

Leichtbau im Bauwesen

Ein Praxis-Leitfaden zur Entwicklung und Anwendung
ressourcen- und emissionsreduzierter Bauprodukte



Sehr geehrte Damen und Herren,

Leichtbauwerkstoffe und -materialien spielen eine entscheidende Rolle, um mit weniger Gewicht eine höhere Belastbarkeit und bessere Funktionalität zu erreichen. Der Leichtbau gilt als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts und hilft dabei, die Wirtschaft nachhaltiger zu gestalten. Während diese Technologie im Fahrzeugbau und der Luft- und Raumfahrtindustrie bereits seit langem fest verankert ist, steht das Thema in der Bauwirtschaft erst seit kurzem wieder verstärkt im Fokus.

Der vorliegende Praxis-Leitfaden ist das Ergebnis einer engen Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft. Er zeigt gezielt die Anwendungsbereiche des Leichtbaus in der Bauwirtschaft auf, die sowohl wirtschaftlich tragfähig als auch ökologisch vorteilhaft sind. Zahlreiche Unternehmen und Verbände haben die Forscher dabei unterstützt, die konkreten Bedürfnisse und Herausforderungen insbesondere kleiner und mittlerer Unternehmen herauszuarbeiten.

Als Wirtschafts- und Bauministerin ist es mein Ziel, unsere mittelständisch geprägte Bauwirtschaft darin zu unterstützen, den sich abzeichnenden Strukturwandel aktiv zu gestalten. Durch Building Information Modeling (BIM) hat die Digitalisierung auch auf die Bauwirtschaft zunehmend Einfluss. Innovative Produktionsverfahren wie die Modulbauweise oder die additive Fertigung können die Art und Weise, wie wir Gebäude planen, errichten, nutzen und recyceln deutlich verändern.

Dieser Wandel ist eine Chance für Baden-Württemberg. Als Technologieführer können wir die Wettbewerbsfähigkeit unserer Bauwirtschaft erhöhen und durch effizienteres Bauen Kosten senken. Lassen Sie uns diese Chance gemeinsam nutzen!

Nicole Hoffmeister-Kraut

Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut MdL
Ministerin für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau des Landes Baden-Württemberg

Vorwort 02

Kurzfassung 04



Einführung 05

- › LEICHTBAU IM BAUWESEN 05
- › LEICHTBAUANWENDUNGEN 07
- › BETRACHTETE LEICHTBAUPRODUKTE 09
- › AUFBAU DES PRAXIS-LEITFADENS 09
- › DER PROJEKTBEIRAT 09



Anwendungen 10

- › ANGEWANDTE BEWERTUNGSMETHODEN 10



Gradientenbeton 11

- › STECKBRIEF 12
- › KONTAKT 12
- › ANWENDUNG VON GRADIENTENBETON AM BEISPIEL EINER GESCHOSSDECKE 13
- › POTENZIALE FÜR DIE BAUBRANCHE 14



Holzmodulbauweise 15

- › STECKBRIEF 16
- › KONTAKT 16
- › ANWENDUNG VON HOLZMODULBAU AM BEISPIEL EINER AUSSENWAND 17
- › POTENZIALE FÜR DIE BAUBRANCHE 20



Textile Gebäudehüllen 21

- › STECKBRIEF 22
- › KONTAKT 22
- › ANWENDUNG VON TEXTILEN GEBÄUDEHÜLLEN AM BEISPIEL EINES PROTOYPISCHEN TEXTILEN FASSADENMODULS 23
- › POTENZIALE FÜR DIE BAUBRANCHE 24



Zusammenfassung und Ausblick 25

Literaturverzeichnis 27

Impressum 27

Kurzfassung

Das Bauwesen trägt heute zu 50 % bis 60 % des globalen Ressourcenverbrauchs bei. Die weltweit wachsenden Bevölkerungszahlen, die Endlichkeit von Ressourcen sowie die globale Erwärmung durch Treibhausgasemissionen führen zu erheblichen Veränderungen der Rahmenbedingungen für die Baubranche. Durch innovative Leichtbaukonstruktionen können nicht nur der Materialverbrauch und die Kosten für Baumaterialien, sondern auch der Ausstoß von Treibhausgasemissionen sowie das Abfallaufkommen gesenkt werden. Die Entwicklung von Leichtbauprodukten ist somit eine Notwendigkeit. Sich dieser Herausforderung zu stellen, eröffnet gleichzeitig Chancen und Potenziale für die Baubranche.

Der vorliegende Praxis-Leitfaden soll die Baubranche unterstützen, sich über Leichtbauweisen zu informieren und diese in die Praxis einzubringen. Er richtet sich an Bauherren, Architekten/Planer und Hersteller von Bauprodukten und stellt eine Kommunikationsbasis zur gemeinsamen Umsetzung von Leichtbauprodukten zur Verfügung.

Die ökologischen und ökonomischen Potenziale von Leichtbauanwendungen für das Bauwesen werden anhand der drei Leichtbauweisen Gradientenbeton, Holzmodulbauweise und textile Gebäudehüllen identifiziert. Die Beschreibung der Leichtbauweisen folgt dabei dem folgenden Ablauf:

- › **Grundlagen zur Leichtbauweise**
- › **Steckbrief der Leichtbauweise, der dem Anwender auf einen Blick die wichtigsten technischen, ökologischen und ökonomischen Aspekte für eine erfolgreiche Umsetzung bereitstellt**
- › **Anwendungsbeispiel, das die ökologischen und ökonomischen Vorteile der Leichtbauweise gegenüber aktuell verfügbaren Referenzprodukten aufzeigt**
- › **Potenziale der Anwendung der Leichtbauweise für die Baubranche in Baden-Württemberg**

Die diesem Leitfaden zugrunde gelegte Lebenszyklusperspektive ermöglicht eine ganzheitliche Analyse der Potenziale der Leichtbauweisen. Für alle exemplarisch betrachteten Leichtbauprodukte ergeben sich ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber den marktüblichen Referenzprodukten. Durch die Anwendung der Leichtbauweisen verringert sich der Ressourcenverbrauch signifikant. Der Einsatz von Leichtbau führt darüber hinaus zu einer Senkung der Treibhausgasemissionen sowie der Material- und Energiekosten.

Für die Baubranche in Baden-Württemberg ergeben sich durch die innovativen Leichtbauweisen große Zukunftspotenziale. Neben den ökologischen und ökonomischen Vorteilen verfügen die Leichtbauweisen über einen hohen Vorfertigungsgrad. Die so ermöglichte Werksfertigung der Leichtbauprodukte bringt eine gesteigerte Bauqualität mit sich, die die Qualität der Referenzprodukte übertreffen kann. Zusätzlich wird eine Steigerung der regionalen Wertschöpfung unter dem Einsatz heimischer Rohstoffe und das Schließen von Stoffkreisläufen ermöglicht. Durch die Anwendung der Leichtbauweisen kann sich die Bauindustrie einen Technologievorsprung verschaffen, der gleichzeitig ökologische und ökonomische Einsparungen mit sich bringt.



Olympiastadion München (Quelle: ILEK Bildarchiv)



Stuttgarter SmartShell (Quelle: ILEK, Foto: Gabriela Metzger)

Einführung



LEICHTBAU IM BAUWESEN

Schon vor über 75 Jahren postulierte der Stuttgarter Bauingenieur und Leichtbaupionier Fritz Leonhardt die These, dass „Leichtbau – eine Forderung unserer Zeit“ sei [Leonhardt, 1940]. Dies wird umso mehr durch die Tatsache deutlich, dass das Bauwesen heute zu 50 % bis 60 % des globalen Ressourcenverbrauchs beiträgt [Sobek, 2014]. Unter Anbetracht weltweit wachsender Bevölkerungszahlen und der Endlichkeit von Ressourcen führt dies zu erheblichen Veränderungen der Rahmenbedingungen für die Baubranche. Der Trend zur Urbanisierung ist gleichzeitig ungebrochen: Schon heute wohnen 54 Prozent der Menschen in Städten, bis zum Jahr 2050 sollen es laut Prognosen rund 70 Prozent sein – das heißt, in den kommenden dreißig Jahren werden über 1,2 Milliarden Menschen dem ländlichen Raum den Rücken kehren und in Städte ziehen [Vereinte Nationen, 2014]. Das hat auch zur Folge, dass im Zuge dieser Umwandlung Ressourcen wie Baumaterialien, freie Flächen und Energie verbraucht werden. Das Thema Umwelt spielt dabei eine zentrale Rolle, denn allein die Produktion von Zement verursacht rund fünf Prozent der globalen CO₂-Emissionen [CDIAC, 2014]. Hier lässt sich mit innovativen Leichtbaukonstruktionen ein großer Fortschritt erzielen, denn es können nicht nur der Materialverbrauch und die Kosten für Baumaterialien, sondern im gleichen Zug auch der Ausstoß von Treibhausgasemissionen gesenkt werden. Die Entwicklung von Leichtbauprodukten ist somit eine Notwendigkeit. Sich dieser Herausforderung zu stellen, eröffnet gleichzeitig Chancen und Potenziale, die genutzt werden sollten.

Im Projekt „Leichtbau im Bauwesen“, das vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg gefördert wurde, untersuchten daher das Fraunhofer-Institut für Bauphysik und das Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren der Universität Stuttgart mit Unterstützung der Leichtbau BW GmbH, welche Potenziale sich aus ökologischer und ökonomischer Sicht aus Leichtbauanwendungen für die Baubranche in Baden-Württemberg ergeben.

Hauptziel der Leichtbauweise ist die drastische Reduktion von Masse unter Beibehaltung der Eigenschaften vergleichbarer konventioneller Bauweisen bis hin zur Integration von zusätzlichen Funktionen.

Wurde Leichtbau früher zur Überbrückung großer Spannweiten und zum Erreichen großer Höhen eingesetzt, so ist Leichtbau heute zwingend erforderlich, um die verbaute Masse einer tragenden Konstruktion zu reduzieren und folglich Ressourcen einzusparen und nicht rezyklierbare Abfälle zu vermeiden. Der Leichtbau lässt sich grundsätzlich in drei Kategorien, den Material-, den Struktur- und den Systemleichtbau, untergliedern [Sobek, 1995]. Beim Entwerfen von Leichtbaukonstruktionen können diese auf unterschiedliche Art miteinander kombiniert werden.

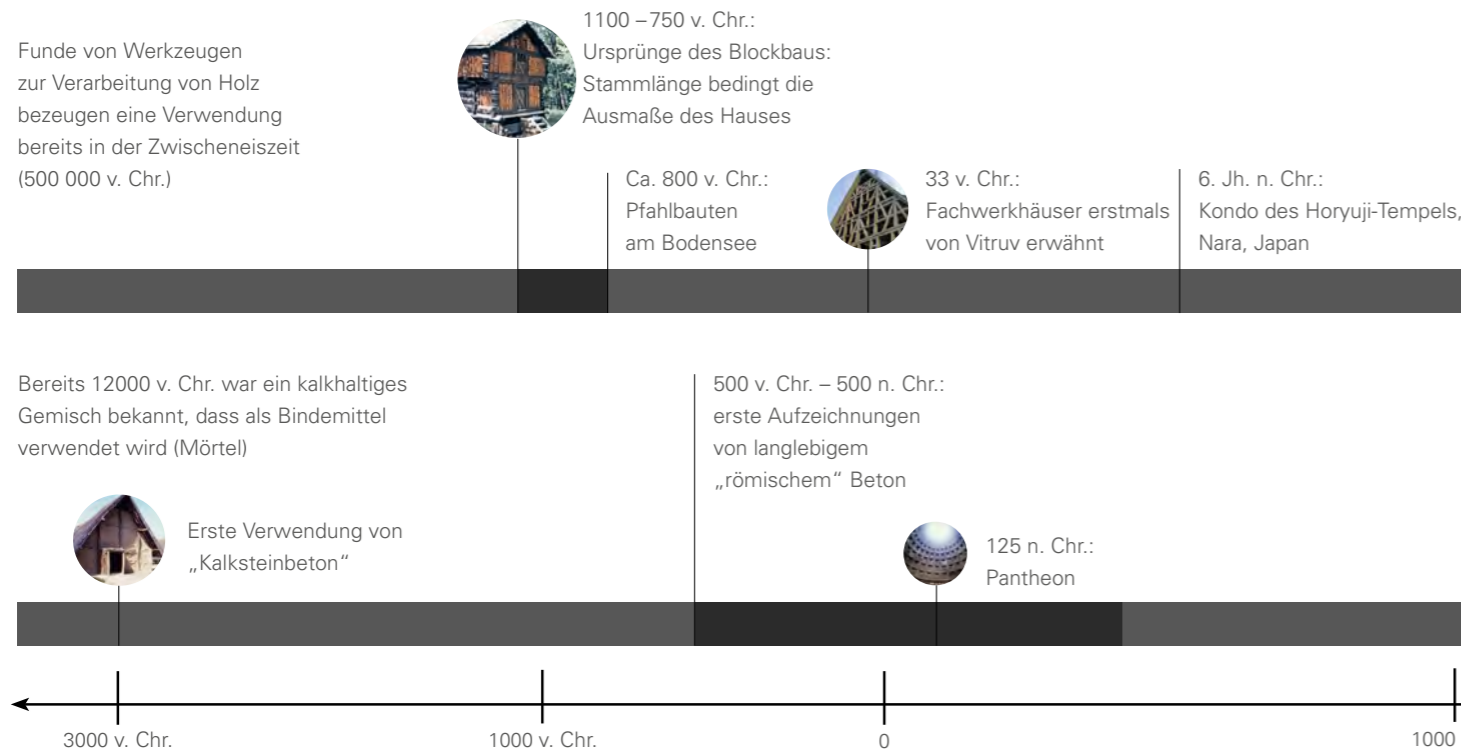


Prof. Werner Sobek, ILEK:
„Baden-Württemberg ist die Wiege des Leichtbaus im Bauwesen. Mit unserer Innovationskraft können wir auch die Zukunft des Leichtbaus gestalten.“

