vaku*tex* | Vakuumgedämmte Fassadenelemente aus Textilbeton

Kurzbericht

14. Juni 2013

Forschungsstelle
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
University of Applied Sciences
ai:L Architektur-Institut Leipzig
Forschungsgruppe energie.*design*
Karl-Liebknecht-Straße 132
04277 Leipzig

Telefon: +49 (0)341 3076 6248
huelsmeier@fb.htwk-leipzig.de
www.energiedesign.htwk-leipzig.de

Projektleiter
Frank Hülsmeier
Prof. Dipl.-Ing. | Architekt

Themenleiter
Alexander Kahnt
Dipl.-Ing. (FH) | Architekt

Projektbearbeitung
Otto Grauer
M. Sc.
Stefan Huth
M. A.
Susanne Kirmse
Dipl.-Ing. (FH) | Architektin
Matthias Tietze
Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH)

Förderhinweis

Die Forschungsarbeit wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

Aktenzeichen:
SF - 10.08.18.7-09.30/II - F20-09-1-190

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Hintergrund

Die ökologischen und energetischen Anforderungen an die Gebäudehülle werden sich in den nächsten Jahren weiter erhöhen. Unter Verwendung üblicher Materialien zieht dies vielfach eine Verdickung der Außenwandaufbauten nach sich. Um dem entgegenzuwirken, bieten sich neue Lösungen mit Konstruktionen aus mikro- bis nanostrukturierten Materialien an, die durch Wärmeleitfähigkeitsreduktion, Festigkeits-, Wärmekapazitäts- und Qualitätserhöhung schlankere Bauteile ermöglichen.
Der weltweit zunehmende Energiebedarf und der steigende Verbrauch von Rohstoffen sind Motivation und Ausgangspunkt der Forschungsarbeit. Der Baustoff Zement beispielsweise hatte im Jahr 2005 einen Anteil von 4,2 % am weltweiten CO_2-Ausstoß, das Material Beton trägt damit den Hauptanteil der CO_2-Emissionen im Bauwesen. Verglichen mit anderen Materialien weist Beton eine gute Ökobilanz auf, problematisch ist jedoch die enorm große Menge, die verbaut wird. Seit 1950 waren es in Deutschland ca. 3,6 Mrd. m³, davon befindet sich der überwiegende Teil immer noch in den Gebäuden [1].
Die Baustoffdatenbank Ökobau.dat mit den daraus erstellten Sachbilanzen von Stoffströmen erlaubt heute eine ganzheitliche Betrachtung der Umwelteinflüsse durch Bauwerke wie z. B. ihres Treibauspotentials, Primärenergiebedarfs oder Recyclingpotentials. Durch diese Sachbilanzen wird es möglich, auch die graue, also im Bauwerk gebundene Energie, umfassend zu betrachten. Verglichen mit dem Energiebedarf in der Nutzungsphase nimmt sie einen immer größeren Anteil ein. Die für die Lebenszyklusphasen Neubau, Instandsetzung und Rückbau benötigte graue Energie wird jedoch in den derzeit gesetzlich vorgeschriebenen Nachweisen nicht betrachtet.
Die Anforderungen an die Energieeffizienz eines Gebäudes wurden seit der ersten Wärmeschutzverordnung 1977 beständig verschärft, der erforderliche Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) einer Außenwand beispielsweise um den Faktor Sechs (s. Abb. 1). Um dem geforderten Standard gerecht zu werden, sind einerseits Maßnahmen zur energieeffizienten und neuerdings auch zur regenerativen Erzeugung von Nutzenergie notwendig, andererseits ebenso zur Optimierung der Gebäudehülle.
In der Abstimmung des EU-Parlaments vom 22. April 2010 wurde über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden entschieden. So sollen bis zum 31. Dezember 2018 nationale Regelungen verabschiedet werden, nach denen alle öffentlichen Neubauten als Niedrigstenergiegebäude realisiert werden müssen. Zwei Jahre später gilt diese Regelung für alle Neubauten der Europäischen Union [2].

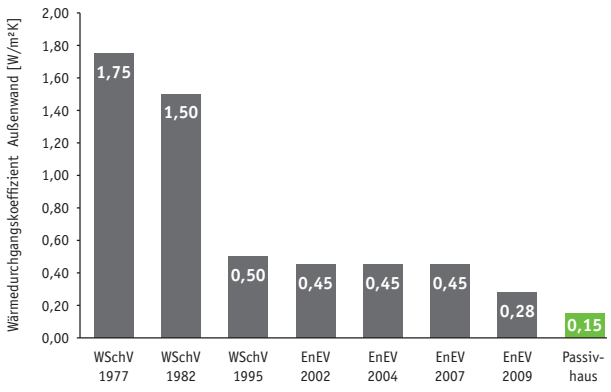


Abb. 1 Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz, Quelle: HTWK Leipzig

