

Gradientenwerkstoffe im Bauwesen

Langfassung Titel:

Herstellungsverfahren und Anwendungsbereiche für funktional gradierte Bauteile im Bauwesen

Az.: Z6-10.08.18.7-08.37

Anlass/ Ausgangslage



(Bild 1: Gradiertes PUR-Schaum in Polyesterharz, Quelle: ILEK)

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, das Konzept der funktionalen Materialgradierung, welches bereits erfolgreich in anderen Ingenieurdisziplinen wie der Luft- und Raumfahrttechnik [1] eingesetzt wird, auf das Bauwesen zu übertragen.

Funktional gradierte Bauteile weisen eine kontinuierliche Eigenschaftsänderung in ihrem Querschnitt auf (Bild 1). Die variierende Eigenschaft kann die Porosität/Dichte, der Fasergehalt oder das Materialmischungsverhältnis (Legierung/Blend) sein.

Durch die Gradierung wird eine höhere Materialeffizienz erreicht, indem die Materialkomposition den lokalen Anforderungen angepasst wird, anstatt ein ganzes Bauteil nach seiner am höchsten beanspruchten Stelle zu bemessen oder es entsprechend zu formen.

Der fließende (gradierte) Phasenübergang beseitigt die Schwachstelle wie z.B. unterschiedliche thermische Ausdehnungen an der Grenzfläche von Funktionsschichten und ermöglicht so verschiedene funktionale Zonen in einem Bauteil aus einem einzigen Material. Poröse Bereiche verbessern die Wärmedämmung, ein dichtes Gefüge bietet Wasserdichtigkeit und Festigkeit, lokale Faserverstärkungen finden sich in Bereichen erhöhter Beanspruchung.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden für verschiedene Baustoffklassen (Beton, Textilien, Holz, Metalle, Polymere) mögliche Herstellungsverfahren und Anwendungsfelder (Tragstruktur, Gebäudehülle, Verbindungstechnik) für funktional gradierte Bauteile untersucht und bewertet.

Nach der Bewertung der potentiellen Herstellungsverfahren und deren Anwendbarkeit im Bauwesen folgten erste Versuche zur Fertigung von Prototypen und Musterbauteilen. Diese wurden auf die jeweils relevanten Materialkenngrößen geprüft. Hierbei wurden sowohl statische als auch bauphysikalische Prüfungen durchgeführt.

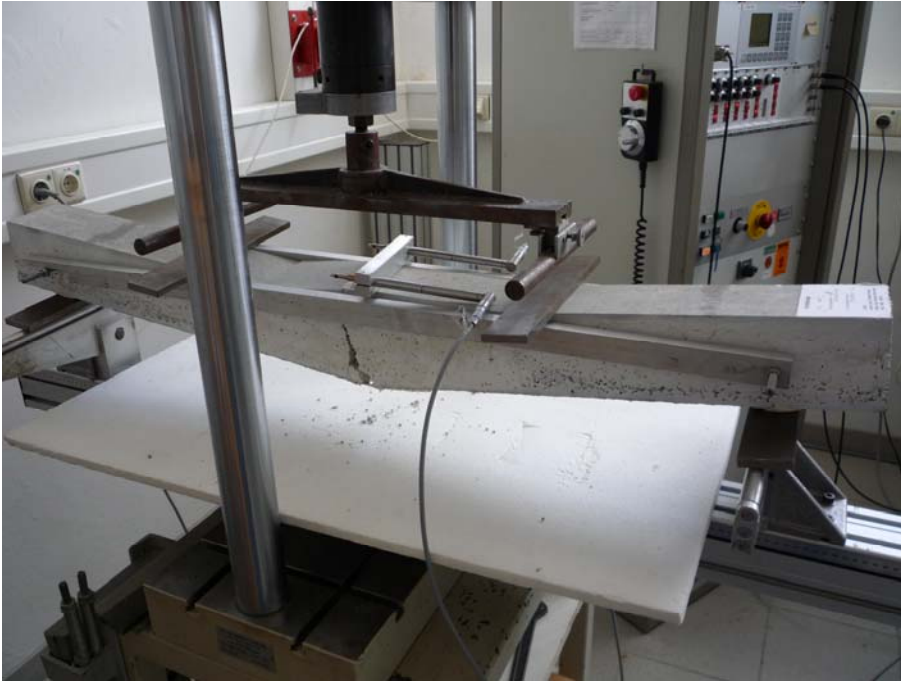
Weiterhin war Ziel des Vorhabens die neuen gestalterischen Möglichkeiten der Gradientenwerkstoffe auch von architektonischer Seite zu bewerten und Vorschläge für deren Einsatzbereiche zu erarbeiten.