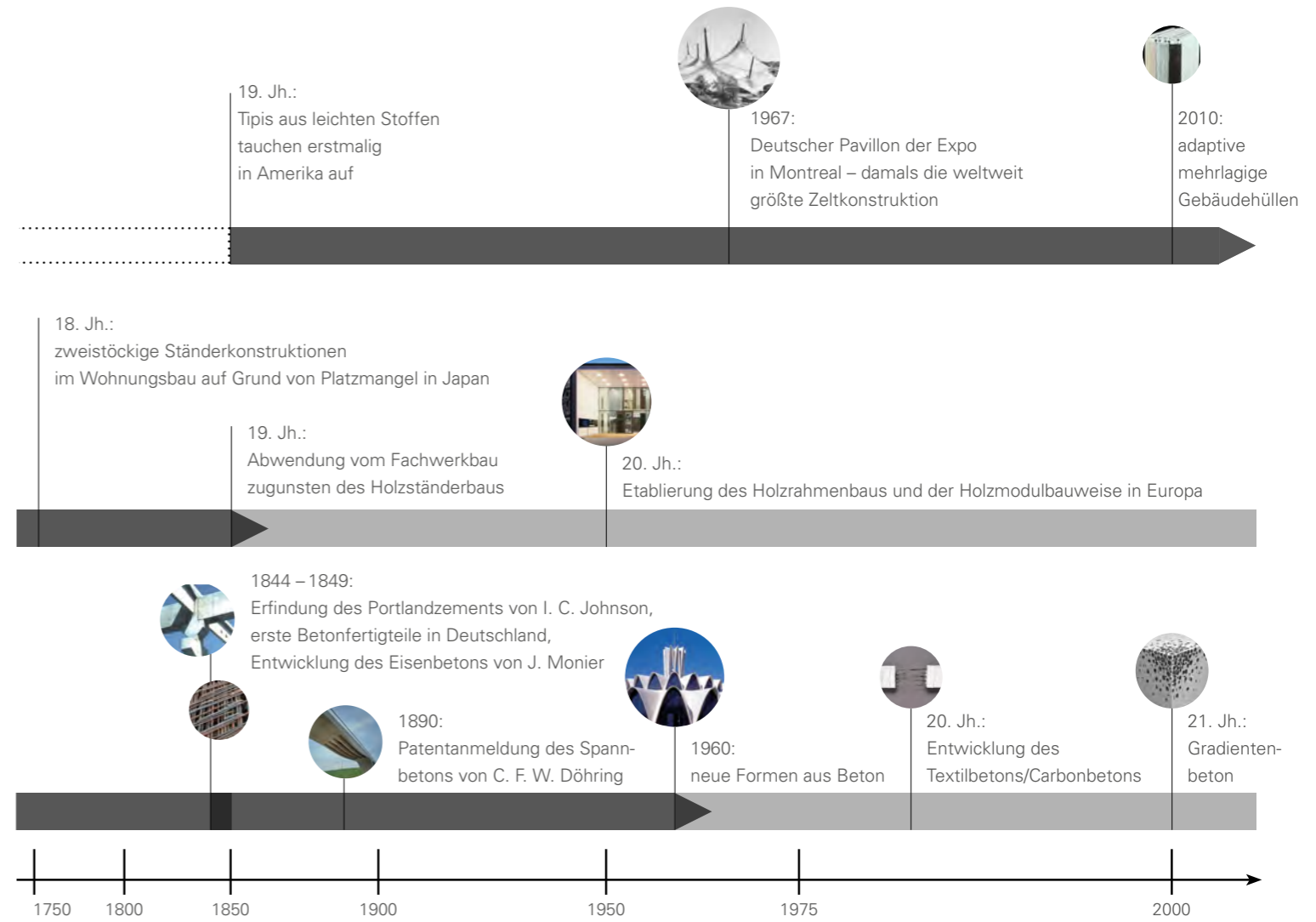
Kategorien des Leichtbaus
(Quelle: ILEK)



Windschirme und Zelte sind möglicherweise die ältesten Schutzbauten des Menschen. Ihre Anwendung wurde jedoch durch die Sesshaftigkeit nach und nach verdrängt.



Zeitliche Entwicklung des Leichtbaus im Bauwesen



Prof. Philip Leistner,
Fraunhofer IBP:

„Leichtbau im Bauwesen erweitert das Lösungsspektrum für bauphysikalische Ansprüche. Durch die multifunktionale Umsetzung von Leichtbau können Bauteile und Systeme dynamisch, adaptiv und effizient auf die sich ständig ändernden Randbedingungen innerhalb und außerhalb von Gebäuden reagieren.“

Unter **Materialleichtbau** versteht man die Verwendung eines Baustoffs mit einem günstigen Verhältnis aus spezifischem Gewicht zu den erforderlichen Materialkennwerten (z. B. Festigkeit oder Steifigkeit). Die Wahl des Werkstoffs hängt somit von den für die Bemessung des Bauteiles maßgebenden Kenngröße(n) ab.

Verlässt man die Ebene der Werkstoffe und begibt sich auf die Ebene der Bauteile und der aus ihnen gefügten Tragwerke, betritt man den **Strukturleichtbau**. Der Strukturleichtbau löst die Aufgabe, in einem von Randbedingungen beschränkten Entwurfsraum eine gegebene Belastung mit einem Minimum an Eigengewicht der Konstruktion abzutragen.

Das Prinzip des **Systemleichtbaus** wird angewendet, wenn Bauteile multifunktional ausgeführt werden, wenn also durch ein Bauteil neben dem Lastabtrag weitere Funktionen wie z. B. der Raumabschluss oder die Wärmedämmung übernommen werden. Multifunktionale Bauteile bestehen im Idealfall aus einer Ein-Material-Technologie oder aus wieder lösbaren Konstruktionen, um die sortenreine Rezyklierbarkeit am Lebensende zu ermöglichen.

Durch Systemleichtbau ergeben sich also nicht nur Gewichtseinsparungen, sondern auch weitere anwendungsspezifische Vorteile durch die Funktionsintegration, die neue Möglichkeiten des Entwurfs mit sich bringt.

LEICHTBAUANWENDUNGEN

Als Bereiche mit besonders hohem ökologischem und ökonomischem Einsparpotenzial wurden die drei Anwendungsfelder des **Betonbaus**, des **Holzbaus** und des **textilen Bauens** identifiziert.

Durch den Einsatz von Leichtbauprodukten in diesen Anwendungsfeldern werden wichtige Beiträge für die industrielle Umsetzung des Leichtbaus im gesamten Bauwesen erzielt. Durch die Einbeziehung eines **Projektbeirats** wurde die Einbindung von Anregungen aus der Baupraxis in das Forschungsprojekt gewährleistet. Dieser besteht aus Vertretern der einzelnen Branchen

in Baden-Württemberg. Durch die Zusammenarbeit der Forschungspartner mit dem Projektbeirat fand ein reger Austausch mit der Bauindustrie statt.

Die Anwendung von Leichtbauprinzipien bietet der Baubranche wesentliche Vorteile. Die ressourcensparende Umsetzung von Bauprodukten in Leichtbauweise bietet die Chance, ökologische und ökonomische Vorteile im Vergleich zu bestehenden Technologien zu erzielen und gleichzeitig zum Klimaschutz durch Senkung der Treibhausgasemissionen beizutragen.



Dr. Wolfgang Seeliger,
Leichtbau BW GmbH:

„Der Anteil an Leichtbaupatenten in der Baubranche ist überdurchschnittlich hoch. Leichtbau im Bauwesen wird zukünftig eine noch größere Bedeutung zukommen.“



Dr. Ulrich Lotz,
Betonverbände Baden-
Württemberg:

„Betonleichtbau unterstützt den Trend zur ressourceneffizienten Vorfertigung, die schlanke Bauteile ermöglicht und mit neuen Bewehrungssystemen wie Textilgelegen oder neuen Fasern innovative Maßstäbe setzt.“



Joachim Hörrmann,
proHolzBW GmbH:

„Holzleichtbau stärkt die effiziente Nutzung von regional verfügbaren erneuerbaren Ressourcen. Durch die Bildung von regionalen Clustern aus Holzlieferanten und Holzbauunternehmen kann dieses Potenzial optimal ausgeschöpft werden.“



Ulrike Möller, Allianz
Faserbasierte Werkstoffe
Baden-Württemberg
(AFBW):

„Dank neuer Entwicklungen sind Textilien im Bereich modularer Fassaden unter Berücksichtigung sämtlicher funktionaler Anforderungen einsetzbar.“

Der **Betonbau** ist in seiner jetzigen Anwendung, insbesondere bei der Vor-Ort-Fertigung, mit dem Betonbau von vor 50 bis 100 Jahren vergleichbar. Maßgebende Revolutionen wie die automatisierte Vorfertigung liegen ebenfalls bereits 30 Jahre zurück. Um diesem Defizit zu begegnen, gibt es vermehrt Anstrengungen, den Ressourcenverbrauch und die CO₂-Emissionen im Betonbau zu reduzieren, beispielsweise durch die Entwicklung neuer Zemente, den zunehmenden Einsatz von Recyclingbeton, die (Rück-)Besinnung auf die individualisierte Vorfertigung, die Erforschung innovativer Bewehrungstechnologien, die Erprobung der additiven Fertigung durch 3D-Druckverfahren oder das Entwerfen gewichtsminimaler Strukturen aus Gradientenbeton.

Der **Holzbau** ist eine der ältesten Bauweisen weltweit. Bereits in der Jungsteinzeit wurden mehrgeschossige Gebäude in Blockbauweise erbaut. In der Moderne spielte Holz in Gebäudeträgwerken zunächst kaum mehr eine Rolle. Ende des 20. und Anfang des 21. Jh. wurde die Idee des Holzbaus neu aufgegriffen. Es wird seitdem verstärkt daran gearbeitet, Ressourceneinsparungsziele umzusetzen und den Baustoff Holz als nachwachsenden Rohstoff effizient und materialgerecht einzusetzen. Mit Holzkonstruktionen

wird bereits heute ein hoher Vorfertigungsgrad erreicht. Als von Natur aus leichter Baustoff eignet sich Holz insbesondere für Aufstockungen und Verdichtungen sowie für große Spannweiten.

Die Wiege der Architektur liegt im **textilen Bauen**. Noch bevor Bauweisen aus Holz, Stein, Stahl, Glas und Beton entwickelt wurden, fanden Menschen Schutz vor der Außenwelt durch den Einsatz von Fellen und insbesondere von textilen Geweben in Form von zeltartigen Hüllstrukturen und Behausungen. Insbesondere nomadische Völker wussten die Vorteile der leichten, flexiblen Zelte zu schätzen, die binnen kürzester Zeit errichtet und auch wieder demontiert werden können. Dank der konsequenten Weiterentwicklung im Bereich der technischen Textilien sind in den vergangenen Jahren eine Vielzahl an neuen Hüll- und Funktionsmaterialien entwickelt worden, die unter anderem aus den Bereichen des Automobil- oder auch des Flugzeugbaus stammen. Insofern hat sich das Funktionsspektrum textiler Werkstoffe signifikant erweitert, so dass auch die Architektur und das Bauwesen hiervon profitieren können. Durch die Kombination von Textilien und Funktionswerkstoffen in mehrlagigen Aufbauten lassen sich heute Gebäudehüllen realisieren, die effektiv und extrem leicht sind.

BETRACHTETE LEICHTBAUPRODUKTE

Ein Beispiel für Leichtbau mit Beton ist der Gradientenbeton. Durch eine kontinuierliche Porositätsänderung des Betons kann die innere Struktur an die lokalen statischen und bauphysikalischen Anforderungen angepasst werden. Poröse Bereiche ermöglichen die Gewichtsreduktion und eine verbesserte Wärmedämmung, wohingegen dichte Gefügebereiche mit hoher Festigkeit die Tragfähigkeit gewährleisten. So entstehen materialeffiziente Strukturen mit einem Minimum an Gewicht und folglich auch mit reduziertem Ressourcen- und Energieverbrauch.

Durch eine Verknüpfung der Holz- und Fertigbauweise entsteht konsequenter Holzmodulbau. Der Modulbau umfasst einzelne Flächenelemente wie auch zusammengefügte Raumzellen. Werden die Module in einer leichten Holzrahmenkonstruktion gefertigt, kann im Querschnitt ein großer Anteil an Material eingespart werden. Zusätzlich können die Zwischenräume für eine Dämmung genutzt und somit Module mit einer besseren Wärmedämmung bei gleicher Dicke im Vergleich zu Holzmassivbauten hergestellt werden. Die resultierenden Strukturen weisen einen hohen Vorfertigungsgrad und eine große Anpassbarkeit auf.

Im Bereich der textilen Gebäudehüllen eröffnen sich vor dem Hintergrund des systeminhärenten Leichtbaugedankens modular vorgefertigter Fassadenelemente (Materialleichtbau, Systemleichtbau) zusätzliche – bislang nicht ausgeschöpfte – Potenziale. Dank der immer weiter fortschreitenden Entwicklung sowohl im Bereich der thermischen Bewertbarkeit solcher Systeme (eine wissenschaftlich fundierte thermische Bewertung auf der Basis einheitlicher Standards war bis vor kurzem nicht zufriedenstellend gegeben)

und der Profilsysteme (aufgrund der mechanischen Vorspannung sind hier andere Profilgeometrien erforderlich als bei Glasfassaden) stellen solche Modulsysteme eine echte Alternative bzw. Ergänzung im Fassadenbau dar.

AUFBAU DES PRAXIS-LEITFADENS

Der vorliegende Leitfaden beschreibt die Potenziale von drei innovativen und nachhaltigen Leichtbauweisen und zielt somit auf einen zunehmenden Einsatz von Leichtbau in der Baubranche ab. Der Leitfaden soll Bauherren, Architekten/Planer und Hersteller von Bauprodukten unterstützen, sich über Leichtbauweisen zu informieren und diese in die Praxis einzubringen. Er stellt zudem eine Kommunikationsbasis zur Verfügung, die es den Beiträgern zur Wertschöpfungskette ermöglicht, gemeinsam Leichtbauprodukte zu realisieren.

