dennoch sind bei infrastrukturellen Großprojekten regelmäßig eine Vielzahl von Bürgern betroffen. Es müssen also Lösungen gefunden werden, wie mit einer großen Anzahl an Einwendungen umgegangen werden kann. Dazu wurde ein Einwandsmanagement entwickelt. Im Fall des Planfeststellungsverfahrens Neubaus der B50 war erkennbar, dass die Einwendungen des BUND nicht ordnungsgemäß berücksichtigt wurden. Dies führte zu jahrelangen Streitigkeiten vor Gericht und schließlich zu einem ergänzenden Planfeststellungsverfahren. Deshalb ist auf eine ordnungsgemäße Durchführung des Planfeststellungsverfahrens zwingend zu achten.

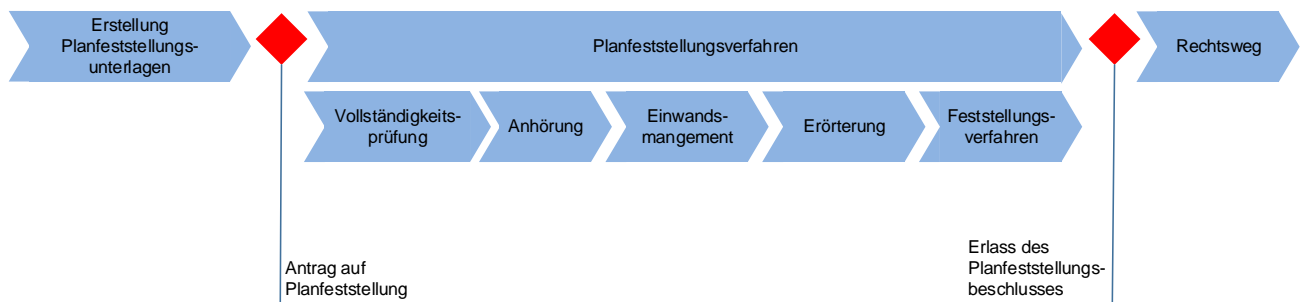


Abb. 1: Phasen des Planfeststellungsverfahrens

Entwicklung des Prozessmodells

Das entwickelte Prozessmodell setzt bereits in der frühen Phase der Erstellung der Planfeststellungsunterlagen an. Denn sobald die Planung des Vorhabens abgeschlossen ist, führen Änderungen immer zu Verzögerungen. Im entwickelten Prozessmodell werden die Rollen der Anhörungs- und Planfeststellungsbehörde von der gleichen Behörde ausgeführt. Dies hat den Vorteil, dass die Planfeststellungsbehörde viel früher in den Genehmigungsprozess involviert wird und mit einer eventuellen Sachverhaltsaufklärung zu einem früheren Zeitpunkt beginnen kann. Insbesondere bei großen Infrastrukturprojekten herrscht ein reges Interesse, die Öffentlichkeit an dem Projekt zu beteiligen. Dem Prozessmodell liegt im Wesentlichen die zweistufige Öffentlichkeits-

beteiligung zugrunde. Es hat sich gezeigt, dass es nicht ausreichend ist, die Öffentlichkeit erst in der Anhörungsphase zu beteiligen, sie muss früher beteiligt werden. Deshalb wird die Öffentlichkeit bereits vor Antrag auf Planfeststellung im Rahmen eines Dialogs beteiligt, denn dann können Bedenken und Probleme noch in die Planung des Vorhabens einbezogen werden und verursachen später keine Verfahrensverzögerungen durch nachträgliche Änderungen. Eine Vielzahl von Steuerungsprozessen werden von der Anhörungsbehörde durchgeführt, welche sowohl interne als auch externe Leistungsprozesse steuern. Dies verdeutlicht die zentrale Rolle welche die Anhörungsbehörde im Planfeststellungsverfahren spielt. Die Bildung einer Projektgruppe in der Anhörungsbehörde gewährleistet ebenfalls eine zügige Bearbeitung des Verfahrens. Weiterhin bietet es sich an, das

Planfeststellungsverfahren EDV-basiert durchzuführen. Allerdings war es bis zur Änderung des VwVfG durch das Gesetz zur Förderung der elektronischen Verwaltung im Juli 2013 nicht möglich, Einwendungen auf elektronischem Weg vorzubringen. Durch die Änderung wurde ein nächster Schritt in Richtung internetbasierter Planfeststellungsverfahren vollzogen.

Einwandsmanagement

Einwendungen lassen sich zwar durch eine zweistufige Öffentlichkeitsbeteiligung reduzieren, jedoch nicht komplett vermeiden. Das Einwandsmanagement bietet eine Lösung, wie mit einer Vielzahl an Einwendungen umgegangen werden kann. Die Erfassung der Einwendungen kann in Papierform aber auch digital erfolgen. Die Einwendungen und Stellungnahmen werden zunächst in zwei Stufen kategorisiert. Dabei werden gleiche Argumente, die von verschiedenen Betroffenen vorgebracht werden, nur einmal beantwortet und anschließend an alle Einwender versendet. Einwendungen, welche mehrere Argumente enthalten, die unterschiedliche Fachbereiche betreffen, können parallel bearbeitet werden. Durch den Einsatz eines internetbasierten Systems können alle Beteiligten auf die Planfeststellungsunterlagen zugreifen und miteinander kommunizieren. Ein fehleranfälliger Medienbruch kann vermieden werden. Insbesondere bei großen Vorhaben werden sich die Beschleunigungseffekte des Einsatzes von internetbasierten Systemen zeigen. Vor Durchführung des Erörterungstermins sollte die Projektgruppe der Anhörungsbehörde ein Training zur Konfliktbewältigung erhalten. Es ist besonders wichtig, dass die Anhörungsbehörde von den Betroffenen akzeptiert und als neutrale Instanz wahrgenommen wird.

Weitere Verbesserungsvorschläge

Nicht nur der Einsatz von Informationstechnologien, sondern auch Gesetzesänderungen können zur Beschleunigung des Planfeststellungsverfahrens beitragen, beispielsweise wäre die Einführung eines Schwellenwertes für die Umweltverträglichkeitsprüfung denkbar. Weiterhin ist eine zweistufige Öffentlichkeitsbeteiligung für ein Planfeststellungsverfahren ratsam. Die zweite Stufe der Öffentlichkeitsbeteiligung ist bereits durch das Anhörungsverfahren im VwVfG geregelt. Die erste Stufe der Öffentlichkeitsbeteiligung kann eine Bürgerversammlung, ein Infostand, aber auch ein Mediationsverfahren sein. Ein Mediationsverfahren mit Mediator als neutraler Mittler ist auf der einen Seite zwar mit viel Aufwand verbunden, andererseits trägt gerade bei Projekten, bei denen sich ein breiter organisierter Widerstand gegen das Projekt abzeichnet, zur Lösungsfindung bei.

Fazit

Durch die zunehmende Beteiligung der Bevölkerung und der Gesellschaft an infrastrukturellen Großprojekten ist der traditionelle top-down-Ansatz bei der Planung und Durchführung nicht mehr möglich. Auch durch die weitverbreitete Privatisierung der Vorhabenträger ist dieser Ansatz nicht mehr durchsetzbar. Insbesondere für private Vorhabenträger ist es wichtig, dass Planfeststellungsbeschlüsse, welche einmal ihre Rechtskräftigkeit erlangt haben, diese auch behalten und das Verfahren nicht weiter blockiert oder gestoppt wird. Neben betroffenen Bürgern ist dies auch von Politikern zu akzeptieren. Ist der Planfeststellungsbeschluss rechtskräftig, muss es eine Planungssicherheit für alle Projektbeteiligten geben.

Literaturverzeichnis

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Hoppe, Werner; Schlarman, Hans; Buchner, Reimar; Deutsch, Markus; Krappel, Thomas: Rechtsschutz bei der Planung von Verkehrsanlagen und anderen Infrastrukturvorhaben. Grundlagen der Planfeststellung. 4. Aufl. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 2010.
2. Stür, Bernhard, Esch Probstfeld, Willi: Die Planfeststellung. München: Verlag C.H. Beck, 2003.
3. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Handbuch für eine gute Bürgerbeteiligung. Planung von Großvorhaben im Verkehrssektor. Berlin, November 2012.
4. Verwaltungsverfahrensgesetz
5. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung: Planfeststellungsbeschluss zum Ausbau des Verkehrsflughafens Frankfurt Main.#
6. Landesbetrieb Straßen und Verkehr Rheinland-Pfalz: Planfeststellungsbeschluss zur Ergänzung und Änderung des Planfeststellungsbeschlusses für den Neubau der Bundesstraße Nr. 50 (B 50) zwischen der BAB A 1 bei Wittlich und der B 327 bei Büchenbeuren im Planfeststellungsabschnitt II zwischen Platten und Longkamp einschließlich dem Zubringer Longkamp (bis zur B 50 alt bei Kommen) vom 28.12.2000, Az.: 02.2-1475-P/30/34/39/42.
7. Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr: Planfeststellungsbeschluss für die Netzanbindung DoWin1 der Offshore- Plattform DoWin alpha mittels einer 600kV- Gleichstromleitung Seetrasse: 12 Seemeilen- Grenze bis zum Anlandungspunkt Hilgenriedersiel. 30.06.2011, Az.: 3330-05020-2 See.



Autor

Robin Eisenhardt wurde am 12. Dezember 1988 in Sonneberg geboren. Nach dem Abitur an einem staatlichen Gymnasium studierte er von 2007 bis 2014 an der Technischen Universität München.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt an der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Zimmermann, Ordinarius. Betreuung durch M. Sc. Roman Schischko

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

VERGLEICH VON SCHIENEN- UND STRASSENGEBUNDENER BAULOGISTIK AM BEISPIEL DES AUGSBURGER HAUPTBAHNHOFS

Master's Thesis

M.Sc. Anna Friedl

Insbesondere bei Baumaßnahmen in Ballungsräumen steht die Baulogistik immer häufiger im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses. Grund dafür sind vor allem die negativen Beeinträchtigungen auf die Umwelt und das Umfeld durch die hohe Anzahl an LKW-Fahrten zur Abwicklung von Massentransporten. Für Baustellen mit Anschluss an das Schienennetz kann eine schienengebundene Baulogistik eine Alternative zur straßengebundenen Baulogistik darstellen. Der direkte Vergleich von schienen- und straßengebundener Baulogistik am Beispielprojekt zeigt, dass der Transport über die Schiene einige Vorteile mit sich bringt.

Keywords: Baulogistik, Bahnhof, Logistik, Schienentransport, Straßentransport, Baustellenlogistik

Bedeutung von Baulogistik

Eine gut geplante Baulogistik gewinnt immer mehr an Bedeutung. Gründe dafür sind zum einen der hohe Kostendruck bei der Durchführung der Baumaßnahmen und zum anderen der hohe gesellschaftliche Druck zur Reduzierung der negativen Beeinträchtigungen auf Umwelt, Umfeld und Anwohner. Insbesondere in Ballungsräumen sind somit nicht mehr länger nur die Kosten das ausschlaggebende Kriterium, sondern im gleichen Maße müssen die Belange der Betroffenen im Umfeld bei der Planung berücksichtigt werden. Ein Großteil der

Belastungen entsteht durch die hohe Anzahl an LKW-Fahrten für die Ver- und Entsorgung der Baustellen. Dies ist der Grund weshalb in empfindlichen Gebieten oftmals nach einer Alternative zu der herkömmlichen Baustellenerschließung über die Straße gesucht wird. Für Baumaßnahmen mit Gleisanschluss stellt der schienengebundene Transport eine mögliche Alternative zum Transport über die Straße dar.

Schienengebundene Baulogistik

Trotz der oft genannten Vorteile eines Transports über die Bahn, wie dem geringen

Flächenverbrauch, Energiebedarf, der reduzierten Schadstoffemission und einer niedrigen Lärmbelastung, kann sich der schienengebundene Transport in der Baulogistik nicht durchsetzen. Als Gründe dafür werden die mangelnde Flexibilität vor dem Hintergrund, der auf der Baustelle unabdingbaren Just-in-Time Lieferungen, sowie die oft unvermeidbaren kostenintensiven Umschlag- und Zwischenlagerprozesse genannt. [1]

Vergleich verschiedener Logistikkonzepte

Im Rahmen dieser Master's-Thesis werden die schienengebundene und die straßengebundene Baulogistik sowohl allgemein als auch an einem konkreten Projektbeispiel verglichen und bewertet, und somit die Stärken und Schwächen einer schienengebundenen Baulogistik im Vergleich zu einer straßengebundenen Baulogistik ausgearbeitet. Der Vergleich soll zeigen, ob die straßengebundene Baulogistik, unter Berücksichtigung aller Gesichtspunkte, die bessere Wahl ist oder ob auch die schienengebundene Baulogistik in vielen Projekten der straßengebunden Variante gleichgesetzt werden kann oder sogar vorzuziehen wäre.

Baustellenlogistik für innerstädtische Großbaustellen

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt dabei auf der Erschließung von innerstädtischen Großbaustellen mit Gleisanschluss, wie es zum Beispiel bei Baustellen an Bahnhöfen der Fall ist. Für den allgemeinen Vergleich werden neun Bewertungskriterien ermittelt, die eine qualitative Bewertung von Logistikkonzepten für Baumaßnahmen in innerstädtischer Lage ermöglichen. Die Bewertungskriterien spiegeln die verschiedenen Interessen von Auftraggeber bzw. Baufirma, den Betroffenen im Umfeld und den Verkehrsteilnehmer wieder.

Bewertungsverfahren

Für die allgemeine Bewertung von schienengebundener und straßengebundener Baulogistik werden für beide Konzepte zunächst die Grundlagen und Randbedingungen der Baulogistik beschrieben und die wesentlichen Vor- und Nachteile der Verkehrsträger ausgearbeitet. Anschließend werden die Rahmenbedingungen einer innerstädtischen Großbaustelle als Grundlage für die Untersuchungen näher betrachtet und die dort zu beachtenden besonderen Randbedingungen aufgezeigt. Zum Abschluss des allgemeinen Teiles der Arbeit, werden sowohl der schienengebundene als auch der straßengebundene Transport in den einzelnen Kriterien allgemein bewertet und so die Stärken und Schwächen beider Transportmodi in den einzelnen Kriterien erarbeitet.

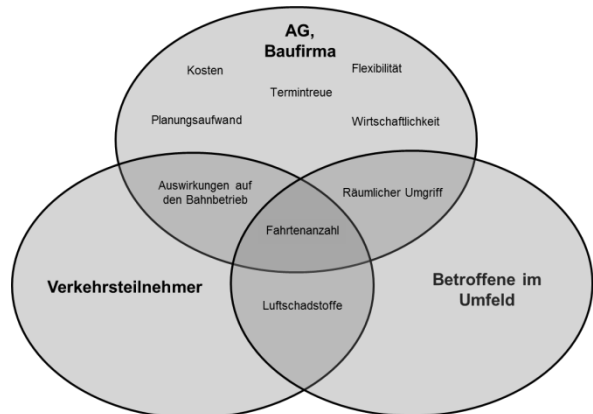


Abb. 1: Zuordnung der Bewertungskriterien zu Interessensfeldern der Beteiligten

Im Anschluss an die allgemeine Bewertung folgt die Bewertung an einem Praxisbeispiel. Dafür werden für den Neubau eines Stationsbauwerkes am Hauptbahnhof in Augsburg zwei mögliche Logistikkonzepte näher untersucht und abschließend bewertet. Bei den beiden Konzepten handelt es sich um eines mit einer überwiegend schienengebundenen Baustellenandienung und eines mit einer überwiegend straßengebundenen Baustellenandienung. Da sich der Bauablauf und die Bauverfahren in den beiden Konzepten

unterscheiden, werden zunächst die Bauablaufplanung und die Bauzeitenplanung für beide Varianten untersucht. Auf dieser Grundlage werden die anfallenden Transportgüter für die einzelnen Vorgänge des Bauablaufs in beiden Varianten ermittelt und hinsichtlich ihrer Transporteigenschaften in Stoffklassen eingeteilt. Für die einzelnen Stoffklassen werden für den Transport über die Straße und über die Schiene geeignete Transportfahrzeuge gewählt und anschließend die Anzahl der LKW-Fahrten und der Zugfahrten ermittelt. Auf dieser Datengrundlage werden die beiden Varianten mit Hilfe der zuvor definierten Kriterien bewertet und abschließend eine Vorzugsvariante bestimmt.

Untersuchungsergebnisse

Die allgemeinen und die praktischen Untersuchungen haben zeigen, dass sowohl eine schienengebundene als auch eine straßengebundene Baustellenandienung gewisse Vor- und Nachteile mit sich bringen. Welcher Verkehrsträger für die Durchführung geeigneter ist bzw. welche Kombinationen von Transportfahrten über die Schiene und über die Straße möglich sind, hängt in erster Linie von den örtlichen Gegebenheiten ab.

Die Untersuchungen haben zeigen, dass starke Abhängigkeiten zwischen Baulogistik, Bauablauf, der Bauzeitenplanung sowie den gewählten Bauverfahren bestehen. Dem entsprechend ist es wünschenswert, dass die Planung der Baulogistik schon in einem frühen Stadium mit einbezogen wird, um im Zusammenhang mit der Optimierung der Baulogistik auch eine Optimierung der Bauwerksherstellung bzw. der Herstellungsverfahren zu erreichen. Da einige Grundvoraussetzungen für ein Logistikkonzept, wie beispielsweise die Lage bestimmter Zwischenlager- und Umschlagflächen, für eine zentrale Baustellenlogistik planfeststellungsrelevant sind, sollte die Planung der Logistik bereits mit der Vorplanung beginnen. Ist dies

nicht der Fall, ist die Planung der Baulogistik unter Umständen durch die Randbedingungen die sich aus dem Planfeststellungsbeschluss ergeben stark eingeschränkt.

Die allgemeine Bewertung von schienengebundener und straßengebundener Baulogistik auf der Grundlage der gewählten Bewertungskriterien zeigt, dass zwar bestimmte Stärken und Schwächen ausgearbeitet werden können, diese aber nicht unbedingt mit der Bewertung in einem konkreten Projekt übereinstimmen. Dem entsprechend ist es nicht möglich eine allgemeingültige Aussage zu treffen, ob der Transport über die Schiene oder über die Straße zu bevorzugen ist. Ein konkreter Vergleich in einem Projekt ist nur möglich, wenn ausreichend Projektdaten bekannt sind. Je dichter der Detaillierungsgrad der Planung, desto aussagekräftiger ist das Bewertungsergebnis.

Ergebnis der Bewertung am Beispielprojekt

Anhand des Beispielprojekts wird gezeigt, dass sowohl die überwiegend schienengebundene als auch die überwiegend straßengebundene Baulogistik gewisse Vorteile mit sich bringen. Schlussendlich führt die Bewertung der beiden Konzepte zu dem Ergebnis, dass die Variante a, bei der der überwiegende Teil der Massen über die Schiene transportiert wird, für das gewählte Beispielprojekt in Augsburg die vorteilhaftere Baulogistik liefert. In der Praxis wird in der Regel das betriebswirtschaftlich gesehen günstigste Konzept gewählt, dabei werden lediglich die tatsächlichen Kosten, die für die Planung und Durchführung der Baulogistik anfallen berücksichtigt. Wie die Untersuchungen des Beispielprojektes gezeigt haben, wird die Variante a trotz der höheren Kosten als das bessere Logistikkonzept bewertet. Um auch die negative Beeinträchtigung von Umwelt und Umfeld durch die Transportfahrten bei einer alleinigen Entscheidung auf Grundlage der Kosten berücksichtigen zu können, müssten die

gesamtwirtschaftlichen Kosten der Baulogistik ermittelt werden. Dafür müssten neben den betriebswirtschaftlichen Kosten auch die volkswirtschaftlichen Kosten ermittelt werden, also alle negativen Auswirkungen auf Umwelt und Umfeld ebenfalls in Kosten dargestellt werden. Um alle Kriterien monetarisieren zu können, müssten aber geeignete Umrechnungsfaktoren für die einzelnen Kriterien vorliegen, wie beispielsweise der Kostenansatz von 205 € je

Tonne CO₂ [2] für die Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten infolge des CO₂-Ausstoßes gemäß Bundesverkehrswegeplan. Durch die Untersuchung mehrerer Beispielprojekte und das ergänzen neuer Bewertungskriterien sowie die Monetarisierung der einzelnen Kriterien könnte das Verfahren zur Bewertung der Logistikkonzepte weiter verfeinert werden und somit die Aussagekraft der Bewertung im Einzelfall noch erhöht werden.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: Schach, R., & Schubert, N. (2009). Logistik im Bauwesen. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, S. 60.
- [2]: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Bundesverkehrswegeplan 2003. Abgerufen am 11.12.2013 von Grundzüge der gesamtwirtschaftlichen Bewertungsmethodik: <http://www.brd.nrw.de/verkehr/verkehrsplanung/pdf/BVWP2003GrundzuegederBewertungsmethodik.pdf>

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Uwe, C. (2006). Baulogistik - Konzepte für eine bessere Ver- und Entsorgung im Bauwesen. Dortmund: Verlag Praxiswissen.
2. Kock, C., Noffke, O. (Juni 2010). Baulogistik von Bahnhofsumbauten der DB Station&Service AG in Nordrhein-Westfalen. ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, S. 333-339.
3. Kraus, S. (2005). Die Baulogistik in der Schlüsselfertigen Ausführung. Berlin: Bauwerk.
4. Regierung von Schwaben.(09. Dezember 2011) Planfeststellungsbeschluss Mobilitätsdrehscheibe Augsburg Hauptbahnhof. Abgerufen am 11.12.2013 von http://www.regierung.schwaben.bayern.de/Aufgaben/Bereich_2/PFB_Hauptbahnhof_Augsburg.pdf



Autor

Anna Friedl wurde am 22. Dezember 1988 geboren. Nach der allgemeinen Hochschulreife, erworben am Gymnasium Gilching, studierte sie von 2008 bis 2013 an der Technischen Universität München, zunächst im Bachelor-Studiengang Umwelt-Ingenieurwesen und im Master-Studiengang Bauingenieurwesen. Seit 2014 arbeitet sie als Projektingenieurin bei Obermeier Planen + Beraten GmbH in der Abteilung für Schienenverkehrsanlagen.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Lehrstuhl der Technische Universität München, Univ. Prof. Dr.-Ing. Stephan Freudenstein in Kooperation mit dem Ingenieurbüro OBERMEYER Planen + Beraten GmbH. Betreuung an der Technische Universität München; Lehrstuhl für Verkehrswegebau durch H. MSc. Alexander Nottbeck und im Ingenieurbüro OBERMEYER Planen + Beraten GmbH durch Herrn Dipl.-Ing. Edmund Lochbihler.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

MODELLBILDUNG UND ANALYSE VON VERBUNDTRÄGERN MIT VERBUNDDÜBELLEISTEN MITTELS NICHTLINEARER, DREIDIMENSIONALER FEM

Masterarbeit

Michael Gampfer

Verbunddübel werden in Verbundkonstruktionen zur Schubsicherung zwischen Stahl und Beton eingesetzt. Mit der Bauweise Walzträger in Beton (WIB) sollen Verbunddübelleisten als externe Bewehrungselemente von Ein- und Mehrfeldträgern eingesetzt werden. In der vorliegenden Arbeit werden Versuche der Technischen Universität München an einem Einfeldträger, mit einem FE-Modell nachgerechnet. Dabei wird ausführlich auf die Modellbildung mit Volumenelementen und nichtlinearen Materialverhalten eingegangen, die für die korrekte Erfassung des Systemverhaltens erforderlich ist. Die Simulationsergebnisse und die Versuchsergebnisse stimmen in großen Teilen überein, eine realitätsnahe Modellierung mit einer kommerziellen FE-Software ist also möglich. Bei der Auswertung der Ergebnisse wird deutlich, dass die Traglast des Verbundträgers durch ein Betonversagen begrenzt wird. Der Hauptgrund hierfür ist die Unverträglichkeit der sehr biegesteifen Dübelleiste mit dem Betonbalken.

Keywords: Verbundbau, Verbunddübel, Verbundfertigteil, WIB, FEM

Verbunddübel

Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton haben den großen Vorteil, dass beide Baustoffe in dem Bereich eines Bauteils eingesetzt werden, für den sie auf Grund ihrer Materialeigenschaften am besten geeignet sind. Stahl wird im Zuggurt verbaut und Beton im Druckgurt. Bei der Bauweise Walzträger in Beton (WIB) wird ein doppelsymmetrisches Walzprofil mit einem Trennschnitt in zwei T-Profile geteilt.

Aus der Trennschnittgeometrie entstehen gleichzeitig Stahldübel, die entlang des Stegs aneinandergereiht sind. Diese Dübelleiste wird an der Unterseite eines Betonträgers als Zuggurt eingesetzt. Da der Flansch der Leiste außerhalb des Betons, in der äußersten Querschnittsfaser liegt, spricht man auch von externer Bewehrung. Die Sicherung des schubfesten Verbunds zwischen Stahl und Beton übernimmt hier der Verbunddübel. Er setzt sich zusammen aus den Stahldübeln der Dübelleiste und den mit Beton

ausgefüllten Zwischenräumen, den sogenannten Betondübeln. [1]

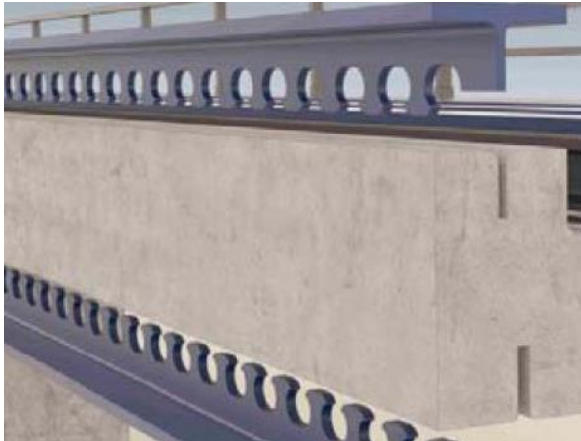


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines WIB-Verbundträgers

Vorgehensweise

Im Rahmen eines Forschungsprojekts an der Technischen Universität München werden unterschiedliche Varianten einer Einfeldträgers in der WIB-Bauweise getestet. Die durchgeführten Versuche sind Dreipunktversuche zur Ermittlung der Traglast. In dieser Masterarbeit wird das FE-Modell eines Trägers erstellt, um die Ergebnisse aus Versuchen und Berechnung vergleichen zu können und eine bessere Analyse des untersuchten Bauteils zu ermöglichen. Die Erfahrungen aus dieser Arbeit hinsichtlich Modellbildung und Ergebnisauswertung, sollen bei ähnlichen Bauteilen, z.B. Zweifeldträger und

Rahmenecke, wieder versuchsbegleitend zum Einsatz kommen.