Ziele und Potentiale des Forschungsvorhabens

Seit März 2010 widmete sich das Forschungsvorhaben „vaku*tex* - Vakuumgedämmte Fassadenelemente aus Textilbeton“ an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig dem Ziel, eine extrem leichte und energieeffiziente Gebäudehülle in Sichtbetonoptik zu entwickeln (s. Abb. 2). Durch die Kombination innovativer Verbundwerkstoffe wie Textilbeton (s. Abb. 3), Vakuumisolationspaneelen (VIP) (s. Abb. 4), Latentwärmespeichermaterialien (PCM) und glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) sollten minimale Bauteildicken erreicht werden, welche die Anforderungen an zukünftige Fassaden hinsichtlich Statik, Wind- und Luftdichtheit, Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz erfüllen (s. Abb. 5). Potentiale wurden neben der Ressourceneffizienz auch in den Bereichen Flächenersparnis, Wirtschaftlichkeit, Tageslichtführung, solare Wärmegewinne, Schadstoffreduzierung und Übertragbarkeit der gestalterischen Möglichkeiten zeitgemäßer Betonarchitektur gesehen (s. Abb. 6).

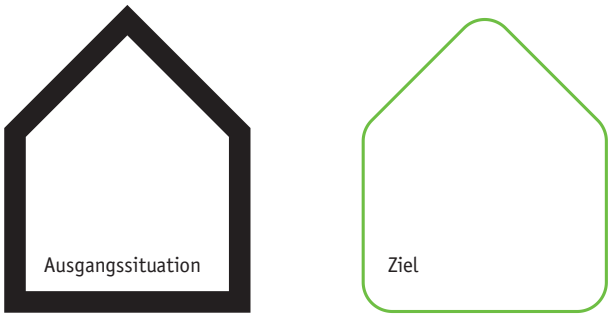


Abb. 2 Zielstellung vaku^{tex}, Quelle: HTWK Leipzig

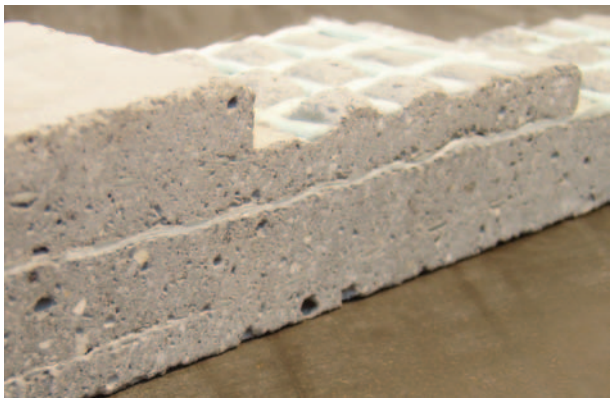


Abb. 3 Mustervorlage Textilbeton, Quelle: TU Dresden

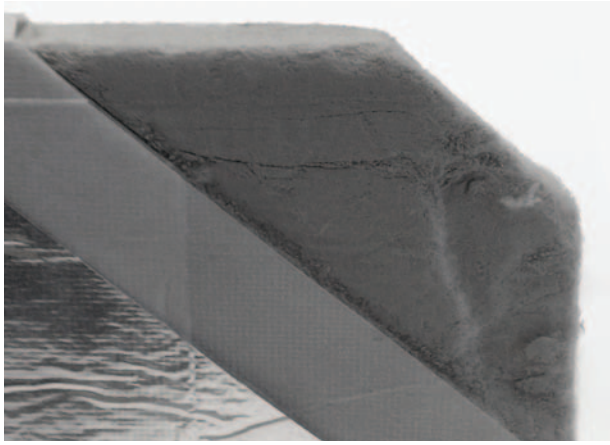


Abb. 4 Muster Vakuumisolationspaneel (VIP), Quelle: HTWK Leipzig

Abb. 5 Anforderungen an eine Fassade, Quelle: HTWK Leipzig

Architektonische Betrachtung

Die Entscheidung, mit vaku^{tex} ein Vorhangfassadenelement zu entwickeln, statt tragend oder massiv zu bauen, wurde aufgrund der hohen Flexibilität von vorgehängten Systemen getroffen. Diese erlauben eine freie Fassaden- und Grundrissgestaltung im Gebäude, weil die Fassade losgelöst vom Primärtragwerk funktioniert. Da die Elemente von vaku^{tex} durch ihre Schlankheit zudem sehr leicht sind (ca. 100 kg/m²), kann die Unterkonstruktion entsprechend filigran ausfallen.

Durch die Ausbildung der äußeren Elementschichten in Beton besteht ein hoher Grad an Gestaltungsmöglichkeiten für die Oberflächen: Durch Ansäuern, Lasieren, Einfärben oder den Einsatz von Strukturmatrizen kann eine sehr individuelle Optik und Haptik erzielt werden, auch Bilddarstellugen sind möglich (s. Abb. 7). Dabei bleibt der Beton immer „materialecht". Diese Vielfältigkeit von Beton ist für Architekten reizvoll, auch im Zusammenspiel mit anderen Materialien.

Die gestalterischen Möglichkeiten von vaku^{tex} erlauben neben dem normalen Parallelzuschnitt der Elemente auch asymmetrische Zuschnitte und verschiedene Plattengrößen, die in der Fassade kombiniert werden können und so eine architektonische Spannung aufbauen (s. Abb. 8/Abb. 9).