Bei der Erstellung des Praxis-Leitfadens arbeiteten das Fraunhofer IBP und das ILEK eng mit Partnern aus der baden-württembergischen Industrie in einem Projektbeirat zusammen. Die Potenziale der Leichtbauprodukte werden im nachfolgenden Anwendungskapitel beschrieben.

Neben der ökologischen und ökonomischen Einordnung im Vergleich zu konventionellen Referenzprodukten erfolgt eine Identifizierung der Potenziale und Chancen für die Baubranche in Baden-Württemberg.

DER PROJEKTBEIRAT

Branchennetzwerke	Firmen		
Leichtbau BW GmbH	AH Aktiv-Haus GmbH	Schwenk Zement KG	Weizenegger GmbH
Fachverband Beton- und Fertigteilwerke Baden-Württemberg e. V.	Karl Mayer Technische Textilien GmbH	solidian GmbH	Werner Sobek Stuttgart AG
proHolzBW GmbH	müllerblaustein Holzbau GmbH	Verseidag-Indutex GmbH	
AFBW – Allianz Faserbasierte Werkstoffe Baden-Württemberg e.V.			

Anwendungen



Die ökologischen und ökonomischen Potenziale von Leichtbauanwendungen für das Bauwesen werden anhand der drei ausgewählten Leichtbauweisen **Gradientenbeton**, **Holzmodulbauweise** und **textile Gebäudehüllen** identifiziert.

Zunächst werden die Grundlagen zu den drei Leichtbauweisen vorgestellt. Der darauf folgende Steckbrief stellt für potenzielle Anwender auf einen Blick die wichtigsten Aspekte für eine erfolgreiche Umsetzung der Leichtbauprodukte bereit. Anschließend wird jeweils ein spezifischer Anwendungsfall untersucht. An diesem Beispiel werden ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber den aktuell verfügbaren Referenzprodukten herausgearbeitet und jeweils die Potenziale, die sich aus der Anwendung für die Baubranche in Baden-Württemberg ergeben, abgeleitet.

ANGEWANDTE BEWERTUNGSMETHODEN

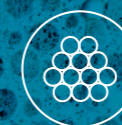
Die Betrachtung der Leichtbauprodukte erfolgt aus Lebenszyklusperspektive. Beim Vergleich der Produkte werden beispielsweise neben dem direkten Materialverbrauch (Einheit: Kilogramm), auch die verbundenen Aufwendungen der Materialversorgung berücksichtigt. Mittels der Methode der Ökobilanz werden somit alle Umweltwirkungen erfasst, die durch die Bereitstellung der Rohstoffe, der Vorproduktion, Produktion und des Transports zum Anwendungsort verursacht werden. Die für das Projekt „Leichtbau im Bauwesen“ entwickelten Ökobilanzmodelle zur Bewertung und zum Vergleich der Leichtbauprodukte basieren auf den aktuellsten verfügbaren GaBi-Ökobilanzdatenbanken [thinkstep, 2017]. Die Auswertung stellt zunächst **den Materialmix der Leichtbau- und Referenzprodukte** dar, der die Massenanteile und die sich ergebenden Gesamtmassen der verglichenen Produkte beschreibt. Weitere Bewertungskategorien sind der **Gesamtverbrauch an nicht erneuerbaren (fossilen) Ressourcen** (Einheit: Kilogramm) sowie die Wirkungskategorie **Treibhauspotential** (Einheit: Kilogramm CO₂-Äquivalente). Hierbei werden alle Emissionen, die nach der CML-Methode [CML, 2016] zum Klimawandel beitragen, berücksichtigt.

Auf Basis der Lebenszyklusmodelle werden die **Material- und Energieflusskosten** der betrachteten Lebenszyklusphasen bestimmt und einander gegenübergestellt. Die angewandte Methode zur Material- und Energieflusskostenanalyse wurde am Fraunhofer IBP entwickelt, um material- und energieflussgetriebene Kosten zu identifizieren und zu analysieren. Die Methode greift auf Material- und Energieflüsse der Ökobilanzmodelle zurück und kombiniert diese mit verfügbaren Kostendaten dieser Flüsse. Die Hintergrunddaten zu den Material- und Energiekosten der Flüsse basieren auf Angaben des Statistischen Amtes der Europäischen Union [Eurostat, 2014]. Material- und Energieflusskostenanalysen wurden bereits erfolgreich in mehreren Projekten angewendet [Albrecht et al., 2016] [Gantner et al., 2017] [Ko et al., 2018].

Der Vergleich eines Leichtbauprodukts mit seinem Referenzprodukt bezieht sich auf die sogenannte funktionelle Einheit. Die funktionelle Einheit ist die Bezugsgröße eines Vergleichs in der Ökobilanz nach ISO 14040. Sie beschreibt den funktionellen Nutzen eines Produkts anhand einer quantifizierbaren Maßzahl. Der Vergleich von Außenwänden bezieht sich beispielsweise auf einen mindestens zu erbringenden Wärmedurchgangskoeffizienten, der von allen Außenwandvarianten unter Einhaltung der statischen Anforderungen erreicht werden muss. Die Auswahl einer geeigneten funktionellen Einheit stellt sicher, dass potenzielle ökologische oder ökonomische Auswirkungen in der Nutzungsphase der betrachteten Technologien in einer vergleichbaren Größenordnung liegen.

Bei allen drei Leichtbaukategorien bildet die Auswahl der konventionellen Referenzprodukte den marktüblichen Stand der Technik ab.

Gradientenbeton

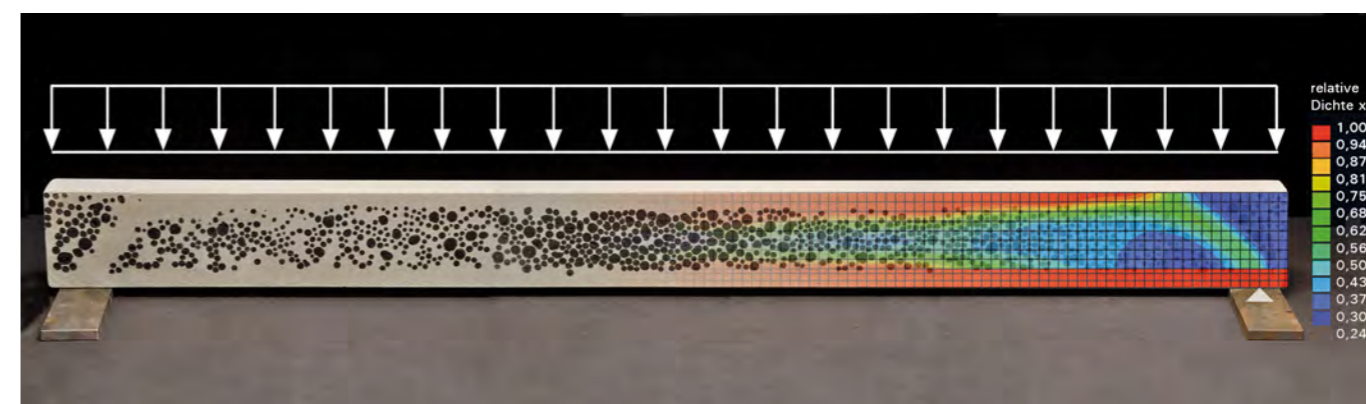


Gemäß dem Ziel im Strukturleichtbau formulierte Werner Sobek erstmals die Idee und Theorie der Gradientenbetone zur Gewichtsminimierung von tragenden Betonbauteilen durch eine beanspruchungsgerechte innere Materialverteilung [Sobek, 2016]. Unter der Gradientenbetontechnologie versteht man nicht eine neue Art von Beton, sondern vielmehr eine Werkstofftechnologie, bei der gezielt Kavitäten im Inneren der Betonbauteile platziert werden. Die Entwicklung des Gradientenbetons liegt darin begründet, dass die im Betonbau eingesetzten Bauteile aufgrund ihrer herstellungs- und nutzungsbedingten Geometrie sowie der äußeren Einwirkung zumeist einen inhomogenen Beanspruchungszustand und somit eine ineffiziente Materialausnutzung aufweisen.

Bei dieser Ein-Material-Technologie werden die Betoneigenschaften entlang mindestens einer Raumrichtung durch poren- bzw. schaubildende Technologien im Micromaßstabbereich

(1–10 mm) oder durch den Einsatz mineralischer Hohlkugeln im Mesomaßstabbereich (10–250 mm) kontinuierlich geändert und somit an den vorhandenen inneren Beanspruchungszustand angepasst. Mit diesem Ansatz der Gradierung nur eines Werkstoffs in variierender Zusammensetzung wird neben der Gewichtsreduktion der Bauteile auch die jederzeitige Rezyklierbarkeit sichergestellt.

Die Anwendung der Gradientenbetontechnologie ist dann vielversprechend, wenn Bauteile keinen homogenen Spannungszustand aufweisen oder wenn das Bauteil sowohl lastabtragende als auch bauphysikalische Anforderungen erfüllen muss. Die baupraktische Umsetzung erfordert einen ganzheitlichen Ansatz, bei dem Mischungsentwicklung, Bauteilentwurf und automatisierte Herstellung aufeinander abgestimmt sind, um das vollständige Potenzial der Technologie auszuschöpfen.

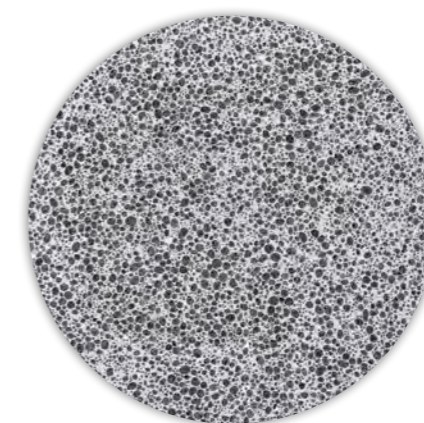


Dichteverteilung als Entwurfsergebnis der Optimierung mit zugehöriger Porositätsverteilung im Bauteil (Quelle: Dissertation Michael Herrmann)

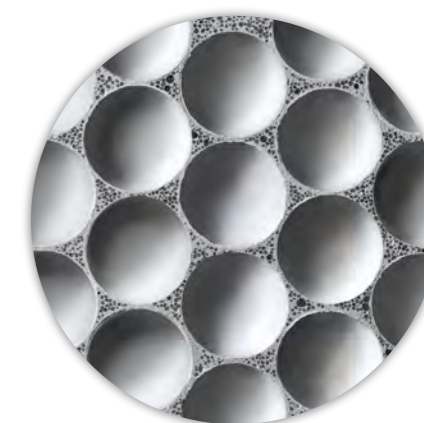
UNTERSCHIEDLICHE STUFEN DER GRADIERUNG



Meso-Gradierung



Micro-Gradierung



Meso-Micro-Gradierung

STECKBRIEF

Die funktionale Gradierung von Betonbauteilen ist insbesondere dann vielversprechend, wenn sich im Inneren der Bauteile ein inhomogener Beanspruchungszustand infolge statischer und/oder bauphysikalischer Einwirkungen einstellt. Daher ergeben sich folgende **Anwendungsbereiche**:

- › **Biegebeanspruchte Decken und Balken**
- › **Hüllstrukturen wie lastabtragende Außenwände und Dächer**

Für den **Entwurf** der Bauteile müssen folgende Randbedingungen berücksichtigt werden:

- › **Definition der Bauteilgeometrie und der maßgebenden Einwirkungen für die Bauteiloptimierung**
- › **Festlegung der anwendungsspezifischen Optimierungsgröße:**
 - › Gewichtsreduktion unter Einhaltung von Tragfähigkeits- und Verformungsgrenzen für Decken
 - › Gewichtsreduktion unter Einhaltung von Tragfähigkeits- und Wärmedurchgangsgrenzen für Außenwände

Die komplexe Materialverteilung im Inneren der gewichtsoptimierten Betonbauteile kann durch eine **Werksfertigung** sichergestellt werden, die prototypisch realisiert wurde und aus folgenden Verfahrensprozessen besteht, die miteinander synchronisiert sein müssen:

- › **Betonverfahrenstechnik mit zwei Betonpumpen zur Überlagerung mindestens zweier Betonmischungen zur Gradientenbildung**
- › **Applikationstechnik in Form eines Portalsystems mit integriertem Düsensystem für den räumlichen Materialauftrag**

Schon heute weist der Einsatz der Gradientenbetontechnologie je nach Anwendung (siehe Beispiel) folgende **Vorteile** auf:

- › **Gewichtsreduktion um 30 % bei 45 % reduziertem Ressourceneinsatz**
- › **Über 27 % reduzierte Material- und Energiekosten**
- › **Reduktion von Massen- und Gütertransporten**
- › **Möglichkeit der sortenreinen Rezyklierung**
- › **Regionale Wertschöpfung durch den Bezug heimischer Betonbestandteile**
- › **Hohe, konstante Produktqualität durch erprobte Betonverfahrens- und Applikationstechnik**
- › **Wissensvorsprung und Stärkung der Beton-Fertigteilindustrie in Baden-Württemberg**

KONTAKT

Weiterführende Informationen erhalten Sie bei

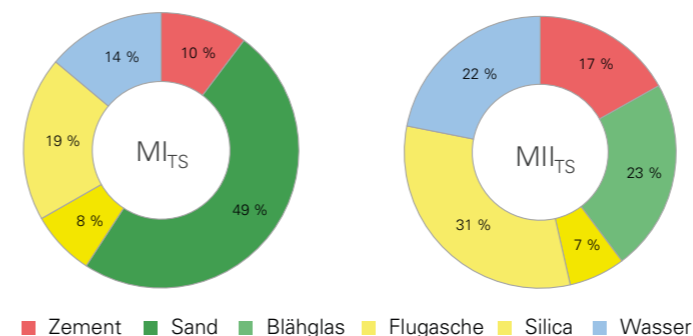


RAFAEL HORN
Fraunhofer IBP
+49 (0)711 970-3188
rafael.horn@ibp.fraunhofer.de



DANIEL SCHMEER
ILEK
+49 (0)711 6856-3798
daniel.schmeer@ilek.uni-stuttgart.de

Hier abtrennen ↑



Zusammensetzung der Basismischungen für die automatisierte Gradientenbetontechnik in Masse-% (Quelle: ILEK und IWB, Universität Stuttgart)

ANWENDUNG VON GRADIENTENBETON AM BEISPIEL EINER GESCHOSSDECKE

Biegebeanspruchte Decken sind im Geschossbau für bis zu 70 % der Gesamtmasse eines Gebäudes verantwortlich und weisen daher ein hohes Potenzial für den Leichtbau mit Beton auf. Beim rein tragstrukturellen Entwurf wird mit der funktionalen Gradierung das Ziel verfolgt, eine gegebene Belastung unter Einhaltung von Tragfähigkeits- und Verformungsgrenzen mit einem Minimum an Gewicht der Konstruktion abzutragen. Für das folgende Beispiel einer einachsig spannenden Decke mit einer Spannweite von 5,0 m und einer Querschnittshöhe von 0,2 m bedeutet dies, dass zum Erreichen des Ziels in den niedrigbeanspruchten Bereichen im Bauteil ein Leichtbeton (MII_{TS}), in den hochbeanspruchten ein Normalbeton (MI_{TS}) und in den dazwischenliegenden Beanspruchungsbereichen eine Gradierung in Form einer Kombination der beiden Basismischungen platziert wird.