Das Tragverhalten der Verbunddübel stellt hohe Anforderungen an das Modell: Die auftretenden Querspannungen in den Betondübeln können nur von dreidimensionalen Volumenelementen erfasst werden. Da Hexaederelemente hochwertigere Formfunktionen besitzen, werden nur achtknotige Hexaederelemente für die Vernetzung des Modells verwendet.

Modellbildung

Bei der Modellierung des Trägers wird von der Symmetrie des Bauteils Gebrauch gemacht, um die Größe des Systems zu verringern. Der Träger wird in Feldmitte und in der Querschnittmitte geteilt und nur ein Viertel des Gesamtsystems modelliert. Wegen der komplexen Geometrie der Dübel, wird für die Vernetzung des Modells der Netzgenerator Gmsh [2] verwendet, der eine umfangreiche Optimierung und Anpassung der Netzstruktur ermöglicht.

Das fertige Netz wird in das FE-Programm SOFiSTiK [3] importiert und mit den entsprechenden Randbedingungen versehen.

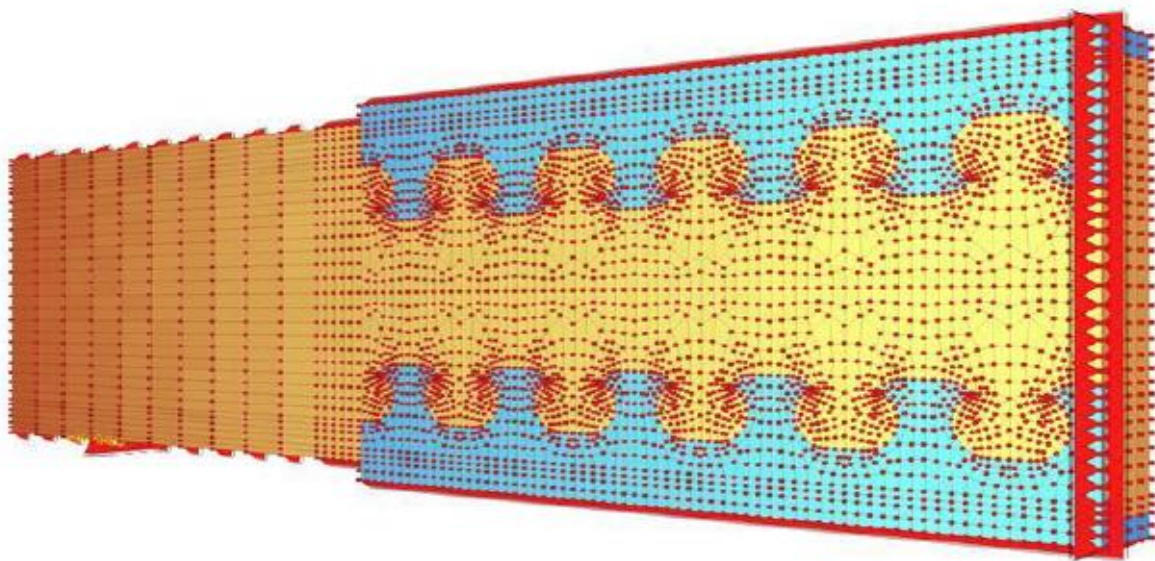


Abb. 2: Vollständiges FE-Modell

Für die korrekte Darstellung des Betons im gerissenen Zustand ist eine nichtlineare Berechnung erforderlich. Das verwendete Materialmodell [4] berücksichtigt die erhöhte Druckfestigkeit aus dem mehraxialen Spannungszustand, sowie den Ausfall des Betons unter Zugbeanspruchung. Die größte Schwierigkeit ist jedoch die Simulation des Verbundverhaltens zwischen Stahl und Beton. Dieses wird mit nichtlinearen Federn als Kontaktelementen realisiert. Für eine detaillierte Analyse wird sowohl ein Modell mit festem Verbund, als auch ein Modell mit Federn als Kontaktelementen erstellt.

Die interne Betonstahlbewehrung wird mit Fachwerkstabelementen dargestellt. Hierbei werden Biegezugbewehrung, Schubhügel, sowie die durch den Betondübel geführte Dübelbewehrung modelliert.

Die gesamten Eingaben zu Materialeigenschaften, Randbedingungen und Berechnungsparametern werden an Vergleichsrechnungen überprüft, damit eine ausreichende Genauigkeit der Simulation gewährleistet ist. Das vollständige Modell besteht aus 35.056 Knoten mit insgesamt 196.384 Freiheitsgraden, 29.848 Hexaederelementen und 823 Stabelementen.

Analyse

Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit dem Versuch zeigt, dass die Berechnungen am FE-Modell das Bauteilverhalten und die verschiedenen Effekte, die zum Versagen des Verbundträgers führen, ziemlich gut wiedergeben. Die berechnete Traglast beträgt ca. 830 kN, die im Versuch gemessene ca. 850 kN. Beide Werte liegen unter der eigentlich erwarteten Traglast von ungefähr 1000 kN.

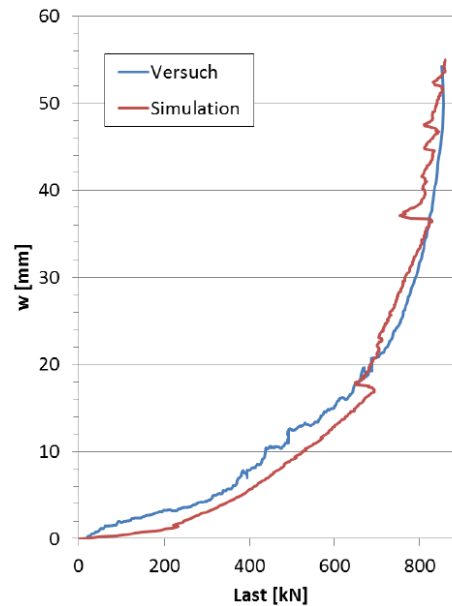


Abb. 4: Traglastvergleich

Überraschenderweise stimmen auch die Ergebnisse aus dem einfacheren Modell, mit festem Verbund zwischen Stahl und Beton, mit den Versuchsergebnissen überein. Da die Rechenzeiten hier um einiges kürzer sind und die Konvergenz der Berechnung besser, wird ein Großteil der ausgewerteten Ergebnisse diesen Berechnungsläufen entnommen.

Versagensmodus

Der auffälligste Versagensgrund des WIB-Trägers ist sicherlich das Ausziehen der unteren Dübelleiste. Die sehr biegesteife Leiste verursacht hohe Zugkräfte am Ansatz der Betondübel und enorme Scherkräfte an den Seitenflächen der Betondübel. Die Dübelbewehrung ist für diese Beanspruchung so ungünstig positioniert, dass sie die Kräfte nicht aufnehmen kann. Der gleiche Effekt tritt an einigen Betondübeln der oberen Leiste auf. Auch hier muss die Dübelleiste durch große Kräfte an die Balken-Biegelinie angepasst werden, die an den Beton weitergegeben werden. Dieses Verträglichkeitsproblem führt letztendlich zum frühzeitigen Versagen des Verbundträgers.

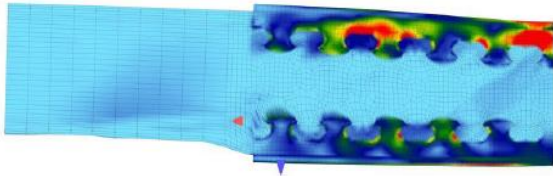


Abb. 4: Versagen des Trägers in der Simulation

Die zweite Auffälligkeit beim Trägerversagen ist der weite Biegeriss in Trägermitte. Direkt unter der Lasteinleitung und damit an der Stelle des höchsten Biegemoments, ist die Biegezugkraft an der Trägerunterseite am größten. Die interne Betonstahlbewehrung ist nicht über die gesamte Trägerlänge durchgeführt, sondern in der Mitte getrennt, um eine erforderliche Übergreifungslänge für interne und externe Bewehrung ermitteln zu können. Die Berechnung zeigt, dass zwar eine Kräfteinleitung der Zugkräfte von der Dübelleiste in die Betonstahlbewehrung stattfindet, die Biegezugkraft aber von Anfang an nicht vollständig in die externe Dübelleiste eingeleitet werden kann.



Abb. 3: Versagen des Trägers im Versuch

Schlussfolgerung

Auf Grund des Betonversagens können die Dübelleisten und auch die Betonstahlbewehrung nicht annähernd ausgenutzt werden. Die Verbunddübel in dieser Konstruktion können die Verbundsicherung zwischen Stahl und Beton nicht sicherstellen.

Um die Tragfähigkeit der Konstruktion zu erhöhen, muss das Verträglichkeitsproblem beseitigt werden. Die Biegesteifigkeit der Dübelleiste kann ohne weiteres reduziert werden, da sie als externes Bewehrungselement vorrangig Zugkräfte abtragen soll. Die vorhandene Querschnittsfläche im Flansch ist für die rechnerisch auftretenden Zugkräfte völlig überdimensioniert. Zusätzlich muss die Führung der Bewehrungsbügel überarbeitet werden. Die Optimierung dieser Komponenten kann aufbauend auf diesem FE-Modell erfolgen.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: SEIDL, Günter: *Verhalten und Tragfähigkeit von Verbunddübeln in Stahlbetonverbundträgern*. Wrocław, Wrocław University of Technology, Institute of Building Engineering. Dissertation. 2009
- [2]: GEUZAINÉ, Christophe; REMACLE, Jean-Francois: *Gmsh : A three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities*. In: *International Journal for Numerical Methods in Engineering* (2009)
- [3]: SOFiSTiK : *SOFiSTiK 2012*. Oberschleißheim : SOFiSTiK AG, 2012
- [4]: LADE, P. V.: *Three parameter failure criterion for concrete*. In: *Journal of the Engineering Mechanics Division* 108 (1982), S. 850–863

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. WERKLE, Horst: *Finite Elemente in der Baustatik*. 3. Aufl. Wiesbaden : Vieweg & Sohn, 2008
2. BELYTSCHKO, Ted ; LIU, Wing Kam ; MORAN, Brian: *Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures*. 9. Aufl. Chichester : John Wiley & Sons, 2008
3. FELIPPA, Carlos: *Nonlinear Finite Element Methods*. Boulder, University of Colorado, Center for Aerospace Structures. Vorlesungsskript. 2012
4. ZILCH, Konrad ; ZEHETMAIER, Gerhard: *Bemessung im konstruktiven Betonbau : Nach DIN 1045-1 und DIN EN 1992-1-1*. Berlin [u.a.] : Springer, 2006 (Vorlesungen Massivbau)



Autor

Michael Gampfer wurde am 09. September 1990 in München geboren. Nach dem Abitur am Gymnasium Puchheim studierte er Bauingenieurwesen an der Technischen Universität München.

Betreuung

Die Arbeit wurde angefertigt am Lehrstuhl für Metallbau, Institut für Baustoffe und Konstruktion der Technischen Universität München, Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. (NDS) Martin Mensinger. Betreuung durch Dipl.-Ing. Andreas Näßl.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

ALTERUNGSEFFEKTE CALCINIERTER TONE UND DEREN EINFLUSS AUF DIE EIGENSCHAFTEN IN ZEMENTÄREN SYSTEMEN

Bachelorarbeit

B.Eng. Ricarda Gmür

Calcinierte Tone sind natürlich vorkommende Tongemische, die einen attraktiven, zukunftssträchtigen Betonzusatzstoff darstellen. Insbesondere durch ihre äußerst geringe CO₂-Emissionen beim Herstellprozess und ihre weltweite Verfügbarkeit stellen calcinierte Tone einen nachhaltigen Betonzusatzstoff dar. Am Institut für Werkstoffe des Bauwesens an der Universität der Bundeswehr laufen Untersuchungen zu Tongemischen, die sich gegenüber reinen Tönen durch ihre Wirtschaftlichkeit auszeichnen. Da eine optimale Lagerung und zeitnahe Verarbeitung von Baustoffen häufig unmöglich ist, sollten in dieser Abschlussarbeit mögliche Alterungseffekte unter praxisnahen Lagerungsbedingungen erfasst werden. Im Literaturteil wurden neben calcinierten Tönen, dem Calciniierungsprozess und bekannten Einflüssen frischer calcinierter Tone auf mechanische Eigenschaften auch Alterungseffekte bei Zement und Hüttensand vorgestellt. Die praktischen Versuche beinhalteten physikalische und chemisch-mineralogische Untersuchungen sowie die Ermittlung von mechanischen Eigenschaften zementärer Systeme in Abhängigkeit von den Lagerungsbedingungen. Die Untersuchungen zeigten, dass unter praxisrelevanten Gegebenheiten keine signifikanten Alterungseffekte zu erwarten sind und schlussfolgernd für die Lagerung in der baupraktischen Anwendung keine speziellen Anforderungen gestellt werden müssen. Das Potenzial calcinierter Tone als Betonzusatzstoff konnte somit bestärkt werden.

Keywords: Alterungseffekte, calcinierte Tone, Nachhaltigkeit, Baustoffe, Betonzusatzstoff, Puzzolane

Forschungsziel

Am Institut für Werkstoffe des Bauwesens der Universität der Bundeswehr laufen aktuell Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten alternativer Betonzusatzstoffe. Im Mittelpunkt steht dabei das Potenzial calcinierter Tone. Die Versuche

wurden bis dato an frisch calcinierten und aufgemahlene Tongemischen durchgeführt. Dabei konnte eine hohe Wirksamkeit von calcinierten Tönen, z.B. anhand eines signifikanten Festigkeitsbeitrages nachgewiesen werden [1, 2]. Alterungseffekte, wie sie bei

Zement und anderen Betonzusatzstoffen bekannt sind, wurden an calcinierten Tonen bislang nicht untersucht. Da eine optimale Lagerung und zeitnahe Verarbeitung der gelieferten Baustoffe häufig nicht möglich ist, sollten diese möglichst unempfindlich gegenüber Alterung und Umwelteinflüssen sein. Für den sicheren Einsatz calcinierter Tone in der Baustoffindustrie ist deshalb eine adäquate Beurteilung von möglichen Lagerungseffekten erforderlich. Um die tatsächliche Empfindlichkeit von calcinierten Tonen gegenüber Lagerung ermitteln zu können, sind die calcinierten Tone nach gezielten Lagerungsbedingungen hinsichtlich der Verarbeitbarkeit, die z.B. durch Agglomeration oder Carbonatisierung beeinträchtigt werden könnte, oder Festigkeits-einbußen zu untersuchen. Die im Folgenden vorgestellte Bachelorarbeit soll einen ersten Beitrag zur Erfassung möglicher Alterungseffekte bei calcinierten Tonen liefern. Ziel der Abschlussarbeit war es, calcinierte Tone unter praxisrelevant simulierten Lagerungsbedingungen zu untersuchen und ihre Empfindlichkeit gegenüber „falscher“ Lagerung zu beurteilen. Untersucht wurden die Einflüsse der Alterung auf das Reaktionsvermögen der calcinierten Tone ebenso wie Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften zementärer Systeme mit calciniertem Ton als Betonzusatzstoff.

Calcinierte Tone – ein nachhaltiger Betonzusatzstoff mit Potenzial

Die Abschlussarbeit wird eingeleitet mit einer Einführung in die calcinierten Tone. Dabei handelt es sich um natürlich vorkommende Tone, die thermisch aktiviert und somit als „natürlich getempertes Puzzolan“ als reaktiver Bestandteil von Zement nach *DIN EN 197-1* eingesetzt werden können. Calcinierte Tone sind für drei Sparten der Baustoffindustrie interessant: als Klinkerersatz in Zement, als Betonzusatzstoff des Typs II, der die Dauerhaftigkeit verbessert, oder als alumosilikatischer Bestandteil für die Produktion von Geopolymer-Bindern [3]. In einer Zeit, in der zunehmend auf die Nachhaltigkeit

von Baustoffen geachtet wird, ist insbesondere die reduzierte CO₂-Emission infolge des Einsatzes von calcinierten Tonen zu erwähnen. Zum einen benötigt die Entsäuerung im Zuge der Calcinierung von Tonen lediglich 0,022 Tonnen CO₂ pro Tonne calciniertem Ton, während bei der Zementklinkerproduktion v.a. aufgrund von Entsäuerungsprozessen 0,78 Tonnen CO₂ für eine Tonne Portlandzement benötigt werden. Zum anderen verkürzen sich durch die weltweite Verfügbarkeit von Ton die Transportwege, wenn der natürliche Ton aus der näheren Umgebung für den Einsatz als calcinierter Ton geeignet ist. Durch ihre konjunkturelle und saisonale Unabhängigkeit heben sich calcinierte Tone von anderen Betonzusatzstoffen, wie Flugasche oder Hüttensand, ab und stellen einen möglichen, zukunftssträchtigen Betonzusatzstoff dar. Bisherige Forschungsschwerpunkte lagen vorrangig auf Metakaolin, dem Brennprodukt von Kaolin. Da Kaolin auch in anderen Industriebereichen sehr gefragt und deshalb sehr teuer ist [3], werden die Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte zunehmend auf Tongemische gelegt. Diese kollidieren aufgrund ihrer Qualität nicht mit anderen Industrien und sind erheblich wirtschaftlicher als reine calcinierte Tone [1].

Vom inerten zum reaktiven Baustoff

Gegenstand von Forschungsarbeiten am Institut für Werkstoffe des Bauwesens ist das Verhalten von calcinierten Tonen aus Tongemischen, die als Hauptbestandteile die Schichtsilikate Kaolinit, Illit und Chlorit enthalten. Deren chemische Strukturen sowie ihr thermochemisches Verhalten werden im Rahmen der Literaturrecherche beschrieben. Basierend auf der Thermochemie der Schichtsilikate werden die Notwendigkeit des Calcinierungsprozesses sowie mineralogische Veränderungen durch die thermische Aktivierung beschrieben. Während der Calcinierung beeinflussen sowohl die Brenntemperatur als auch die Brenndauer die mineralogische Zusammensetzung sowie den Kristallisationsgrad der Schichtsilikate und somit auch das puzzolane Reaktionsvermögen der

calcinierten Tone.

Leistungsfähigkeit im Beton

Die Arbeit stellt im Überblick bisher veröffentlichte Forschungsergebnisse zu Einflüssen calcinierter Tone auf Eigenschaften in zementären Systemen vor. Calcinierte Tone verbessern als Betonzusatzstoff sowohl die Verarbeitbarkeit von Frischmörtel und Beton als auch die Eigenschaften des grünen Betons. Nachweisbar ist, dass sowohl das Bluten von Frischbeton (durch einen ca. 30 % höheren Wasseranspruch calcinierter Tone gegenüber Zement) als auch das Schwinden von Festbeton deutlich reduziert werden [1]. In Kombination mit Portlandzement und Portlandkompositzementen zeigen die Aktivitätsindices, dass calcinierte Tone nicht nur als Füller, sondern auch als reaktiver Betonzusatzstoff verwendet werden können. In Abhängigkeit von dem verwendeten Zement, ergeben sich bei Mischungen mit Substitution durch calcinierte Tone sowohl unterschiedliche Einflüsse auf die Druckfestigkeiten als auch auf das Schwindverhalten des Festbetons. Hinsichtlich der Festigkeit wurde zudem festgestellt, dass durch den höheren Wasseranspruch des calcinierten Tons der w/z -Wert und die Porosität des Zementsteins abnehmen [1]. Für die Praxis bedeutet eine geringere Porosität eine verbesserte Dauerhaftigkeit von Bauteilen, die mit calciniertem Ton hergestellt werden. Da Alterungseffekte an calcinierten Tonen bisher nicht untersucht wurden, schließt der Literaturteil mit einer Betrachtung bekannter Veränderungen nach Lagerung bei Zement und Hüttensand ab.

Materialien und Lagerungsbedingungen

Als Ausgangsstoffe für die Untersuchungen wurden drei calcinierte Tone unterschiedlicher Brenntemperatur und Aufbereitungstechnik verwendet, die über einen Zeitraum von sechs

Monaten unterschiedlichen, explizit praxisnahen Lagerungsbedingungen ausgesetzt wurden. Berücksichtigt wurde dabei, dass eine optimale Lagerung oder eine zeitnahe Verarbeitung meist nicht umsetzbar sind. Neben der Referenzlagerung im Eimer, wurden die Tongemische in einem Klimaraum offen bei 20 °C und 65 % r.L., bei 20 °C in 3%iger CO₂-Atmosphäre und bei 40 °C ebenfalls offen bei 60 % r.L. gelagert. Insgesamt gab es vier unterschiedliche Lagerungen und zwölf zu untersuchende Proben. In Abbildung 1 sind Rohgranalien nach der Calcinierung sowie aufgemahlener calcinierter Ton zu sehen.



Abb. 1: Calciniertes Ton und Rohgranalien nach dem Calciniierungsprozess

Untersuchungsmethoden

Im experimentellen Teil der Arbeit wurden physikalische und chemisch-mineralogische Untersuchungen durchgeführt. Zu den physikalischen Untersuchungen gehörten die Messung der Reindichte, die Bestimmung des Wasseranspruchs und die Messung der spezifischen Oberfläche (BET). Des Weiteren wurden Prismen nach *DIN EN 196-1* hergestellt. Neben einer Referenzmischung, die als Bindemittelkomponente 100 M.-% Portlandzement enthielt, wurden mit jedem gelagerten calcinierten Ton jeweils eine Substitutionsmischung mit 80 M.-% Zement und 20 M.-% calciniertem Ton hergestellt. Untersucht wurden das Ausbreitmaß und die Frischmörtelrohichte.

Die hergestellten Festmörtelprismen wurden unter Wasser gelagert und im Prüfalter von 28 Tagen auf ihre Biegezug- sowie Druckfestigkeit geprüft. Parallel zu den physikalischen Untersuchungen wurden an ausgewählten Proben Röntgenbeugungsdiagramme zur Phasenidentifikation und Ionenlöslichkeitsmessungen mittels ICP-OES zur Bestimmung des Reaktionspotenzials vorgenommen.

Ergebnisse und Ausblick

Anhand des Aktivitätsindex I_A , der sich aus dem Quotienten der Druckfestigkeit der Substitutionsmischung und der Druckfestigkeit der Referenzmischung in % ergibt, wurde deutlich, dass sich der Ersatz von Zement durch calcinierte Tongemische bei allen untersuchten Lagerungsbedingungen positiv auf den Festigkeitsbeitrag auswirkte [s. Abb. 2].

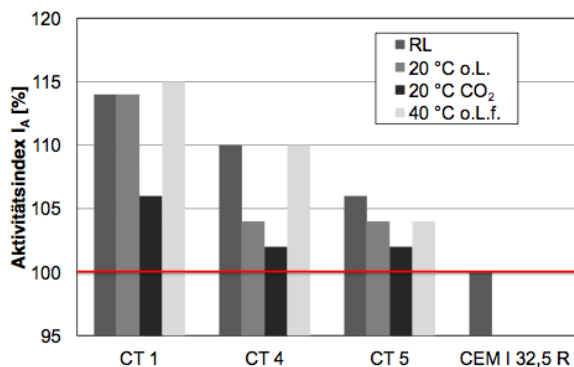


Abb. 2: Aktivitätsindex in Abhängigkeit der Lagerung bezogen auf die Referenzmischung (100 % CEM I)

Die Ergebnisse aus der ICP-OES-Messung, der Bestimmung der Reindichte und der Frischmörtelrohndichte wiesen keine lagerungsbedingten Effekte auf. Mittels Röntgen-diffraktometrie wurden ebenfalls keine Veränderungen festgestellt. Veränderungen zeigten sich teilweise bei dem Wasseranspruch, der mit zunehmender Oberfläche größer wurde, und signifikant bei der spezifischen Oberfläche sowie bei den Druckfestigkeiten nach 28 Tagen. Korrelationen bestanden dahingehend, dass die

Festigkeiten mit einer größeren Oberfläche abnahmen. Ein Vergleich zwischen den Lagerungsbedingungen wies auf, dass sich gegenüber der Referenzlagerung die anderen Lagerungsbedingungen tendenziell negativ auf die Druckfestigkeit auswirkten. Der Einfluss der Lagerung in 3%iger CO₂-Atmosphäre war hierbei signifikant. Da die Druckfestigkeiten jedoch nach wie vor höher waren als die der Referenzmischung, wurden im Rahmen dieser Abschlussarbeit keine praxisrelevanten negativen Einflüsse bei Einsatz gelagerter, calcinierter Tone festgestellt. Sowohl die niedrigeren Festigkeiten als auch eine deutlich erhöhte BET-Oberfläche konnten nur hypothetisch und in Bezug auf bekannte Effekte bei Zement und Hüttensand interpretiert werden. Dort wurden dünne Schichten aus Reaktionsprodukten auf der Oberfläche nachgewiesen. Bezüglich der Lagerungsbedingungen deuten die Ergebnisse darauf hin, dass unter den meisten praxisrelevanten Gegebenheiten wohl nicht mit messbaren Effekten zu rechnen ist. Für die Praxis bedeutet dies, dass keine speziellen Anforderungen an die Lagerung calcinierter Tone als Betonzusatzstoff nötig sind und eine unproblematische Handhabung durchaus als möglich erscheint. Somit konnte das Potenzial calcinierter Tone als zukünftiger Betonzusatzstoff bestärkt werden.