Durch die Schlankheit und Leichtigkeit des Fassadenaufbaus sind die Elemente besonders geeignet für städtebauliche Nachverdichtungen und temporäre Bauten – aktuelle Themen des architektonischen Diskurses.

Bei der Elemententwicklung von vaku^{tex} wurden zu Beginn der Arbeit bestehende Gebäudetypologien in Hinblick auf Nutzungstyp, Baualtersklasse und Konstruktion empirisch untersucht. Die Klassifizierung zeigt das Spektrum üblicher Elementformate in den Fassaden der einzelnen Gebäudetypen auf. Die Abhängigkeiten von Gebäudenutzung (Arbeiten, Lernen, Wohnen) und den Rastern für Raumdimension, Konstruktion und Fassade wurden in den unterschiedlichen Kategorien herausgestellt (s. Abb. 10). Auftretende Häufungen in den Abmaßen der verschiedenen Rastergrößen beeinflussten schließlich die Entscheidung über die Elementmaße des Demonstrators, der ein möglichst universelles Format

bekommen sollte. Das Fassadenelement wurde in der Folge mit 3,20 m geschosshoch in einer Breite von 1,50 m geplant. Beide Maße sind in Abhängigkeit von den Gestaltungswünschen veränderbar.

Technische Betrachtung

Nach der grundsätzlichen Festlegung der Anforderungen an das zu entwickelnde Bauteil sowie der Abmessungen erfolgte das stufenweise Erarbeiten konstruktiver Lösungen. Eine allgemeine, breit angelegte Recherche zu Fassadenkonstruktionen ergab

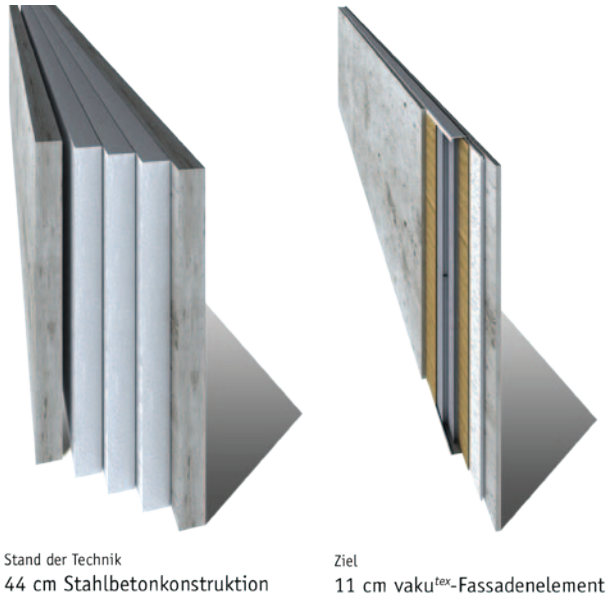


Abb. 6 Vgl. Stahlbeton- u. vaku^{tex}-Fassade, Quelle: HTWK Leipzig

Abb. 7 Mock-Up, Foto: T. Krettek (filmaton), Quelle: HTWK Leipzig

dazu in erster Stufe eine umfangreiche Sammlung möglicher Varianten sowie das Darstellen realisierbarer Konstruktionsdetails in einem Detailkatalog, der nach Themenbereichen wie Transportbefestigung, Elementbefestigung, Befestigung der äußeren Platte usw. geordnet wurde. Im nächsten Schritt wurden die Details einer mehrstufigen Bewertung relevanter Kriterien wie Statik, Wirtschaftlichkeit, Maßtoleranzen Revisionierbarkeit sowie bauphysikalischer und architektonischer Aspekte unterzogen. Dies führte zu der Entscheidung für jeweils ein Detail im jeweiligen Themenbereich. Der Arbeitsstand wurde durch Projektpartner und Experten geprüft und deren Hinweise aufgenommen. Eine optimierte Konstruktionsvariante bildete den Abschluss dieser Phase. Parallel zur konstruktiven Erarbeitung der Details und der Klärung technischer Fragen wurden stets bauphysikalische, ökologische, ökonomische und gestalterische Kriterien berücksichtigt. So wurden beispielsweise statische Nachweise durch die BTU Cottbus erbracht oder Messungen zum Wärmedurchgangskoeffizienten im Klimaschrank der HTWK Leipzig realisiert. Außerdem erfolgte die Bewertung des Fassadenelements in externen Prüfeinrichtungen. An der Materialforschungs- und Prüfungsanstalt Leipzig wurden orientierende Brand- und Schallprüfungen durchgeführt. Alle Prüfergebnisse wurden zusammenfassend ausgewertet und damit Rückschlüsse auf die konstruktive Gestaltung gezogen bzw. die Planung angepasst. Ein Produktdatenblatt stellt die Ergebnisse zusammen.

Das System der vaku^{tex}-Fassade als nicht-tragende Vorhangfassade leitet einwirkende Lasten direkt in das Primärtragwerk ab. Entwickelt und realisiert wurde schließlich ein auf 11 cm minimiertes Fassadenbauteil (s. Abb. 11). Durch den Einsatz von Textilbeton werden Materialstärken von nur 10 - 30 mm möglich, da die textilen Gelege aus alkaliresistentem Glas oder Carbon nicht korrodieren. Unvermeidbare Risse sind sehr schmal und fein verteilt. Für die 30 mm starke Innen- und 15 mm starke Außenplatte aus Textilbeton wurde der Feinbeton TF 10 der Firma Pagel verwendet, mit dem im Verlauf des Projektes mehrere Prüfbetonagen durchgeführt wurden.