Die reproduzierbare Herstellung dieser Bauteile erfolgt mit einem Gradiententrockensprühverfahren, das in einer Kooperation zwischen dem ILEK und den Instituten für Systemdynamik sowie Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart entwickelt wurde. Eine Prozessregelung überführt hierzu die erforderlichen Beton-eigenschaften in Systemeinstellungen der Betonverfahrenstechnik und synchronisiert diese mit dem schichtweisen Applikationsprozess des Manipulators. Dadurch wird der positionsgenaue Einbau der Betone im Bauteil garantiert.

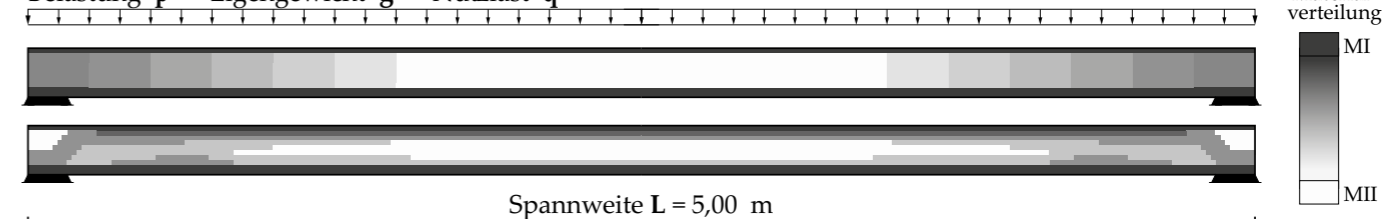


Manipulator zur automatisierten Herstellung funktional gradierter Betonbauteile (Quelle: ILEK, IWB und ISYS, Universität Stuttgart)

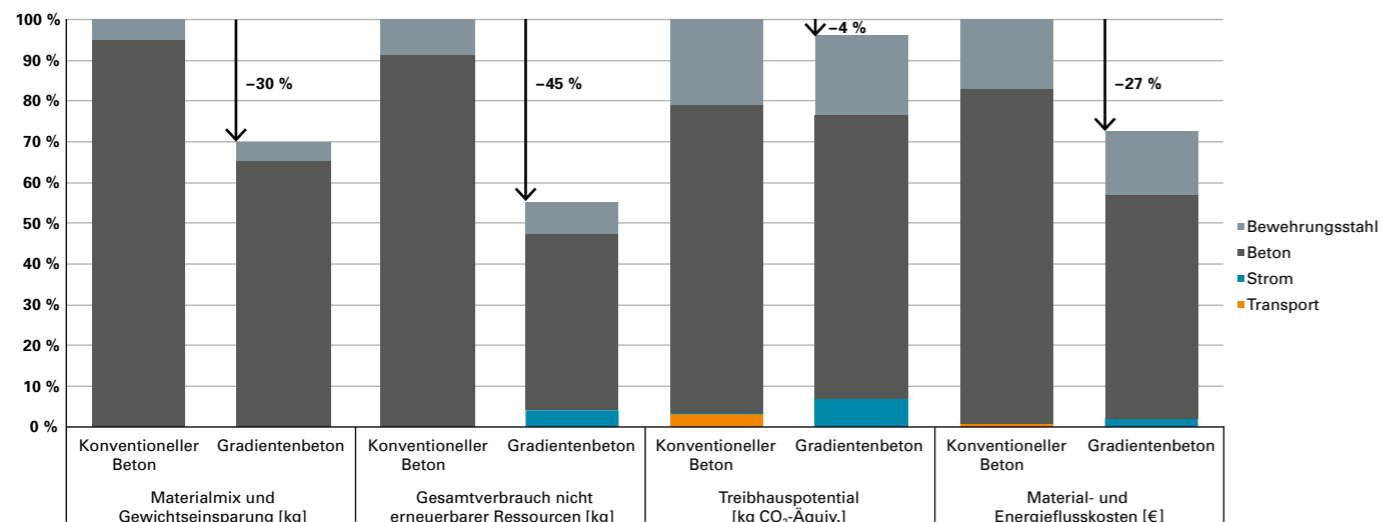
Durch die Verwendung von Gradientenbeton in Geschossdecken kann der Ressourceneinsatz im Vergleich zu dem als Referenz berücksichtigten konventionellen Betonfertigbauteil signifikant verringert werden. Aus dem Materialmix des beispielhaft entworfenen und hergestellten Bauteils in Gradientenbetonbauweise ergibt sich eine Masseneinsparung von rund 30 % gegenüber der konventionellen Betondecke unter Einhaltung der gleichen statischen Erfordernisse. Die Gewichtseinsparung ist in erster Linie auf den reduzierten Einsatz von Beton zurückzuführen und nicht auf die zusätzliche Einsparung von Bewehrungsstahl in Höhe von etwa 10 %.

Nicht zu vernachlässigen sind die sekundären Einspareffekte durch das minimierte Deckengewicht. Die lastweiterleitenden Elemente wie Wände und Stützen können dadurch schlanker ausgeführt werden. Unter der Annahme, dass das Konstruktionsgewicht zu 70 % auf die Decken und 30 % auf die lastweiterleitenden Elemente aufgeteilt wird, kann beispielsweise bei einem 10-geschossigen Haus die gesamte Tragkonstruktion und folglich auch das Fundament über 40 % leichter ausgebildet werden.

Belastung $p = \text{Eigengewicht } g + \text{Nutzlast } q$



Materialverteilung der funktionellen Einheit mit unterschiedlichen Entwurfsansätzen (Quelle: ILEK)



Vergleich der Geschossdecken

In allen untersuchten Kategorien zeigen sich Vorteile für die Geschossdecke in Gradientenbetonbauweise. Über den gesamten Lebenszyklus sinkt der Einsatz von nicht erneuerbaren Ressourcen gegenüber der Verwendung einer konventionellen Stahlbetondecke in Fertigteilbauweise um knapp 45 %. Dies ist neben der direkten Reduzierung des Eigengewichts auch auf den verringerten indirekten Ressourcenbedarf bei der Materialversorgung zurückzuführen (z. B. sinkt der Bedarf an fossilen Energieträgern aufgrund des verringerten Einsatzes an Bewehrungsstahl und Beton). Die verwendete Leichtbetonmischung und der erhöhte Strombedarf der verwendeten Trockensprühtechnologie zur Herstellung des Gradientenbetons tragen derzeit noch mit einem verhältnismäßig hohen Anteil zu den Treibhausgasemissionen bei. Potenziell sind durch die Weiterentwicklung des Verfahrens und die Energiewende, mit zukünftig verbessertem Umweltprofil der Stromversorgung, weitere Einsparungen möglich. Auch aus ökonomischer Sicht zeigt sich der Gradientenbeton vorteilhaft, wobei zusätzliche Kosten durch notwendige Investitionen in die Anlagentechnik nicht berücksichtigt sind. Die Kosten für den Material- und Energieeinsatz können im Vergleich zu konventionellen Stahlbetondecken um knapp 27 % reduziert werden. Ausschlaggebend für dieses Einsparpotenzial sind der verringerte Materialeinsatz und kostengünstigere Materialien. So kann ein Kilogramm der Leichtbetonmischung, die für die Gradientenbetonbauweise eingesetzt wird, kostengünstiger produziert werden als ein Kilogramm der Normalbetonmischung.

POTENZIALE FÜR DIE BAUBRANCHE

Durch den Einsatz von Gradientenbeton in der Vorfertigung können bei jährlich ca. 6,0 Mio. m² neu produzierten Fertigteildecken in Baden-Württemberg [Fachverband Beton, 2017] beachtliche Ressourceneinsparungen erzielt werden. Beziffern lässt sich dies durch die Einsparung von knapp 0,9 Mio. t an direktem Materialeinsatz. Der gesamte Verbrauch an nicht erneuerbaren Ressourcen

kann um 2 Mio. t reduziert werden. Außerdem kann Gradientenbeton zu den angestrebten Klimazielen Baden-Württembergs beitragen, indem jährlich 18 Mio. kg CO₂-Äquivalente eingespart werden könnten. Die Vorteile aus ökonomischer Sicht mit jährlich reduzierten Material- und Energiekosten von 100 Mio. sprechen zusätzlich für die Technologie. Unter Berücksichtigung der lastweiterleitenden Elemente sind noch weitaus größere Einsparpotenziale durch vorgefertigte, multifunktional gradierte Betonbauteile zu erzielen.

Vom aktuellen Trend zur Vorfertigung (im Jahr 2016 betrug der Anteil von Betonfertigteilen am gesamten verbauten Beton 30 % [Fachverband Beton, 2017]) kann die Leichtbautechnologie Gradientenbeton zusätzlich profitieren. So könnten die in Ortbeton hergestellten Decken und Wände teilweise bis vollständig substituiert werden. Daraus ergäbe sich ein nochmals gesteigertes ökonomisches und ökologisches Einsparpotenzial.

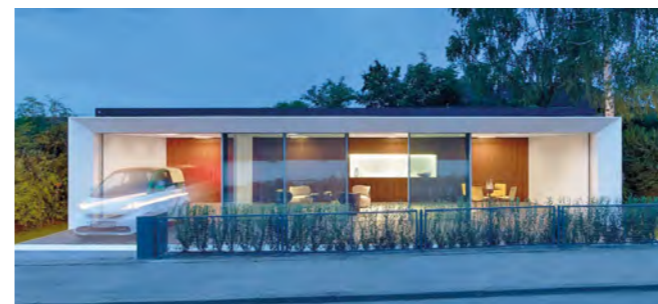
Gradientenbeton kann aus den genannten Gründen dazu beitragen, die Betonfertigteilindustrie in Baden-Württemberg und ganz Deutschland inklusive ihrer lokalen Rohstoffzulieferer zu stärken. Durch den damit einhergehenden Technologievorsprung wird die zukünftige Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit der baden-württembergischen Betonindustrie sichergestellt.



Werner Rothenbacher, Schwenk Zement KG:

„Gradientenbeton ist die Innovation und Chance für die Fertigteilindustrie, um den Anteil der Fertigteile unter ökologischen und wirtschaftlichen Aspekten auszubauen und einen Technologievorsprung zu erreichen.“

Holzmodulbauweise



Forschungsprojekt Aktivhaus B10 (Quelle: Zoöey Braun, Stuttgart)



Aktivhaus-Siedlung in Winnenden (Quelle: AH Aktiv-Haus GmbH, Stuttgart)

Holz ist der meistverwendete nachwachsende Rohstoff im Bauwesen. Aufgrund seiner materialspezifischen Eigenschaften sowie seiner Fähigkeit der CO₂-Speicherung ist Holz ein effizienter und ökologischer Baustoff.

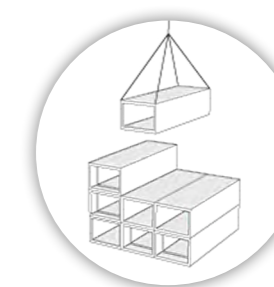
Im modernen Holzbau haben sich verschiedene Bauweisen etabliert, die sich sowohl durch ihre konstruktiven, bauphysikalischen und gestalterischen Eigenschaften als auch bezüglich ihres Vorfertigungsgrades signifikant voneinander unterscheiden. Während Block-, Ständer- oder Fachwerkbauweise noch eine Montage von Einzelteilen vor Ort erfordern, kommen beim Holzskelettbau im Werk vorgefertigte Decken- oder Wandelemente zum Einsatz. Die Holzrahmen- sowie die Holzmassivbauweise weisen den größten Vorfertigungsgrad auf und sind daher dem Holzsystem- bzw. Holzmodulbau zuzuordnen. Massivholzkonstruktionen unterscheiden sich von Holzrahmensystemen durch den größeren Massivholzanteil von mindestens 50 % [Kolb, 2010]. Bei der Holzrahmenmodulbauweise können in Form eines multifunktionalen Bauteils die Vorteile des Holzwerkstoffes mit denen der Fertigbauweise vereint

werden. Somit sind besonders leichte und ressourcenschonende Konstruktionen realisierbar. Die Holzmodulbauweise lässt sich daher sowohl in den Materialleichtbau als auch in den Systemleichtbau eingliedern.

Grundsätzlich kann die Modulbauweise auf unterschiedlichen maßstäblichen Ebenen angewandt werden. Üblicherweise wird unter dem Begriff Holzmodul ein vorgefertigtes, tragendes bzw. nicht tragendes Element verstanden. Die Höhe des Vorfertigungsgrades lässt sich bis zur Fertigung vollständig ausgestatteter Raumzellen steigern, die zur Baustelle transportiert und dort zum Gebäude zusammengefügt werden. Einen Schritt weiter geht Werner Sobek durch die werksseitige Integration der technischen Gebäudeausstattung in die vorgefertigten Raumzellen (Abb. Forschungsprojekt Aktivhaus B10). Diese Art der Holzmodulbauweise führt zu noch kürzeren Errichtungszeiten. Die vollständige Rezyklierbarkeit der Gebäude ist dabei ein wesentliches Merkmal, wie es beispielsweise beim Forschungsprojekt Aktivhaus B10 oder bei der Aktivhaus-Siedlung (Abb. Aktivhaus-Siedlung in Winnenden) umgesetzt wurde.