Für die weitere Forschung würde es sich empfehlen, die Oberfläche der calcinierten Tone mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie auf lagerungsbedingte Schichtbildungen sowie das Reaktionspotenzial calcinierter Tone zusätzlich mittels Wärmeflusskalorimetrie zu untersuchen. Bezüglich der Lagerung wären extremere Bedingungen, wie z.B. eine Wasserlagerung, durchaus denkbar, um die Resistenz calcinierter Tone gegenüber äußeren (Umwelt-)Einflüssen bestätigen zu können.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1] K.-Ch. Thienel, N. Beuntner: Effects of Calcined Clay as Low Carbon Cementing Materials on the Properties of Concrete. In: Proceedings of the 8th International Conference: Concrete in the Low Carbon Era vom 9.7. – 11.7.2012 in Dundee, S. 504-517
- [2] N. Beuntner et al.: Efficiency of Calcined Clay in Cementitious Systems. In: Holland, T.C.; Gupta, P.R.; Malhotra, V.M. ACI SP-289.31, Proceedings of the 12th International Conference on Recent Advantages in Concrete Technology and Sustainability Issues vom 30.10. – 1.11.2012 in Prag, S.413-424, Sheridan Books, Chelsea, Michigan, 2012
- [3] A. Trümer, H.-M. Ludwig: Calcined clay as supplementary cementitious material. In: F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Tagungsband zur 18. Internationalen Baustofftagung vom 12.-15.09.2012 in Weimar, S. 1-0627 – 1-0634, Weimar 2012

Weitere, für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

- 1. T. Østnor: "Alternative pozzolans" as supplementary cementitious materials in concrete. In: SINTEF Building and Infrastructure, Trondheim, 17.12.2007
- 2. C. He et al.: Thermal stability and pozzolanic activity of calcined kaolin. In: Elsevier, Applied Clay Science, 9. Ausgabe, Nummer 3, S.165 – 186, Dänemark 1994
- 3. M. Okrusch, S. Matthes: Mineralogie – Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde; Springer Verlag, 8. Auflage, Berlin, Heidelberg 2010
- 4. H. Salmang et al.: Keramik. 7.Auflage, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 2007
- 5. R. Fernandez et al.: The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. In: Cement and Concrete Research, Elsevier, Applied Clay Science, 41. Ausgabe, Nr. 1, S.113-122, Kuba, Schweiz 2011



Autor

Ricarda Gmür wurde 1989 in München geboren. Nach der allgemeinen Hochschulreife am Karlsgymnasium in München-Pasing studierte sie Bauingenieurwesen an der Hochschule München mit dem Abschluss Bachelor of Engineering. Seit Oktober 2013 absolviert sie den Master-Studiengang Bauingenieurwesen an der Technischen Universität München.

Betreuung

Die Arbeit wurde als Kooperation zwischen der Hochschule München (Prof. Dr.-Ing. Dauberschmidt) und der Universität der Bundeswehr am Institut für Werkstoffe des Bauwesens bei Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thienel in Neubiberg angefertigt.

Frau Gmür wurde an der UniBW München betreut durch Frau Dipl.-Ing. Nancy Beuntner.

Die Arbeit wurde mit dem 1. Preis ausgezeichnet.

SCHUTZPFLICHT DES AUFTRAGNEHMERS BIS ZUR ABNAHME NACH § 4 ABS. 5 VOB/B

Bachelorarbeit

Michael Günthner

Die VOB/B erlegt im § 4 Abs. 5 Satz 1 dem Auftragnehmer die Pflicht auf seine Leistung vor Beschädigung und Diebstahl bis zur Abnahme zu schützen. Diese Schutzpflicht ist eine vertragliche Nebenpflicht und wird nicht zusätzlich vergütet. Die Frage, die sich damit stellt ist, ob der Auftragnehmer daher Schutzmaßnahmen bis ins Unermessliche treffen muss oder ob ihm trotzdem ab einem gewissen Punkt eine zusätzliche Vergütung zusteht. Mit Hilfe der VOB (insbesondere dem Teil C), Rechtsprechung, Literatur und Praxis wird untersucht, ob eine Grenze existiert (und wie hoch diese ggf. zu ziehen ist), ab dem es dem Auftragnehmer nicht mehr zumutbar ist sein Werk zu schützen ohne dafür zusätzliche Vergütung zu erhalten. Im Ergebnis kann man sagen, dass der Auftragnehmer seine Leistung in jedem Fall schützen muss – unabhängig davon steht die Frage der Vergütung. Die Schutzpflicht ist nicht uneingeschränkt auszulegen. Der Auftragnehmer muss, um seiner Schutzpflicht nach § 4 Abs. 5 VOB/B Genüge zu tun, in den meisten Fällen nur einfache wenig aufwendige Schutzmaßnahmen treffen. Allerdings ist es besonders wichtig, dass er seine Bedenken- und Hinweispflichten ordnungsgemäß erfüllt. Um sich abzusichern ist eine ordentliche Dokumentation zu den richtigen Zeitpunkten unentbehrlich.

Keywords: Schutzpflicht, Schutzmaßnahmen, § 4 Abs. 5 VOB/B, VOB/C, Allgemeine Technische Vertragsbedingungen ATV , Gefahrtragung, Abnahme, Bedenkenanmeldung, Dokumentation

Problemstellung

Auf Baustellen kommt es sehr häufig vor, dass während der Ausführung Leistungsteile oder Gegenstände zerstört, beschädigt oder entwendet werden. Passiert dies, ist die Folge meist ein Streit zwischen den Vertragspartnern Auftragnehmer und Auftraggeber. Auf der einen Seite will der Auftraggeber natürlich sein bestelltes Werk mangelfrei und vollständig ohne

dafür mehr als die vereinbarte Vergütung zu bezahlen. Auf der anderen Seite möchte der Auftragnehmer verständlicherweise die Vergütung für sein bereits erstelltes Werk erhalten und die Neuherstellung bzw. Schadensbeseitigung nicht umsonst erbringen. Um diesem Problem entgegenzuwirken ergänzt die VOB u. a. die gesetzliche Gefahrtragung mit § 7 VOB/B zum einen und zum anderen erlegt

sie dem Auftragnehmer in § 4 Abs. 5 VOB/B eine Schutzverpflichtung auf.

§ 4 VOB/B Ausführung

(5) Der Auftragnehmer hat die von ihm ausgeführten Leistungen und die ihm für die Ausführung übergebenen Gegenstände bis zur Abnahme vor Beschädigung und Diebstahl zu schützen. Auf Verlangen des Auftraggebers hat er sie vor Winterschäden und Grundwasser zu schützen, ferner Schnee und Eis zu beseitigen. Obliegt ihm die Verpflichtung nach Satz 2 nicht schon nach dem Vertrag, so regelt sich die Vergütung nach § 2 Abs. 6

Diese Pflicht des Auftragnehmers zum Schutz der Leistung vermag das Eintrittsrisiko und die Auswirkung eines Untergangs der Leistung etwas einzudämmen, jedoch ist sie ein Sprungbrett für weiteres Streitpotential. Wie umfangreich der Auftragnehmer seine Schutzmaßnahmen zu treffen hat, wie es um die Vergütung der Schutzmaßnahmen bestellt ist oder wie der Auftragnehmer seine fertiggestellte Leistung bis zur Abnahme schützen soll, wenn er nach Fertigstellung nicht mehr auf der Baustelle tätig ist, ist nirgends geregelt. Diese Arbeit versucht die Problematik um die Schutzpflicht des Auftragnehmers etwas genauer zu beleuchten.

Einführung in die Schutzpflichten

Mit § 4 Abs. 5 VOB/B wird dem Auftraggeber die aktive Pflicht zum Schutz der Leistung auferlegt. Der Auftragnehmer muss also, die von ihm ausgeführte Leistung (schon von Beginn der Ausführung an) und die ihm zur Ausführung übergebenen Gegenstände vor Beschädigung und Diebstahl schützen. Die Schutzpflicht endet mit der Gesamtabnahme der Leistung (§ 12 Abs. 1 VOB/B) bzw. mit der Teilabnahme (§ 12 Abs. 2 VOB/B). Zu den „zur Ausführung übergebenen Gegenständen“ gehört neben übergebenen Baustoffen und Bauteilen, sonstigen notwendigen überlassenen Sachen auch die Vorleistung anderer Unternehmer, wenn die eigene Leistung darauf aufbaut. Nach der Rechtsprechung fällt darunter auch der

übergebene Gebäudeteil (LG Rostock Urt. V. 06.07.99 – 4 O 485/98).¹

Umfang der Schutzmaßnahmen

Hinsichtlich des Umfangs der Schutzmaßnahmen, die der Auftragnehmer nach § 4 Abs. 5 VOB/B ergreifen muss, herrscht leider oft Unklarheit. So treten u. a. folgende Fragestellungen auf:

- Muss der Auftragnehmer uneingeschränkt Schutzmaßnahmen ergreifen?
- Was, wenn der Auftragnehmer nicht schützt und die Leistung untergeht?
- Was muss der Auftragnehmer tun, wenn sehr aufwendige Schutzmaßnahmen erforderlich sind, bei denen es ihm nicht mehr zuzumuten ist, dass er sie ohne zusätzliche Vergütung erbringt?

Dass die Schutzpflicht nach § 4 Abs. 5 VOB/B nicht uneingeschränkt auszulegen ist wird bei Betrachtung des Satz 2 des § 4 Abs. 5 VOB/B schnell deutlich. Bei einer uneingeschränkten Pflicht zum Schutz der Leistung wäre dieser ja sonst überflüssig². Aber auch im § 7 Abs. 1 der VOB/A ist ein Zumutbarkeitsgedanke erkennbar³.

Besonders hilfreich zur Bestimmung des Umfangs der Schutzmaßnahmen ist die VOB/C, die für verschiedene Gewerke Schutzmaßnahmen in den Abschnitten 4.1 und 4.2 als Neben- und Besondere Leistungen definiert. Nebenleistungen (4.1) sind Leistungen, die vertraglich geschuldet sind und somit nicht zusätzlich vergütet werden. Wo hingegen Besondere Leistungen (4.2) nicht vertraglich geschuldet sind (falls im Vertrag diesbezüglich nichts vereinbart ist) und somit gesondert vom Auftraggeber zu vergüten sind. Um herauszufinden welche Schutzmaßnahmen der Auftragnehmer schuldet ohne dafür zusätzliche Vergütung zu erhalten, wurden in dieser Arbeit

¹ vgl. Oppler in Ingenstau/Korbion VOB-Kommentar 18. Auflage, 2013 § 4 (5) Rdnr. 3 ff

² vgl. Stuttmann in BauR 2001, 1493

³ vgl. Kaminsky & Kues in NZBau 2006, 750f

die unterschiedlich definierten Schutzmaßnahmen aus der VOB/C herausgefiltert und hinsichtlich einer möglicherweise erkennbaren Grenze zwischen Neben- und Besonderen Leistungen untersucht. Nebenbei wurde erforscht, wie entsprechende Schutzmaßnahmen in der Praxis realisiert werden. Somit werden die in der VOB/C definierten Schutzmaßnahmen mit zahlreichen Fotos und Beschreibungen von Maßnahmen, die im realen Baualltag von einem ausführendem Bauunternehmen getroffen wurden, unterstützt.

So zum Beispiel ist der Schutz durch loses Abdecken mit Folie bei Maler- und Lackierarbeiten eine Nebenleistung (4.1.2 ATV DIN 18363) wogegen bereits das Abkleben oder Auslegen von dünnen Holzfaserverplatten eine Besondere Leistung darstellt (4.2.6 ATV DIN 18363).

Des Weiteren werden Schutzmaßnahmen vor Niederschlag (4.1.10 und 4.2.6 der ATV DIN 18299), der Schutz vor ungeeigneten klimatischen Bedingungen (z. B. 4.2.1 i. V. m. 3.1.1 der ATV DIN 18338), der Schutz durch Absperren (z. B. 4.1.4 der ATV DIN 18356), der Schutz bei vorzeitiger Inbetriebnahme (4.2.4 der ATV DIN 18299), der Schutz von fremder Leistung (z. B. 4.2.1 der ATV DIN 18300), der Schutz vor Diebstahl genauer unter die Lupe genommen. In Verbindung mit den in der Praxis ausgeführten Schutzmaßnahmen wird versucht eine Grenze zu finden, ab der es dem Auftragnehmer nicht mehr zuzumuten ist, dass er sie ohne zusätzliche Vergütung erbringt.

Soweit ist klar, dass der Auftragnehmer in jedem Fall dazu verpflichtet ist seine Leistung zu schützen. Die Frage richtet sich ausschließlich danach, bis zu welchem Umfang er Maßnahmen ergreifen muss ohne eine zusätzliche Vergütung zu erhalten. Als Ergebnis lässt sich sagen, dass die Schutzpflicht nicht uneingeschränkt auszulegen ist. Dies wird nach Betrachtung des Satz 2 des § 4 Abs. 5 VOB/B und dem § 7 Abs. 1 VOB/A recht schnell deutlich⁴. Dass der

Auftragnehmer in den meisten Fällen jedoch nur einfache, weniger aufwendige Maßnahmen zum Schutz treffen muss, wird erst nach genauer Betrachtung der Abschnitte 4.1 und 4.2 erkennbar⁵.

Weiterhin wird verdeutlicht, welche Wichtigkeit die Bedenkenanmeldung und Hinweispflicht (§ 4 Abs. 3 VOB/B) für den Auftragnehmer hinsichtlich der Schutzpflichten hat. Für eine ordnungsgemäße Pflichterfüllung hat nämlich der Auftragnehmer den Auftraggeber auf einen fehlenden aber erforderlichen Schutz seiner Leitung hinzuweisen und ihm mitzuteilen welche Folgen es haben kann, wenn er diesen weiteren Schutz nicht beauftragt⁶.



Abbildung 2 - Schutz von Sichtbetontreppenläufen
(Quelle: Wayss & Freytag Ingenieurbau AG)

Schutzpflicht und die Abnahme

Der Zeitraum zwischen Fertigstellung der Leistung und der tatsächlichen Abnahme ist oft sehr kritisch, weil der Auftragnehmer nach Fertigstellung nur noch selten – wenn überhaupt noch – auf der Baustelle tätig ist und somit seine Schutzmaßnahmen schwieriger aufrechterhalten und überprüfen kann. Die Teilabnahme bietet auch keinen Lösungsansatz, da die meisten

⁴ vgl. Kaminsky & Kues in NZBau 2006, 751

⁵ vgl. Stuttmann in BauR 2001, 1492f

⁶ OLG Schleswig, Urt. V. 04.06.2002 – 8 U 18/01

Bauleistungen in der Realität keine „in sich abgeschlossenen Leistungen“ sind wie es § 12 Abs. 2 VOB/B fordert⁷. Der Auftragnehmer kann trotzdem versuchen eine Teilabnahme zu bekommen. Sollte sich der Auftraggeber dieser jedoch verweigern, bleibt dem Auftragnehmer nur noch die Möglichkeit den (mangelfreien) Zustand seiner Leistung entsprechend § 4 Abs. 10 VOB/B (so auch nicht in sich abgeschlossene Teilleistungen) feststellen zu lassen und dabei mit dem Auftraggeber eine Vereinbarung bezüglich des Gefahrenübergangs treffen um seiner Schutzpflicht ein Ende zu setzen. Mit seinem (Teil-)Abnahmebegehren sollte immer ein Hinweis auf mögliche Risiken und die Unmöglichkeit des weiteren Schutzes verbunden werden.⁸

Praxishinweise

Zum Abschluss der Arbeit werden dem Leser Praxishinweise mit auf den Weg gegeben, um als Auftragnehmer seine Schutzpflichten ordnungsgemäß zu erfüllen. Von besonderer Wichtigkeit ist es, dass der Auftragnehmer seine Bedenken zu den richtigen Zeitpunkten und in der richtigen Form anmeldet. Bezüglich der Schutzpflicht müssen u. a. Bedenken angemeldet werden, wenn dem Auftragnehmer während der Ausführung höhere Schutzmaßnahmen (z. B. Besondere Leistungen) nicht mehr zu zumuten sind⁹. Zwischen Fertigstellung und Abnahme muss er seine Bedenken mitteilen, wenn er nach Abschluss der Arbeiten nicht mehr auf der Baustelle tätig ist und so den Schutz seiner Leistung nicht mehr aufrechterhalten kann oder wenn der Auftraggeber die Benutzung der Leistung vor Abnahme verlangt. Seine Bedenken sollte der Auftragnehmer immer mit einem Angebot für erforderliche Schutzmaßnahmen

und einem Hinweis auf die Risiken, die bei Nicht-Beauftragung entstehen können, unterbreiten.

Sollten Zweifel bestehen, ob der Auftragnehmer immer noch seiner Schutzpflicht nach § 4 Abs. 5 VOB/B unterliegt, tut er gut daran seine Maßnahmen bis zur Abnahme aufrecht zu erhalten. Er ist nicht nur der gesetzlichen Gefahrtragung ausgesetzt, sondern er kann sich auch schadensersatzpflichtig machen, wenn er nicht schützt obwohl er dazu verpflichtet ist.

Besonders wichtig ist auch, dass der Auftragnehmer richtig und ausreichend dokumentiert. Vor allem dann, wenn er Bedenken angemeldet hat und der Auftraggeber weitere Schutzmaßnahmen nicht beauftragt, der Auftraggeber vorzeitige Benutzung der Leistung verlangt oder die Abnahme verweigert oder hinauszögert.

Am Idealsten ist es jedoch, wenn alles, was zu Problemen führen kann, im Vorfeld abgeklärt wird. Bezogen auf die Besonderheiten des Bauvorhabens sollte alles vertraglich vereinbart werden was Schutzmaßnahmen, das Beseitigen von Schäden, das Wiederbeschaffen von Materialien, und Vergütungsansprüche betrifft. So sollten die Auftraggeber (aber auch die Auftragnehmer) den 0-Hinweisen der VOB/C „Hinweise für das Aufstellen einer Leistungsbeschreibung“ spezielle Beachtung schenken. In diesem Abschnitt befinden sich u. a. Hinweise zur Beschreibung von besonderen Schutzmaßnahmen (z. B. 0.2.24 der ATV DIN 18338).

Je detaillierter die Leistung ausgeschrieben ist, desto genauer kann der Auftragnehmer kalkulieren. Er erkennt so auch leichter Schwierigkeiten im Voraus und kann den Auftraggeber darauf hinweisen. Schutzmaßnahmen können speziell oder ganz allgemein ausgeschrieben werden. Sie sollten jedoch zumindest immer allgemein ausgeschrieben werden, da sie ein sehr günstiges „Aufwands-Wirkungs-Verhältnis“ bieten.

⁷ vgl. Oppler in Ingenstau/Korbion VOB-Kommentar 18. Auflage, 2013 § 12 Abs. 2, 1652 Rdnr. 6

⁸ vgl. Kimmich & Bach in VOB für Bauleiter, 4. Auflage, 429 Rdnr. 1538 ff

⁹ vgl. Stuttmann in BauR 2001, 1495f

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

1. P. Oppler, „§ 7 VOB/B Verteilung der Gefahr und § 4 Abs. 5 VOB/B Schutzpflicht des Auftragnehmers,“ in s *Ingenstau/Korbion VOB/B Kommentar 18. Auflage*, Werner Verlag, 2013.
2. M. Stuttmann, „Die Pflicht zum Schutz eigener Leistungen und die Gefahrverteilung im Bauvertrag,“ in s *BauR 2001*, Düsseldorf, Werner Verlag, p. 1487 ff..
3. S. Kaminsky und J.-H. Kues, „Die Vergütung von Maßnahmen des Auftragnehmers zum Schutz der eigenen Leistung vor Abnahme beim VOB-Vertrag,“ in s *NZBau 2006*, Berlin, C. H. Beck, p. 747 ff..
4. B. Kimmich und H. Bach, *VOB für Bauleiter 4. Auflage*, Werner Verlag, 2012.

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. P. Oppler, „§ 7 VOB/B Verteilung der Gefahr und § 4 Abs. 5 VOB/B Schutzpflicht des Auftragnehmers,“ in s *Ingenstau/Korbion VOB/B Kommentar 18. Auflage*, Werner Verlag, 2013.
2. W. Acker und S. Garcia-Scholz, „Die Ansprüche des Auftragnehmers bei Beschädigung der Werkleistung vor Abnahme,“ in s *BauR*, Frankfurt a. M., Werner Verlag, 2003, pp. 1457-1465.
3. P. Sterner, „§ 4 Abs. 5 VOB/B [Schutzpflichten des Auftragnehmers],“ in s *Leinemann VOB/B-Kommentar*, Werner Verlag, 2008, pp. 256-258.
4. M. Stuttmann, „Die Pflicht zum Schutz eigener Leistungen und die Gefahrverteilung im Bauvertrag,“ in s *BauR 2001*, Düsseldorf, Werner Verlag, p. 1487 ff..
5. S. Kaminsky und J.-H. Kues, „Die Vergütung von Maßnahmen des Auftragnehmers zum Schutz der eigenen Leistung vor Abnahme beim VOB-Vertrag,“ in s *NZBau 2006*, Berlin, C. H. Beck, p. 747 ff..
6. H. Hofmann, „§ 4 Abs. 5 VOB/B [Schutzpflichten des Auftragnehmers],“ in s *Beck'scher VOB- und Vergaberechts-Kommentar 2. Auflage*, C. H. Beck Verlag, 2008, pp. 839-854.
7. R. Riedl und L. Mansfeld, „VI. Die Schutzpflichten des Arbeitnehmers (§ 4 Abs. 5 VOB/B),“ in s *Heiermann/Riedl/Russam - Handkommentar zur VOB 12. Auflage*, Vieweg + Teubner Verlag, 2011, pp. 955-977.
8. B. Kimmich und H. Bach, *VOB für Bauleiter 4. Auflage*, Werner Verlag, 2012.



Autor

Herr Michael Güntner wurde am 26. Oktober 1984 in Starnberg geboren. Nach der Realschule absolvierte er eine Schreinerlehre und arbeitete zunächst zwei Jahre im erlernten Beruf. Nach dem Erwerb der Fachhochschulreife an der Staatlichen Berufsoberschule Bad Tölz studierte er Bauingenieurwesen an der Hochschule München. Seit Oktober 2013 studiert er dort im Master-Studiengang.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Fachbereich Baubetrieb/Baurecht der Hochschule München, Prof. Dr. Dieter Kainz und Prof. Thomas Clausen.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

GIS-UNTERSTÜTZTE ZUSTANDSERFASSUNG UND –BEWERTUNG INNERSTÄDTISCHER STRASSEN

Master´s Thesis

M.Sc. Martin Kopp

In der Master´s Thesis wird ein Verfahren zur visuellen Zustandserfassung und -bewertung kommunaler Verkehrsflächen und ein darauf aufbauendes GIS-basiertes Straßenkataster zur grafischen Auswertung der Beschaffenheit entwickelt. Zu Beginn werden dazu die Bedeutung und Ziele einer Straßenzustandserfassung erläutert und die Vor- und Nachteile verschiedener Erfassungsmethoden aufgezeigt. Nach der Festlegung aller aufzunehmenden Schadenstypen und der notwendigen Datenstruktur gilt es, die Daten mit einer nachvollziehbaren und zeitsparenden Methode zu bewerten. Hierzu wird aufgezeigt, wie die Zustandsgrößen durch Normierungsfunktionen zueinander in Verbindung gesetzt und gemäß definierten Grenzwerten klassifiziert werden. Weiterhin werden die Ergebnisse einer exemplarisch durchgeführten Zustandsbewertung in ein Geoinformationssystem integriert und grafisch ausgewertet. In einem Ausblick wird auf mögliche Sanierungsmaßnahmen von kommunalen Straßen auf Basis der ermittelten Zustandswerte eingegangen.

Keywords: Zustandserfassung, Zustandsbewertung, Straßenschäden, Geoinformationssystem, Sanierung

Allgemeines

Ein erhebliches Verkehrswachstum in den vergangenen Jahrzehnten und eine negative Entwicklung der finanziellen Leistungsfähigkeit vieler Kommunen trugen entscheidend dazu bei, dass sich mittlerweile viele innerörtliche Verkehrsflächen in schlechtem Zustand befinden. Daher wird ein Erhaltungsmanagement mit der Erfassung des Straßenzustandes sowie

der Ableitung wirtschaftlicher Sanierungsmaßnahmen weiter an Bedeutung gewinnen.

Während auf überörtlichen Straßen der Zustand standardisiert mit Messfahrzeugen bereits weitgehend automatisch erfasst werden kann, fehlen für den Innerortsbereich bislang verbindliche Vorgaben bezüglich der Erfassungsmethode und Bewertungsmethode. Im Rahmen der Master´s Thesis werden deshalb die Ziele der Straßenerhaltung bestehend aus Verkehrs-

sicherheit, Fahrkomfort und Substanz in Anlehnung und Weiterentwicklung der „Empfehlungen für das Erhaltungsmanagement für Innerortsstraßen“ E EMI 2012 [1] und mithilfe der Systematik einer visuellen Zustandserfassung- und -bewertung umgesetzt.

Die Arbeit gliedert sich im Wesentlichen in zwei Abschnitte. Im ersten Teil wird eine Grundlagenermittlung mit Literaturrecherche zu Hintergrundinformationen und eine Analyse bestehender Systeme durchgeführt. Dabei werden u.a. Mängel im effektiven Geldmitteleinsatz bei Straßenbaumaßnahmen, eine chronische Unterfinanzierung kommunaler Verkehrswege in Kombination mit komplexen Anforderungen an ein innerstädtisches Straßennetz, die Doppik und Verkehrssicherungspflicht des Straßenbaulastträgers als mögliche Gründe zur Entwicklung eines Erhaltungsmanagements aufgezeigt.

Im zweiten Abschnitt wird auf den gewonnenen Erkenntnissen aufbauend, eine eigenständige Systematik für eine Zustandserfassung und -bewertung entworfen und anschließend anhand eines exemplarischen Testgebietes praktisch umgesetzt. Dabei galt stets die Prämisse zum Entwurf einer Methode mit möglichst verständlicher und praktikabler Umsetzbarkeit einzuhalten.

Datentechnische Grundlagen

Für eine spätere Nachvollziehbarkeit der Zustandsbewertung ist eine nachträgliche Lokalisierung von Schadstellen erforderlich. Hierfür werden im Rahmen der Arbeit Vorgaben für die Datenstruktur definiert und ein primäres Ordnungssystem in Form eines Knoten-Kanten-Modells ausgearbeitet.