Ein Rahmen aus GFK-I-Profilen dient der Verbindung der inneren und äußeren Textilbetonplatte. Darüber hinaus steift ein vertikales GFK-I-Profil die Elemen-

te im Inneren aus. Die Dimensionierung der Profile erfolgte hauptsächlich unter statischen und bauphysikalischen Gesichtspunkten.
Für die Befestigung der Textilbetonplatten mit den GFK-Profilen wurde in Abstimmung mit den Projektpartnern und den Experten eine Klebevariante ausgewählt. Bei dem für die Elemente verwendeten und zugelassenen „Tack Panel System“ der Firma Sika Deutschland GmbH ist eine Verklebung im Fassadenbereich bis 22 m ohne mechanische Zusatzsicherung möglich (s. Abb. 12). Für höhere Gebäude sind in Deutschland zusätzliche Haltevorrichtungen zu integrieren, die im Fall des Versagens der Klebverbindung ein Herabfallen von Elementteilen verhindern.
Aufgrund der Ergebnisse der bauphysikalischen Untersuchungen und ökologischen Bewertungen wurden für die Dämmung Vakuumisolationspaneele (VIP) in 5,5 cm Stärke vorgesehen. Diese bestehen aus einem Stützkern aus mikroporöser Kieselsäure, der evakuiert und in eine metallbedampfte Hochbarrierefolie aus Kunststoff eingeschweißt wird. Die Wärmeleitfähigkeit ist ca. fünfmal geringer als die von Mineralwolle in Fassadenanwendungen. Bei der Verwendung von VIP muss auf ihre hohe Sensibilität hinsichtlich kleinster Beschädigungen der Folie geachtet werden, da der Verlust des Vakuums eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit auf das Dreifache bedeutet. Aus Sicherheitsgründen können VIP zweilagig eingebracht werden, damit bei einem eventuellen Paneelausfall der Mindestwärmeschutz durch die zweite Lage gewährleistet wird. Durch Überlappungen von 10 cm lassen sich Wärmebrücken auf ein Drittel gegenüber dem stumpfen Paneelstoß reduzieren. Als thermische Schwachstelle erweist sich die Fuge zwischen zwei Fassadenelementen, da die erforderlichen Dichtungen nur eine reduzierte Wärmedämmung zulassen (si. Abb. 13). Die Innenoberflächentemperatur liegt jedoch ausreichend hoch zur Gewährleistung der Schadensfreiheit.

Abb. 8 Fassadenentwurf, Projekt vaku*tex*, Quelle: HTWK Leipzig

Abb. 9 Gebäuderweiterung, Projekt para*tex*, Quelle: HTWK Leipzig

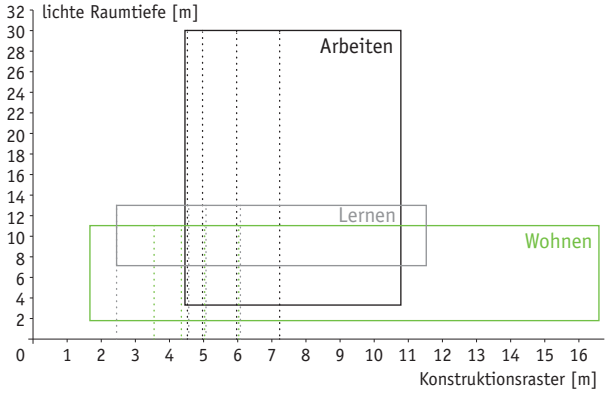
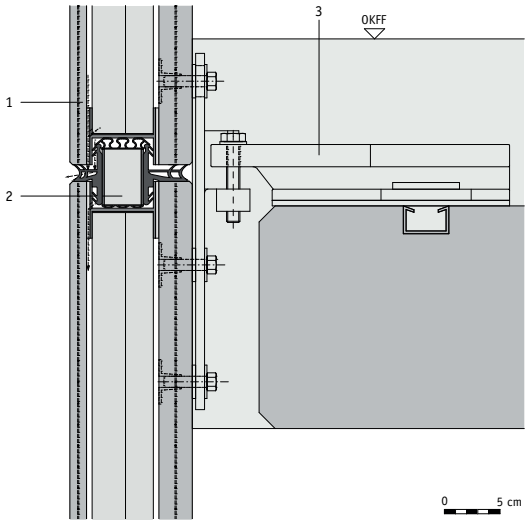