Block-/Ständer-/
Fachwerkbau

Holzskelettbau

Holzmassiv-/
rahmenbauHolzmodulbauweise als
Holzmassiv-/rahmenbau

STECKBRIEF

Die Entwicklung innovativer Systemlösungen in Holzmodulbauweise wurde in den letzten drei Jahrzehnten stark vorangetrieben, um neben den positiven ökologischen Aspekten auch die Funktionalität, Flexibilität, Qualität und Wirtschaftlichkeit der Bauteile zu erhöhen. Es ergeben sich demnach folgende **Anwendungsbereiche:**

- › Außenwände
- › Tragende bzw. nicht tragende Innenwände
- › Geschossdecken
- › Bodenaufbauten
- › Dachaufbauten

Beim **Entwurf** dieser Bauteile müssen nicht nur gestalterische, sondern auch bauphysikalische und recyclingtechnische Aspekte berücksichtigt werden:

- › **Präzise Anpassung der Systemaufbauten zur Erfüllung der bauteilspezifischen bauphysikalischen Anforderungen durch eine ressourcenschonende Materialauswahl**
- › **Verwendung wieder lösbarer Verbindungen für eine sortenreine Rezyklierbarkeit der Komponenten durch den Verzicht auf Verklebungen unterschiedlicher Werkstoffe**

Durch den Einsatz modularer Holzbauelemente in Leichtbauweise entstehen folgende **Vorteile:**

- › **Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch industrielle, serienmäßige Vorproduktion**
- › **Steigerung der Produktivität bei sehr hoher Präzision durch automatisierte Arbeitsprozesse im Werk**
- › **Reduzierung der Bauzeit durch schnelle Montage der vorgefertigten Teile vor Ort und Reduzierung der Beeinträchtigung der Umgebung**
- › **Erzielung einer höheren Planungs- und Kostensicherheit**
- › **Witterungsunabhängigkeit der Herstellungsprozesse**
- › **Verbesserung der Arbeitsbedingungen**
- › **Gewichtsreduktion und damit verbundener reduzierter Ressourcenverbrauch**
- › **Steigerung der regionalen Wertschöpfung und der Verwendungsmöglichkeiten lokaler Holzressourcen**
- › **Vereinfachung der Transportierbarkeit durch eine Reduktion von Massen- und Gütertransporten**
- › **Reduzierung der Treibhausgasemissionen des Bauwesens durch CO₂-Aufnahme von Holz**
- › **Reduktion der Material- und Energiekosten**

KONTAKT

Weiterführende Informationen erhalten Sie bei



PAULA LIE STERNBERG
ILEK

+49 (0)711 6856-3768
paula-lie.sternberg@ilek.uni-stuttgart.de



MICHAEL BAUMANN
Fraunhofer IBP

+49 (0)711 970-3161
michael.baumann@ibp.fraunhofer.de

ANWENDUNG VON HOLZMODULBAU AM BEISPIEL EINER AUSSENWAND

Aufgrund der vielfältigen Anforderungen an Wandbauteile wie Raumbildung und Lastabtrag bei gleichzeitiger Einhaltung bauphysikalischer Aspekte, wie Wärmeschutz, Feuchteschutz, Luftdichtigkeit, Witterungsschutz, Brandschutz sowie Schallschutz, weisen Holzmodulbauteile einen mehrschichtigen Aufbau auf. Diese Schichten übernehmen verschiedene Funktionen und können in Anzahl, Anordnung und Ausgestaltung variieren. Eine gute Systemtrennbarkeit der unterschiedlichen Materialien ist für einen späteren Rückbau bereits in der Planung zu beachten.

Für die untersuchten Außenwandbauteile werden die Anforderungen des Standards KfW-Effizienzhaus 55 als maßgebend herangezogen. Dieser fordert für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände einen U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) von mindestens 0,20 W/m²K. Beim Schallschutz soll ein bewertetes Schalldämmmaß 50 dB gemäß VDI 4100 SSt III, Lärmpegelbereich V eingehalten werden. Neben den bauphysikalischen Kriterien wird des Weiteren der Verzicht auf Verklebungen sowie Putzschichten als Voraussetzung für eine sortenreine Demontage beziehungsweise eine vollständige Rezyklierbarkeit gefordert.

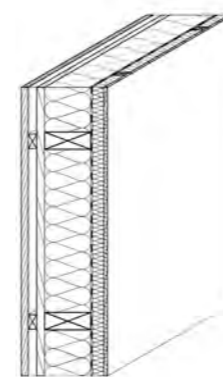
In Abstimmung mit den Industriepartnern wurden entsprechend dieser Vorgaben zwei Außenwand-Konstruktionen in Holzrahmenbauweise (Wandaufbau 1 und 2) ausgewählt, die bei möglichst genauer Erfüllung der genannten Kriterien die geringste flächenbezogene

Masse aufweisen. Von einer expliziten Optimierung der Wandaufbauten hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Anforderungen wurde abgesehen. Die beiden Leichtbaukonstruktionen werden einem Referenzsystem in Holzmassivbauweise (Wandaufbau 3) gegenübergestellt und mit diesem verglichen.

Wandaufbau 1 weist neben einer geringen Gesamtdicke von 29,4 cm und einer flächenbezogenen Masse von lediglich 49 kg/m² eine Installationsebene auf, die besonders im Hinblick auf nachträgliche, haustechnische Änderungen (z. B. nachträgliche Verlegung zusätzlicher Leitungen) Vorteile mit sich bringt. Wandaufbau 2 stellt dagegen eine kostengünstigere Wand ohne Installationsebene mit einer flächenbezogenen Masse von 64 kg/m² dar. Im Vergleich zur Holzmassivbauwand mit einer flächenbezogenen Masse von 91 kg/m² weisen die Leichtbaukonstruktionen mit U-Werten von 0,13 W/m²K (Wandaufbau 1) und 0,11 W/m²K (Wandaufbau 2) bzw. R'_w-Werten von 51 dB (Wandaufbau 1) und 50 dB (Wandaufbau 2) ähnliche Wärmeschutz- und Schalleigenschaften auf, bei gleichzeitiger Reduktion von Bauteilmasse und Volumen gegenüber dem Wandaufbau 3.

	AUFBAU 1	AUFBAU 2	AUFBAU 3
Masse [kg/m ²]	49	64	91
U-Wert [W/m ² K]	0,13	0,11	0,12
R' _w -Wert [dB]	51	50	52

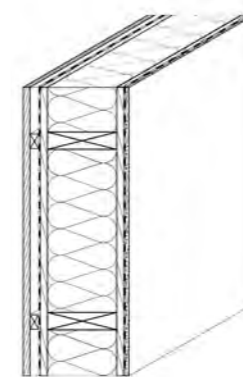
(außen)



WANDAUFBAU 1

Stärke [mm]	Schichtaufbau (von außen nach innen)
24	Außenwandverkleidung
30	Lattung/Hinterlüftung
27	Holzfaserverplatte
160	Trageebene: Konstruktionsvollholz/ Holzfasermatte (Dämmung)
	Dampfbremse
40	Installationsebene: Lattung/Dämmung
12,5	Gipskartonplatte

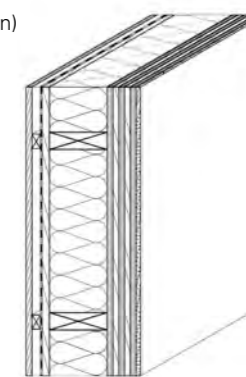
(außen)



WANDAUFBAU 2

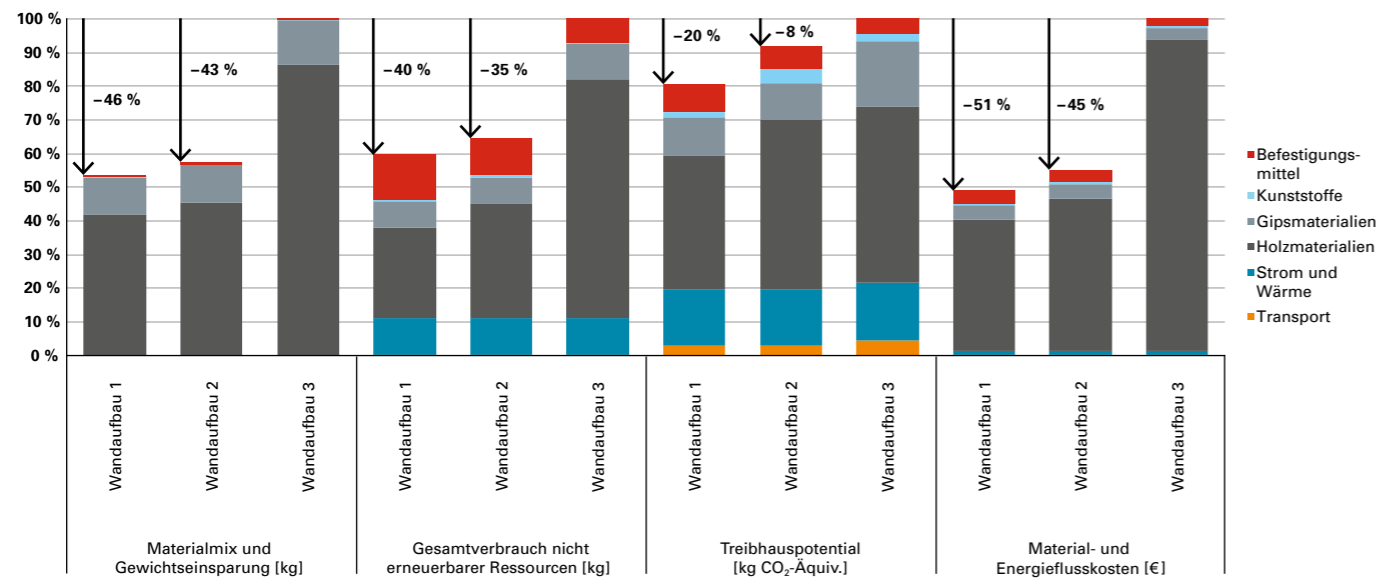
Stärke [mm]	Schichtaufbau (von außen nach innen)
24	Außenwandverkleidung
30	Lattung/Hinterlüftung
	Polyethylen-Windbremse
25	Holzfaserverplatte
240	Trageebene: Konstruktionsvollholz/ Holzfasermatte (Dämmung)
25	Vollschalung
	Dampfbremse
12,5	Gipskartonplatte

(außen)



WANDAUFBAU 3 (Referenzsystem)

Stärke [mm]	Schichtaufbau (von außen nach innen)
20	Außenwandverkleidung
30	Lattung/Hinterlüftung
	Windbremse – Plattenmaterial
200	Trageebene: Konstruktionsvollholz/ Mineralwolle (Dämmung)
100	Brettsperrholz
15	Gipsfaserplatte



Vergleich der Wandaufbauten

Die Nutzungsdauer der Wandaufbauten wird auf 50 Jahre veranschlagt. Während der Nutzung der Wände ist ein einmaliger Austausch der Außenwandverkleidung nach 30 Jahren üblich, der für den Vergleich der Wandaufbauten berücksichtigt ist. Der Verschnitt, der bei den einzelnen Wandkomponenten auftritt (z. B. bei der Außenwandverkleidung, der Holzfaserverplatte oder der Dampfbremse), wird auf Basis von aktuellen Daten aus der Holzfertigbauproduktion abgebildet [Weizenegger, 2017]. Zusätzlich zur lebenszyklusübergreifenden Ökobilanzierung wird eine Material- und Energieflusskostenanalyse zur Herstellung der Wandaufbauten durchgeführt. Die Materialflusskosten für alle holzbasierten Komponenten mit Ausnahme der Holzfaserdämmung wurden von Rüter und Diederichs übernommen [Rüter, Diederichs, 2012]. Die übrigen Materialflusskosten und die Energieflusskosten für die Strom- und Wärmeversorgung basieren auf Statistiken von Eurostat [Eurostat, 2014].

Über den Produktlebenszyklus weisen die Wandaufbauten in Holzmodulbauweise in allen betrachteten Bewertungskategorien Vorteile gegenüber dem Referenzsystem auf.

Durch den geringeren Materialaufwand der Wandaufbauten 1 und 2 wird weniger Holz benötigt, was sich auch auf den Gesamtverbrauch an nicht erneuerbaren Ressourcen auswirkt, da für die Bereitstellung der Wandmaterialien weniger Aufwendungen notwendig sind (z. B. sinkt der Verbrauch an fossilen Kraftstoffen für den Betrieb der Maschinen bei der Holzernte und der Stromverbrauch bei der Aufbereitung der Holzmaterialien). Beim Wandaufbau 1 werden z. B. im Vergleich zum Wandaufbau 3 in Massivholzbauweise 40 % an nicht erneuerbaren Ressourcen eingespart.

Auch die Treibhausgasemissionen können durch die Holzrahmenbauweise reduziert werden. Dabei ist zu beachten, dass sich für alle drei Wandaufbauten vergleichsweise geringe Treibhausgasemissionen ergeben, da der Rohstoff Holz – ohne die Berücksichtigung weiterer Aufwendungen bei der Herstellung und am Lebensende der Holzmaterialien – CO₂-neutral ist. Die CO₂-Neutralität ergibt sich durch die CO₂-Aufnahme beim Holzwachstum und die Abgabe derselben Menge CO₂ bei der üblichen Verbrennung der Holzmaterialien am Lebensende.