Für die Zustandserfassung werden die Straßenabschnitte bzw. Kanten anschließend zusätzlich in 50 m Abschnitte mit einer jeweils eindeutigen ID unterteilt. Daran wird ein

Rechteckflächenmodell mit Bestandsdaten, wie dem Querschnitt zur Abbildung der Verkehrsflächen als sekundäres Ordnungssystem angebunden und hierarchisch verknüpft. Dieses Modell ermöglicht eine lagegetreue Abbildung des Straßennetzes und grafische Integration der gesamten Zustandserfassungs- und Bewertungsdaten in ein Geoinformationssystem.

Zustandserfassung

Nach einem Vergleich unterschiedlicher Erfassungsmethoden ist bei kommunalen Verkehrsflächen aufgrund komplexer Straßennetze, unterschiedlicher Nutzeranforderungen und häufig variierender Verkehrsbelastungen und Bauweisen eine visuelle Zustandserfassung zu bevorzugen. Hierfür werden entsprechend der in Bild 1 dargestellten Systematik der Zustandserfassung praktikable Merkmale definiert und deren Entstehungsmechanismen erläutert.

Der jeweilige Grad der Schädigung wird schließlich im Zuge der visuellen Begehung ermittelt und protokolliert, indem physikalische Zustandswerte (mm, m) und prozentuale Bezugsgrößen auf eigens erstellten Erfassungsbögen eingetragen werden. Beispielsweise werden so die Spurrinntiefe anhand einer 2 m Latte und einem Messkeil oder die Risse durch Schätzung des prozentualen Anteils der betroffenen Fläche am jeweiligen Streckenabschnitt bestimmt.

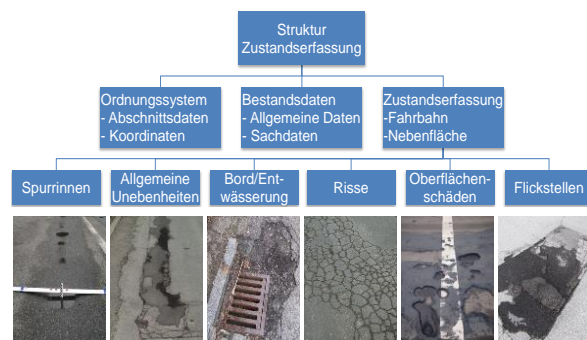


Abb. 1: Struktur und Merkmale der visuellen Zustandserfassung

Weiterhin werden zusätzliche Informationen wie mittlere Breite und die Belagsart des Erfassungsabschnittes festgehalten.

Zustandsbewertung

Für eine direkte Vergleichbarkeit aller gewonnenen Werte ist eine Normierung in dimensionslose Zustandswerte erforderlich (s. Abb. 2). Dabei werden auf Grundlage einer umfangreich durchgeführten Einteilung ungleicher Straßentypen wie Wohnstraße und Hauptgeschäftsstraße unterschiedlichste Anforderungen an die Verkehrsflächen durch Anpassung der Normierungsfunktion berücksichtigt.

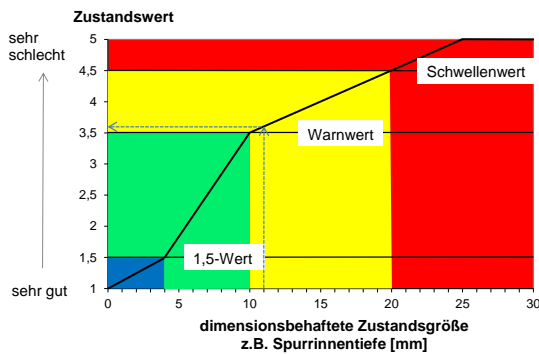


Abb. 2: Exemplarische Normierungsfunktion [2]

Anschließend sind die Zustandswerte durch Wertsynthese in Teilzielwerte und letztlich zu einem einzigen Gesamtwert, einer sogenannten Zustandsklasse, mit einer Einteilung in eine Notenskala von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht) zusammenzufassen. Dies gibt einen schnellen Überblick darüber, inwieweit überhaupt eine Schädigung im Erfassungsabschnitt vorliegt und zeigt unterschiedliche Prioritäten des Handlungsbedarfs auf.

Zudem wird in dieser Arbeit eine Möglichkeit zur Integration weiterer Zustandswerte von Straßenbestandteilen, wie Nebenflächen, Borde und Entwässerungseinrichtungen geschaffen, da hierfür bislang keinerlei Vorgaben existieren.

Für eine automatisierte und damit beschleunigte Ermittlung der Zustandsklassen wurden alle notwendigen Rechenschritte in die zuvor genannten Excel-Datenerfassungsbögen implementiert. Damit erfolgt eine automatisierte Umrechnung erhobener Zustandsgrößen in die Zustandsklassen der jeweiligen Erfassungsabschnitte.

Grafische Auswertung mit GIS

Neben einer nachhaltigen und logischen Datenhaltung galt es, die gewonnenen Ergebnisse übersichtlich und repräsentativ grafisch darzustellen. Aufgrund umfangreicher Funktionalitäten von Geoinformationssystemen wurde das open source Quantum GIS ausgewählt und ein Straßenkataster entworfen.

Damit wurde das Straßennetz des für die Praxisanwendung ausgewählten Erprobungsgebietes einer oberbayerischen Kreisstadt durch die Punktkoordinaten der Netzknoten und die Netzkanten gemäß der entworfenen Datenstruktur digitalisiert und visualisiert. An diese Netzstruktur können sämtliche zu erfassenden Verkehrsflächenarten wie Gehweg und Fahrbahn mit jeweils eigenen Layern angebunden und unterschiedlich dargestellt werden. Damit werden letztlich die importierten Zustandsbewertungsdaten verknüpft und die Verkehrsflächen gemäß ihrer Zustandsklasse automatisch farblich gekennzeichnet.

Vorteilhaft ist außerdem die Möglichkeit, den Verlauf und den Zustand städtischer Ver- und Entsorgungsleitungen in das System einzubinden und damit Synergieeffekte durch Zusammenlegung anstehender Baumaßnahmen zu erzielen.

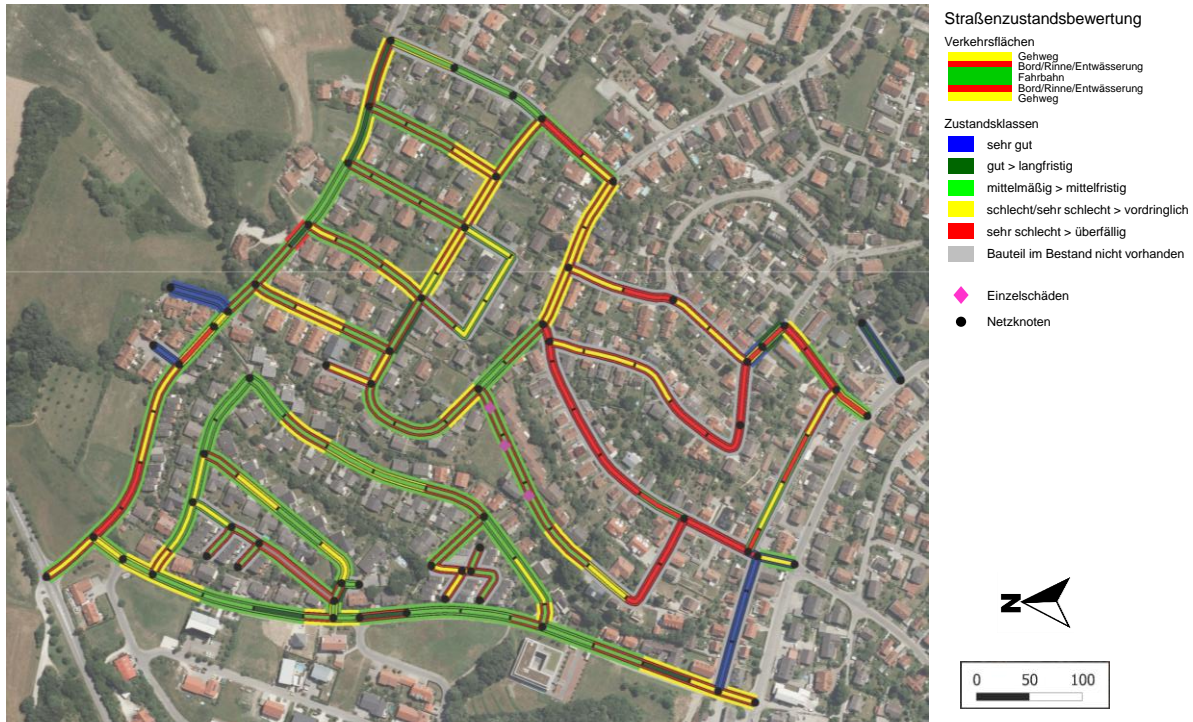


Abb. 3: Übersicht der durchgeführten Straßenzustandsbewertung in einer oberbayerischen Kreisstadt

Die Auswertung der in Abb. 3 dargestellten und exemplarisch durchgeführten Straßenzustandsbewertung zeigt, dass sich annähernd 50 % der gesamten Fahrbahnfläche in schlechtem bis sehr schlechtem Zustand befindet. Für die Verkehrsflächenbestandteile Bord/Rinne/Entwässerung sind sogar ca. 50 % in einem sehr schlechten Zustand. Dieses Beispiel, welches exemplarisch für viele Kommunen steht, zeigt, dass es einen bedeutenden Anteil sanierungsbedürftiger Flächen mit einem dringlichen Handlungsbedarf gibt.

Zustandsverbessernde Maßnahmen

Auf Grundlage der ermittelten Zustandswerte der für den kommunalen Bereich relevanten Merkmale lassen sich vereinfachte Handlungsempfehlungen ableiten. So kann anhand eines Schemas dargelegt werden, inwiefern Instandhaltungs-, Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen wie beispielsweise Anspritzen und Abstreuen oder dünne Schichten im Kalteinbau erforderlich und geeignet sind.

Abschließend werden in der Arbeit einige technische Sanierungsmöglichkeiten aufgezeigt, wovon bislang noch nicht alle in den allgemeinen Regelwerken aufgeführt sind, aber als alternative Lösungen durchaus zielführend sein können. Z.B. können dies temperaturabgesenkte Asphalte oder vollständiges Asphalt-Recycling auch in Deckschichten durch Wachs-Öl-Zusätze sein.

Ausblick

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine visualisierte Zustandserfassung und -bewertung folgende Möglichkeiten bietet:

- transparente Maßnahmenwahl der Entscheidungsträger
- Generierung eines mehrjährigen Erhaltungsplans
- Pflege und Fortführung der Informationen in periodischen Abständen

Damit lassen sich technische und finanzielle Ziele kombinieren und Bauprogramme mit einem Planungshorizont von 3-5 Jahren erstellen.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Empfehlungen für das Erhaltungsmanagement von Innerortsstraßen* : E EMI 2012. Ausg. 2012. Köln : FGSV-Verl. (FGSV R2, Regelwerk, 487), 2012.
- [2]: Steinauer, Bernhard; Ueckermann, Andreas; Maerschalk, Günter: *Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen*. [Bericht zum Forschungsprojekt FE 77.469/2002 der Bundesanstalt für Straßenwesen]. Bremerhaven : Wirtschaftsverl. NW Verl. für neue Wiss., 2006.

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Beckedahl, Hartmut-Johannes: *Schlagloch / Straßenerhaltung : Handbuch Straßenbau – Band 1*. Dieburg : Elsner, 2010.
2. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Zustandsbewertung bei visueller Erfassung*. Ausg. 2001. Köln : FGSV-Verl. (Arbeitspapier Nr. 9/A 1.2), 2001.
3. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Systematik der Straßenerhaltung : Schadenskatalog für die messtechnische und visuelle Zustandserfassung*. Ausg. 2005. Köln : FGSV-Verl. (Arbeitspapier Nr. 9/K 2.3), 2005.



Autor

Herr Martin Kopp wurde am 14. November 1986 in Dachau geboren. Nach dem Abitur studierte er den Bachelor- und Masterstudiengang Umweltingenieurwesen an der Technischen Universität München. Seit Dezember 2013 arbeitet er im Ingenieurbüro Dr.-Ing. Ressel + Partner in München in der Planung, Ausschreibung und Bauüberwachung von Verkehrsanlagen.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Lehrstuhl und Prüfamts für Verkehrswegebau der TU München, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Freudenstein. Betreuung durch Dipl.-Ing. Heinz Dirnhofer, Lehrstuhl für Verkehrswegebau und Dipl.-Ing. Roland Kindelbacher, Ingenieurbüro WipflerPLAN.

Die Arbeit wurde mit dem 3. Preis ausgezeichnet.

AUSWIRKUNG CALCINierter TONE AUF DIE EIGENSCHAFTEN VON SPRITZBETON

Masterarbeit

Sebastian Lange

Im Rahmen dieser Arbeit sollte untersucht werden, ob sich calcinierte Tone als Betonzusatzstoff im Spritzbeton eignen. Es erfolgte die Untersuchung ihres Einflusses auf Verarbeitungseigenschaften, Festigkeitsentwicklung und Gefügeeigenschaften. Dazu sind im Labor und praxisnah im Spritzstollen Versuche durchgeführt worden. Im Labor wurden die Kennwerte der einzelnen Materialien bestimmt und das Erstarrungsverhalten unterschiedlicher Bindemittelzusammensetzungen untersucht. Im Spritzstollen wurden im Trockenspritzverfahren ohne den Einsatz von Zusatzmitteln drei unterschiedliche Mischungen gespritzt. An Spritzkästen wurden die Frühfestigkeiten sowie an Bohrkernen die weitere Festigkeitsentwicklung bis hin zur 90 Tages-Festigkeit geprüft. Abschließend wurden vergleichende Strukturuntersuchungen durchgeführt. Calcinierte Tone können Teile des Zementes und der Flugasche in Spritzbeton ersetzen und sind eine umweltfreundliche und nachhaltige Alternative für die Bauindustrie.

Keywords: Hochschulpreis, Baugewerbe, Zusammenfassung, Masterarbeit, Spritzbeton, calcinierte Tone, Flugasche, Wasseranspruch, Lange, Beuntner, Thienel

Einleitung

Der Anstoß zu dieser Arbeit lag in einem Forschungsprojekt des Institutes für Werkstoffe des Bauwesens der Universität der Bundeswehr München und hatte seinen Ursprung darin, dass sich kein Bereich der Baustoffindustrie mehr den Begriffen der Nachhaltigkeit und des ökologischen Bauens entziehen kann. Die Verringerung des CO₂-Ausstoßes ist hier ein wesentlicher Ansatzpunkt. Für die Energiebilanz des Spritzbetons kann diese unter anderem

erreicht werden, indem der Bedarf an Zement, als Hauptbindemittelkomponente, reduziert wird. Der Ersatz von Teilen des Zementes durch puzzolane Zusatzstoffe, wie Silicastaub oder Steinkohlenflugasche, hat sich dabei bereits bewährt.

Der Einsatz von Flugasche als ursprünglichem Abfallprodukt der Energieerzeugung aus Kohleverbrennung [1] ist hierbei bereits als positiv zu bewerten. Die Verringerung des Aufkommens durch die Hinwendung zu

erneuerbaren Energien bei gleichzeitiger fast vollständiger Ausschöpfung des vorhandenen Angebots [2] lassen jedoch weiteren Handlungsbedarf erkennen.

Die Motivation dieser Arbeit lag in der Beurteilung der Wirksamkeit von calcinierten Tonen auf verschiedene Eigenschaften von Spritzbeton und in der Klärung der Fragestellung, ob calcinierte Tone sowohl Teile des Zementes, als auch der Flugasche ersetzen können. Dazu wurden Untersuchungen im Labor und praxisnah im Spritzstollen des Südbayerischen Portlandzementwerkes Rohrdorf mit Unterstützung der Firma Geosystems Spezialbaustoffe GmbH durchgeführt.

Herangehensweise und Aufbau

Der erste Schritt bestand in der Zusammentragung von in Deutschland und Österreich vorhandenen Normen und Richtlinien für Spritzbeton, der Beschreibung der gebräuchlichen Betonspritzverfahren sowie einer vergleichenden Gegenüberstellung. Im weiteren Verlauf wurden die Ausgangsstoffe charakterisiert, wobei das Hauptaugenmerk auf den beiden eingesetzten Betonzusatzstoffen Steinkohlenflugasche und calcinierten Tonen lag.

Die verwendete Flugasche stammte aus dem Kraftwerk Zolling (allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-3.31-1912) und hatte einen mittleren Korndurchmesser von 18 μm . Der calcinierte Ton wurde unter dem Namen „Liament CT 5“ von Liapor GmbH & Co. KG, Pautzfeld zur Verfügung gestellt. Dabei handelt es sich um einen großtechnischen calcinierten Ton, der aus einem natürlich anstehenden Tongemisch hergestellt wird. Der Begriff der Calcinierung steht für die thermische Aktivierung, indem der auf < 100 mm gebrochene Rohton bei etwa 650 °C gebrannt wird. Die entstehenden Granulate liegen in Partikelgrößen bis 40 mm vor und werden anschließend auf eine Korngröße < 32 μm gemahlen.

Im Labor wurden die BET-Oberfläche und die Reindichte der eingesetzten Bindemittel bestimmt. Weiterhin wurde der Wasseranspruch nach Punkte ermittelt. Der Hauptteil der Laborarbeit lag in der Durchführung von Erstarrungsversuchen unterschiedlicher Bindemittelzusammensetzungen mit verschiedenen Wasserbindemittelwerten. Die gewählten Bindemittelzusammensetzungen hatten die gleichen Verhältnisse von Zement zu Flugasche bzw. calciniertem Ton, wie sie später auch in den Spritzversuchen angewandt werden sollten.

Die Spritzversuche im praktischen Teil erfolgten im Trockenspritzverfahren und ohne den Einsatz von Betonzusatzmitteln. Dazu wurden im Vorfeld drei verschiedene Trockenmischungen im Mischwerk hergestellt. Die erste Trockenmischung war die flugaschehaltige Referenzmischung und entsprach einer erprobten Standardrezeptur. Das Verhältnis von Zement zu Flugasche lag bei 0,78:0,22. In der zweiten Trockenmischung wurde der Anteil an Flugasche 1:1 durch calcinierte Tone ersetzt und in der dritten Trockenmischung wurde der Anteil an calcinierten Tonen leicht auf 25 % erhöht. Von den aus drei Fraktionen bestehenden Gesteinskörnungen wurde die Sieblinie bestimmt. Für jeden Spritzversuch wurden etwa 2000 kg Trockenmischung hergestellt. In den Spritzversuchen wurden jeweils drei Spritzkästen gefüllt. An diesen wurden die Frischbetontemperatur und über das Penetrationsnadelverfahren die Frühfestigkeiten gemessen. Zusätzlich wurde über Darrversuche der Wassergehalt der Spritzbetone bestimmt und die Wasserbindemittelwerte rechnerisch ermittelt.

Für die Prüfung der Betondruckfestigkeiten nach einem, drei, sieben, 28 und 90 Tagen sowie für die Durchführung von Wasserundurchlässigkeitsversuchen wurden aus den Spritzkästen Bohrkerne gezogen, welche bis zum jeweiligen Prüfzeitpunkt unter Wasser gelagert wurden. Im dritten Spritzversuch wurde zusätzlich eine 15er-Würfel-Schalung eingespritzt. An dem so

erhaltenen Probekörper wurde die Frischbetonrohddichte ermittelt und mit den 1-Tages-Rohdichten der Bohrkerne verglichen. Auch zu den weiteren Festigkeitsprüfzeitpunkten wurde die Festbetonrohddichte bestimmt. Abschließend wurden Strukturuntersuchungen vorgenommen, indem an Bruchstücken aus den Bohrkerne die Porosität mit Hilfe der Quecksilberdruckporosimetrie bestimmt und weitere Bruchstücke unter dem Raster-Elektronen-Mikroskop untersucht wurden.

Ergebnisse und Auswertung

Die Ergebnisse aus den Labor- und den praxisnah durchgeführten Spritzversuchen wurden grafisch aufbereitet, miteinander verknüpft und wissenschaftlich ausgewertet.

Bereits bekannt war, dass der Einsatz von puzzolanen Stoffen in Spritzbeton partielle Nachteile mit sich bringt, welche in der zum Teil geringeren Frühfestigkeit und der langsameren Festigkeitsentwicklung liegen. Diese können durch das vorhandene Nacherhärtungspotenzial und ein dichteres Gefüge kompensiert werden [2]. Die ökonomischen und ökologischen Vorteile der Anwendung von calcinierten Tonen in Spritzbeton liegen in ihrer globalen, natürlichen Verfügbarkeit und der aufgrund des fehlenden oder nur geringen Kalkgehalts beim Brennen niedrigeren CO₂-Emission. Sie sind somit nachhaltig und umweltfreundlich.

Im Labor wurde herausgearbeitet, dass calcinierte Tone einen nahezu doppelt so hohen Wasseranspruch im Vergleich zur Flugasche haben. Hinzu kommt die sehr unterschiedliche Kornform. Der deutlich höhere Wasseranspruch wirkt sich auf das Ansteifverhalten und den Erstarrungsbeginn aus. Die Bindemittelmischungen mit calcinierten Tonen (CT) erstarren deutlich schneller als die Bindemittelmischungen mit Flugasche (FA). Der hohe Wassergehalt war ein Indikator für eine

höhere Klebrigkeit und einen verminderten Rückprall.

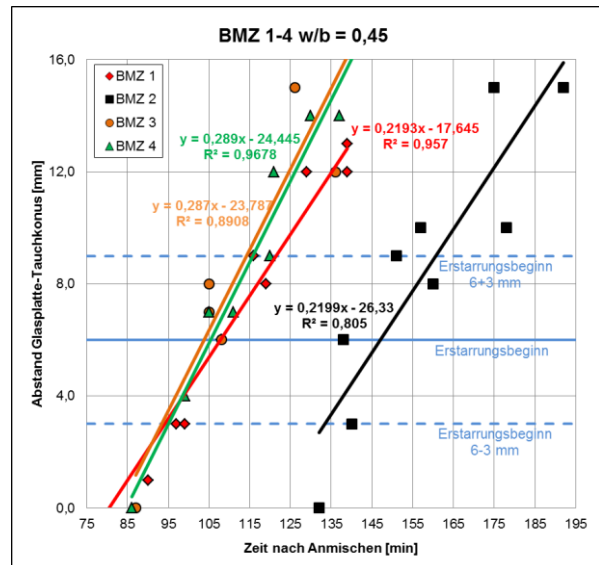


Abbildung 3 - Vergleich des Erstarrungsbeginns einer Bindemittelzusammensetzung aus Zement und FA (schwarz) mit drei weiteren aus Zement und CT

Anhand ihrer Frühfestigkeiten konnten alle drei hergestellten Spritzbetone der Kategorie J1 zugeordnet werden und eignen sich demnach für den Auftrag dünner Lagen auf trockenem Untergrund. An den Spritzbeton werden dabei in den ersten Stunden keine besonderen statischen Anforderungen gestellt. J1-Spritzbetone zeichnen sich durch eine geringe Staubeentwicklung und einen verminderten Rückprall aus [3], was die Laborergebnisse bestätigte.

Die Festigkeitsentwicklung der Spritzbetone mit calcinierten Tonen verläuft bis 28 Tage langsamer als die der Referenz. Allerdings deutet sich bereits an, dass der Referenzspritzbeton im weiteren Verlauf der Erhärtung zumindest von einem Spritzbeton mit calcinierten Tonen übertroffen wird, während der zweite keinen signifikanten Festigkeitszuwachs nach 7 Tagen aufweist und auf vergleichsweise niedrigem Niveau verharrete. Als Ursache für die beobachtete geringe Festigkeit der Spritzbetone mit den calcinierten Tonen wird die fehlende Erfahrung des Spritzdüsenführers im Umgang

mit diesem Zusatzstoff vermutet. Daher wurden die Spritzbetone vermutlich mit zu wenig Wasser gespritzt und konnten ihre Leistungsfähigkeit nicht entfalten. Dafür spricht der marginale Festigkeitszuwachs der letzten Spritzbetonrezeptur.

Ein wichtiger Aspekt für die Prüfung der Eignung von calcinierten Tonen in Spritzbeton war die Frage der Dichtheit des Spritzbetongefüges, die mit Hilfe der Wassereindringtiefe geprüft wurde.



Abbildung 4 - Wassereindringtiefe bei Spritzbeton mit 25%igem Anteil an Calcinierten Tonen

Dichte Spritzbetone werden insbesondere dort benötigt, wo der Spritzbeton ohne eine zwischenliegende Abdichtung auf die Felswand aufgebracht wird und später durch kalkreiches Bergwasser die Gefahr eines Versinterns der Abflussleitungen besteht. Die beiden Spritzbetone mit calcinierten Tonen schneiden bei dieser Prüfung deutlich besser ab als die Referenz und erfüllen die Anforderungen der österreichischen Richtlinie für Spritzbeton hinsichtlich der Permeabilität, obwohl sie mit einem deutlich höheren Wasserbindemittelwert gespritzt wurden.

Die Unterschiede in der Wasseraufnahme können durch die unterschiedliche Verteilung der Porenraden erklärt werden, welche durch die Quecksilberdruckporosimetrie aufgezeigt wurden.

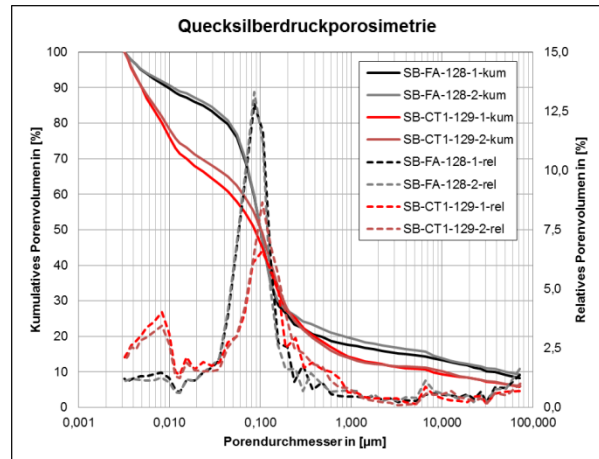


Abbildung 5 - Kumulative und relative Porenverteilung von Spritzbeton mit FA (grau/schwarz) und Spritzbeton mit CT (rot/braun)

Der Spritzbeton mit Flugasche hat eine gröbere Porenstruktur als die, die sich unter Einsatz calcinierter Tone einstellt. Ein weiterer Vorteil von calcinierten Tonen gegenüber von Flugasche liegt in der Verminderung des Versinterungspotenzials, indem er deutlich mehr und schneller Calciumhydroxid aus der Porenflüssigkeit bindet.