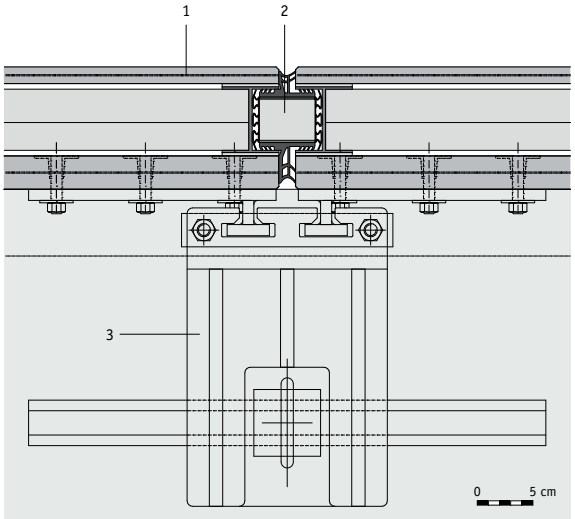
Abb. 10 Zusammenhang von Raster, Raumtiefe und Nutzung, Quelle: HTWK Leipzig

Abb. 11 Axonometrie Fassadenausschnitt, Quelle: HTWK Leipzig

Von großer konstruktiver Bedeutung für die Planung war das Berücksichtigen von Längenänderungen und Verformungen der Fassadenteile. Bewegungen der Fassadenelemente und ihrer Aufhängung müssen kontrolliert in alle Richtungen möglich sein. Um auf die horizontalen und vertikalen Maßtoleranzen des Rohbaus einzugehen, wurde eine dreidimensional einstellbare Elementbefestigung gewählt und, unterstützt durch die Firma Halfen International GmbH, an die Anforderungen der vaku*tex*-Fassade angepasst. Die Fugenbreite zwischen den Fassadenpaneelen wurde zur Aufnahme der Rohbau- und Fertigungstoleranzen auf 15 mm festgelegt. Mit der Planung von Fest- und Gleitpunkten im Aufhängesystem werden durch Temperatur- und Feuchteschwankungen erzeugte Längenänderungen spannungsfrei möglich. Um Undichtigkeiten der Fugen aufgrund von Durchbiegungen oder Längenänderungen zu vermeiden, wurde ein Dichtsystem entwickelt, mit dessen Hilfe die Fassadenelemente gekoppelt und dreidimensionale Bewegungen aufgenommen werden können. In den horizontalen Fugen sind feldweise Entwässerungs- und Druckausgleichsöffnungen vorgesehen. Die Luftschicht zwischen der äußeren Textilbetonplatte und der Vakuumdämmung weist mit diesen Öffnungen (< 5 cm² je Meter Fassade nach DIN EN ISO 6946) die wärmetechnischen Eigenschaften einer ruhenden Luftschicht auf.

Das Fassadenelement wurde an der MFPA Leipzig einer brandschutztechnischen Prüfung unterzogen und konnte in die Baustoffklasse A2 (nicht brennbar) eingruppiert werden (s. Abb. 14). Bei einer





1: Fassadenelement von außen nach innen
1,5 cm Textilbetonplatte
0,5 cm Kunststoffwellplatte
3,0 cm Vakuumisolationspaneel
2,5 cm Vakuumisolationspaneel
0,5 cm Kunststoffwellplatte
3,0 cm Textilbetonplatte
umlaufend GFK-Profil 50/60/3
11,0 cm Gesamtdicke

2: Fugendichtung
---- cm EPDM-Dichtungsprofil
0,2 cm GFK-Lamelle
3,2 cm Vakuumisolationspaneel
0,2 cm GFK-Lamelle
---- cm EPDM-Dichtungsprofil

3: Deckenaufbau
15,0 cm Technische Medien / Trittschalldämmung / Estrich / Bodenbelag
Dreidimensional justierbares Fassadenaufhängesystem
20,0 cm Stahlbetonrohdecke

Abb. 12 Detailschnitt vertikal und horizontal, Quelle: HTWK Leipzig

orientierenden Schallschutzmessung konnte ein bewertetes Schalldämm-Maß $R_{w,P}$ von 47 dB für geklebte Außenplatten ermittelt werden. Eine zweite Variante, bei der die äußere Textilbetonplatte mit Agraffen am Element befestigt wurde, erreichte ein $R_{w,P}$ von 56 dB. Somit genügen die Elemente selbst den Schallschutzanforderungen hoher Außenlärmpegelbereiche.
Durch vollständige Werksfertigung kann eine hohe Verarbeitungsqualität garantiert und die Elemente zum idealen Zeitpunkt geliefert und verbaut werden. Dies gewährleistet einen optimierten Bauablauf sowie eine verkürzte Bauzeit (s. Abb. 15). Durch das geringe Gewicht der Elemente werden Transport und Montage erheblich vereinfacht. Auf der Baustelle kann die gesamte Fassadenmontage ohne Gerüst erfolgen: Mithilfe eines Krans werden die Elemente in den Rohbau gehoben und eingehängt. Anschließend ist ein dreidimensionales Ausrichten mittels Justierschrauben möglich.