Beton



(Bild 2 oben: Dichtegradierte Porenbetonprobe, Quelle: ILEK;
Bild 2 unten: Homogene Betonmischungen in Stufen gradierter Dichte zur Materialprüfung [2] , Quelle: ILEK)

Die Arbeit mit dem Konstruktionswerkstoff Beton bildete aufgrund des dominierenden Anteils dieses Baustoffs im Bauwesen und des hieraus resultierenden Material- und Energieeinsparpotentials den Schwerpunkt bei diesem Forschungsvorhaben (Bild 2). Die Relevanz der notwendigen Material- und CO₂-Ersparnis im Betonbau wurde durch direkte Rückmeldung mehrerer führender Unternehmen der Branche, die als Kooperationspartner am Forschungsprojekt beteiligt sind, bestätigt.



(Bild 3: Vierpunkt-Biegeversuch einer funktional gradierten Elementdecke, Quelle: ILEK)

Im ersten Schritt wurden die materialtechnologischen Grundlagen für Betone mit variierender Porosität und demzufolge variierender Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit und Steifigkeit gelegt (Bild 2 unten). Es konnten Mischungen entwickelt werden, die ein Eigenschaftsspektrum von hochfest bis ultraleicht (Rohdichte $<400 \text{ kg/m}^3$) abbilden. Durch die Verwendung hochporöser mineralischer Zuschläge konnte eine Betonmischung entworfen werden, deren Wärmeleitfähigkeit noch unter der von EPS (z.B. Styropor) liegt. Dieser außergewöhnliche Leichtbeton ermöglicht es, durch das Konzept der Materialgradierung rein mineralische Betonaußenwände mit geringerer Dicke als bei vergleichbar leistungsfähigen Wärmedämmverbundsystemen zu erzielen und dies bei besserer Rezyklierbarkeit und deutlicher Ressourcen- und Massenersparnis.

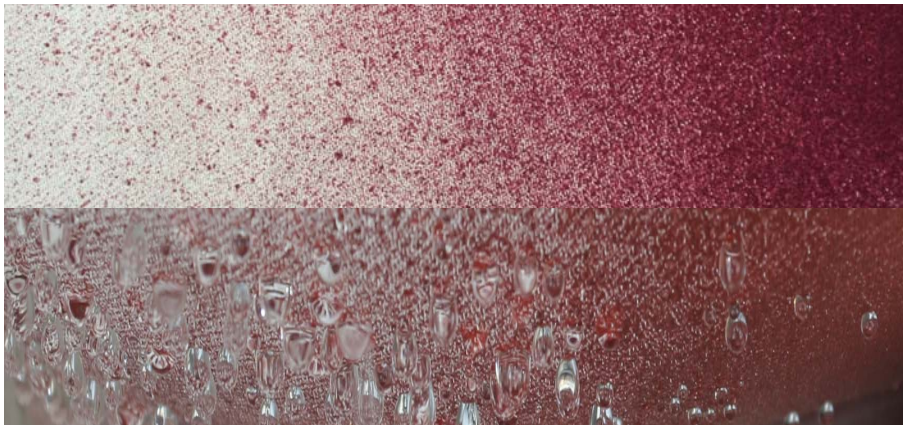
Im zweiten großen Anwendungsbereich, den Geschosdecken, konnte außerdem gezeigt werden, dass durch eine beanspruchungsgemäße Variation der Betondichte im Bauteilquerschnitt bei gleicher Tragfähigkeit über 60% an Masse eingespart werden kann (Bild 3). Mit der Massenersparnis geht somit eine Zementersparnis und eine CO₂-Reduktion der gleichen Größenordnung einher.

Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Herstellungstechnik dar. Im Rahmen des Projektes wurden Verfahren zur Herstellung verschiedener Bauteilgeometrien sowie für ein-, zwei- und dreiaxige Eigenschaftsverläufe konzipiert und in ersten Versuchen erprobt.

Weitere Materialien

Textilien mit fließenden Beschichtungsverläufen ermöglichen sowohl eine Gradierung der Permeationseigenschaften (Bild 4) als auch der Materialsteifigkeit. So ließen sich beispielsweise Feuchtetransportprozesse innerhalb einer kontinuierlichen Gebäudehülle lokal unterschiedlich definieren, wie es bei Funktionsbekleidung be-

reits Stand der Technik ist. Durch fließende Steifigkeitsverläufe kann die bisher vorherrschende Trennung zwischen steifen und flexiblen Bauteilen aufgehoben werden, was zu völlig neuen architektonischen Lösungen führen kann.



(Bild 4 oben: Auftragsgradient an Silikonbeschichtung (Glasfaser-gewebe), Quelle: ILEK)

(Bild 4 unten: Permeationsgradient bei Belastung mit einer definierten Wassersäule, Quelle: ILEK)

Mittels eines Gradierungsverfahrens konnten offenzellige Schaumstoffkörper mit fließenden Porositätsverläufen hergestellt werden. Durch Infiltration mit einer zweiten Phase lassen sich diese Schaumstoffe zu Bauteilen mit anforderungsgemäßer Steifigkeitsverteilung weiterverarbeiten (Bild 5).