Ausblick

Als Ausblick zu dieser Arbeit wurde unter anderem formuliert, dass bei der Verwendung von calcinierten Tonen im Trockenspritzverfahren zu klären ist, wie hoch ihr maximaler Anteil im Verhältnis zum Zement sein darf und wie sie sich verhalten, wenn die Trockenmischung vorgehäst wird. Außerdem muss geprüft werden, ob Unterschiede im Wasseranspruch der calcinierten Tone auftreten, da zur Calcinierung natürlich vorkommende Tongemische verwendet werden. Weitere Forschungsfelder ergeben sich in der Prüfung der Verträglichkeit mit Betonzusatzmitteln und dem Einsatz im Nassspritzverfahren.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: Bundesverband für Kraftwerksnebenprodukte e.V., „BVK - Betontechnische Empfehlungen,“ Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf, 4. Auflage 2010
- [2]: K.-C. Thienel, „Skript: Baustoffe aus Recyclaten und Nebenprodukten, Flug- und Feuerraumasche“, Institut für Werkstoffe des Bauwesens, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 2011
- [3]: W. Kusterle, Prüfung der Frühfestigkeit von Spritzbeton mittels Setzbolzenverfahren, Hilti DX 450-SCT, Bedienungsanleitung, Schaan, Vorabzug 2009

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. S. E. Schulze und J. Rickert, „Pozzolanic Activity of Calcined Clays“ und N. Beuntner, K. Rapp und K.-C. Thienel, „Efficiency of Calcined Clay in Cementitious Systems“ beide in s Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues, Prague 2012, Chelsea, Michigan, Vereinigte Staaten von Amerika, American Concrete Institute, Sheridan Books, August 2012



Autor

Sebastian Lange wurde am 02.05.1986 in Meißen geboren. Nach dem Abitur im Jahr 2005 verpflichtete er sich für 12 Jahre als Zeitsoldat in der Offizierslaufbahn. Nach erfolgreich absolvierter Ausbildung zum Offizier in der Pioniertruppe nahm er im September 2008 an der Universität der Bundeswehr München das Studium Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften auf. In diesem konnte er sich mit der Vertiefungsrichtung Wasser, Umwelt und Boden sowie der Beschäftigung als studentische Hilfskraft am Institut für Baubetrieb und der dort geschriebenen Bachelorarbeit sehr breit aufstellen. Die Masterarbeit am Institut für Werkstoffe des Bauwesens rundete dieses Bild ab. Seit Juni 2013 ist er im Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr Kompetenzzentrum Baumanagement München als Infrastrukturoffizier beschäftigt.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Institut für Werkstoffe des Bauwesens, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl-Christian Thienel, Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Universität der Bundeswehr München. Betreuung durch Dipl.-Ing. Nancy Beuntner.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

ENTRAUCHUNGSSIMULATION MIT DEM MRFC ZONENMODELL UND BRANDSCHUTZTECHNISCHE BEMESSUNG EINES STAHLRAHMENS NACH EUROCODE

Masterarbeit

Josef Obergröbner

Aufgrund der stetig steigenden Nutzungsanforderungen und Gestaltungswünsche steigt die Anzahl jener Bauvorhaben, welche brandschutztechnisch nicht mehr durch die klassischen Brandschutzkonzepte zu bewältigen sind. Dadurch gewinnen die modernen Ingenieurmethoden des Brandschutzes für die Planung und Bewertung von erforderlichen Brandschutzmaßnahmen immer mehr an Bedeutung. Am Beispiel einer Lagerhalle wird deshalb im Zuge dieser Bachelorarbeit untersucht, wie hoch das Einsparpotenzial der nach DIN 18232 geforderten Zu- und Abluftflächen im Vergleich zu einer Entrauchungssimulation ist. Im Weiteren wird eine Brandschutztechnische Bemessung des Hallenrahmens für die Dauer von 30 min der betrachteten Halle durchgeführt. Dies wird durch eine sogenannte Kalt- und eine sogenannte Heißbemessung ermittelt.

Aufgabenstellung

Im Rahmen des ersten Teils dieser Bachelorarbeit soll ein schutzzielorientiertes Entrauchungskonzept mit Hilfe einer Brandsimulation für eine Lagerhalle mit einer Grundfläche von mehr als 1.600 m² durchgeführt werden. Da die Forderungen der DIN 18232-2 insgesamt doch als „sehr auf der sicheren Seite liegend“ betrachtet werden können, soll eine Berechnung nach Norm und eine Berechnung nach Ingenieurmethoden gegenübergestellt und ausgewertet werden. Nachdem die Dimensionierung der Ab- bzw. Zuluftflächen nach DIN geschehen ist, werden diese mit Hilfe eines Mehr-

raumzonenmodells in Bezug auf Lage und Größe optimiert. So ist es möglich abschließend einen Wirtschaftlichkeitsvergleich der jeweiligen Varianten anzufertigen und diese gegenüberzustellen. Es ist zu erwarten, dass man mit dem Einsatz von Ingenieurmethoden, also hier dem Zonenmodell, einen Großteil der nach DIN geforderten Öffnungsflächen einsparen kann, was erhebliche Minderkosten zur Folge hätte.

Berechnung nach DIN 18232-2

Prinzipiell besteht die Möglichkeit die Rauchableitung im Brandfall mit Hilfe von mechanischen Entrauchungsanlagen (MRA)

oder natürlichen Entrauchungsanlagen (NRA) sicherzustellen, wobei letztere meist die wirtschaftlichste Variante darstellt. Die natürlichen Rauchabzugsanlagen, welche hier zum Einsatz kommen, sind in der DIN 18232-2 geregelt. Dabei wird unter Berücksichtigung der vorhandenen Raumhöhe, der Bemessungsgruppe und der erforderlichen Höhe der raucharmen Schicht anhand der Tabelle 3 die notwendige aerodynamisch wirksame Rauchabzugsfläche A_w je Rauchabschnitt ermittelt. Die wirksame Fläche der Zuluftöffnungen muss mindestens das 1,5-fache der nach Tabelle 3 erforderlichen aerodynamisch wirksamen Öffnungsflächen aller NRA-Öffnungen der größten Rauchabschnittsfläche des Raumes betragen.

Ermittlung der erforderlichen Abluftflächen

Rauchabschnittsflächen:

$A = 75\text{ m} * 34\text{ m} = 2.550\text{ m}^2 > 1.600\text{ m}^2$

-> Unterteilung in zwei Rauchabschnittsflächen mittels Rauchschürze notwendig

Raumhöhe:-> mittlere Höhe = 10,0 m

Erforderliche Höhe der raucharmen Schicht:

mind. 5,0 m (Höhe des Tores + 1,0 m)

Bemessungsgruppe: -> Bemessungsgruppe 4

$A_w = 12,1\text{ m}^2$ je Rauchabschnittsfläche

$A_w = 24,2\text{ m}^2$ gesamt

Raumhöhe	Höhe der Rauchschiicht	Höhe der raucharmen Schicht	notwendige Rauchabzugsfläche A_w in m^2 Bemessungsgruppe				
			1	2	3	4	5
<i>h in m</i>	<i>z in m</i>	<i>d in m</i>					
10	5,5	4,5	3,5	5,2	7,4	9,5	12,3
	5	5	4,2	6,3	9,2	12,1	15,6
	4,5	5,5	4,8	7,4	11,1	15,4	19,7

Ermittlung der erforderlichen Zuluftflächen

$A_w = 1,5 * 12,1\text{ m}^2 = 18,15\text{ m}^2$

Berechnung mit Hilfe der Entrauchungssimulation

Allgemeines zur Entrauchungssimulation

Im berechneten Modell werden insgesamt 3 Zonen moduliert. Der Öffnungsparameter innerhalb der einzelnen Räume (Raum 1 bis 3) wird mit 1% angenommen. Die Türen an den Außenwänden, welche als Zuluftöffnungen fungieren, werden erst nach 20 Minuten (Eintreffen der Feuerwehr) als offen angesehen. Das Tor öffnet mit der NRA und steht somit nach ca. 3 Minuten als Zuluftöffnung zur Verfügung. Die NRA's öffnen alle zeitgleich innerhalb 2 bis 3 Minuten (120s – 180s).

Vorgehensweise bei der Simulation

In den folgenden drei Simulationsschritten sollen die erforderlichen Zu- und Abluftflächen für den Rauchabzug der Lagerhalle unter Verwendung von Ingenieurmethoden nachgewiesen werden. Bei diesen Simulationen wird jeweils mit abgeminderten Zuluftöffnungen und verringerten Rauchabzugsflächen gerechnet. Ebenso wird die Halle als ein großer Rauchabschnitt behandelt, also nicht mittels Rauchschürze unterteilt. In der letzten und abschließenden Simulation soll dann die wirtschaftlich günstigste Variante gefunden werden, welche die geforderten Grenzwerte einer ausreichenden Entrauchung im Brandfall einhält.

	Zuluft	Abluft	Rauchschürze
Simulation 1	2 Tore	9 RWA's	Keine
Simulation 2	1 Tor	9 RWA's	Keine
Simulation 3	1 Tor	6 RWA's	keine

Brandszenarien

Um eine Bewertung des Gebäudes durchführen zu können, wird eine Parameterstudie mit unterschiedlicher Lage und Art des Brandherdes durchgeführt.

Brandquelle (n1)

Maximale Brandfläche	5 m²
Länge des Brandherdes ¹	2,24 m
Breite des Brandherdes ¹	2,24 m
Brandausbreitungsgeschwindigkeit besonders klein	0,15 m/min
Zeit bis zum Erreichen der max. Brandherdgröße	7,47 min
Brandleistung in kW	1 500 kW
Brandleistung in kW/m²	300 kW/m²

¹ bedingt durch quadratischen Brandherd

Brandquelle (n2)

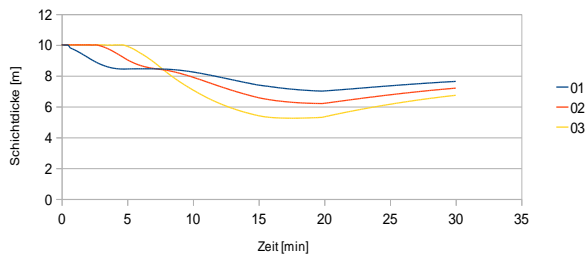
Maximale Brandfläche	40m²
Länge des Brandherdes ¹	6,32 m
Breite des Brandherdes ¹	6,32 m
Brandausbreitungsgeschwindigkeit mittel	0,25 m/min
Zeit bis zum Erreichen der max. Brandherdgröße	12,64 min
Brandleistung in kW	24 000 kW
Brandleistung in kW/m²	600 kW/m²

¹ bedingt durch quadratischen Brandherd

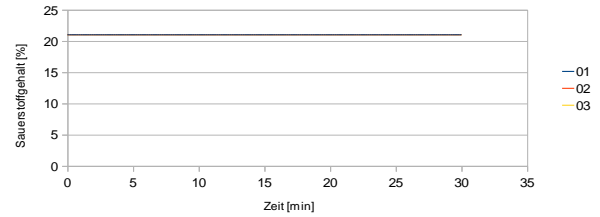
Brand-szenario	Brand-quelle	Lage im Raum
1	(n1)	1 mittig
2	(n1)	2 mittig
3	(n2)	2 mittig

Ergebnisse des letzten Simulationsschrittes

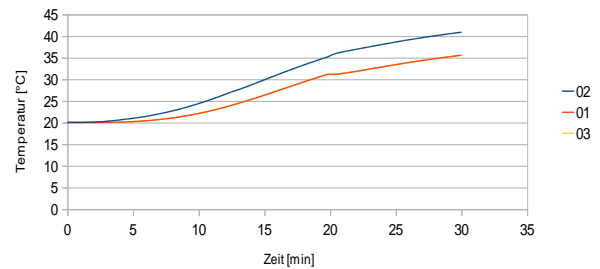
Dicke der rauchfreien Schicht ab Fussboden gemessen



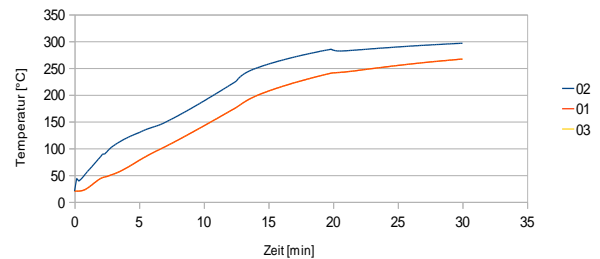
Sauerstoffgehalt der Abgase kalte Zone



Temperatur kalte Zone



Temperatur Heissgasschicht



In den vorhergehenden Grafiken sind ausgewählte Ergebnisse des MRFC-Programms der abschließenden, also der dritten Simulation dargestellt. Die weiteren Ergebnisse mit den zugehörigen Grenzwerten sind in der unten dargestellten Tabelle zusammengefasst.

Kriterium	Zul. Grenzwert	Wert aus Var. 1	Wert aus Var. 2	Wert aus Var. 3	erfüllt
raucharme Schicht in m	mind = 5,0m, erforderlich	vorhd = 5.10m	vorhd = 6.20m	vorhd = 5.60m	ja
Sauerstoff-Konzentration unten (O2)	> 14 Vol.-% erforderlich	vorh = 22 Vol.-%	vorh = 22 Vol.-%	vorh = 22 Vol.-%	ja
Kohlendioxidkonzentration unten CO ₂ -Konzentration	< 5 Vol.-% zulässig	vorh = 0,03Vol.-%	vorh = 0,03Vol.-%	vorh = 0,03Vol.-%	ja
Kohlenmonoxidkonzentration unten(CO-Konzentration)	max. 0,03 Vol.-% zulässig	vorh = 0 Vol.-%	vorh = 0 Vol.-%	vorh = 0 Vol.-%	ja
Temperatur der unten liegenden Gasschicht	maxT < 50°C zulässig	vorhT = 22°C	vorhT = 22°C	vorhT = 42°C	
Temperatur der heißen Rauchgasschicht	max.T < 300°C	vorh.T = 53°C	vorh.T = 50°C	vorh.T = 298°C	ja
Minimale Sichtweite	>= 20m	100m	100m	100m	ja
Flashovertemperatur in der Heißgasschicht.	500-600°C	Temperatur wird nicht erreicht!	Temperatur wird nicht erreicht!	Temperatur wird nicht erreicht!	ja

Bemessung des Hallenrahmens

Aufgabenstellung

Aufgrund einer Vielzahl positiver Eigenschaften des Baustoffes Stahl findet dieser immer mehr Verwendung in der Bauindustrie. Schlanke Tragkonstruktionen mit hohen Spannweiten sind mit Stahl im Vergleich zu anderen Baustoffen sehr viel einfacher zu bewerkstelligen. Den Nachweis einer geforderten Feuerwiderstandsdauer zu gewährleisten ist jedoch immer wieder eine große Herausforderung im Ingenieurwesen, da dieser im Brandfall schon bei 500°C einen Großteil seiner Tragfähigkeit verliert. Im Rahmen dieses zweiten Teils der Bachelorarbeit wird überprüft ob die bereits im ersten Teil betrachtete Halle im Brandfall bestehen kann. Als normative Grundlage für diese Berechnungen dient der bauaufsichtlich eingeführte Eurocode. Die Nachweise werden nach Ebene 2 (vereinfachtes Rechenverfahren) sowie nach Ebene 3 (allgemeines Rechenverfahren) durchgeführt. Der Nachweis nach Ebene 1 (tabellarisches Rechenverfahren) ist im Eurocode für Stahlbauten nicht enthalten.

Stahl im Brandfall

Bei steigender Temperatur ändern sich die Materialeigenschaften des Stahls, so beginnt der E-Modul ab etwa 100 °C zu sinken und ab etwa 400 °C verringert sich die Fließgrenze. Ebenso fällt die Proportionalitätsgrenze des Stahls bei Temperaturerwärmung ab. Der Eurocode berücksichtigt diese Eigenschaften bei der Bemessung im Brandfall mit Hilfe von Faktoren, welche die Materialkennwerte unter normalen Temperaturen abmindern.

Kaltbemessung

Bauteil	Profil	M	Q	N	Max. Ausn.g
Innenstütze	HEA 360	37 kNm	8 kN	502 kN	0,41
Riegel	IPE 550	424 kNm	206 kN	74 kN	0,79
Außenstütze	IPE 550	416 kNm	55 kN	226 kN	0,86

Heißbemessung

Bauteil	Profil	M	Q	N	Am/V	Θa	ky, θ	kE, θ	Max. Ausn.
Innenstütze	HEA 360	0 kNm	0 kN	147 kN	128	775°C	0,140	0,100	0,87
Riegel	IPE 550	108 kNm	43 kN	28 kN	124	770°C	0,146	0,102	1,24
Außenstütze	IPE 550	107 kNm	14 kN	64 kN	124	770°C	0,146	0,102	1,44

Bemessung

Mit Hilfe einer Heißbemessung nach dem vereinfachten Rechenverfahren soll nun die Tragfähigkeit eines Hallenrahmens im Brandfall auf eine Dauer von $t=30 \text{ min}$ überprüft werden.

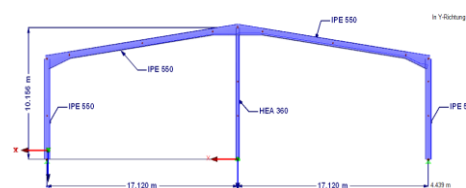
Dazu werden zuerst Lastannahmen getroffen, dann die Schnittgrößen aus der sogenannten Kaltbemessung ermittelt und abschließend wird die Heißbemessung an den einzelnen Positionen durchgeführt.

Der Nachweis der Tragfähigkeit im Brandfall (sog. Heißbemessung) stellt laut Eurocode eine außergewöhnliche Bemessungssituation da. Durch die dafür festgelegten Kombinationsbeiwerte ergeben sich deutlich geringere Lasten als in der ständigen Bemessungssituation. Stahl verliert jedoch bei steigender Temperatur signifikant an Tragfähigkeit was mit Hilfe von Abminderungsfaktoren in die Berechnung mit eingeht.

In den folgenden beiden Tabellen sind die Ergebnisse der Berechnungen der Kalt- sowie der Heißbemessung zusammengefasst dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die Tragfähigkeit des Stahlrahmens im Brandfall nicht für eine Dauer von 30 Minuten ausreichend wäre.

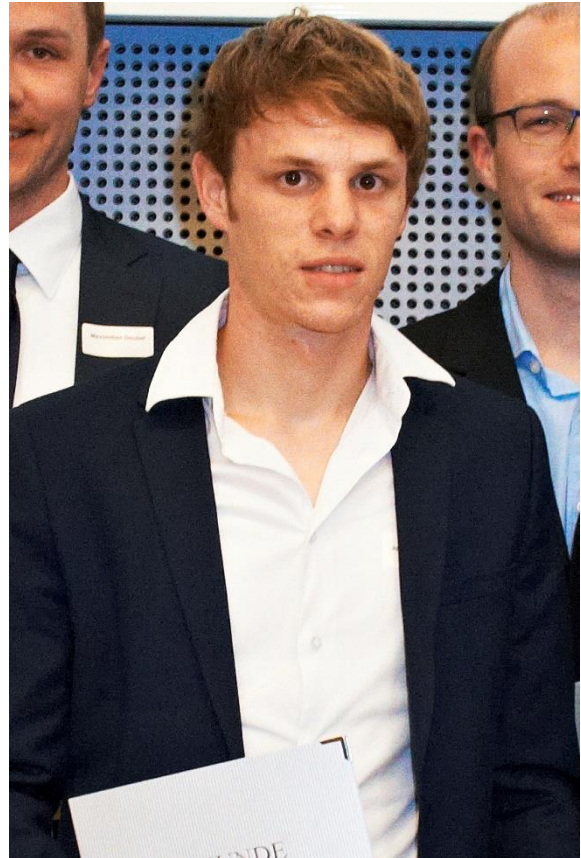
Folglich müsste der Riegel sowie die Außenstütze brandschutztechnisch verkleidet oder anderweitig geschützt werden.



Literaturverzeichnis

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. VIB: Referenzhandbuch für MRFC (Multi-Room-Fire-Code), Bericht V1/2005
Bruchsal/Wien 2000
2. Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Industriebaurichtlinie IndBauRL),
Fassung März 2000.
3. Schneider, Ulrich: Ingenieurmethoden im Baulichen Brandschutz 2. Auflage, Verlag Werner
4. Grundlagen Temperatur und Rauchverteilung MRFC (Multi-Room-Fire-Code),
Bruchsal/Wien 2000.
5. Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, vfdb, 2. Auflage Mai 2009



Autor

Josef Obergröbner wurde am 16.10.1987 in Trostberg geboren. Er studierte Bauingenieurwesen vom 01.10.2009 bis zum 30.09.2013 an der Hochschule für angewandte Wissenschaften in München mit dem Abschluss Bachelor of Engineering. Seit August 2013 arbeitet Herr Obergröbner als Bauingenieur für Tragwerksplanung, Bauphysik und Brandschutz bei dem Architekten- und Ingenieurbüro Edbauer in Traunstein.

Betreuer

Die Arbeit wurde an der Hochschule für angewandte Wissenschaften München bei Herrn Prodekan Prof. Dr.-Ing. Christian Seiler zum Abschluss des Studienganges Allgemeines Bauingenieurwesen in Kooperation mit dem Büro Architekten & Ingenieure Edbauer in Traunstein angefertigt.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

DIE BIM METHODE ZUR OPTIMIERUNG DES PLANUNGSPROZESSES – DARLEGUNG DES MEHRWERTES ANHAND EINER 4D-BAUABLAUFSIMULATION

Masterarbeit

Thomas Obermaier

Das primäre Ziel dieser Arbeit war eine praxisnahe und anschauliche Lösung zu erarbeiten, wie es der Projektsteuerung gelingen kann, frühzeitig belastbare und an einem optimalen Herstellungsprozess des Bauwerkes orientierte Terminpläne zu erstellen. Hierfür liefert die Anwendung der BIM Methode mit ihrer 3D-modellbasierten Arbeitsweise, die eine frühzeitige Berücksichtigung des Herstellungsprozesses in der Entwicklung der planerischen Lösung ermöglicht die geeignete Grundlage. Die 4D-Bauablaufsimulation als Verzahnung der 3D-Planung mit der Terminplanung des Herstellungsprozesses liefert den Rahmen, diese Optimierungsziele zu erreichen, da sie definierte Standards für die Vorbereitung, Erstellung und Auswertung der Gebäude- und Terminplanung setzt. Die 4D-Bauablaufsimulation kann dabei als virtuelles Produkt der Bauwerksplanung in konstruktiver (Erstellung des Gebäudedatenmodelles) als auch baubetrieblicher Hinsicht (Baulogistik- und Terminplanung) gesehen werden. Bei entsprechend strukturierter und mit dem Planungsprozess verzahnter Anwendung ist die 4D-Bauablaufsimulation geeignet zu einem risikoärmeren Bauablauf und damit zu einer wirtschaftlicheren Projektabwicklung zu führen.

Keywords: Building Information Modeling, BIM-Insel, 4D-Bauablaufsimulation, Terminplanung

Einleitung

In der öffentlichen Diskussion von Großprojekten tritt immer häufiger zu Tage, dass vereinbarte Terminziele und der gesetzte Kostenrahmen nicht gehalten werden können.

Ein wesentliches Problem ist oft, dass das geplante Bauwerk zu wenig im Hinblick auf die spätere Realisierung „vorgedacht“ und der Herstellungsprozess bei der Entwicklung der planerischen Lösung zu wenig berücksichtigt

wird. Ein weiteres Problem stellt die mangelnde Koordination der einzelnen Fachplanungsgewerke (z.B. Bauwerksplanung und Technische Ausrüstung) untereinander dar. Die zum Teil unrealistischen Terminpläne der Projektsteuerung, die zu wenig auf einen technisch sinnvollen Herstellungsprozess und die örtlichen Randbedingungen abgestimmt sind, haben oftmals zu Folge, dass sie mit den in der Praxis von den Baufirmen gewählten Bauablauf nicht übereinstimmen. Die Konsequenzen sind Abweichungen bei Vertragsterminen bis hin zu gestörten Bauabläufen und den teils fatalen Kostenauswirkungen.

Es soll praxisnah untersucht werden, inwieweit die BIM Methode geeignet ist, den Planungsprozess so zu gestalten, dass

- die Projektsteuerung frühzeitig belastbare und am Herstellungsprozess des Bauwerks orientierte Terminpläne erstellt,
- die Objekt- und Fachplaner die Kommunikation und Abstimmung untereinander verstärken und die Art der Bauweise und den Bauablauf frühzeitig in den Planungsprozess einfließen lassen und
- im Ergebnis ein effizienteres und wirtschaftliches Planen und Bauen ermöglicht werden kann.

BIM als neue Planungsmethode

Unter Verwendung von herkömmlichen Prozessabläufen und technischer Hilfsmittel bzw. Werkzeuge hat eine längerfristig anhaltende Produktivitätssteigerung hinsichtlich des Produktionsfaktors Arbeit im deutschen Baugewerbe seit 1991 nicht stattgefunden [1]. Diese Feststellung kann sicher nur ein Indiz für eine insgesamt stagnierende Produktivität im Baugewerbe sein – ein Rückschluss auf eine ggf. vorherrschende Unproduktivität von herkömmlichen Prozessabläufen und Planungsmethoden ist dieses jedoch nicht. Vielmehr ist davon auszugehen, dass in diesem Bereich größere Potentiale für eine Optimierung bestehen.

Eine mögliche Antwort hierauf liefert die BIM Methode. Zentraler Bestandteil der BIM Methode ist die digitale Darstellung von physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks in einem Gebäudedatenmodell. Dabei ist ein wesentliches Merkmal der Methode, dass sich der Aufwand für die Erstellung eines Gebäudedatenmodelles und die dafür erforderlichen Abstimmungen der Projektbeteiligten in frühe Planungsphasen verschiebt.

Eine grundlegende Voraussetzung der BIM Methode im Planungsprozess, ist die Bereitschaft zu einer 3D-modellbasierte Arbeitsweise bei den mitwirkenden Projektbeteiligten.