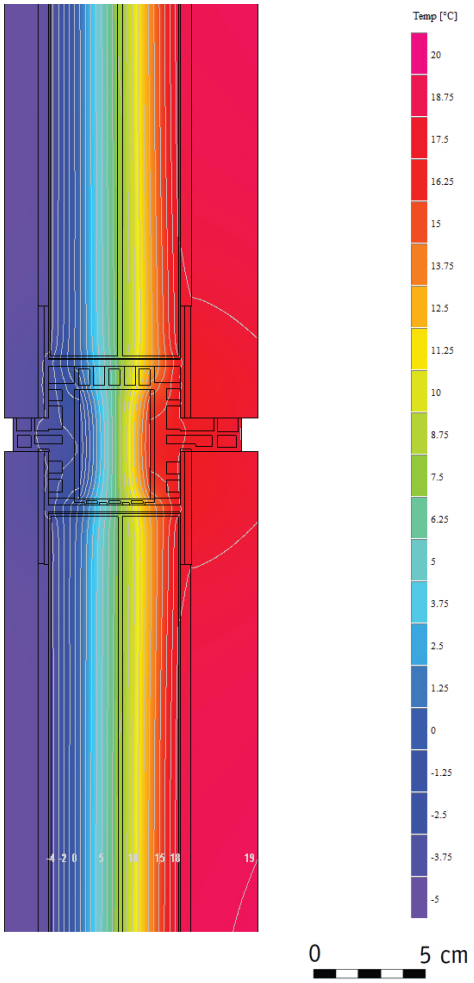


Abb. 13 Thermische Simulation Elementstoß, Quelle: HTWK Leipzig

Ökologische Betrachtung

Die Ökobilanzierung (engl.: Life Cycle Assessment, LCA) betrachtet den gesamten Lebenszyklus eines Bauprodukts von der „Wiege bis zur Bahre". Es werden alle Prozesse des Lebenszyklus, d. h. Rohstoffgewinnung, Aufbereitung, Produktherstellung, Transport, Montage, Nutzung, Instandsetzung, Rückbau und Verwertung einbezogen. Der Ressourcenverbrauch, alle Umweltwirkungen in Luft, Wasser und Boden sowie die Flächeninanspruchnahme werden erfasst und bewertet. Ökobilanzen ermöglichen es dem Planer oder Nutzer, Umweltaspekte in die Entscheidung für oder gegen ein Bauprodukt einfließen zu lassen [3], [4]. Berechnungsgrundlage bildet nach dem Leitfaden Nachhaltiges Bauen ein 50-jähriger Lebenszyklus [5]. Unabhängig davon, ob eine Konstruktion tatsächlich zu diesem Zeitpunkt noch mehrere Jahre an Lebensdauer besitzt, muss sie rechnerisch verwertet (deponiert, verbrannt und/oder recycelt) werden.

Abb. 14 Brandversuch, Quelle: HTWK Leipzig

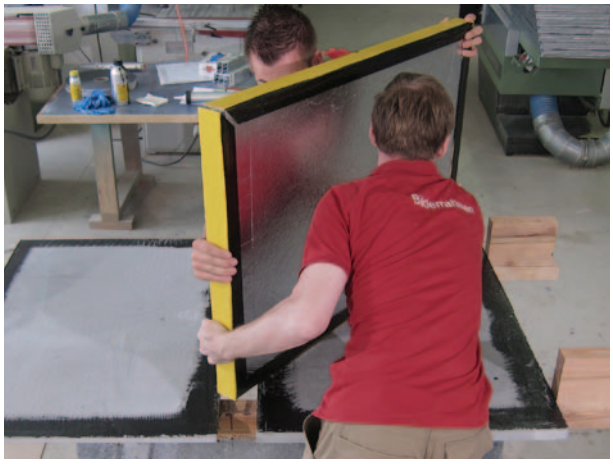


Abb. 15 Vorfertigung in der Werkstatt, Quelle: HTWK Leipzig

Die vaku^{tex}-Fassade wurde mit unterschiedlichen Fassadentypen nach ökologischen Kriterien verglichen (s. Abb. 16/Abb. 17). Dieser Bilanzierung liegt jeweils ein Quadratmeter Fassadenfläche mit dem gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten von 0,15 W/m²K (Passivhausstandard) zu Grunde. Das ökologische Potential der Materialkombination vaku^{tex} liegt in der Verringerung des Bauteilgewichts auf ein Fünftel gegenüber der wärmetechnisch gleichwertigen Stahlbetonkonstruktion. Die Flächenversiegelung durch ein Gebäude kann je nach Geometrie bis zu 15 % gegenüber der Stahlbetonkonstruktion reduziert werden. Die Treibhausemissionen von vaku^{tex} werden auf ein Viertel verringert. Die Primärenergie, die zur Herstellung, Instandsetzung und Entsorgung der vaku^{tex}-Elemente benötigt wird, beträgt nur 40 % gegenüber der des Stahlbetonelements. Einsparungen werden vor allem durch eine verringerte Rohstoffentnahme sowie recycelbare Baumaterialien erzielt. Das als Demonstratorbauteil realisierte Fassadenelement erreicht einen Wärmedurchgangskoeffizienten von 0,15 W/m²K, dies entspricht dem Passivhausstandard. Durch den Einsatz von ausnahmslos anorganischen Materialien tritt das Produkt nicht in Konkurrenz zur Land- und Forstwirtschaft, wie es bei nachwachsenden Rohstoffen der Fall ist.
Kritisch zu sehen sind die relativ kurze Lebensdauer der Vakuumisolationspaneele, die derzeit noch mit 30 Jahren angegeben wird [5]. Dennoch können vaku^{tex}-Fassaden einen Beitrag zur Umsetzung umweltpolitischer Ziele wie der Erhöhung der Energie- und Rohstoffproduktivität leisten, da sie als System ressourcensparend und äußerst energieeffizient sind.

