

Zukunft Bau

STRUKTUR / GLIEDERUNG KURZBERICHT

Titel

Entwicklung einer ökologischen und ökonomischen Bauweise durch den Einsatz vorgefertigter multifunktionaler Wandbauteile aus gradiertem Beton

Az.: SWD-10.08.18.7-16.48

Anlass/ Ausgangslage

Das Bauwesen steht vor der Herausforderung, für mehr Menschen mit weniger Materialaufwand mehr zu bauen. Dies erfordert die Entwicklung neuer Technologien, die auf ein möglichst leichtes Bauen, die Minimierung des Verbrauchs an fossil erzeugter Energie sowie der vollständigen Rezyklierbarkeit der Bauteile abzielen.

In diesem Kontext bestand das Ziel des Forschungsvorhabens in der Entwicklung von rein mineralischen, multifunktional gradierten Wandbauteilen (Abbildung 1), welche in der Lage sind, die Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Dauerhaftigkeit, das architektonische Erscheinungsbild sowie den Wärmeschutz zu erfüllen. Eine deutliche Massenersparnis, eine signifikante CO₂-Reduktion sowie eine sortenreine Rezyklierbarkeit gegenüber herkömmlichen Massivbauteilen sollten erzielt werden.

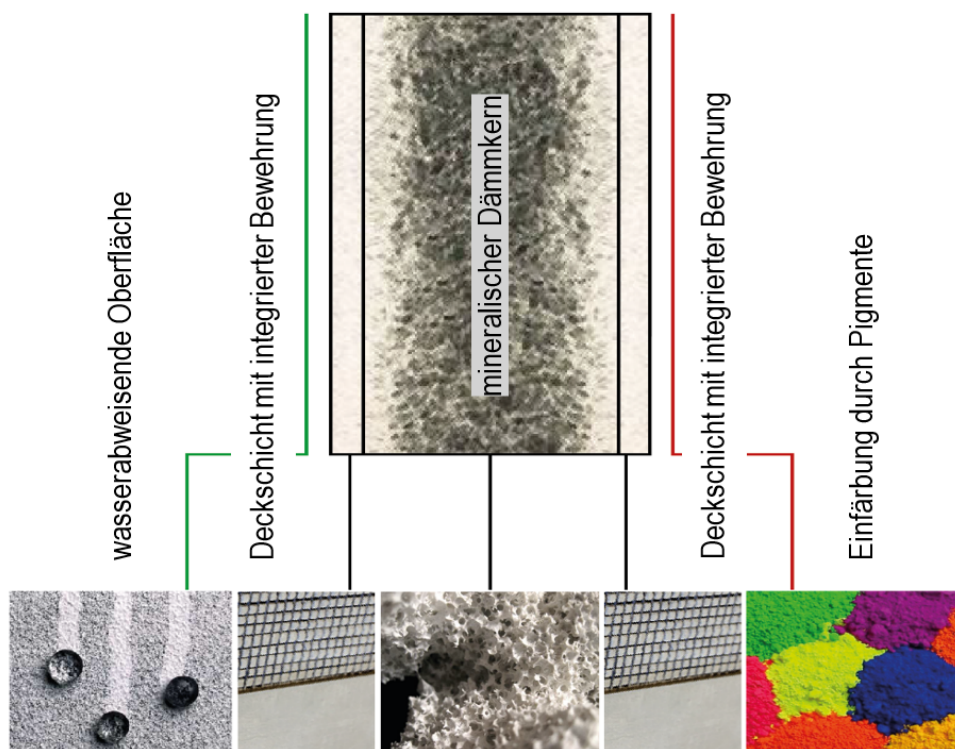


Abbildung 1: Konzeptioneller Aufbau einer multifunktionalen Gradientenwand

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden die Grundlagen zur Werksfertigung von multifunktional gradierten Wandbauteilen erforscht. Dies umfasst die materialspezifischen Anforderungen, die herstellungstechnischen Rahmenbedingungen und die Entwurfs- und Berechnungsmethoden für die Anwendung der Gradierung in Außenwänden.

Basierend auf einer Recherche zum derzeitigen Stand von Forschung und Technik im Bereich wärmedämmender Wandsysteme aus Beton sowie dem aktuellen Forschungsstand des Gradientenbetons konnten die Anforderungen und Entwurfsziele an eine multifunktional gradierte Außenwand festgelegt werden. Die gradierte Wand sollte hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Wärmedämmeigenschaften optimiert werden und dabei eine Wandstärke von 36,5 cm sowie eine flächenbezogene Masse von 500 kg/m² nicht überschreiten. Zudem sollte die Außenwand ebenfalls die relevanten Schall- und Brandschutzanforderungen erfüllen. Um diesen Aspekten gerecht zu werden, wurden zu Beginn des Projekts die normativen Regelungen für die Wandbauteile zusammengetragen, um die Randbedingungen für den Entwurf und die Berechnung der Wandbauteile festlegen zu können.