Die 3D-modellbasierte Arbeitsweise kann im Planungsprozess u.a. folgende positive Effekte erzielen:

- Die unterstützte Interoperabilität verbessert die Kommunikation und Abstimmung der Objekt- und Fachplaner untereinander. Wichtige Randbedingungen (z.B. die Schnittstellenabstimmung) finden frühzeitig im Planungsprozess durch entsprechende Kollisionsprüfungen der einzelnen 3D-Teilmodelle statt.
- Fachfremde Projektbeteiligte, z.B. der Bauherr, können durch die verbesserte Kommunikation auf Basis dreidimensionaler Gebäudedatenmodelle effizienter und früher in den Planungsprozess, insbesondere bei relevanten Planungsentscheidungen, eingebunden werden.

Identifizierung einer Lösungsstrategie

Mit dem Ziel, eine erfolgreiche und zeitnahe Lösungsstrategie hinsichtlich der Problemstellungen zu erreichen, wurde zunächst untersucht, in welchem Umfang die BIM Methode im Projekt implementiert werden kann.

Die vollkommene Integration der BIM Methode (BIG BIM) in die Projektabwicklung erfordert eine maximale Durchgängigkeit der erstellten

Planungsinformationen über die einzelnen Planungsphasen, der Ausführungsphase sowie dem Betrieb des Bauwerkes [2]. BIG BIM erfordert eine grundlegende Änderung der heutigen Projektabwicklung, also die vertraglichen als auch koordinativen Rahmenbedingungen sowie eine generelle Veränderung des Aufgabenspektrums der Projektbeteiligten und wird daher nicht weiter berücksichtigt.

Offene Insellösungen (little BIM) beschreiben hingegen eine beschränkte Anwendung der BIM Methode innerhalb eines Bauprojektes, bei dem ein geschlossener Personenkreis seine Planungsinformationen in Form eines Gebäudedatenmodelles anderen Projektbeteiligten zur Verfügung stellt. Der Empfänger (z.B. Bauherr, Fachplaner) des Gebäudedatenmodells kann die übermittelten Planungsinformationen im Sinne seiner BIM-Anwendung weiterverarbeiten [3]. Diese beschränkte BIM Methode bildet den unter Berücksichtigung der heutigen Randbedingungen für die Planung geeigneten Rahmen.

Eine darauf aufbauende und zielführende BIM-Anwendung des Gebäudedatenmodelles im Zusammenhang mit der frühzeitigen Berücksichtigung des Herstellungsprozesses des Bauwerkes in der Planung ist die Erstellung sowie Auswertung einer 4D-Bauablaufsimulation mit der Zeit als vierte Dimension.

Erstellung und Auswertung einer 4D-Bauablaufsimulation - Einführung

Die 4D-Bauablaufsimulation ist das Produkt einer Verknüpfung der zusammengeführten Planungsinformationen in einem Gebäudedatenmodell mit einem systematischen und technisch richtigen Terminplan (vgl. Abb. 1).

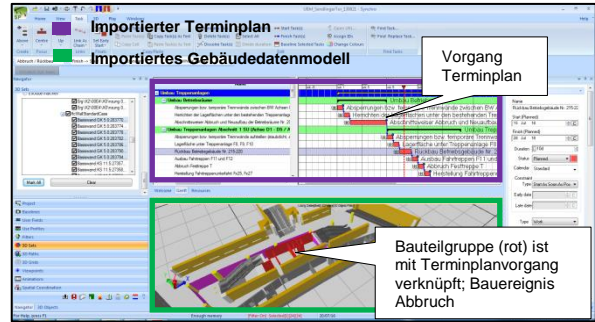


Abb. 1: Benutzeroberfläche 4D-Software Synchro Pro.

Die 4D-Bauablaufsimulation entwickelt die Darstellung des herkömmlichen Terminplanes dahingehend weiter, dass der Betrachter zum einen die Abhängigkeiten von Vorgängen und zum anderen den räumlichen Bauablauf gleichzeitig visuell nachvollziehen kann.

Das einheitliche Verständnis des geplanten Bauablaufes ermöglicht den Projektbeteiligten bereits in einer frühen Planungsphase gemeinsam Rückschlüsse zu ziehen und ggf. den Bauablauf weiter zu optimieren.

Erstellung und Auswertung einer 4D-Bauablaufsimulation – Technische Umsetzung

Die Umsetzung der 4D-Bauablaufsimulation kann in vier Teilprozessschritten untergliedert werden.

Problemdefinition: Über Abstimmungsgespräche mit den beauftragten Fachplanern werden Fragestellungen beantwortet, wie Zusammenstellung eines 4D-Projektteams; Projektzeitpunkt für die Umsetzung; welche Ziele sollen erreicht werden?; Detaillierungsgrad der Gebäudedatenmodelle.



Modellierung: Die Modellierung beinhaltet die Festlegung der Modellierungskriterien, Erstellung des Gebäudedatenmodelles und des Terminplanes sowie das BIM-Management.



Erstellung Simulationsmodell: Verknüpfung von Bauteilen mit der Dauer und die chronologische Einordnung in den gesamten Herstellungsprozess mit einem bautypischen Ereignis (Bauverfahren).



Auswertung der Simulation: Vergleich von Bauzuständen oder alternativen Bauabläufen.

Als Praxisbeispiel dient das Projekt „Umbau / Modernisierung U-Bahnhof Sendlinger Tor“. Die dort geplanten Erweiterungs-, Umbau und Modernisierungsarbeiten werden allesamt unter laufendem Betrieb durchgeführt.

Eine Hauptmaßnahme des Projektes ist die Verbesserung der Umsteigebeziehungen zwischen den Bahnsteigebenen die einen kompletten Umbau der zentralen Treppenanlagen zur Folge hat. Die 4D-Bauablaufsimulation soll probeweise den Bauablauf dieser Maßnahme sowie die benötigten Einhausungen der Baufelder informativ visualisieren.

Beispiel 1: Ein besonderer Wunsch des Bauherren ist es, den Einfluss des Bauablaufes auf den Betrieb des Bauwerkes während der Umbau bzw. Modernisierungsarbeiten so minimal wie möglich zu halten. Dieses erfordert insbesondere in den Umsteige- und Treppenbereichen eine möglichst genaue Kenntnis über den Verlauf der Arbeiten und Abgrenzungen der Baufelder während der Bauzeit (vgl. Abb. 2 und Abb. 3).

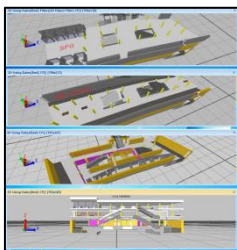


Abb. 2: Baufeld Zeitpunkt X

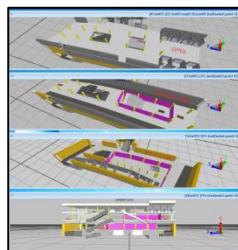


Abb. 3: Baufeld Zeitpunkt Y

Beispiel 2: Es kann ein visueller Vergleich von zwei unterschiedlichen Bauabläufen zu jeweils

gleichen Zeitpunkten auf der Zeitschiene durchgeführt werden. Dieser Vergleich wäre in der Planungsphase im Hinblick auf eine Optimierung der Terminplanung denkbar und sinnvoll (vgl. Abb. 4).

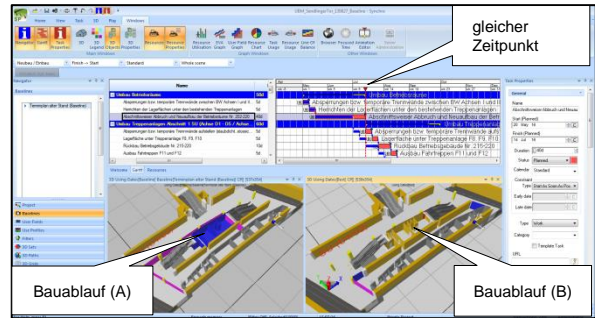


Abb. 4: Visualisierung Bauablauf (A) und (B)

Weiteres Vorgehen im Projekt

Durch die gewonnenen Erkenntnisse der Probesimulation und weiteren Informationen aus den Abstimmungsbesprechungen des 4D-Projektteams werden die einzelnen Leistungsbilder des 4D-Projektteams entwickelt. Relevant hierfür sind die Modellautoren, der Bauphasen- und Logistikplaner mit einem schlüssigen Terminplan sowie der Ersteller und Anwender der Simulation, der die Verknüpfung zwischen diesen beiden Bereichen vornimmt.

Außerdem ist die Weiterentwicklung relevanter Prozesse im Hinblick auf die Verwendung eines virtuellen Projektraumes weiter zu verfolgen. Hierbei soll die Erstellung und Fortschreibung der Gebäudedatenmodelle über eine Projektkommunikationsplattform organisiert werden, um eine reibungslose Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten zu ermöglichen.

Zusammenfassung

Die Erstellung und Auswertung einer 4D-Bauablaufsimulation eignet sich, um die BIM Methode in einem Bauprojekt zu implementieren.

Das Praxisbeispiel zeigt deutlich, dass insbesondere die Vorbereitung, Erstellung und Auswertung der 4D-Bauablaufsimulation eine enge Zusammenarbeit und Kommunikation der beteiligten Fachplaner, Projektmanager und Bauherren erfordert.

Im Ergebnis kann auf Grund der Erkenntnisse aus der 4D-Bauablaufsimulation mit einer risikoärmeren und damit wirtschaftlicheren Bauausführung gerechnet werden, da wichtige Randbedingungen des Herstellungsprozesses bereits frühzeitig in der Planungsphase sowohl in die Planung selbst als auch in die Terminplanung eingeflossen sind.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: Arbeitnehmerentgelte (Lohnkosten), Arbeitsproduktivität und Lohnstückkosten in der Gesamtwirtschaft, Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, [Zugriff: 16. Mai 2013], <http://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/download/zeitreihen/ZR030.xls>
- [2]: Günthner, W., Borrmann, A., Juli, R., Lederhofer, E., Baumgärtel, T., Klaubert, C., Lederhofer, E., Mack, J., Willenberg, U., Bauen heute und morgen - Kapitel 1, in: Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen : Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert, Hrsg.: Günthner, W., Borrmann, A., Heidelberg: Springer, 2010, S. 1-21
- [3]: Liebich, T., Schweer, C.-S., Wernik, S., Die Auswirkung von Building Information Modeling (BIM) auf die Leistungsbilder und Vergütungsstruktur für Architekten und Ingenieure sowie auf die Vertragsgestaltung, im Auftrag des Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung, 2011

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Bernstein, H., Jones, S., Gudgel, J.: SmartMarket Report: The Business Value of BIM in Europe, Hrsg.: Bernstein, H., New York: McGraw Hill Construction, 2010
2. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K.: BIM Handbook, Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons Inc., 2011
3. Košturiak, J., Gregor, M.: Simulation von Produktionssystemen, Heidelberg: Springer Verlag, 1995
4. Sriprasert, Dawood: Requirements Identification for 4D Constraint-based Construction Planning and Control System, Hrsg.: Centre für Construction Innovation Research, University of Teesside, 2002



Autor

Thomas Obermaier wurde am 20.02.1987 geboren. Er studierte zunächst Bauingenieurwesen an der Technischen Universität München. Den Masterstudiengang absolvierte er an der Hochschule München für angewandte Wissenschaften. Bereits während seines Studiums an der Hochschule München (2009 – 2013) sammelte Thomas Obermaier als Student Berufserfahrung im Projektmanagement mit dem Schwerpunkt Infrastrukturprojekte bei Drees & Sommer in München. Seit der Fertigstellung der Masterarbeit Ende 2013 ist Thomas Obermaier als Projektmanager bei der baustein GmbH angestellt.

Betreuer

Die Arbeit wurde an der Hochschule München, Fakultät Bauingenieurwesen - Fachgebiet Baubetriebsplanung und Projektentwicklung bei Prof. Thomas Clausen in Zusammenarbeit mit der baustein GmbH Betreuung durch Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Gödeke und Dipl.-Wirtsch.-Ing. Albrecht Curland, angefertigt. Zudem sei Prof. Rasso Steinmann als weiterer Ansprechpartner der Hochschule München, den Stadtwerke München für die Bereitstellung von Projektinformationen sowie der SSF Ingenieure AG für die Bereitstellung eines Gebäudedatenmodelles gedankt.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

CO₂-BILANZ FÜR BETONE IM TUNNELBAU AUSWIRKUNGEN DER VERWENDUNG VERSCHIEDENER ZEMENTE

Masterarbeit (Master's Thesis)

Juliane Otto

Ein Schlagwort, welches heute nahezu unumgänglich in jedem Arbeitsbereich früher oder später in irgendeiner Weise auftaucht, ist „Nachhaltigkeit“. Auch die Arbeit eines Bauingenieurs bildet dabei keine Ausnahme. Je größer und weitreichender ein Projekt ist, je höher sind in der Regel heutzutage auch die Erwartungen, die an Umweltverträglichkeit und eine nachhaltige Planung und Umsetzung gestellt werden. Der Brenner Basistunnel ist ein Großprojekt unserer Zeit, bei dem diese Belange auf vorbildliche Weise berücksichtigt werden. Die Umweltverträglichkeit stellt einen Grundpfeiler für die Planung dieses Tunnels dar, und setzt sich auch in der Umsetzung fort. Auf Anregung der Brenner Basistunnel-Gesellschaft (BBT-SE) untersucht diese Arbeit die Auswirkungen verschiedener Zemente auf die CO₂-Bilanz, vor allem im Tunnelbau verwendeter Betone. Auf diese Weise soll das Ausmaß des CO₂-Einsparpotentials, in Abhängigkeit von der Zementwahl, für die im Brenner Basistunnel verwendeten Betone quantifiziert und ausgewertet werden.

Keywords: Tunnelbau, CO₂-Bilanz, Zement, Beton, Brenner Basistunnel

Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung meiner Masterarbeit umfasste die Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Zemente auf die CO₂-Bilanz von Betonen im Tunnelbau. Dazu sollten zunächst die Grundlagen der Bilanzierung und die Einflussfaktoren zusammengestellt werden. Aufgrund der Anregung zu dieser Arbeit durch

die Brenner Basistunnel-Gesellschaft sollten die theoretischen Erkenntnisse anschließend praktisch auf die tatsächlich verwendeten Betone des Brenner Basistunnels angewendet werden, und somit eine Bilanzierung der verschiedenen Betone im Tunnelbau an diesem Beispiel durchgeführt werden.

Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit soll einen kontinuierlichen Einstieg in die Thematik ermöglichen. Nach der Einführung wird zunächst auf die Grundlagen der Zementherstellung, die Eigenschaften dieses Bindemittels und die unterschiedlichen Zementarten eingegangen. Anschließend folgt ein Kapitel über die im Tunnelbau verwendeten Betone. Es werden die Anforderungen an das verwendete Bindemittel, die sich aus den Verfahren ergeben, und welche Zemente jeweils zur Anwendung kommen können, zusammengestellt. Nach der Zusammenstellung dieser Grundlagen wird die Auswirkung des Zements auf die CO₂-Bilanz eines Betons und alle relevanten Faktoren dargestellt. Ausgehend davon wird, nach einer Vorstellung des Projekts „Brenner Basistunnel“, eine Auswertung der bei diesem Tunnel verwendeten Zemente vorgenommen. Die unterschiedlichen Auswirkungen werden bewertet, zusammengestellt und miteinander verglichen. Zum Abschluss folgt, nach der Auswertung der Ergebnisse, eine Zusammenfassung um die Arbeit abzurunden.

CO₂-Bilanz von Zementen

Aus den spezifischen Emissionen der deutschen und auch der österreichischen Zementindustrie ergab sich eine Bilanzierungsmöglichkeit für verschiedene Zemente, die sich hauptsächlich auf den jeweiligen Klinkeranteil des Zements stützt. Bezogen auf die Daten des Jahres 2009 konnte für eine Tonne Portlandzement mit vereinfacht 100% Zementklinkeranteil die CO₂-Bilanz gemäß folgender Abbildung 1 zusammengestellt werden.

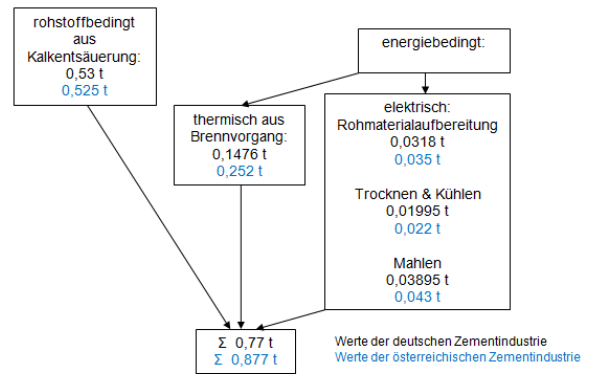


Abb. 1: CO₂- Bilanz Portlandzement

Abb. 1: CO₂-Bilanz Portlandzement (Daten gemäß [1,2])

Identisch zu dieser Vorgehensweise konnte die CO₂-Bilanz für Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen in Abhängigkeit des Klinkeranteils ermittelt werden, da sowohl Hüttensand, Puzzolan als auch Flugasche als Abfallprodukte anderer Produktionen anfallen. Daher erfolgt keine produktspezifische CO₂-Emission für die Herstellung, wie es beim Zementklinker der Fall ist. Dies bedeutet im Wesentlichen, dass keine energieintensiven Brennvorgänge von Nöten sind, somit auch keine Entsäuerung mit direkter Freisetzung von CO₂ aus dem Rohmaterial stattfindet, und sich diese Anteile dementsprechend mit sinkendem Klinkeranteil reduzieren. Die CO₂-Bilanz für Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen ergibt sich somit gemäß der folgenden Abbildung 2.

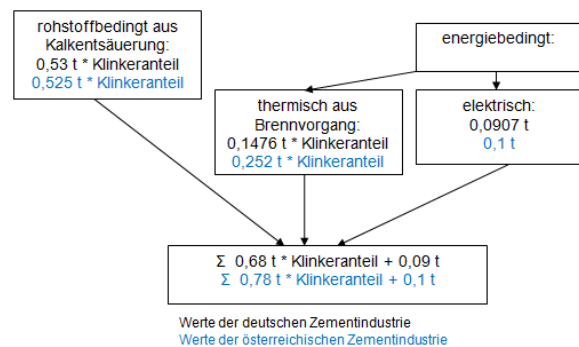


Abb. 2: CO₂-Bilanz von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen (Daten gemäß [1,2])

Anwendung auf Betone des Brenner Basistunnels

Durch Angaben der Brenner Basistunnelgesellschaft zu Zementarten und Betonmengen konnten diese Erkenntnisse auf die verwendeten Betone des Projekts angewendet werden. Dabei wurden im Wesentlichen die zulässigen Zemente jeweils für Innenschalen-, Spritz- und Tübbingbeton untereinander auf ihre Auswirkungen auf die CO₂-Bilanz des jeweiligen Betons untersucht, und die länderspezifischen Unterschiede zwischen Österreich und Italien herausgestellt.

Aus den Ergebnissen konnte abgeleitet werden, dass sich einige Möglichkeiten bieten, die CO₂-Bilanz von Betonen zu reduzieren. Maßnahmen, die die Gesamtbetonmenge reduzieren, wie beispielsweise eine Optimierung und Reduzierung der Spritzbetondicken, und der einschalige Ausbau des Tunnels an Stellen, die dies erlauben, sind eine Möglichkeit. Dabei handelt es sich jedoch nicht um willkürlich durchführbare Maßnahmen. Eine weitaus effektivere Stellschraube stellt hierbei die Wahl des verwendeten Bindemittels dar. In der Arbeit wurde früh offensichtlich, dass der CO₂-Anteil des Zements im Allgemeinen den Hauptteil der CO₂-Bilanz eines Betons ausmacht, wobei der entscheidende Parameter hierbei der enthaltene Klinkeranteil ist. Somit bietet sich eine Möglichkeit der CO₂-Einsparung durch die Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen, wodurch der Klinkeranteil im Zement reduziert wird. Die effektivere Möglichkeit ist jedoch, dort wo es betontechnologisch möglich und sinnvoll ist, und es die zu berücksichtigenden Normen zulassen, den Zementgehalt im Beton gering zu wählen und einen möglichst hohen Anteil durch CO₂-neutrale Zusatzstoffe zu ersetzen. Da die zulässigen Zusatzstoffanteile bei CEM I Zementen meist am höchsten sind, lassen sich bei maximaler Ausnutzung häufig im Verhältnis

zu CEM II Zementen bessere CO₂-Werte erreichen, wie beispielhaft in den folgenden Abbildung zur CO₂-Bilanz des Standardspritzbetons des Brenner Basistunnels sichtbar wird.

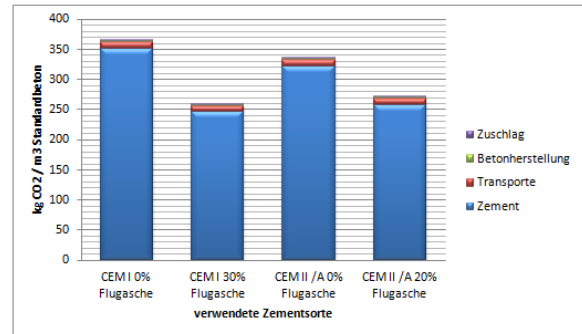


Abb. 3: CO₂-Emissionen Standardbeton Italien

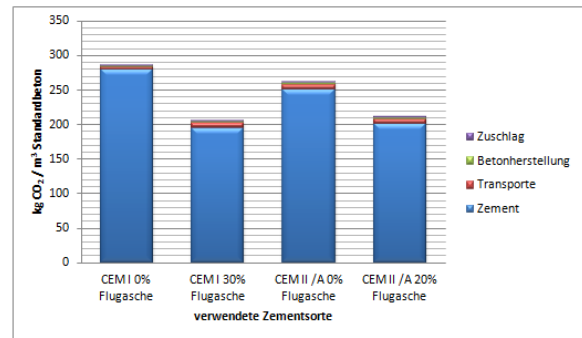


Abb. 4: CO₂-Emissionen Standardbeton Österreich

Aus den Abbildungen 3 und 4 geht ebenfalls der relativ große Unterschied zwischen den Emissionswerten der italienischen und österreichischen Betone hervor. Dieser ist zum einen auf unterschiedliche Emissionsfaktoren der Zemente zurückzuführen, beispielsweise durch effektivere und modernere Anlagen zur Zementherstellung auf der österreichischen Seite, aber auch auf unterschiedliche Normen und dadurch länderspezifisch höhere Zementgehalte auf der italienischen Seite, die aufgrund des hohen CO₂-Anteils des Zements auch die Bilanz des Betons erhöhen. Aus dieser Tatsache wurde ersichtlich, dass es vor allem bei multilateralen Projekten essentiell notwendig ist einheitliche Regelungen zu treffen um einheitliche Standards ermöglichen zu können.

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an die verschiedenen Betone im Tunnelbau unterscheiden sich diese auch maßgeblich in den jeweils verwendbaren Zementen, aber auch in den Mindestzementgehalten und den Anteilen, die durch Zusatzstoffe ersetzt werden können. Bildet man aus allen zulässigen Betonen den jeweiligen CO₂-Mittelwert erhält man für den Brenner Basistunnel folgende Durchschnittswerte, die ebenfalls die Unterschiede zwischen Italien und Österreich widerspiegeln.

	Österreich	Italien	
Spritzbeton	243 kg CO ₂ /m ³	308 kg CO ₂ /m ³	
Innenschalenbeton	Landesnorm	142 kg CO ₂ /m ³	205 kg CO ₂ /m ³
	einheitlich empfohlen	133 kg CO ₂ /m ³	167 kg CO ₂ /m ³
Tubbingbeton	Herstellung auf der Baustelle	190 kg CO ₂ /m ³	240 kg CO ₂ /m ³
	Fertigteilwerk	/	386 kg CO ₂ /m ³

Abb. 5: Mittelwerte für CO₂-Emissionen der Betone im Tunnelbau

Berücksichtigt man diese Ergebnisse wird deutlich, dass im Tunnelbau die Spritzbetone aufgrund ihres hohen Zementgehalts die höchste CO₂-Bilanz aufweisen und die Innenschalenbetone die geringste, weswegen ein steigender Anteil an Innenschalenbeton zu einer geringeren CO₂-Bilanz des Gesamtprojekts führt.

Die Zusammenfassung all dieser Erkenntnisse ermöglichte eine Bewertung der einzelnen Zemente nach dem Kriterium der Umweltverträglichkeit. Somit konnte die Eignung der Zemente für Betone mit besonderen Anforderungen gemäß der folgenden Tabelle um diesen Punkt erweitert werden.

Kein Kompositionrisiko	Bewehrungskorrosion						Betonangriff						Spannlastverträglichkeit	Umweltverträglichkeit	
	durch Kohlenstoff		durch Chloride				Frostangriff		Chemisch aggressive Umgebung		Verschleiß				
	X01	X02	andere als Meereswasser	Meereswasser	X03	X04	XF1	XF2	XA1	XA2	XA3	XA4			XM1
CEM I															
CEM III/A-S															
CEM III/B-S															
CEM III/A-D															
CEM III/A-P															
CEM III/B-P															
CEM III/A-Q															
CEM III/B-Q															
CEM III/A-V															
CEM III/B-V															
CEM III/A-W															
CEM III/B-W															
CEM III/A-T															
CEM III/B-T															
CEM III/A-L															
CEM III/B-L															
CEM III/A-LL															
CEM III/B-LL															
CEM III/A-M															
CEM III/B-M															
CEM III/A															
CEM III/B															
CEM III/C															
CEM IV/A															
CEM IV/B															
CEM V/A															
CEM V/B															

Abb. 6: Eignung der Zemente für Betone mit besonderen Anforderungen (Grundtabelle nach [3])

Unter Anbetracht all dieser CO₂-Einsparmöglichkeiten, ist eine drastische Reduzierung der CO₂-Bilanz eines Projekts bereits ohne großen Einsatz finanzieller Mittel möglich. Bei einem Bauprojekt der Größe des Brenner Basistunnels sind die ökologischen Aspekte mit Abstand nicht die einzigen zu berücksichtigenden, dennoch wurde in dieser Arbeit deutlich, dass auch diese Aufgabenstellungen zum Handwerk eines Bauingenieurs gehören, und sich bereits durch geringe planerische und betontechnologische Maßnahmen ein großes CO₂-Einsparpotential ergibt. Werden all diese Kriterien berücksichtigt ist eine Reduzierung der CO₂-Bilanz von Tunnelbauprojekten garantiert und ein entscheidender Schritt in Richtung nachhaltigem und umweltgerechtem Bauen getan.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: Vdz. Deutsche Zementindustrie. Verminderung der CO₂-Emission, Monitoring-Bericht 2008-2009. Verein Deutscher Zementindustrie e.V., Düsseldorf 2010
- [2]: Mauschitz Gerd. Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie, Berichtsjahr 2011. Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, Technische Universität Wien, 2012.
- [3]: Guggenberger Theodor. Einfluss der Zementart auf das Tragverhalten von Befestigungselementen in Beton, Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur Wien, 2009.