Montage eines Gebäudes in Holzrahmenbauweise (Quelle: Weizenegger GmbH)

Nachfolgend wird die angewandte Methodik zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen des Lebenszyklus der Wandaufbauten beschrieben. Holzabfälle werden üblicherweise zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt. Bei Lebenszyklusbetrachtungen ist es daher üblich, die bei der Herstellung und am Lebensende anfallenden Holzabfälle mit sogenannten Gutschriften zu versehen. Die Gutschriften spiegeln die ökologischen Vorteile wider, die durch die Strom- und Wärmeerzeugung aus Holzabfällen im Vergleich zum Strom- und Wärmeerzeugungsmix eines Landes erzielt werden. Als Vergleichssystem für die Holzabfälle, die bei der Herstellung der Außenwände anfallen, wird der heutige Strommix angesetzt. Für die Holzabfälle, die am Lebensende der Außenwände anfallen, wird ein für das Jahr 2050 prognostizierter Strommix verwendet. Die Ökobilanzdatensätze der heutigen Stromversorgung und der Stromversorgung im Jahr 2050 wurden den GaBi-Datenbanken [thinkstep, 2017] entnommen. Für den heutigen Strommix ergeben sich Treibhausgasemissionen von 0,614 kg CO₂-Äquiv./kWh Strom, für das Jahr 2050 werden 0,257 kg CO₂-Äquiv./kWh Strom veranschlagt. Als Vergleichssystem für die Wärmeerzeugung wird

sowohl für die bei der Herstellung als auch beim Lebensende anfallenden Holzabfälle die Wärmeerzeugung aus Erdgas ausgewählt. Die Verwendung des Strommix 2050 als Vergleichssystem gibt wieder, dass sich bis zum Jahr 2050 die gesamte deutsche Stromversorgung ökologisch verbessern wird und daher die Vorteile, die durch die Stromerzeugung aus Holzabfällen hervorgerufen werden, geringer sein werden als heute. Für die Wandaufbauten in Holzrahmenbauweise ergeben sich über den Lebenszyklus geringere Treibhausgasemissionen, da der reduzierte Materialbedarf mit geringeren Treibhausgasemissionen bei der Herstellung der Wandmaterialien verbunden ist. Es ergeben sich die in der Abbildung dargestellten Einsparungen an Treibhausgasemissionen.

Durch den verringerten Materialbedarf und den damit zusätzlich verbundenen Rückgang der Aufwendungen für die Holzauflbereitung der Wandaufbauten 1 und 2 werden zudem ökonomische Einsparungen erzielt. Die Material- und Energieflusskosten, die bei der Herstellung der Wandaufbauten anfallen, können im Vergleich zum Wandaufbau 3 halbiert werden.



**Lars Miller,
Weizenegger GmbH:**
„Die Vereinfachung der Brandschutzvorgaben in der Landesbauordnung Baden-Württembergs hat zu einer deutlich erhöhten Nachfrage nach Holzbauprodukten geführt.“

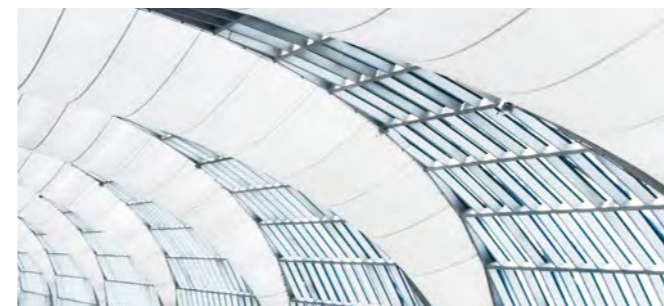
POTENZIALE FÜR DIE BAUBRANCHE

Zur Anzahl von in Baden-Württemberg hergestellten und angewendeten Holzwänden werden nach Auskunft der proHolzBW GmbH keine umfassenden quantitativen Statistiken erfasst [proHolzBW, 2017]. Jedoch lässt sich für Baden-Württemberg die Aussage treffen, dass die Nachfrage nach Gebäuden sowohl in Holzrahmenbauweise als auch in Holzmassivbauweise in den letzten Jahren erheblich zugenommen hat. Die Holzbaquote in Baden-Württemberg im Wohnbau weist bundesweit mit 27,6 % den höchsten Wert auf [Holzbau Deutschland, 2017]. Ein maßgeblicher Grund für die weiter steigende Nachfrage sind die im Rahmen der Novellierung der Landesbauordnung Baden-Württemberg (LBO) vorgenommene Überarbeitung der Brandschutzvorgaben im Jahr 2015 sowie Überlegungen von Bauherren und Investoren zur Nachhaltigkeit und Rezyklierbarkeit von Gebäuden.

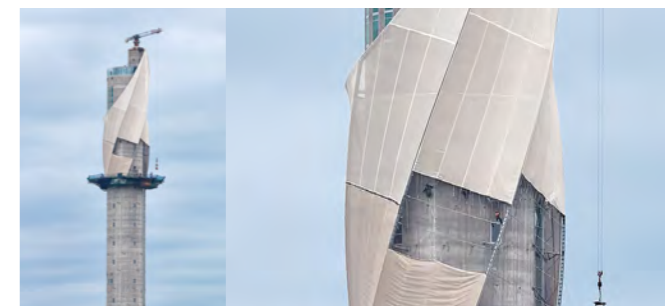
Wände in Holzrahmenbauweise werden bevorzugt für niedrige Gebäude mit einem bis drei Stock-

werken eingesetzt. Bei Gebäuden ab sieben Meter Höhe kommen dagegen Wände in Holzmassivbauweise zum Einsatz, da die statischen Anforderungen mit zunehmender Bauhöhe steigen und die Statik von Holzmassivbauteilen auf einfache Weise skaliert werden kann. Wie die zuvor vorgestellten Ergebnisse zeigen, weisen sowohl Wände in Holzrahmen- als auch in Holzmassivbauweise durch ihre Eigenschaft der CO₂-Aufnahme beim Holzwachstum geringe Treibhausgasemissionen auf. Holzbau trägt daher erheblich zur Reduzierung klimaschädlicher Gase im Bauwesen bei. Holzleichtbau in Holzrahmenbauweise bietet den zusätzlichen Vorteil, dass die regional verfügbare Ressource Holz noch sparsamer eingesetzt wird. Durch den weiter zunehmenden Vorfertigungsgrad bis hin zur Fertigung kompletter Raumzellen werden sich die ökologischen und ökonomischen Eigenschaften des Holzbaus weiter verbessern. Holzleichtbau unterstützt diesen Trend zur Vorfertigung, da durch das geringere Gewicht der vorgefertigten Komponenten ein einfacher Transport zur Baustelle gewährleistet wird.

Textile Gebäudehüllen



Membranfassade der Fluggastzubringer am Flughafen Bangkok-Suvarnabhumi (Quelle: Rainer Viertböck, Gauting)



Montage der Membranhülle am thyssenkrupp Testturm Rottweil (Quelle: Zoëy Braun, Stuttgart)

Seit den Grundlagenforschungen zu leichten Flächentragwerken und Membranhüllen in den 1970er und 1980er Jahren an der Universität Stuttgart konnte weltweit eine Vielzahl an textilen Bauten realisiert werden. Zunächst wurden diese überwiegend als einlagige Membrankonstruktionen ausgeführt. Mit der zunehmenden Sensibilisierung für den Energiebedarf zur Innenraumkonditionierung kamen auch mehrlagige Aufbauten aus textilen Decklagen in Kombination mit konventionellen Dämmmaterialien zum Einsatz [Haase et al., 2011-1] [Haase et al., 2011-2]. Dank ihres minimalen Flächengewichts und der gleichzeitig sehr hohen mechanischen Beanspruchbarkeit finden textile Gebäudehüllen mittlerweile nicht mehr nur Einsatz bei einlagigen Dächern wie beispielsweise Stadionüberdachungen, sondern konnten durch die stete Weiterentwicklung hin zu mehrlagigen Systemen aus Funktionswerkstoffen und textilen Außenlagen ihre Eignung auch für den Fassadeneinsatz unter Beweis stellen. Beispielsweise verfügt der Suvarnabhumi-Flughafen in Bangkok im Bereich der Fluggastzubringer über eine solche mehrlagige Dach- und Fassadenkonstruktion.

Textile Werkstoffe eröffnen ein bislang nicht ausgeschöpftes Potenzial für die Anwendung in der Architektur, insbesondere im Bereich modularer Fassaden, die sowohl dem System- als auch dem Materialeichtbau zuzuordnen sind. Sie zeichnen sich nicht nur durch ihre ästhetischen Eigenschaften wie Oberflächentextur, Transluzenz und Flexibilität, sondern auch durch ihre Langlebigkeit bei minimalem Gewicht aus. Nicht zuletzt ermöglicht die einfache Füge-technologie ein sor-

tenreines Konstruieren, das nach Ende der Nutzung eine Rückführung der Materialien in die Stoffkreisläufe erlaubt und daher die Rezyklierbarkeit positiv beeinflusst.

Durch die Kombination von textilen Werkstoffen mit Funktionswerkstoffen im Fassadenmodul lassen sich die Anforderungen an die Fassade erfüllen – nicht zuletzt aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten, Textilien individuell zu funktionalisieren.

Modulare Glasfassadensysteme stellen derzeit im Bereich der Gebäudehüllen von mehrstöckigen Bürobauten eine weitverbreitete Ausführungsvariante dar. Allerdings weisen sie ein sehr hohes Eigengewicht auf. Bei Herstellung und Transport entstehen signifikante Energieverbräuche, zudem müssen die Massenanteile der Tragstruktur des Gebäudes an das Fassadeneigengewicht angepasst werden. Darüber hinaus erfordern sie meist den Einsatz zusätzlicher Blendschutz- und Verschattungssysteme.

Durch die Kombination textiler und verglasteter Module bei der Gebäudegestaltung kann das Fassadengewicht erheblich reduziert werden, so dass Materialeinsparungen im Tragwerk möglich sind. Die Vorteile beider Systeme sind dann optimal aufeinander abgestimmt, wenn transparente Verglasungsbereiche eine homogene Raumbelichtung ermöglichen und opake Textilhüllen die Innenraumerwärmung durch Sonneneinstrahlung reduzieren. Dies bewirkt eine dauerhafte Einsparung an Kühlenergie und senkt die Betriebskosten des Gebäudes.



**Dr. Peter M. Siemens,
Verseidag-Indutex GmbH:**
„Zusätzlich zu einer Gewichtsersparnis ermöglichen textile Gebäudehüllen eine flexible Gestaltbarkeit von Gebäudefassaden und erfüllen die gestellten bauphysikalischen Anforderungen.“

STECKBRIEF

Textile Gebäudehüllen können einen signifikanten Beitrag zur Gewichtsreduktion bei Bauwerken leisten. Dank der steten Weiterentwicklung im Bereich der Beschreibbarkeit der bauphysikalischen Eigenschaften solcher Hüllsysteme in den letzten Jahren steht mittlerweile eine Vielzahl an Bewertungsmethoden zur Verfügung. Da bislang noch keine standardisierten Fassadenprofile für mehrlagige textile Gebäudehüllen auf dem Markt verfügbar sind, gilt es, diese Technologie in eine breite Anwendung zu überführen.

Für **Forschung, Entwicklung und Fachfirmen** ergeben sich die folgenden grundlegenden **Arbeitsinhalte**:

- › **Zusammenführen der Bereiche (Profilherstellung, Textilherstellung, Konfektionierung, Modulfertigung), Weiterentwicklung und Optimierung der Rahmensysteme (mechanische, wieder lösbare Verbindungen)**
- › **Vollständige Systemintegration in das Fassadenmodul (anwendungsbezogener Lagenaufbau, optimiert nach gestalterischen, statischen und bauphysikalischen Anforderungen)**
- › **Weitere Umsetzung von Leuchtturmprojekten einschließlich der Einbindung in die Öffentlichkeitsarbeit (Verbreitung der Akzeptanz solcher Systeme)**
- › **Erlangen einer bauaufsichtlichen Zulassung, die die bisherige Zustimmung im Einzelfall ablöst (Vereinfachung für zukünftige Bauherren, Architekten und Planer)**

Zu den bereits jetzt absehbaren **Vorteilen** werkseitig gefertigter modularer Textilfassaden zählen folgende Punkte:

- › **Hoher Individualisierungsgrad aufgrund breit gefächertem gestalterischem Potenzial (Art und Behandlung der Textilien, Oberflächentextur, Transluzenz, Bedruckung, Illumination ...)**
- › **Erhöhte Wirtschaftlichkeit durch industrielle, automatisierte und serienmäßige Vorproduktion (keine komplizierten Zuschnitte und Berechnungsverfahren dank einfacher Bauteilgeometrie erforderlich)**
- › **Hohe Planungs- und Kostensicherheit**
- › **Sicherstellung der Fertigungsqualität durch serienmäßige Vorproduktion der Module im Werk – bei gleichzeitiger Unabhängigkeit von Witterungseinflüssen**
- › **Verbesserung der Arbeitsumgebung für die Mitarbeiter**
- › **Leichte Transportierbarkeit der Module einschließlich einer Reduktion von Massen- und Gütertransporten**
- › **Reduzierung der Bauzeit durch schnelle Montage der vorgefertigten Teile vor Ort**
- › **Gewichtsreduktion und reduzierter Ressourcenverbrauch bei der Fassadenherstellung im Vergleich zu Glasfassaden**
- › **Verringerung der Treibhausgasemissionen bei der Fassadenherstellung im Vergleich zu Glasfassaden**
- › **Möglichkeit der sortenreinen Rezyklierung durch klebefreie Verbindungen**

KONTAKT

Weiterführende Informationen erhalten Sie bei



CLEMENS FREITAG
ILEK

+49 (0)711 6856-3905
clemens.freitag@ilek.uni-stuttgart.de



WALTER HAASE
ILEK

+49 (0)711 6856-8310
walter.haase@ilek.uni-stuttgart.de

Hier abtrennen ↑

ANWENDUNG VON TEXTILEN GEBÄUDEHÜLLEN AM BEISPIEL EINES PROTOYPISCHEN TEXTILEN FASSADENMODULS

Im Bereich der Fassadentechnologien etabliert sich die Modulbauweise aufgrund der damit verbundenen Vorteile zunehmend auf dem Markt. Dies liegt u. a. an der werksseitigen Vorfertigung der Module, aber auch an der schnelleren Montage am Gebäude. Durch die Herstellung der einzelnen Module im Werk wird ein hoher Qualitätsstandard sichergestellt. Für opake und transparente Fassadenbereiche sind entsprechende Modulsysteme verfügbar, die aus Rahmenprofilen und aus (überwiegend verglasten) Hüllpaneelen bestehen. Module mit textilen Flächenelementen werden bisher nur im geringen Maße eingesetzt und wurden vor allem in Forschungsprojekten entwickelt und untersucht. Um eine Leichtbaumodulfassade mit textilen Flächenelementen in die Bewertung einzubeziehen, wird daher auf entsprechende Entwicklungen, die im Rahmen von Forschungsprojekten am ILEK erfolgten, zurückgegriffen [Haase et al., 2011-1] [Bäumer et al., 2012] [Schmid et al., 2015].