Aus der Material- und Herstellungstechnologie gradierter Betone ergaben sich zusätzlich Randbedingungen für den Entwurf. Hierbei wurden die bereits entwickelten Herstellungsverfahren wie das schichtweise Gießen sowie das Trocken- und Nassspritzverfahren in Abhängigkeit von den damit erreichbaren Eigenschaftsspektren analysiert sowie deren Einsetzbarkeit zur Herstellung multifunktional gradierter Wandbauteile bewertet. Dabei stellte sich heraus, dass sowohl das Gießverfahren als auch das Nassspritzverfahren unter Weiterentwicklung der wärmedämmenden Betonmischungen potentiell einsetzbar sind. Aufgrund der vorhanden automatisierten Herstellungsplattform wurde das Nassspritzverfahren weitergehend untersucht und erforscht, da bei diesem eine unmittelbare Überführung der Fertigung ins Werk möglich ist. Der Gesamtprozess konnte dabei deutlich weiterentwickelt werden, dies umfasst die Bereitstellung neuer, pumpbarer Leichtbetonrezepturen sowie die Bestimmung verfahrensrelevanter Prozessparameter zur Bauteilherstellung. Trotz umfangreicher Untersuchungen zur Nassspritztechnologie weist das schichtweise Gießen verfahrensbedingte Vorteile auf, wodurch auch Wärmedämmbetone mit sehr niedriger Dichte verarbeiten werden können.

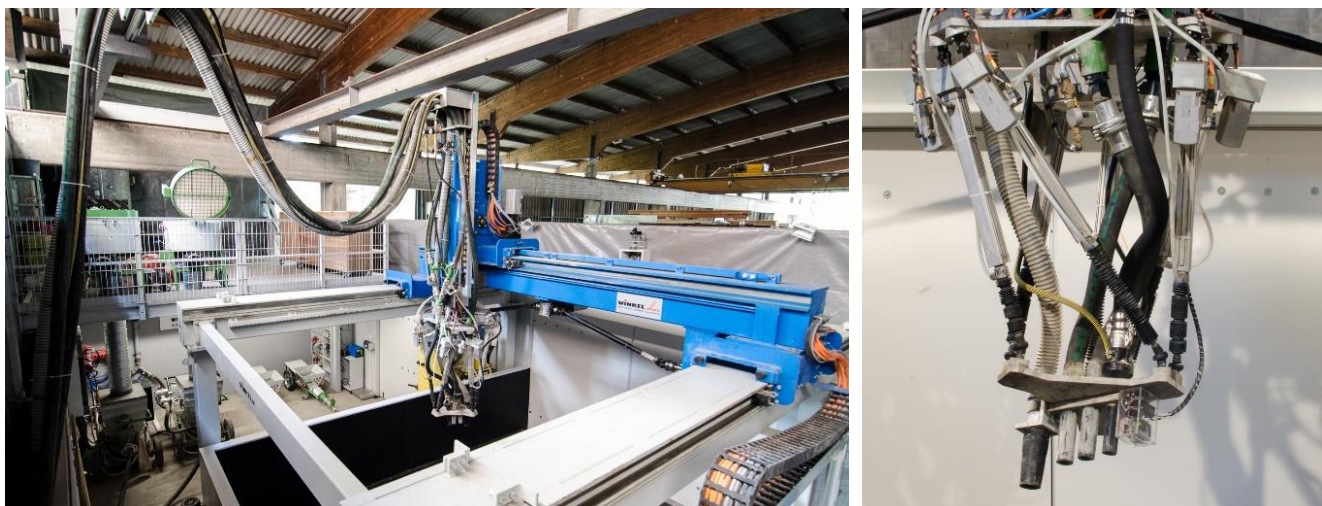


Abbildung 2: Applikationssystem (links) mit Stewart-Gough-Plattform (rechts) zur automatisierten Herstellung von gradierten Betonbauteilen

Parallel zur Weiterentwicklung der Material- und Herstellungstechnologie wurde ein verfahrensunabhängiger Entwurfsansatz zur Bestimmung der optimalen Dichteverteilung im Bauteilinneren aufgestellt. Als Zielfunktion festgelegt wurde die Minimierung des Bauteilgewichts unter Einhaltung der Nebenbedingung des Wärmeschutzes. In einem nachgelagerten Entwurfsschritt werden bei diesem Vorgehen die sekundären Ziele wie Schall- oder Brandschutz überprüft und gegebenenfalls die Materialverteilung angepasst. Als optimales Ergebnis des analytischen Entwurfsansatzes ergibt sich stets ein Sandwichtaufbau bestehend aus zwei hochfesten, tragenden Deckschichten und einem wärmedämmenden Kern. Lediglich die Wandstärke unterscheidet sich in Abhängigkeit der eingesetzten Gradierung. So werden unter Einsatz der Mikrogradierung (Aerogeldämmkern) mit dem Herstellungsverfahren des schichtweisen Gießens Wandstärken zwischen 22 und 26 cm erreicht bei einem Flächengewicht von maximal 280 kg/m². Bei der sogenannten Mesogradierung übernehmen drei Lagen von Hohlkugeln aus Beton die Wärmedämmung. Damit wird ein Flächengewicht der Wand von rund 350 kg/m² bei Wanddicken von 28 cm erzielt.