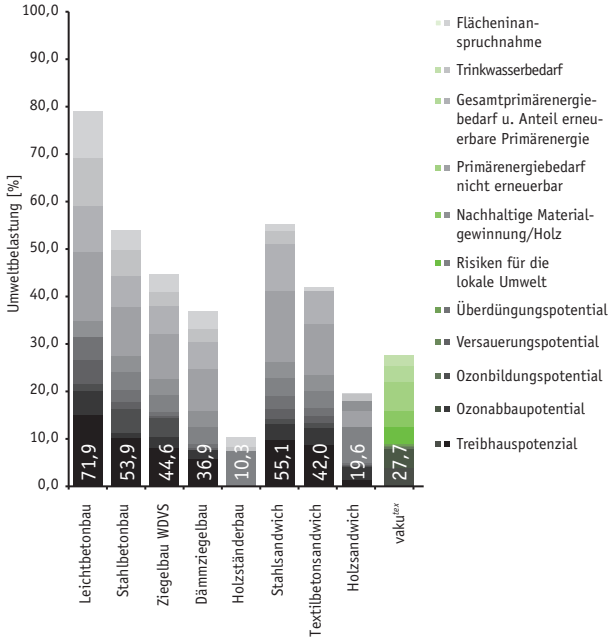


Abb. 17 Umweltbelastung unterschiedlicher Fassadenkonstruktionen (Ermittelt mit einem relativen Bewertungsverfahren in Anlehnung an das Bewertungssystem für nachhaltiges Bauen), Quelle: HTWK Leipzig

Ökonomische Betrachtung

Zur Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der vaku^{tex}-Fassade wurde das Werkzeug der Investitionsrechnung herangezogen. Sie dient dazu, eine rationale Beurteilung einer Investition anzustellen und ihre finanziellen Konsequenzen zu beziffern. Die Wirtschaftlichkeit der vaku^{tex}-Fassade für potentielle Investoren sollte über den Flächengewinn geführt werden. Um den Energiestandard Passivhaus zu erreichen, wurden für diverse Beispielgebäude in einem Fall ein Stahlbetonsandwichelement mit 44 cm Dicke, im anderen Fall die vaku^{tex}-Technologie mit 11 cm

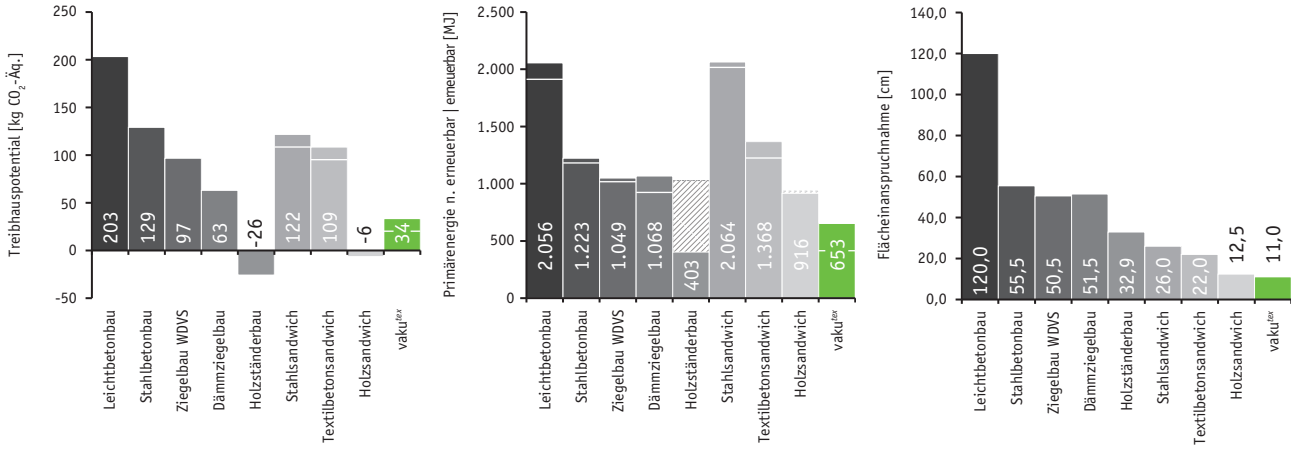


Abb. 16 Quantitativer Vergleich unterschiedlicher Fassadenkonstruktion nach Umweltwirkung über 50 Jahre, Quelle: HTWK Leipzig