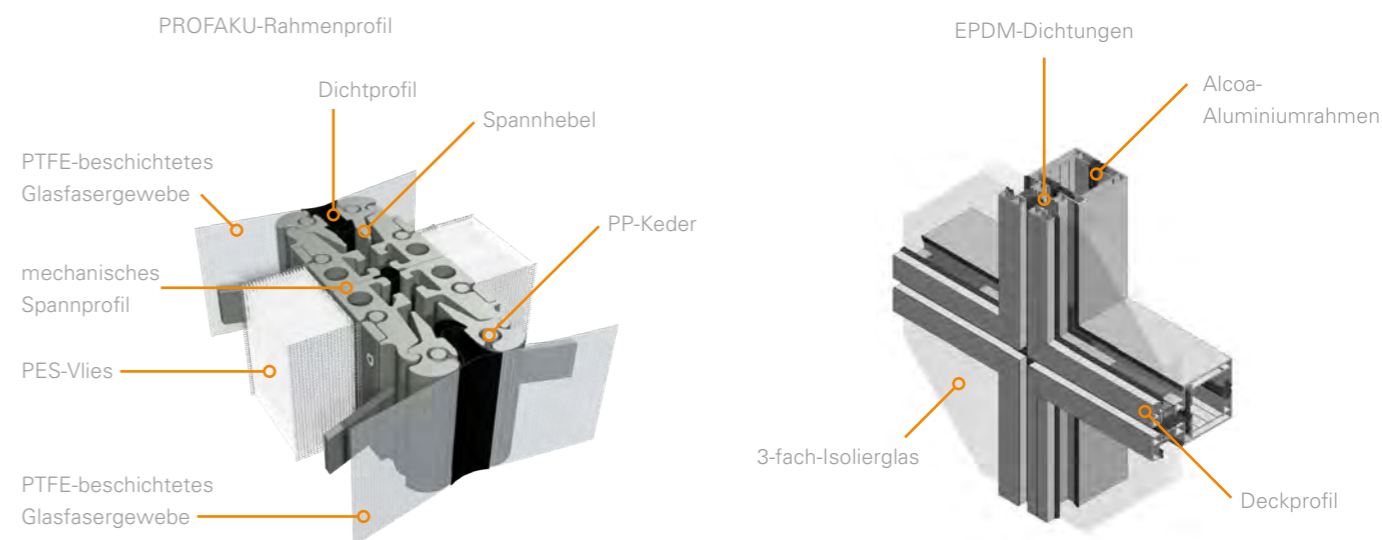
Im Rahmen des Projekts „Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen“ erfolgte die Entwicklung textiler Mehrlagensysteme für transluzente sowie opake Hüllen. Geeignete Pultrusions-Profilsysteme auf Basis glasfaserverstärkter Kunststoffe (GFK) wurden zusammen mit Projektpartnern im Projekt „PROFAKU“ entwickelt. Die dabei entworfenen und prototypisch gefertigten Profile erlauben die Aufnahme der unterschiedlichen Flächengebilde und Funktionswerkstoffe zur Hüllenbildung.

Die Optimierung der Paneelkomponenten unter dem Aspekt der Erhöhung des Schalldämmmaßes erfolgte gemeinsam mit Partnern im Projekt „ARAKO“.

Für die Bewertung eines solchen textilen Modulelements (Modulrahmen mit Hüllpaneel) wurde ein Modulmaß von 1,5 m Breite und 3 m Höhe angesetzt, das analog zu einer im Hochbau üblichen Fassadenverglasung einen U-Wert von 1 W/m²K aufweist.

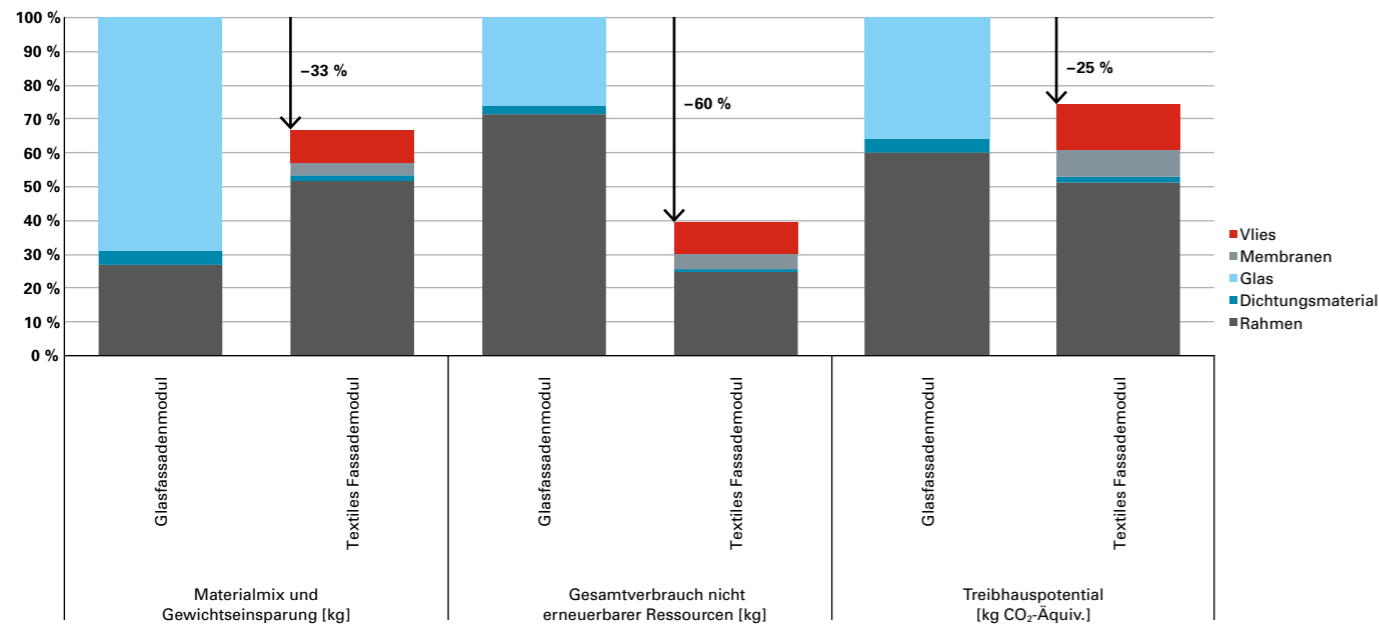
Das textile Leichtbaumodul besteht aus folgenden Komponenten (von außen nach innen): 0,5 mm Glasfaser-PTFE-Gewebe, 39 mm Luftschicht, 100 mm Polyester-Vlies, 39 mm Luftschicht, 0,5 mm Glasfaser-PTFE-Gewebe. Die Membranen werden über einen Polypropylen-Keder (PP) an das Rahmensystem angeschlossen. Die pultrudierten GFK-Rahmenprofile sind mit handelsüblichen Stahlverbindern und -schrauben verbunden und montiert. Der GFK-Rahmen des Moduls weist eine Masse von 102 kg auf. Die Gesamtmasse des textilen Modulelements beträgt 131 kg.

Als Referenzfassade wurde eine Dreifachverglasung ausgewählt, die von einem Modulrahmen aus Aluminium gefasst wird. Das Dreifachisolierglas besteht aus einer Kombination aus Verglasungen und Zwischenraumfüllungen (von innen nach außen): 4 mm Glas (Planibel Clear), Argon, 4 mm Glas (Planibel Clear), Argon, 4 mm Glas (Iplus I-Top auf Floatglas, ID 4406). Für die verglaste Referenzfassade wurde ein Aluminiumrahmen des modularen Systems AA9562 ausgewählt [Alcoa, 2017]. Der Rahmenanteil dieses Moduls weist eine Masse von 53 kg auf, die Gesamtmasse einschließlich Verglasung beträgt 196 kg.



PROFAKU-Rahmen mit textilen Lagenaufbauten (Quelle: ILEK)

Alcoa-Aluminiumrahmen mit Dreifachverglasung (Quelle: Alcoa)



Vergleich der Gebäudefassadenmodule

Der ökologische Vergleich des textilen Fassadenmoduls mit dem Glasfassadenmodul umfasst den Ressourcenverbrauch und die Treibhausgasemissionen der Herstellung der Module. Der Energieverbrauch und die Materialverluste, die bei der Montage der Fassadenmodule auftreten, werden nicht erfasst, da für die textile Modulfassade noch keine Bilanzierungsdaten vorliegen. Da es sich beim textilen Modul um einen Prototyp handelt und die Kosten für eine Serienfertigung momentan noch nicht abschätzbar sind, wird auf einen Vergleich der Material- und Energieflusskosten verzichtet.

Im Vergleich zum Glasfassadenmodul ergibt sich für das textile Leichtbaumodul eine Reduzierung des Verbrauchs an nicht erneuerbaren Ressourcen von 60 % und eine Senkung der Treibhausgasemissionen von 25 %. Ein Kilogramm des textilen Mehrlagensystems (Glasfaser-PTFE-Membranen, PES-Vlies und PP-Keder) verursacht zwar einen höheren Ressourcenverbrauch und höhere Treibhausgasemissionen als ein Kilogramm der Dreifachisolierverglasung. Da das textile Mehrlagensystem mit 26 kg jedoch eine deutlich geringere Gesamtmasse als die Verglasung (135 kg) aufweist, ergeben sich aus ökologischer Sicht dennoch erhebliche Einsparungen. Durch die geringere Masse des Mehrlagensystems wird die Verwendung des GFK-Rahmens anstelle eines Aluminiumrahmens ermöglicht. Hieraus resultieren zusätzliche signifikante Einsparungen beim Ressourcenverbrauch und bei den Treibhausgasemissionen. Diese Einsparungen werden trotz der höheren Rahmenmasse der textilen Modulfassade erreicht, da der GFK-Rahmen je Kilogramm nur ungefähr ein Fünftel der Ressourcen des Aluminiumrahmens benötigt. Zudem wird bei der Herstellung von einem Kilogramm GFK-Rahmen weniger als die Hälfte an Treibhausgasemissionen freigesetzt als bei der Herstellung von einem Kilogramm Aluminiumrahmen.

POTENZIALE FÜR DIE BAUBRANCHE

Auch wenn sich die modularen textilen Gebäudehüllen derzeit noch in der Entwicklungsphase befinden, weisen sie dennoch ein nicht zu unterschätzendes Potenzial für das Bauwesen auf. Zusätzlich zur Gewichtsreduktion auf Bauteilebene mit den verbundenen Einsparungen an Treibhausgasemissionen und eingesetzten Ressourcen eröffnet sich ein Markt im Bereich maßgeschneiderter textiler Funktionsmaterialien, die von einer Vielzahl an Hightech-Unternehmen in Baden-Württemberg und Deutschland hergestellt werden können.

Textile Gebäudehüllen sind insbesondere für den Hochhausbau geeignet, da sich hier durch den hohen Flächenanteil die Gewichts- und Materialreduktion besonders bemerkbar macht. Daher kann das in Baden-Württemberg vorhandene Knowhow genutzt werden, um Produkte mit innovativer Fassadentechnologie in Staaten (z. B. in Asien und im Nahen Osten) zu exportieren, in denen ein entsprechender Bedarf an Hochhäusern besteht. Aktuell wird zudem im Sonderforschungsbereich (SFB) 1244 [SFB 1244, 2017] die Beforschung adaptiver textiler Gebäudehüllen fortgeführt. Hieraus könnten sich in Zukunft weitere architektonisch gestalterische und wirtschaftliche Potenziale ergeben.



Karlheinz Liebrandt,
Karl Mayer Technische
Textilien GmbH:

„Textile Gebäudehüllen können so produziert werden, dass sie flexibel an die gestellten Anforderungen anpassbar sind.“

Zusammenfassung und Ausblick



Leichtbau spielt im Bauwesen bereits seit Jahrhunderten und als technisch-wissenschaftliche Formulierung seit Jahrzehnten eine wichtige Rolle. Dieser Leitfaden knüpft an den aktuellen Stand von Forschung und Technik in drei relevanten Bereichen des Leichtbaus an und konzentriert sich auf die drei Leichtbauweisen Gradientenbeton, Holzmodulbau und textile Gebäudehüllen.

Die konsequente Weiterentwicklung dieser innovativen und nachhaltigen Leichtbauweisen ermöglicht eine deutliche Erweiterung der Einsatzgebiete von Leichtbau. Die Anwendung von Leichtbau im Bauwesen kann einen Beitrag zur Bewältigung der aktuellen und zukünftigen Herausforderungen, wie Ressourcenverbrauch, Klimawandel und die Schaffung angenehmer Lebensbedingungen für eine steigende Weltbevölkerung, leisten.

Der vorliegende Leitfaden soll erste Impulse für eine bestmögliche Überführung der Leichtbauweisen Gradientenbeton und textile Gebäudehüllen in die Baupraxis geben. Die Leichtbauweise Holzmodulbau ist bereits etabliert und wird sich durch eine kontinuierliche Steigerung des Vorfertigungsgrades weiterentwickeln. Die anschauliche Aufbereitung von Steckbriefen zur Entwicklung und Anwendung der drei Leichtbauweisen mit der Angabe verantwortlicher Ansprechpartner soll deren Überführung in die Praxis bzw. Weiterentwicklung unterstützen.