(Bild 5: Mit Zement graduell infiltrierter PUR-Schaum, Quelle: ILEK)

Ein weiterer Aspekt der Gradiententechnologie ist das Ziel, verschiedene Materialien in einen fließenden, nahtlosen Übergang zu bringen (Bild 6). Dies ist vor allem ein neuer Ansatz der Verbindungstechnik, wobei unterschiedliche thermische Ausdehnungen durch den kontinuierlichen Übergang weniger stark lokal ausgeprägt sind oder punktuelle Lasteinleitungen vermieden werden können. Im Rahmen des Projekts wurden erste Untersuchungen bezüglich baurelevanter Materialklassen, Anwendungspotentiale und möglicher Herstellungsverfahren durchgeführt.



(Bild 6: Konzeptillustration: Fließende Materialübergänge (Holz-Metall), Fotomontage, Quelle: ILEK)

Fazit

Das Konzept der funktionalen Materialgradierung birgt großes, bisher unerschlossenes Potential der Materialersparnis und somit der Ressourcenschonung. Überdies können die verbesserten bauphysikalischen und tragstrukturellen Eigenschaften einen zusätzlichen Beitrag zur Material- und Energieeinsparung leisten [3]. Im Bereich der Verbindungstechnik können durch fließende Materialübergänge bisher existierende Schwachstellen vermieden werden.

Auf der anderen Seite ergeben sich auch neue gestalterische Möglichkeiten, da die Bauteilformen nicht länger der Logik homogener Materialien und deren homogenen Eigenschaften untergeordnet werden. Wurde bisher vor allem das Optimierungskonzept der "materialgerechten Formgebung" verfolgt, so ebnet dieses Forschungsvorhaben den Weg für das neue Konzept der "formgerechten Materialgebung" [4]. Dies kann der deutschen Baukultur einen wichtigen Impuls geben, den großen ökologischen Herausforderungen unserer Zeit zu begegnen und damit weiter an internationalem Ansehen zu gewinnen.

Eckdaten

Kurztitel: Gradientenwerkstoffe im Bauwesen

Universität Stuttgart
Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren

Forscher:
Dipl.-Ing. Pascal Heinz
Dipl.-Ing. Michael Herrmann
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Werner Sobek

Projektleiter:
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Werner Sobek

Gesamtkosten: 164.000,00 €

Anteil Bundeszuschuss: 109.500,00 €

Projektlaufzeit: März 2009 bis Februar 2011

Literatur

- [1] Kieback, B. Neubrand, A.; Riedel, H.: Processing techniques for functionally graded materials, *Materials Science & Engineering A*, (2003), 362, 81-105.
- [2] Heinz, P. Herrmann, M.; Sobek, W.: Herstellungsverfahren und Anwendungsbereiche für funktional gradierte Bauteile im Bauwesen, Abschlussbericht Forschungsinitiative Zukunft Bau (1/2011), Stuttgart: ILEK, Februar 2011.
- [3] Sobek, W.: Zum Entwerfen im Leichtbau, *Bauingenieur*, (1995), 70, 7-8.
- [4] Heinz, P.: Gradientenwerkstoffe und Architektur, Universität Stuttgart, Diplomarbeit, April 2007.

BILDER/ ABBILDUNGEN:

Bildnachweis jeweils: Alle ILEK

Bild 1:

Bild 1 Gradierter PUR-Schaum.tif

Bildunterschrift:

(Bild 1: Gradierter PUR-Schaum in Polyesterharz, Quelle:ILEK)

Bild 2:

Bild 2 oben Dichtegradierete Porenbetonprobe.tif

Bild 2 unten Homogene Betonmischung.tif

Bildunterschrift:

(Bild 2 oben: Dichtegradierete Porenbetonprobe, Quelle: ILEK;
Bild 2 unten: Homogene Betonmischungen in Stufen gradierter Dichte zur Materialprüfung [2] , Quelle: ILEK)

Bild 3:

Bild 3 Vierpunkt Biegeversuch.tif

Bildunterschrift:

(Bild 3: Vierpunkt-Biegeversuch einer funktional gradierten Elementdecke, Quelle: ILEK)

Bild 4:

Bild 4 oben Glasfasergewebe mit Silikonverlauf.tif

Bild 4 unten Permeationsgradient.tif

Bildunterschrift:

(Bild 4 oben: Auftragsgradient an Silikonbeschichtung (Glasfasergewebe), Quelle: ILEK
Bild 4 unten: Permeationsgradient bei Belastung mit einer definierten Wassersäule, Quelle: ILEK)

Bild 5:

Bild 5 Mit Zement graduell infiltriert.tif

Bildunterschrift:

(Bild 5: Mit Zement graduell infiltrierter PUR-Schaum, Quelle: ILEK)

Bild 6:

Bild 6 Vision Fließende Materialübergänge.tif

Bildunterschrift:

(Bild 6: Konzeptillustration: Fließende Materialübergänge (Holz-Metall), Fotomontage, Quelle: ILEK)