als Gebäudehülle angesetzt. Mit der vaku*tex*-Fassade kann je nach Gebäudegeometrie eine bis zu 15 % grössere Nettogrundfläche gewonnen und zusätzlich vermarktet werden. Dieser Grundflächengewinn wurde den Mehrkosten der vaku*tex*-Fassade gegenübergestellt und die Eingangsdaten in eine dynamische Investitionsbetrachtung überführt. Dazu wurden drei repräsentative Städte (München, Frankfurt am Main, Leipzig) ausgewählt und die durchschnittlichen Büromieten für Top-Lagen über einen Zeitraum von 20 Jahren diskontiert. Die Zahlungsströme wurden kumuliert und der Anfangsmehrinvestition von vaku*tex* gegenüber gestellt. Ab einer Nettomiete von 9 €/m² erreicht die vaku*tex*-Fassade nach spätestens 18 Jahren einen Vorteil gegenüber der Vergleichskonstruktion. In Frankfurt a. M., mit einer Nettomiete für Büroflächen von 33,60 €/m², liegt die Amortisationszeit bei unter fünf Jahren, in München kurz darüber, obwohl die Erstinvestition für das Fassadenelement mit ca. 500 €/m² zunächst um 40 % höher ausfällt. Der Einsatz ist demnach hauptsächlich in gehobenen Innenstadtlagen wirtschaftlich sinnvoll.

Fazit

Das Ergebnis der zweijährigen Forschungsarbeit ist ein Demonstrator der vaku*tex*-Fassade in den Abmessungen von 1,50 m x 3,20 m als nichttragende vorgehängte Elementfassade. Mit einer Gesamtdicke von 11 cm lassen sich alle statischen, konstruktiven und bauphysikalischen Anforderungen erfüllen. Das Element ist vielfältig in Farbe und Struktur gestaltbar, mögliche Plattendimensionen reichen von Kleinformaten bis zu Großtafelbauweisen. Es ist langlebig, pflegeleicht und gleichmäßig hochwertig. Das leichte Erscheinungsbild und ein verbesserter Ausblick durch die schlanken Wände erhöhen die Aufenthaltsqualität in den Räumen, es resultieren höhere Tageslicht- und solare Wärmegewinne (s. Abb. 18). Mit dem Einsatz von vaku*tex*-Fassadenelementen kann mehr Nutzfläche bei gleicher Bruttogrundfläche generiert werden und daraus insbesondere in gehobenen Innenstadtlagen ein ökonomischer Mehrwert entstehen. Mit den entwickelten vakuumgedämmten Fassadenelementen aus Textilbeton kann durch Rohstoff- und Energieeffizienz ein wesentlicher ökologischer Beitrag zur nachhaltigen Betonarchitektur geleistet werden.
Entwicklungsbedarf besteht in der thermischen Optimierung der Elementfugen, der Verbesserung der Ökobilanz und der Haltbarkeit der Vakuumisolationspaneele. Für die Überführung der Forschungsergebnisse in die Baupraxis müsste die allgemein vorgestellte Technologie unternehmensspezifisch angepasst werden. Durch Rationalisierung der Produktion und Erweiterung der Anwendung auf den Gebäudebestand ließen sich im nächsten Schritt weitere ökonomische und ökologische Potentiale erschließen.

Literatur

[1] Peck, M. (2005). *Baustoff Beton: Planung, Ausführung, Beispiele* (1. Aufl. ed.). München: Inst. für Int. Architektur-Dokumentation, Edition DETAIL Praxis.
[2] EU Parlament. (2009). *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden* No. A6-0254/2009 (Neufassung)
[3] Hegger, M. u. a. (2007). *Energie Atlas: Nachhaltige Architektur* (1. Aufl. ed.). Basel: Birkhäuser.
[4] König, H. u. a. (2009). *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung: Grundlagen, Berechnung, Planungswerkzeuge* (1. Aufl. ed.). München: Inst. für Int. Architektur-Dokumentation, Edition Detail Green Books.
[5] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. (02/2011). *Leitfaden für nachhaltiges Bauen*. Berlin: BMVBS.

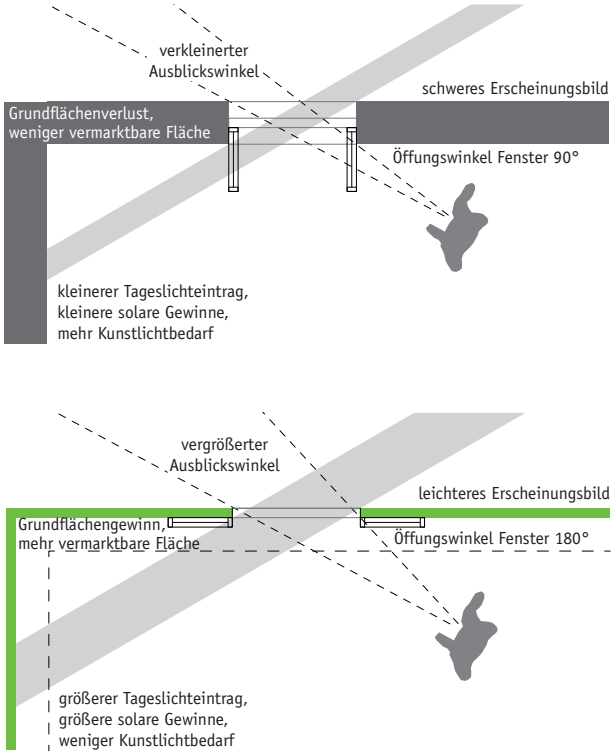


Abb. 18 Vergleichende Grundrissdarstellung der Potentiale, Quelle: HTWK Leipzig