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Brenner Basistunnel BBT SE, Umweltplanung, Erstellung des CO₂-Haushalts. Untersuchung der Nachhaltigkeit des Brennerbasistunnels im Hinblick auf seine CO₂-Emissionen. 2010.
2. Locher Friedrich W. . Zement- Grundlagen der Herstellung und Verwendung. Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2000.
3. Springenschmid Rupert. Betontechnologie für die Praxis. 1. Auflage. Bauwerkverlag, Berlin 2007.
4. Vdz. Deutsche Zementindustrie. Zement- Taschenbuch. 51. Ausgabe, Forschungsinstitut der Zementindustrie. Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2008.



Autor

Juliane Otto wurde am 31.07.1987 in Baida, Thüringen, geboren. Nach der allgemeinen Hochschulreife am Otto Hahn Gymnasium in Böblingen trat sie in die Offizierslaufbahn in der Bundeswehr ein. Von 2009 bis 2013 absolvierte sie ihr Studium des Bauingenieurwesens und der Umweltwissenschaften an der Universität München mit dem Abschluss Master of Science. Seit Oktober 2013 absolviert sie die weitere Offiziersausbildung.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Lehrstuhl für Massivbau, Fachbereich für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Universität der Bundeswehr München, Univ.- Professor Dr.-Ing. Manfred Keuser und Univ.-Prof. Dipl.-Ing. MSc. Dr.phil. Dr.tech. Konrad Bergmeister.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

ANALYSE DES VORBEUGENDEN BAULICHEN BRANDSCHUTZES BEI VERWENDUNG DES FRESH-AIR-WALL-SYSTEMS FÜR GEBÄUDE DER GEBÄUDEKLASSE 4

Master's Thesis

Alexander Peikos

Das Fresh-Air-Wall-System stellt ist ein Lüftungssystem, welches mit vergleichbar geringem Aufwand an bestehenden Gebäuden installiert werden kann. Die Lüftungskanäle sind hierbei in den Dämmstoff integriert und werden somit bei der Dämmung des Gebäudes aufgebracht. Durch die Kombination von Wärmedämmverbundsystemen auf Basis von Polystyrolschaum und einer Lüftungsanlage entstehen jedoch aus Sicht des Brandschutzes technische Herausforderungen, welche es im Voraus abzuschätzen gilt. Ziel dieser Arbeit ist es, dieses System auf seine brandschutztechnischen Einflussfaktoren zu untersuchen und gegebenenfalls Lösungsansätze zu finden, um zu gewährleisten, dass eine Montage ohne relevante Sicherheitsmängel hinsichtlich des Brandschutzes durchgeführt werden kann.

Die Bauwirtschaft in Deutschland ist schon jetzt vom Bauen im Bestand geprägt, wobei auch in den nächsten Jahren ist davon auszugehen ist, dass der Bestandssektor immer weiter an Bedeutung gewinnen wird. Die Anzahl der fertiggestellten Neubauwohnungen hat dabei in der Zeit von 1995 bis 2006 von circa 500.000 auf 200.000 Wohnungen pro Jahr abgenommen. [1] Gerade im Bereich des Wohnungsbaus existiert in Deutschland eine große Menge an Bestandsbauten aus der Zeit zwischen 1948-1990.[2] Diese Gebäude entsprechen jedoch oft nicht den energetischen Anforderungen der heutigen Zeit und weisen ein großes Energieeinsparpotential auf. [3] Da die

Energiewende und die verschärften Diskussionen um den Klimawandel und steigende Energiekosten nun langsam zu einem Umdenken führen, ist es absehbar, dass die energetische Qualität der Gebäude starken Einfluss auf deren Marktwert nimmt. Auch der niedrige Wohnkomfort dieser Häuser im Vergleich zu energetisch hochwertigen Häusern und die höheren Wohngelder bei Altbauten können dazu führen, dass eine Bestandsimmobilie, wenn sie nicht gerade in exponierter Lage liegt, an Marktwert einbüßt. Gerade im Bereich der Mehrfamilienhäuser kann dies diese Tatsache für Kleinanleger und Investoren jedoch kaum akzeptabel sein.

Deshalb wird es in den nächsten Jahren zu erhöhten Modernisierungsquoten aus energetischen Gründen kommen. Untersuchungen haben gezeigt, dass hierbei der Anteil der Lüftungswärmeverluste im Verhältnis zu den Transmissionswärmeverlusten ansteigt. Ab einem gewissen zu erreichenden energetischen Standard ist es unumgänglich, die Lüftungswärmeverluste zu minimieren. Dies ist jedoch nur möglich, wenn eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingebaut wird. [4] Doch gerade hier treten bei herkömmlichen Bestandsbauten Probleme bei der Umsetzung auf. Es entstehen üblicherweise nicht nur hohe Kosten bei der Verlegung von Lüftungsleitungen, sondern die Bewohner eines zu sanierenden Gebäudes müssen auch für die Zeit der Installation ihre Wohnung räumen oder mit starken Einschränkungen im Wohnkomfort rechnen. Aus diesem Grund wird auf die Installation einer Lüftungsanlage häufig verzichtet, um drohende Mietausfälle zu verhindern. Die Installation eines WDVS schränkt hingegen zwar den Komfort der Mieter durch den Gerüstbau und außenseitige Arbeiten ein, jedoch ist ein vollständiges Räumen der Wohnung in den meisten Fällen nicht nötig.

Ein neu entwickeltes System, das diese Probleme umgeht und dabei einen Zuwachs an energetischer Qualität sicherstellt, ist das Fresh-Air-Wall-System (FAW). WDVS und Lüftungsanlage werden bei diesem System intelligent miteinander verbunden. Die Grundlage des Systems ist ein auf dem Dämmstoff Neopor® basierendes WDVS mit integrierten Lüftungskanälen. Jede Wohneinheit in einem Gebäude wird über wenige Öffnungen in den vorhandenen Außenwänden mit Zu- und Abluft versorgt. Die Lüftungsquerschnitte liegen in der Dämmebene und nicht im Gebäudeinneren angeordnet (Abb. 1).

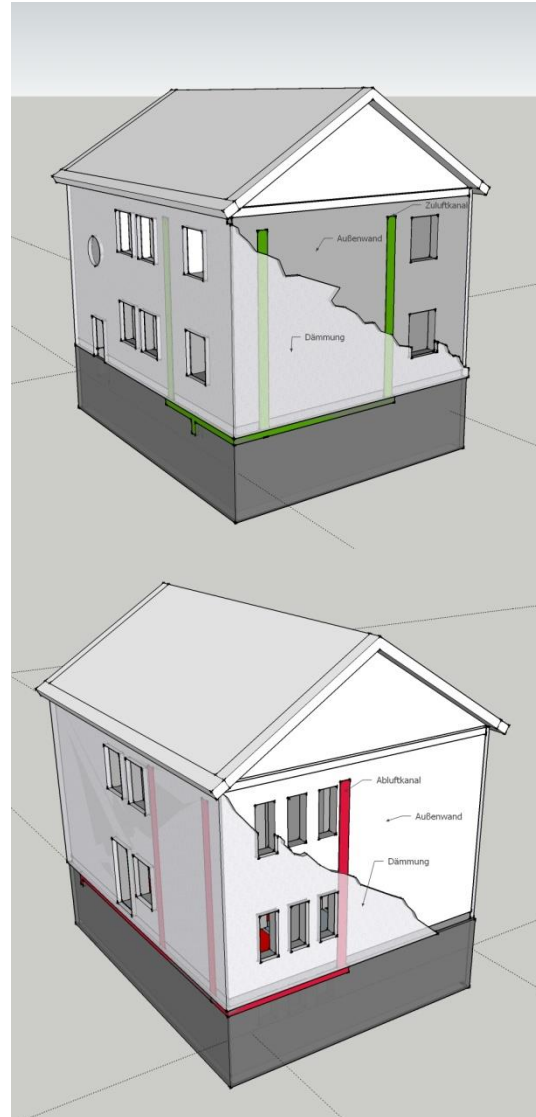


Abb. 1: Prinzip der Lüftungskanalführung des FAW-Systems mit Zuluft (grün) und Abluft (rot) am Beispiel eines Wohngebäudes [4]

Doch durch die Verbindung von Dämm- und Lüftungssystem entstehen gewisse technische Herausforderungen, welche vor der Marktreife des Systems noch zu untersuchen, sowie vorhandene Schwachstellen noch zu entschärfen sind. Eine wesentliche Herausforderung stellt in diesem Zusammenhang der Brandschutz dar. Die derzeit häufig zur Sanierung verwendeten WDVS stehen unter Brandschützern in der Kritik, da hier Stoffe verwendet werden, die im Brandfall zu gefährlichen Brandlasten führen können. Mehrere verheerende Fassadenbrände haben gezeigt, dass die Verwendung von WDVS mit Dämmstoffen auf Mineralölbasis aus Sicht

des vorbeugenden Brandschutzes nicht ganz unproblematisch ist. [5] Hinzu kommt, dass die Lüftungstechnik ein Bereich ist, der gerade seitens des Brandschutzes mit vielen Regulierungen und Forderungen belegt ist, um die Brandsicherheit einer Anlage zu gewährleisten. Da beim FAW-System zwar schwer entflammbare aber dennoch brennbare Baustoffe verwendet werden und zudem eine Lüftungsanlage verbaut wird, ist besonders im Bereich des Brandschutzes möglichst genau darauf zu achten, dass das System so konstruiert ist, dass von ihm im Brandfall keine Gefahr zu befürchten ist.

Aus diesem Grund beschäftigt sich diese Arbeit ausschließlich mit der zuvor beschriebenen Problematik. Es werden die Schwachstellen des FAW-Systems im Bereich des Brandschutzes untersucht und es wird auf Regelwerke verwiesen, die einzuhalten sind. Zu diesem Zweck werden alle Bestimmungen und technischen Regelwerke untersucht, welche aus Sicht des Brandschutzes für die Zulassungsreife eines solchen Systems relevant sind. Zudem wird dargestellt, an welchen Stellen beim derzeitigen System noch Verbesserungen notwendig sind. Ziel war es, eine vollständige Liste vorhandener Problemstellen aus Sicht des Brandschutzes zu erarbeiten und geeignete konstruktive Lösungen zu finden, um das System letztendlich zulassungsreif auch für typische Geschosswohnungsbauten der Gebäudeklasse 4 zu machen.

Nach Analyse aller zulassungsrelevanten Aspekte des Brandschutzes wurden die zugehörigen Lösungsansätze aufgezeigt. Das daraus resultierende Lüftungskonzept wird in den folgenden Abbildungen verdeutlicht. Abb. 2 zeigt dabei die Führung der Zuluftkanäle in der Fassade eines typischen Mehrfamilienhauses aus den fünfziger Jahren.

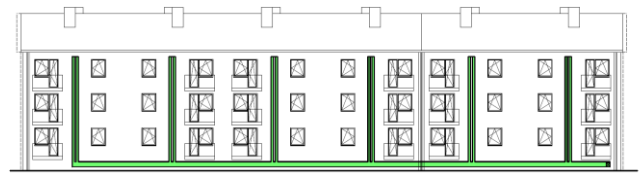
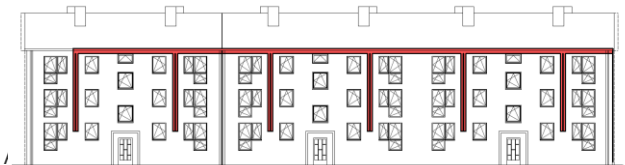


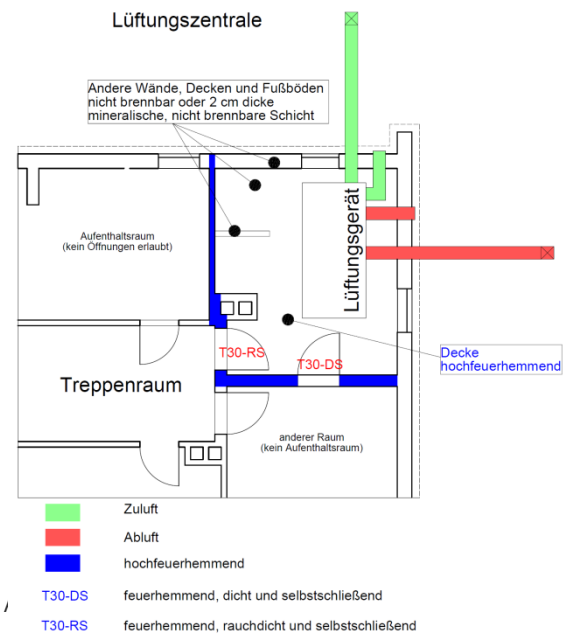
Abb. 2: Zuluftkanäle FAW-System, Gebäudeklasse 4 (Ansicht West)

Abbildung 3 zeigt die Führung der Abluftkanäle auf der gegenüberliegenden Gebäudeseite.



(Ansicht Ost)

Die Kanäle münden in eine Lüftungszentrale, welche im Keller untergebracht wird.



Die Verwendung dieses innovativen Lüftungssystems an Mehrfamilienhäusern ist aus brandschutztechnischer Sicht möglich, jedoch müssen zur Erfüllung aller brandschutztechnischen Anforderungen noch einige spezielle technische Lösungen erarbeitet werden. Gerade im Bereich der brandschutztechnischen Abschottung der Nutzungseinheiten voneinander und bei der Unterbindung einer Ausbreitung im Brandfall entstehender Brandgase ist dies der Fall. So ist

ein Schottungssystem zu entwickeln, welches in diesen speziellen Anlagentyp integriert werden kann. Es wird darauf hingewiesen, dass die Entwicklung eines solchen Schotts das Potential beinhaltet, nicht nur die Schutzziele des Brandschutzes zu erfüllen, sondern noch weitere funktionale Aufgaben im Lüftungssystem übernehmen kann.

Die im Rahmen dieser Arbeit angefertigten Überprüfungen aus brandschutztechnischer Sicht sowie die zugehörigen konstruktive Verbesserungsvorschläge sollen der weiteren Entwicklung des FAW-Systems dienen.

Damit sollen Voraussetzungen dafür geschaffen werden, dass dieses System auch für Mehrfamilienhäuser eingesetzt werden kann. Mittels des FAW-Systems ließe sich ein Großteil des deutschen Wohngebäudebestandes kostengünstig auf ein gutes energetisches Niveau mit damit verbundenen niedrigen Betriebskosten für Eigentümer und Mieter bringen.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hrsg.) (2008): Datenreport 2008 - Ein Sozialbericht für die Bundesrepublik Deutschland, Bonn. S.222
- [2]: Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hrsg.) (2008): Datenreport 2008 - Ein Sozialbericht für die Bundesrepublik Deutschland, Bonn. S.216
- [3]: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg.) (1996): Energiegerechtes Bauen und Sanieren, Birkhäuser.
- [4]: Hauser, Gerd (2011): Vorlesung: Energetische Modernisierung und Bauschäden - 4.2.2 Bauliche Lüftungselemente, TU München. Kapitel 4.2.2.
- [5]: Norddeutscher Rundfunk (Hrsg.) (2012): Wärmedämmung- Der Wahnsinn geht weiter. Von http://www.ndr.de/ratgeber/verbraucher/haushalt_wohnen/minuten667.html am 03.09.2013 abgerufen.

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. Bauministerkonferenz (Hrsg.) (2012a): Musterbauordnung (Fassung 21.09.2012)
2. Bauministerkonferenz (Hrsg.) (2010): Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen (Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie - M-LüAR). (September 2005, zuletzt geändert Juli 2010).
3. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (1977-2004): DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Berlin: Beuth-Verlag
4. Mayr, J., & Battran, L. (Hrsg.) (2013): Brandschutzatlas inkl. 23 Ergänzungslieferung, Köln: Feuertrutz GmbH.



Autor

Alexander Peikos wurde am 24.01.1988 in München geboren. Nach der allgemeinen Hochschulreife studierte er an der Technischen Universität München und machte dort seinen Abschluss zum Bachelor of Science in Civil engineering.

09/1999 – 06/2007	Gymnasium Olching, Allgemeine Hochschulreife
09/2007 – 09/2011	Technische Universität München Abschluss Bachelor of Science in Civil engineering Thema Abschlussarbeit: Einfluss von brandschutztechnischen Bestimmungen auf die Drittverwendungsfähigkeit und Nutzungsflexibilität von Gewerbeimmobilien
02/2012 – 10/2012	Fachplaner zum baulichen Brandschutz (EIPOS) München
09/2011 – 10/2013	Technische Universität München Abschluss zum Master of Science in Civil engineering

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Lehrstuhl für Bauphysik der TU München unter der Betreuung von Dr.-Ing. Roland Göttig und unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

BIEGEZUGFESTIGKEITSPRÜFUNG AN DÜNNGLAS

Masterarbeit

Hannes Spitzhüttl

Diese Zusammenfassung gibt den wesentlichen Inhalt einer Masterarbeit zum Thema „Biegezugfestigkeitsüberprüfung an Dünnglas“ wieder. Es wird die Problematik zur Bestimmung der Biegezugfestigkeit bei Glasscheiben mit einer Dicke unter drei Millimetern behandelt. Da die bisher üblichen und in verschiedenen DIN's beschriebenen Methoden nicht optimal zu diesem Zweck geeignet sind, wurde ein neues Verfahren entwickelt, welches speziell die Anforderungen von Dünngläsern berücksichtigt. Der Versuchsaufbau und Ablauf werden beschrieben, sowie die Durchführung und Auswertung verschiedener Versuchsreihen. Des Weiteren wird dieser Versuchsaufbau mit Hilfe der computerbasierten Software MARC Mentat in ein numerisches FE – Modell abstrahiert. Um eine bestmögliche Annäherung an den realen Versuch zu erreichen werden verschiedene Variationen des Modells miteinander verglichen. Durch die Gegenüberstellung von realen und virtuellen Ergebnissen wird die Übereinstimmung veranschaulicht.

Keywords: Hochschulpreis, Baugewerbe, Dünnglas, Versuchsaufbau, Biegezugfestigkeitsprüfung

Einleitung

Die Optimierung von Produkten und Materialien ist das wesentliche Ziel in der technischen Entwicklung im Baugewerbe. Dadurch werden nicht nur immer neue Möglichkeiten zur Umsetzung von Projekten geschaffen, sondern auch Ersparnisse und Vereinfachungen erzielt. Die angestrebten Ergebnisse dieser Arbeit sollen positive Auswirkungen in beiderlei Hinsicht erzielen.

Der heute wohl alltäglichste Einsatz von Dünnglas ist für Displays und Touchscreens. Aber auch im Bauwesen setzt es sich immer

mehr durch. Mit der Entwicklung der Technik wurden auch die Dünnglasprodukte optimiert und ihr Einsatzspektrum deutlich erweitert. So eignen diese sich beispielsweise in besonderer Form als oberste Deckschicht bei Fotovoltaikerelementen. Durch die geringe Dicke ist das Glas flexibler, was es teilweise unempfindlicher gegen mechanische Einflüsse macht. Weiterhin ist eine sehr hohe Lichtdurchlässigkeit vorhanden, welche die Leistungswerte merklich erhöht. Es lässt sich aber allgemein vorteilhaft in Verbundglassystemen einsetzen. Ein weiteres Beispiel sind Isolierverglasungen. Wird bei einer Dreifachisolierverglasung die mittlere Scheibe durch Dünnglas ersetzt, so wird eine fast

identische Isolierung erzielt, das Gewicht jedoch auf nahezu das einer Zweifachisolierverglasung reduziert. Dabei ist der wesentliche Vorteil dieser Scheiben deutlich erkennbar. Durch die Verringerung des Gewichtes, können nicht nur die Transportkosten vermindert, sondern auch die Montage auf der Baustelle vereinfacht werden. Dadurch lassen sich die Elemente auch schneller handhaben und verbauen, was zusätzlich eine Zeitersparnis zur Folge hat, was wiederum einen finanziellen Vorteil bedeuten kann. Darüber hinaus können Materialkosten gespart werden, aber nicht nur beim Glas selbst, sondern auch bei den zugehörigen Unter-/Haltekonstruktionen, die auf Grund des niedrigeren Gewichtes kleiner dimensioniert werden können.

Um aber Dünnglas einsetzen zu können, werden bei der Dimensionierung Kenngrößen für die Belastbarkeit des Materials bzw. des Bauteils gefordert. In der Masterarbeit „Biegezugfestigkeitsüberprüfung an Dünnglas“ soll ein Grundstein dafür gelegt werden, der es Produzenten leichter ermöglicht, diese benötigten Werte zu ermitteln.

Aufbau der Arbeit

Für die Masterarbeit als Abschluss des Studienfachs Bauingenieurwesen war ein Zeitraum von drei Monaten festgesetzt. Um dieses umfangreiche Thema in dieser kurzen Zeit ausführlich behandeln zu können war ein strukturierter Ablauf notwendig. Zu Beginn werden Grundlagen über Glas und speziell Dünnglas beschrieben. Es werden Herstellungsverfahren und die Weiterverarbeitung dargelegt. Neben der Literaturrecherche für die notwendigen Hintergrundinformationen wurde bereits der praktische Versuch konzipiert. Mit den Probekörpern der verschiedenen Hersteller konnte mehrere Testreihen durchgeführt und damit die Versuchsanordnung verfeinert und abgestimmt werden. Nachdem der genaue

Aufbau festgelegt war konnte das Modell für die numerische Simulation erstellt werden um die Berechnung mit den Ergebnissen der praktischen Versuche zu vergleichen.

Problemstellung

Die heutigen technischen Möglichkeiten erlauben eine Produktion von Gläsern, die dünner sind als 3 mm und doch eine relativ hohe Festigkeit und Flexibilität ausweisen. Diese Gläser werden im Allgemeinen als Dünnglas bezeichnet. Die gängigen Verfahren zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit von Glas, beispielsweise der Vierschneiden-Biegeversuch nach der DIN EN 1288 – 3, eignen sich nicht für Dünngläser. Aufgrund der geringen Dicke wird die Durchbiegungsbegrenzung in der Mitte des Probekörpers von $h/5$ um ein Vielfaches überschritten. Zur Auswertung dieser Versuche wird eine lineare Theorie I. Ordnung zugrunde gelegt, die bei den beobachteten Verformungen von Dünnglasprobekörpern nicht mehr angewendet werden kann. Aufgrund der großen Durchbiegungen treten neben Querschubverformungen auch horizontale Lagerkräfte auf, welche in einer Berechnung berücksichtigt werden müssen.

Versuchsaufbau und Durchführung

Infolge dieser Problematik wurde ein Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe eine eindeutige und einfache Bestimmung der Biegezugfestigkeit von Dünnglas möglich ist. Das Hauptproblem beim Vierschneiden-Biegeversuch sind die großen Durchbiegungen, die infolge der Belastung entstehen. Um das zu vermeiden, wird die Glasscheibe nicht senkrecht zu seiner Ebene, sondern parallel dazu beansprucht. Dabei „steht“ die Scheibe senkrecht zum Boden und wird, wie in Abbildung 1 gezeigt, von zwei frei um die y – Achse drehbaren und genau übereinander befindlichen Auflagerrollen gehalten. Diese Rollen haben einen Durchmesser von 50 mm und die Scheiben können genau bis zur Hälfte in

die 400 mm ausgefrästen Schlitze eingesteckt werden. Dabei befindet sich in dem Spalt ein dünner Gummistreifen, welcher verhindert, dass das Glas Kontakt mit dem Metall der Lager hat. Die Kantenlängen der Probekörper sind die gleichen wie beim Vierschneiden-Biegeversuch nach [DIN EN 1288] mit einer Länge von 1100 mm und einer Breite von 360 mm. Zusätzlich erscheint es als sinnvoll, die Dicke der Scheiben zu begrenzen. Mit zunehmendem Querschnitt steigt auch die aufzubringende Knicklast an. Sind die Platten zu dick bzw. infolge ihrer Dicke zu steif, kann ein Überschreiten der Knicklast schon zu einem Versagen bei kleinen Biegungen führen. Durch die aufgebrauchte Vorverformung wird jedoch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieses Verhaltens reduziert. Die Scheiben werden durch eine Kraft längs zu ihrer Ebene beansprucht. Wird die kritische Last F_K überschritten, knickt die Scheibe aus und verbiegt sich (gemäß 2. EULER-Fall). Infolge der Durchbiegung entsteht ein Moment, welches in der Scheibenmitte am größten ist und sich aus

der Kraft und dem Hebelarm der Verschiebung ergibt. Die Belastung wird so lange gesteigert, bis in der Schiebe die ertragbaren Spannungen erreicht werden und es zum Versagen kommt. Somit muss also mindestens die Kraft F und die Durchbiegung in z – Richtung in Scheibenmitte bestimmt werden. Ähnlich wie beim Vierschneiden-Biegeversuch sollte die Inertialbruchstelle innerhalb eines 20 cm breiten Bereichs in Scheibenmitte liegen. Dadurch ist sichergestellt, dass die aus den Messergebnissen bestimmten Spannungen den tatsächlich vorhandenen Spannungen relativ genau entsprechen.

Im Rahmen der Masterarbeit wurden verschiedene Versuchsreihen durchgeführt, um auswertbare Ergebnisse mit dem neuen Verfahren zu erhalten. Dazu wurden Produkte von verschiedenen Herstellern verwendet. Mit Hilfe dieser unterschiedlichen Gläser konnten deutlich Stärken und Schwächen der neuen Anordnung und im Versuchsablauf erkannt und teilweise behoben werden.