Abbildung 3: Mesogradierter Wandaufbau (links) und mikrogradierter Wandaufbau (rechts) ausgestellt bei der Messe Bau in München 2019

In skalierten Bauteilversuchen wurde die Tragfähigkeit der Wandbauteile experimentell geprüft, um sowohl die analytischen Entwurfsansätze als auch die numerischen Berechnungsmethoden zu validieren. Hierbei konnte eine hinreichende Genauigkeit zwischen Berechnung und Versuche nachgewiesen werden, wodurch die formulierten Entwurfsansätze bestätigt werden konnten.



Abbildung 4: Bauteilprüfung zu Beginn (links) und am Ende des Versuchs (rechts)

Des Weiteren wurden Ansätze zur konstruktiven Detailausbildung aufgezeigt, die eine Fügung von einzelnen vorgefertigten Betonelementen ermöglichen. Konzeptionell wurden Fügedetails für Wand-Wand-, Wand-Decke- und Wand-Fundament-Anschluss ausgeführt. Diese beinhalten sowohl existierende Lösungen, die auf die vorliegenden Randbedingungen adaptiert wurden, als auch neue Konzepte basierend auf den Vorarbeiten am ILEK. Zusätzlich wurde im Rahmen des Projektes eine Kostenkalkulation für die beiden Entwurfsvarianten der Mikro- und Mesogradierung durchgeführt und mit den am Markt eingesetzten Lösungen verglichen. Hierbei hat sich herausgestellt, dass die entwickelten Ansätze bereits zum jetzigen Forschungsstand eine Alternative zu herkömmlichen Wandsystemen darstellen.

Durch die Herstellung einer Demonstratorwand im Realmaßstab konnten die erzielten Ergebnisse im Projekt validiert und das Potential der Technologie bestätigt werden. Letztlich konnte eine Gewichtsreduktion gegenüber herkömmlichen Massivwänden mit WDVS von rund 60 % erreicht werden bei gleicher Leistungsfähigkeit und sortenreiner Rezyklierfähigkeit.



Abbildung 5: Ansicht (links) und Isometrie (rechts) des Funktionsmusters einer mikrogradierten Sandwichwand

Fazit

Das Ziel des Forschungsprojektes konnte durch die Entwicklung von rein mineralischen multifunktional gradierten Wandbauteilen, welche den tragstrukturellen und bauphysikalischen Anforderungen gerecht werden, erreicht werden. Hierzu konnten sowohl die Berechnungsansätze auf der Basis normativer Regelungen formuliert und validiert werden, als auch die zielführenden Verfahren zur Bauteilherstellung identifiziert und weiterentwickelt werden. Zum Abschluss des Projektes konnte mit der Technologie eine Masseneinsparung von rund 60 % gegenüber Massivwänden mit Wärmedämmverbundsystem erzielt werden, bei vergleichbaren Baukosten. In nachfolgenden Projekten gilt es die erzielten Lösungen final zu erforschen und weiterführende Versuche durchzuführen, um die Technologie letztlich praxisreif zu machen.

Eckdaten

Kurztitel: Vorgefertigte funktional gradierte Wandbauteile

Universität Stuttgart
Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK)
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek
Dr. Ing. Walter Haase (Projektleitung)
M.Sc. Daniel Schmeer

Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB)
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
M.Sc. Olga Arkhipkina

Institut für Systemdynamik (ISYS)
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Oliver Sawodny
M.Sc. Benjamin Schuler

Gesamtkosten: 432.757,96 € €

Anteil Bundeszuschuss: 278.412,92 €

Projektlaufzeit: 01.11.2016 – 28.02.2019 (27 Monate)

Bilder

Bild 1: Konzeptioneller Aufbau einer multifunktionalen Gradientenwand.tif
Bildunterschrift: Konzeptioneller Aufbau einer multifunktionalen Gradientenwand
Bildnachweis: ILEK, Universität Stuttgart

Bild 2 (links): Applikationssystem.tif
Bild 2 (rechts): Stewart-Gough-Plattform.tif
Bildunterschrift: Konzeptioneller Applikationssystem (links) mit Stewart-Gough-Plattform (rechts) zur automatisierten Herstellung von gradierten Betonbauteilen
Bildnachweis: ILEK, ISYS, IWB, Universität Stuttgart

Bild 3: Wände Messe Bau.tif
Bildunterschrift: Mesogradierter Wandaufbau (links) und mikrogradierter Wandaufbau (rechts) ausgestellt bei der Messe Bau in München 2019
Bildnachweis: Stephan Görlich Fotografie

Bild 4 (links): Bauteilprüfung_1.tif
Bild 4 (rechts): Bauteilprüfung_2.tif
Bildunterschrift: Bauteilprüfung zu Beginn (links) und am Ende des Versuchs (rechts)
Bildnachweis: ILEK, Universität Stuttgart

Bild 5 (links): Ansicht Sandwichwand.tif
Bild 5 (rechts): Isometrie Sandwichwand.tif
Bildunterschrift: Ansicht (links) und Querschnitt (rechts) des Funktionsmusters einer mikrogradierten Sandwichwand
Bildnachweis: ILEK, Universität Stuttgart