Die diesem Leitfaden zugrunde gelegte Lebenszyklusperspektive stellt eine ganzheitliche Analyse der Potenziale der Leichtbauweisen sicher. Für alle exemplarisch betrachteten Leichtbauprodukte ergeben sich ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber den marktüblichen Referenzprodukten. Durch die Anwendung der Leichtbauprodukte verringert sich der Ressourcenverbrauch signifikant. Der Einsatz von Leichtbau führt darüber hinaus zu einer Senkung der Treibhausgasemissionen sowie der Material- und Energiekosten.

Ein weiterer positiver Nebeneffekt, der durch die Leichtbauprodukte hervorgerufen wird, sind zusätzliche Massenreduktionen in der Tragstruktur, insbesondere im Fundament des Gebäudes. Diese zusätzlichen Einsparungen werden möglich, da das Eigengewicht des Gebäudes durch Leichtbau reduziert wird und so tragende Bauteile deutlich materialsparender dimensioniert werden können.

Für die Baubranche in Baden-Württemberg ergeben sich durch die innovativen Leichtbauweisen große Zukunftspotenziale. Neben den beschriebenen ökologischen und ökonomischen Vorteilen verfügen die Leichtbauweisen über einen hohen Vorfertigungsgrad. Die so ermöglichte Werksfertigung der Leichtbauprodukte bringt eine gesteigerte Bauqualität mit sich, die die Qualität der Referenzprodukte übertreffen kann. Zusätzlich wird eine Steigerung der regionalen Wertschöpfung unter dem Einsatz heimischer Rohstoffe und das Schließen von Stoffkreisläufen erzielt. Durch die Anwendung der Leichtbauweisen kann sich die Bauindustrie also einen Technologievorsprung verschaffen, der gleichzeitig ökologische und ökonomische Einsparungen mit sich bringt.

Leichtbautechnologien sind prädestiniert, zur Beantwortung gegenwärtiger und auch zukünftiger Fragestellungen in der Baubranche beizutragen. Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht daher darin, die Leichtbauweisen konsequent weiterzuentwickeln, so dass sie bei einem flächendeckenden Einsatz ihre technologischen, ökonomischen und ökologischen Potenziale voll ausschöpfen können. Leichtbau nimmt eine entscheidende Rolle für die zukünftige Entwicklung unserer Städte ein. Leichtbau kann die Stadt durch innovative Gebäudestrukturen, Bauweisen und Materialien „fit“ für die Zukunft machen.

Durch die zukünftige Integration zusätzlicher Funktionen in Leichtbaukomponenten werden zudem weitere Effizienzsteigerungen erzielt werden.



Dr. Thorsten Klaus,
AH Aktiv-Haus GmbH:

„Das verdichtete Bauen im urbanen Raum und die Verkürzung der Bauzeiten sind aktuell große Zukunftsthemen. Leichte und modular gestaltete Baustrukturen ermöglichen die ressourcen- und emissionsparende Umsetzung dieser Zukunftsthemen.“



Dr. Wolfgang Seeliger,
Leichtbau BW GmbH:

„Der Leichtbau nimmt eine entscheidende Rolle für die zukünftige Entwicklung unserer Städte ein – mit innovativen Gebäudestrukturen, Bauweisen und Materialien können wir Städte ‚fit‘ für die Zukunft machen.“



Ulrike Möller, Allianz Faserbasierte Werkstoffe Baden-Württemberg (AFBW):

„2018 steht bei der AFBW ganz im Zeichen von Leichtbau im Bauwesen und dem Thema Textiles Bauen. Das Netzwerk wird das Projekt Bautex, gefördert vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, umsetzen – mit vielen einzelnen Maßnahmen und einem Kongress im Herbst.“



Ein mögliches Szenario für die Stadt der Zukunft (Quelle: TEAMOBILITY GmbH)

Beispielsweise eröffnet die Weiterentwicklung adaptiver Systeme ein zusätzliches Anwendungsspektrum. Adaptive Elemente werden momentan im Sonderforschungsbereich (SFB) 1244 [SFB 1244, 2017] untersucht. Das Ziel der Adaptivität der Fassade und des Tragsystems ist eine signifikante Einsparung von Material und Energie bei einer gleichzeitigen Verbesserung der bauphysikalischen Qualitäten und der damit zusammenhängenden Aufenthaltsqualität für den Nutzer.

Zudem spielen Verbundbauweisen, wie z. B. der Holz-Beton-Verbund, eine stetig zunehmende Rolle in der Baubranche, da mit ihnen die Eigenschaften und Leichtbaupotenziale verschiedener Werkstoffe kombiniert werden können. Zur Sicherstellung der sortenreinen Rezyklierbarkeit müssen Verbundbauweisen mit lösbaren Verbindungen umgesetzt werden.

Die Ergebnisse dieses Leitfadens zeigen, dass der gesteigerte Einsatz von Leichtbau im Bauwesen aus ökonomischer und ökologischer Perspektive wünschenswert ist. Das Fraunhofer IBP und das ILEK haben im Projekt „Leichtbau im Bauwesen“ die Grundlagen gelegt, auch zukünftige Bewertungen von neu entwickelten Produkten, in denen die vorgestellten Leichtbauweisen angewendet werden, durchführen zu können.

Die vom Land Baden-Württemberg gegründeten Institutionen, wie die Leichtbau BW GmbH oder die Allianz Faserbasierte Werkstoffe Baden-Württemberg e.V. (AFBW) tragen dazu bei, Leichtbau

branchenübergreifend zu etablieren. Die Leichtbau BW bündelt alle Aktivitäten rund um die Frage, wie das Gesamtbild der Stadt der Zukunft aussehen könnte, unter dem Begriff „Leichtbau im urbanen System“, wobei es dabei nicht allein um das Thema Architektur geht. Denn eine wachsende städtische Bevölkerung stellt auch ganz neue Anforderungen an Mobilität und Transport, angefangen vom Berufsverkehr zu Stoßzeiten bis hin zum einem deutlich gestiegenen Lieferverkehr für die Versorgung der Stadtbevölkerung. Zum Verständnis von „Leichtbau im urbanen System“ gehört es auch, klassische Denkweisen aufzubrechen – so müssen Mobilität und Architektur zukünftig Hand in Hand gehen. Dies soll beispielsweise durch die Integration von Funktionen in die tragende Struktur von Gebäuden erfolgen, etwa für den Transport von Paketen innerhalb des Gebäudes.

Durch die gezielte Förderung von Leichtbau im Bauwesen kann die baden-württembergische Politik die Umsetzung von Leichtbauprodukten in der Baubranche weiter unterstützen. Neben der weiterführenden Forschungsförderung und der Vereinfachung von Bauteilzulassungen wird auch die Durchführung weiterer Leuchtturmprojekte zu einer verstärkten Verbreitung von Leichtbauprodukten im Bauwesen beitragen.

Literaturverzeichnis

- Albrecht et al., 2016** | Albrecht, S.; Endres, H.-J.; Knüpfer, E.; Spierling, S.: Biokunststoffe – quo vadis? wuf 2016, 24, 55–62, DOI: 10.1007/s00550-016-0390-y. Projekt Neue Wege, Strategien, Geschäfts- und Kommunikationsmodelle für Biokunststoffe als Baustein einer Nachhaltigen Wirtschaft (BiNa) (2016).
- Alcoa, 2017** | Alcoa Architectursystemen: AA 9562 Elementengevel (2017). https://www.kawneer.com/bcs/architectuursystemen/catalog/pdf/Catalogues/AA%209562_150126.pdf (Stand: 16.11.2017)
- Bäumer et al., 2012** | Bäumer, Ralf; Haase, Walter; Mielert, Fritz; Ocanto, Luis; Schmid, Fabian: Entwicklung leichter Profile und Bauteile aus faserverstärkten Kunststoffen für Anwendungen in der textilen Gebäudehülle und der Fenstertechnik (PROFAKU). Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. (2012). Förderkennzeichen: Z 6 – 10.08.18.7-08.29
- CDIAC, 2014** | CDIAC: Global Carbon Budget 2013, Carbon Dioxide Information Analysis Center (2014).
- CML, 2016** | Universiteit Leiden, CML – Department of Industrial Ecology: CML-IA Characterisation Factors (2016). <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors> (Stand: 16.11.2017)
- Eurostat, 2014** | Europäische Kommission, Eurostat 2014, International Trade. Annual detailed data by PRODCOM list (according to Nace Rev.1). Sold production, exports and imports (DS-045339). <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/newxtweb> (Stand: 16.11.2017)
- Fachverband Beton, 2017** | Lotz, Ulrich: Persönliche Auskunft im Rahmen der Tätigkeiten im Projektbeirat des Projekts „Leichtbau im Bauwesen“ auf Basis der Statistik „Produktion Betonzeugnisse Baden-Württemberg 2016“. Fachverband Beton- und Fertigteilwerke Baden-Württemberg e.V. (2017).
- Gantner et al., 2017** | Gantner, Johannes; Beck, Tabea; Horn, Rafael: Social impact assessment of shopping mall retrofitting (Deliverable 5.7). Projekt CommONEnergy (2017).
- Haase et al., 2011-1** | Haase, Walter; Mühlberger, Jörg; Schmid, Fabian; Sobek, Werner: Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen: mit Anl. 1. Recherchebericht: Beispiele zur konstruktiven Ausführung mehrlagiger gedämmter Membranbauwerke. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. (2011). Förderkennzeichen: Z 6 – 10.08.18.7-07.37.
- Haase et al., 2011-2** | Haase, W.; Klaus, T.; Schmid, F.; Sobek, W.; Sedlbauer, K.; Schmidt, T.; Synold, M.: „Adaptive textile und folienbasierte Gebäudehüllen“. In: Bautechnik 88 (2011), S. 69–75.
- Holzbau Deutschland, 2017** | Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes: Statistiken 2017. http://www.holzbau-deutschland.de/fileadmin/user_upload/eingebundene_Downloads/Statistiken_2017.pdf Stand: 16.11.2017
- Ko et al., 2018** | Ko, N.; Lorenz, M.; Horn, R.; Krieg, H.; Baumann, M.: Sustainability assessment of concentrated solar thermal tower power plants (CSP) – Integrating LCA, LCC and LCWE in one framework. CIRP LCE 2018 Proceedings. Projekt PreFlexMS (2018).
- Kolb, 2010** | Kolb, J.: Holzbau mit System: Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile, 3. Aufl. Basel u. a.: Birkhäuser (2010).
- Leonhardt, 1940** | Leonhardt, Fritz: Leichtbau - eine Forderung unserer Zeit. In: Bautechnik 18.36-37 (1940), S. 413-423.
- proHolzBW, 2017** | Hörrmann, Joachim: Persönliche Auskunft im Rahmen der Tätigkeiten im Projektbeirat des Projekts „Leichtbau im Bauwesen“. proHolzBW GmbH (2017).
- Rüter, Diederichs, 2012** | Rüter, Sebastian; Diederichs, Stefan: Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz. Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2012/1 (2012).
- Schmid et al., 2015** | Schmid, Fabian; Verres, Eva; Haase, Walter; Mehra, Schew-Ram; Sobek, Werner; Sedlbauer, Klaus: Adaptive Raumakustik und akustische Konditionierung im Bauwesen (ARAKO): Adaption der akustisch wirksamen Parameter von Textil- und Membransystemen zur Verbesserung bauakustischer Maßnahmen sowie zur Steigerung und Anpassung der Raumakustik und Raumklangqualität. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. (2015) Förderkennzeichen: SF- 10.08.18.7- 11.20 / II 3-F20-10-1-038.
- SFB 1244, 2017** | Universität Stuttgart: Adaptive Hüllen und Strukturen für die gebaute Umwelt von morgen (SFB 1244). <http://www.uni-stuttgart.de/ilek/forschung/sfb-1244>, https://www.iabp.uni-stuttgart.de/forschung/adaptive_huellen_und_strukturen/ (Stand: 17.02.2018)
- Sobek, 1995** | Sobek, Werner: Zum Entwerfen im Leichtbau. In: Bauingenieur 70.7-8 (1995), S. 323–329.
- Sobek, 2014** | Sobek, Werner: Ultraleichtbau. In: Stahlbau 83.11 (2014), S. 784-789.
- Sobek, 2016** | Sobek, Werner: Über die Gestaltung der Bauteilinnerräume – Meinem Freund Manfred Curbach zum 60. Geburtstag gewidmet. In: Scheerer, S.; van Stipriaan, U. (Hrsg.): Festschrift zu Ehren von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, S. 62–76.
- thinkstep, 2017** | thinkstep AG: GaBi Software System and Databases for Life Cycle Engineering. thinkstep, Leinfelden-Echterdingen (1992-2017).
- Vereinte Nationen, 2014** | Vereinte Nationen: World Urbanization Prospects 2014, Department of Economic and Social Affairs der Vereinten Nationen (2014).
- Weizenegger, 2017** | Persönliche Auskunft von Lars Miller, Geschäftsführer, Weizenegger GmbH (2017).

Impressum

HERAUSGEBER

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und
Wohnungsbau Baden-Württemberg
Schloßplatz 4, 70173 Stuttgart
www.wm.baden-wuerttemberg.de

Der Leitfaden wurde vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik und vom Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren der Universität Stuttgart erarbeitet und vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg gefördert.

Der Leitfaden steht online unter
www.wm.baden-wuerttemberg.de

im Servicebereich, Publikationen zur Verfügung und kann dort auch kostenfrei bestellt werden.

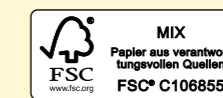
GESTALTUNG

unger+ kreative strategien GmbH, Stuttgart
www.ungerplus.de

DRUCK

Fischbach Druck GmbH, Reutlingen
www.fischbach-druck.de

Stand: März 2018 (1. Auflage)



AUTOREN DES LEITFADENS

Michael Baumann (Fraunhofer IBP, Projektleiter)
Walter Haase (ILEK, Projektleiter)
Christina Eisenbarth (ILEK, Holzbau)
Clemens Freitag (ILEK, Textile Gebäudehüllen u. Holzbau)
Roberta Graf (Fraunhofer IBP, Bilanzierung)
Rafael Horn (Fraunhofer IBP, Bilanzierung)
Daniel Schmeer (ILEK, Gradientenbeton)
Paula Lie Sternberg (ILEK, Holzbau)



Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Baden-Württemberg herausgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden wird.