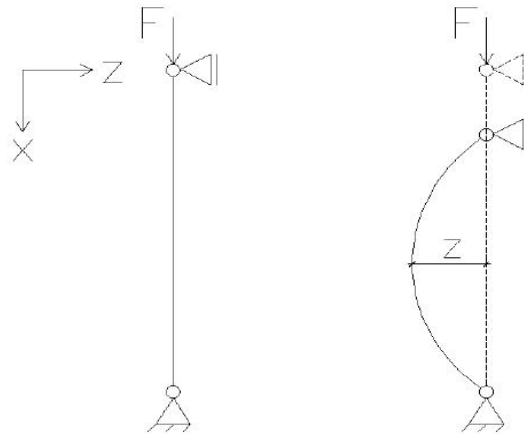


Abbildung 6: Versuchsaufbau (Links), Prinzipskizze des Versuchs (Mitte), Auslenkung durch Kraft F (rechts)

Bei den Versuchen kann mit Hilfe der vom Prüfzylinder aufgetragenen Spannung im Moment infinitesimal vor dem Bruch und der dazugehörigen Durchbiegung in der Mitte der Probe das maximal vorhandene Biegemoment bestimmt werden. Mit diesem ist es wiederum möglich, die Biegezugfestigkeit des Probekörpers zu ermitteln. Aus diesem Grund

werden bei der Versuchsdurchführung Zylinderweg, Zylinderkraft und Durchbiegung für jeden Zeitschritt gemessen und festgehalten. Mit Hilfe dieser Ergebnisse lässt sich der Verlauf der Spannungen bzw. der Spannungsanstieg graphisch darstellen.

Numerisches FEM - Modell

Neben den praktischen Versuchen wurde auch mit Hilfe der computerbasierten Software MARC Mentat 2010 von MSC ein Modell zur Simulation des Versuchs mit der Finiten Element Methode erstellt. Ziel war es das neue Verfahren bestmöglich abzubilden, um die Ergebnisse nachvollziehen zu können. Außerdem sollte eine Möglichkeit geschaffen werden, mit der die Ergebnisse der Versuche überprüft bzw. vorher abgeschätzt werden können.

Zuerst musste eine geeignete Modellierung des Versuches mit den richtigen Einstellungen und Randbedingungen gefunden werden. Dabei sind zum Beispiel die Größe der einzelnen Elemente, die Lagerungsbedingungen und die Materialeigenschaften wichtige Punkte. Anschließend wurden den Modellen verschiedene Elementtypen und Elementklassen zugewiesen und die Resultate miteinander und mit den Ergebnissen aus den praktischen Versuchen verglichen. Das Modell mit den geringsten Abweichungen wurde ausgewählt und genauer betrachtet. Durch beispielsweise die Variation des Elastizitätsmoduls oder der Dicke konnten deutlich deren Einfluss auf das Verhalten und die Biegezugfestigkeit gezeigt werden. Auch die Auswirkungen der Querkontraktionszahl ließen sich hervorheben.

Allgemein ist festzustellen, dass der Versuch zur Überprüfung der Biegezugfestigkeit an Dünnglas funktioniert und plausible Ergebnisse liefert. Dennoch müssen weitere Tests erfolgen, um genauere Aussagen treffen zu können. Mit den vorliegenden Resultaten lässt sich feststellen, welche Bereiche des Versuchsaufbau noch genauer beleuchtet werden müssen, um alle möglichen Einflüsse auf die Ergebnisse zu überprüfen umso exakt wie mögliche Festigkeitswerte ermitteln zu können.

Es hat sich gezeigt, dass mit dem erstellten Modell problemlos Spannungen, Durchbiegungen und Dehnungen bei bestimmten

Zylinderwegen geprüft werden können. Auch wenn infolge der Materialschwankungen der Probekörper die Spannungsverläufe von der numerisch berechneten Kurve abweichen können, so ergibt sich trotzdem derselbe Verlauf mit ähnlichen Werten. In der Abbildung 2 wurden beispielhaft zwei Verläufe der Hauptspannungen mit den Ergebnissen aus der Berechnung mit MARC Mentat gegenübergestellt.

Schlussfolgerung

Allgemein lässt sich sagen, dass der dargestellte Versuch eine verbesserte Möglichkeit zur Überprüfung der Biegezugfestigkeit an Dünnglas darstellt. Aber es müssen weitere Versuche folgen, um die in dieser Arbeit getroffenen Aussagen weiter zu bestätigen und zu untermauern. Das gleiche gilt für das erstellte numerische Modell. Mit diesem exakteren und vereinfachten Verfahren soll es ermöglicht werden, Dünnglas mit seinen Vorteilen leichter im Bauwesen einsetzen und nutzen zu können. Die aus dem geringeren Gewicht resultierende einfachere Handhabung und die verschiedenen Ersparnisse werden sich positiv auswirken.

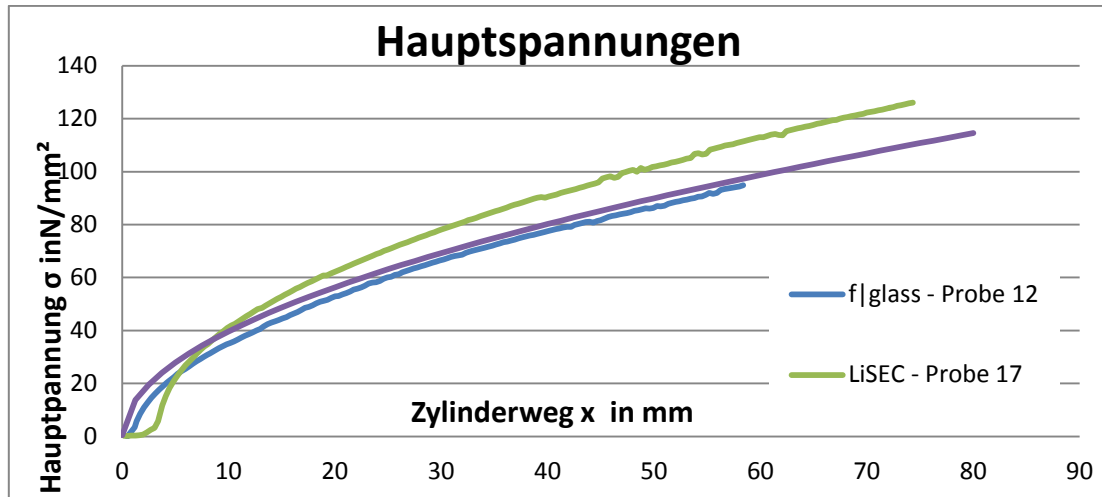


Abbildung 7: Verlaufs der Hauptspannungen aus praktischen Versuchen und der Berechnung von MARC Mentat

Literaturverzeichnis

Für die Arbeit vordergründig verwendete Quellen:

1. **Siebert, Geralt:** *Entwurf und Bemessung von tragenden Bauteilen aus Glas*, 1. Auflage, Ernst und Sohn Verlag, Berlin 2001
2. **DIN EN 1288 - 1-3:** *Glas im Bauwesen – Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas*, deutsche Fassung, 2000
3. **Brünig, Michael:** *Modellbildung in der Werkstoffmechanik*, Vorlesungsskript, Institut für Mechanik und Statik, Professur für Baumechanik, 2012
4. **Rolle, Patrik:** *Dünnglas – Bestimmung der Biegezugfestigkeit durch Versuche*, Universität der Bundeswehr München, Oberseminararbeit, 2013
5. **Doremus, Robert H.:** *Glass Science*, 2nd ed., John Wiley & Sons Inc., New York 1994



Autor

Hannes Spitzhüttl wurde am 04.06.1989 in Erfurt geboren. Nach der allgemeinen Hochschulreife 2007 trat er in die Offiziersausbildung bei der Bundeswehr ein. Von 2009 – 2013 studierte er Bauingenieurwesen und Umwelttechnik an der Universität der Bundeswehr München. Im September 2013 schloss er das Studium in der Vertiefungsrichtung konstruktiver Ingenieurbau als Master of Science ab.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Professur für Bauphysik und Baukonstruktion, Universität der Bundeswehr München, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Geralt Siebert.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.

HOCHSCHULPREIS DES BAYERISCHEN BAUGEWERBES

Masterarbeit

Fabian Strobl

Gegenstand der hier vorgestellten Masterarbeit ist die lineare Theorie von Schalenträgwerken und deren dynamisches Verhalten. Es wird gezeigt, wie die grundlegenden Gleichungen, die das dynamische Verhalten von Schalenträgwerken beschreiben, für die Berechnung der Eigenkreisfrequenzen, Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen bestimmter Schalen ohne die Verwendung von computergestützten Finite-Elemente-Programmen hinreichend genau per Hand gelöst werden können. Die Ergebnisse der Handrechnung der Eigenkreisfrequenzen und Eigenfrequenzen einer beidseitig gelenkig gelagerten, geschlossenen Zylinderschale aus Stahl werden mit den Ergebnissen einer computergestützten Finite-Elemente-Berechnung mit dem Programm RFEM der Firma Ing.-Software DLUBAL GmbH verglichen.

Keywords: Dynamik, Kreiszyinderschale, vereinfachte Gleichungen nach LOVE, Galerkin-Methode für Schalenträgwerke, Finite-Elemente-Methode, Eigenkreisfrequenz, Eigenschwingungsform

1 Einleitung

Platten und Scheiben sind zweidimensionale Flächentragwerke, die mit Hilfe einer ebenen Mittelfläche und der Dicke h beschrieben werden. Für eine beliebig gekrümmte Mittelfläche entstehen gekrümmte Flächentragwerke bzw. Schalen [1]. Schalen sind somit dünnwandige Konstruktionselemente, die in einer oder zwei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen gekrümmt und mit den notwendigen Randgliedern derart versehen sind, dass sich eine räumliche Tragwirkung ergibt [2].

1.1 Problemstellung

Im Laufe der Zeit wurden viele verschiedene Theorien zur Berechnung von Schalenträgwerken entwickelt. Die meisten Theorien basieren auf der grundlegenden Annahme, dass die Schalen zur Vereinfachung als dünne Tragwerke definiert werden [3].

Mit der Entwicklung numerischer Formulierungen zur Lösung der allgemeinen Gleichungen von Schalenträgwerken und der stetig steigenden Rechenleistung bestand jedoch keine Notwendigkeit, weitere geschlossene Lösungen für verschiedene Schalenprobleme zu finden.

Die relativ einfache Anwendung von Finite-Elemente-Programmen zur Untersuchung des statischen und dynamischen Verhaltens von Schalen hat dazu geführt, dass das grundlegende Verständnis der elementaren Schalentheorien für viele Nutzer in den Hintergrund getreten ist.

1.2 Motivation

Mit der vorliegenden Arbeit soll gezeigt werden, wie es möglich ist, das dynamische Verhalten von Schalenträgwerken ohne den Einsatz von computergestützten numerischen Programmen hinreichend genau per Hand zu untersuchen.

Weiterhin wird ein umfassender Einblick in die dynamischen Grundlagen von Schalenträgwerken gegeben. Dieses vertiefte Verständnis ist notwendig, um die in der heutigen Zeit zur Lösung von dynamischen Problemen häufig verwendeten numerischen Verfahren, wie zum Beispiel die Finite-Elemente-Methode effektiv und korrekt einsetzen zu können.

2 Eigenkreisfrequenzen, Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen

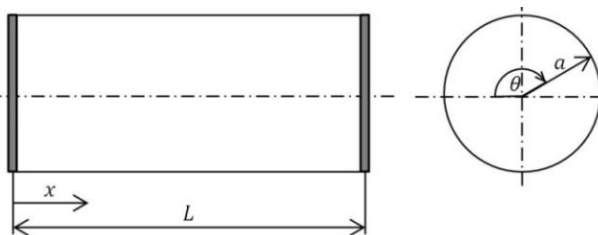


Abb. 1: Beidseitig gelenkig gelagerte, geschlossene Kreiszyklinderschale aus Stahl

Bei der in Abbildung 1 dargestellten Kreiszyklinderschale (Parameter siehe Tabelle 1) handelt es sich um eine beidseitig gelenkig gelagerte, geschlossene Zylinderschale aus Stahl mit den folgenden Randbedingungen

$$u_3(0, \theta, t) = u_3(L, \theta, t) = 0 \quad (1)$$

$$u_\theta(0, \theta, t) = u_\theta(L, \theta, t) = 0 \quad (2)$$

$$M_{xx}(0, \theta, t) = M_{xx}(L, \theta, t) = 0 \quad (3)$$

$$N_{xx}(0, \theta, t) = N_{xx}(L, \theta, t) = 0 \quad (4)$$

Tab. 1: Parameter der Kreiszyklinderschale

Parameter	Variable	Wert
Dicke	h	2 mm
Radius	a	100 mm
Länge	l	200 mm
Elastizitätsmodul	E	$21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$
Dichte	ρ	$7,85 \cdot 10^{-9} \text{ N s}^2/\text{mm}^4$
Querdehnzahl	μ	0,3 /

2.1 Handrechnung mit Hilfe der vereinfachten Gleichungen nach Love

Die Lösungen der Bewegungsgleichungen

$$\begin{bmatrix} \rho h \omega^2 - k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & \rho h \omega^2 - k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & \rho h \omega^2 - k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A \\ B \\ C \end{Bmatrix} = 0 \quad (5)$$

mit Hilfe folgender Gleichungen

$$\omega_{1mn}^2 = -\frac{2}{3} \sqrt{a_1^2 - 3a_2} \cos \frac{\alpha}{3} - \frac{a_1}{3} \quad (6)$$

$$\omega_{2mn}^2 = -\frac{2}{3} \sqrt{a_1^2 - 3a_2} \cos \frac{\alpha + 2\pi}{3} - \frac{a_1}{3} \quad (7)$$

$$\omega_{3mn}^2 = -\frac{2}{3} \sqrt{a_1^2 - 3a_2} \cos \frac{\alpha + 4\pi}{3} - \frac{a_1}{3} \quad (8)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{27a_3 + 2a_1^3 - 9a_1a_2}{2\sqrt{(a_1^2 - 3a_2)^3}} \quad (9)$$

sowie weiterer Gleichungen zur Bestimmung der Parameter a_1 bis a_3 und k_{11} bis k_{33} liefern die Ergebnisse für die Eigenkreisfrequenzen und Eigenfrequenzen der Zylinderschale unter Verwendung der vereinfachten Gleichungen nach Love [4].

Für jede Kombination von m und n erhält man drei Frequenzen, wobei die kleinste Frequenz der Schwingung zugeordnet ist, bei der die Komponente in Querrichtung dominiert. Die zwei anderen Frequenzen sind derjenigen Schwingung zugeordnet, bei der die Verschiebungen in tangentialer Richtung überwiegen.

2.2 Handrechnung nach der Galerkin-Methode für Schalenträgwerke

Die Bewegungsgleichungen der Kreiszyklinderschale nach der Galerkin-Methode lauten

$$\begin{bmatrix} \rho h \omega^2 + k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & \rho h \omega^2 + k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & \rho h \omega^2 + k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ a_{31} \end{Bmatrix} = 0 \quad (10)$$

Durch die Anwendung der Galerkin-Methode auf die Donnell-Mushtari-Vlasov Gleichung für das Beispiel der gelenkig gelagerten, geschlossenen Kreiszylinderschale und unter Verwendung der Vereinfachungen nach Yu lässt sich nach [4] folgende Gleichung zur Berechnung der Eigenkreisfrequenzen ω_{mn} herleiten.

$$\omega_{mn}^2 = \frac{1}{\rho h} \left\{ \frac{Eh\lambda_m^4}{a^2[(n/a)^2 + \lambda_m^2]^2} + D \left[\left(\frac{n}{a} \right)^2 + \lambda_m^2 \right]^2 \right\} \quad (11)$$

Gleichung (11) stellt für $\lambda_m = m\pi/L$ die exakte Lösung der Zylinderschale dar.

2.3 Finite-Elemente Berechnung

Die gelenkig gelagerte, geschlossene Zylinderschale aus Stahl wird mit Hilfe des Finite-Elemente-Programms RFEM der Firma Ing.-Software DLUBAL GmbH im Hinblick auf ihre Eigenschwingungsformen, Eigenkreisfrequenzen und Eigenfrequenzen untersucht.

Dieses Beispiel soll die Abweichungen der Ergebnisse der Handrechnung aus den Abschnitten 2.1 und 2.2 zu den Ergebnissen der computergestützten FEM-Berechnung für ein einfaches Schalentragwerk mit vorgegebenen Randbedingungen aufzeigen.

Bei der untersuchten Zylinderschale lassen sich die Eigenschwingungsformen in Eigenschwingungsformen in Umfangsrichtung, die mit dem Symbol n bezeichnet werden und in Eigenschwingungsformen in axialer Richtung, welche mit dem Symbol m bezeichnet werden, unterteilen.

Die Superposition der Eigenschwingungsformen ist in Abbildung 2 für $n = 0, \dots, 4$ sowie $m = 1, \dots, 5$ dargestellt.

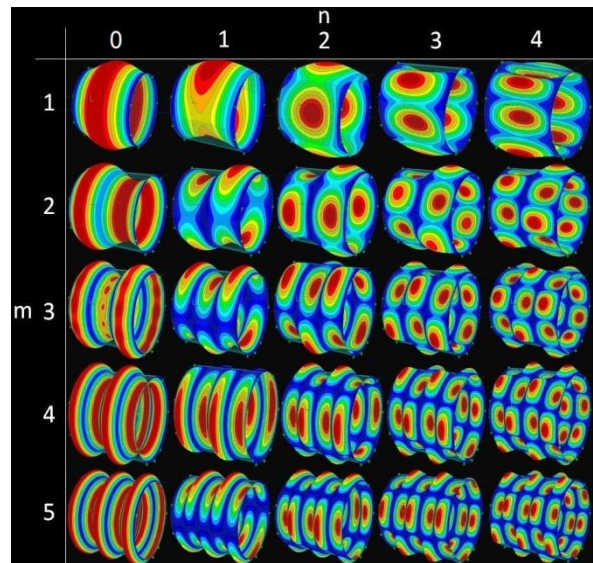


Abb. 2: Superposition der Eigenschwingungsformen der Zylinderschale

2.4 Vergleich der Ergebnisse

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass es bei einfachen Schalentragwerken mit vorgegebenen Randbedingungen möglich ist, die Eigenkreisfrequenzen ω_{imn} und Eigenfrequenzen f_{imn} hinreichend genau per Hand zu berechnen (siehe Tabelle 2).

Anhand des Vergleichs der Ergebnisse der vereinfachten Gleichungen nach Love mit den Ergebnissen der Finite-Elemente-Methode erkennt man, dass die Ergebnisse beider Berechnungsmethoden im Falle einer gelenkig gelagerten, geschlossenen Zylinderschale sehr gut übereinstimmen. Die minimale Abweichung der Ergebnisse beträgt ca. 0,01 Prozent und die maximale Abweichung ungefähr 1,84 Prozent.

Der Vergleich der Ergebnisse der Galerkin-Methode für Schalentragwerke mit den Ergebnissen der Finite-Elemente-Methode zeigt, dass die Ergebnisse beider Berechnungsmethoden für kleinere Werte für n voneinander abweichen, diese Abweichungen jedoch mit immer größer werdenden Werten für n kleiner

werden (siehe Abbildungen 3 und 4). Die minimale Abweichung beträgt ca. |0,12| Prozent, wobei die maximale Abweichung für $n = 1$ bei ca. |18,16| Prozent liegt.

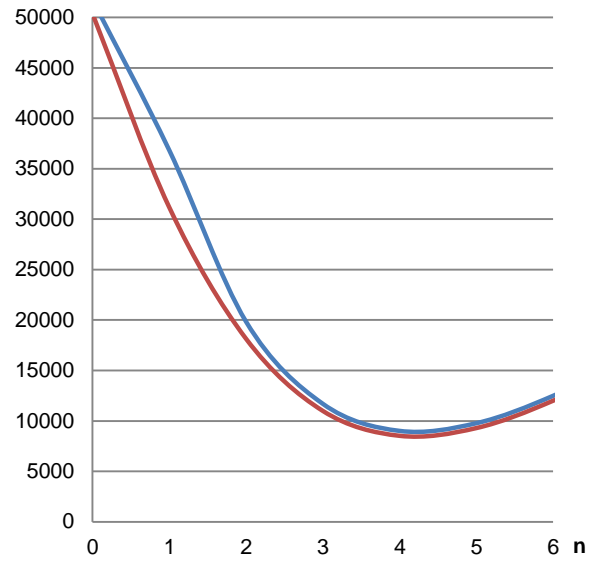
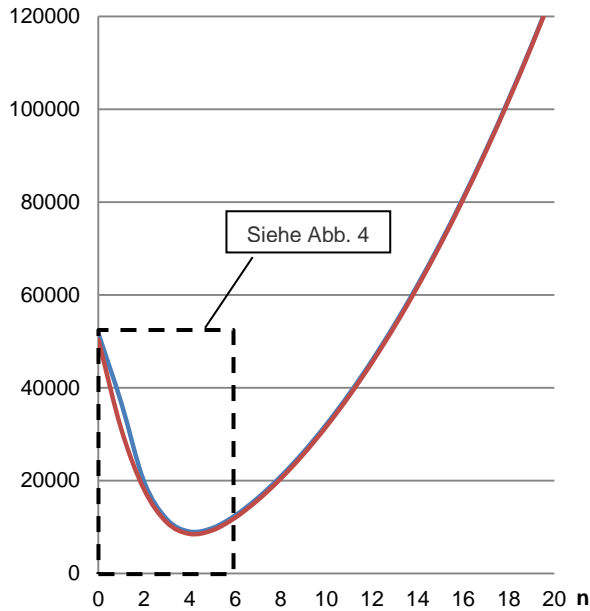


Abb. 4: Vergrößerter Ausschnitt von Abbildung 3

Abb. 3: Vergleich der Eigenkreisfrequenzen ω_{1mn} in rad/sek

Tabelle 2: Tabellarischer Vergleich der Eigenkreisfrequenzen [rad/sek] der verschiedenen Berechnungsmethoden

n	Kapitel 2.1	Kapitel 2.2	Kapitel 2.3	Abweichungen 2.1 zu 2.3 [%]	Abweichungen 2.2 zu 2.3 [%]
	m=1	m=1	m=1		
0	50336,10	51727,71	50362,71	0,05	-2,71
1	31062,46	36821,31	31161,41	0,32	-18,16
2	17804,89	19836,21	18138,29	1,84	-9,36
3	10948,68	11693,45	10990,48	0,38	-6,40
4	8516,78	9009,68	8523,63	0,08	-5,70
5	9292,24	9773,30	9291,32	-0,01	-5,19
6	12005,25	12490,31	12006,23	0,01	-4,03
7	15816,14	16300,82	15821,71	0,04	-3,03
8	20411,98	20895,05	20423,59	0,06	-2,31
9	25691,42	26172,95	25710,72	0,08	-1,80
10	31619,76	32100,10	31648,84	0,09	-1,43
11	38184,00	38663,49	38225,40	0,11	-1,15
12	45378,83	45857,76	45435,58	0,12	-0,93
13	53201,90	53680,53	53277,51	0,14	-0,76
14	61652,14	62130,66	61750,54	0,16	-0,62
15	70729,00	71207,57	70854,54	0,18	-0,50
16	80432,20	80910,96	80589,60	0,20	-0,40
17	90761,61	91240,67	90955,85	0,21	-0,31
18	101717,13	102196,61	101953,39	0,23	-0,24
19	113298,73	113778,72	113582,18	0,25	-0,17
20	125506,38	125986,96	125842,04	0,27	-0,12

3 Schluss

3.1 Zusammenfassung

Im Rahmen der Masterarbeit wurde, ausgehend von der Differentialgeometrie zur Beschreibung von Kurven, Schalenflächen und Schalenträumen, ein umfassender Einblick in die dynamischen Grundlagen dünner Schalenträgerwerke gegeben. Diese Grundlagen sind im Umgang mit numerischen Computerprogrammen, wie zum Beispiel Finite-Elemente-Programmen, von sehr großer Bedeutung.

Weiterhin wurden die Ursprünge zur näherungsweise dynamischen Berechnung von Schalenträgerwerken mit Hilfe verschiedener Methoden erarbeitet sowie ein umfassender Einblick in die vereinfachten Schalengleichungen gegeben.

Der Vergleich der Ergebnisse verschiedener Berechnungsmethoden liefert die Erkenntnis, dass einfache Schalenträgerwerke unter der Voraussetzung einfacher Randbedingungen hinreichend genau per Hand berechnet werden können.

3.2 Ausblick

Diese Erkenntnis spielt zum Beispiel bei der Analysierung und Berechnung windangeregter Schwingungen von schlanken Schornsteinen eine große Bedeutung. In diesem Fall ist die Eigenfrequenz auf sehr kleinem Anregungsniveau und es gibt keine zielführenden Messmethoden, da die Messergebnisse in der Regel unbrauchbar sind.

Weiterhin können die grundlegenden Beziehungen und Gleichungen dieser Arbeit auf weitere Schalenformen, wie zum Beispiel Zylinderschalen mit unregelmäßigem Querschnitt, Torusschalen, Kegel- und Kugelschalen, angewendet werden, um weitere vereinfachte Lösungsformen für in der Praxis häufig vorkommende Schalenträgerwerke zu finden.

Literaturverzeichnis

Im Text zitierte Quellen:

- [1]: Pflüger, Alf. Elementare Schalenstatik. Berlin : Springer-Verlag, 1960.
- [2]: Born, Joachim. Praktische Schalenstatik Band I. Berlin : Ernst & Sohn, 1960.
- [3]: Hoefakker, Jeroen. Theory Review for Cylindrical Shells and Parametric Study of Chimneys and Tanks. Delft : Eburon Academic Publishers, 2010.
- [4]: Soedel, Werner. Vibrations of Shells and Plates. New York : Marcel Dekker, Inc., 2004.



Autor

Fabian Strobl wurde am 16.04.1988 geboren. Er studierte an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm Bauingenieurwesen und schloss dort 2011 mit dem Bachelor of Engineering und 2013 mit dem Master of Engineering ab.

Betreuer

Die Arbeit wurde angefertigt an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg-Simon-Ohm bei Prof. Dr.-Ing. Georg Rothe und Prof. Dr.-Ing Friedo Mosler.

Die Arbeit wurde mit einer Teilnahmeurkunde ausgezeichnet.