

# Bauen +

Energie, Brandschutz, Bauakustik, Gebäudetechnik



Ausgewählte Fachartikel und Interviews  
aus der Bauen+

**Band 1**  
Fraunhofer IRB Verlag

# Vorwort

Seit März 2015 erscheint die **Bauen+** als Fachzeitschrift für die Bereiche Energie, Brandschutz, Bauakustik und Gebäudetechnik. Alle zwei Monate bieten wir allen, die professionell mit der Planung und Ausführung von Baumaßnahmen beschäftigt sind, die neuesten Entwicklungen im Bereich der Bauphysik, geben vielfältige Anregungen und zeigen »Best-Praxis-Beispiele« für die tägliche Praxis im Büro und auf Baustellen. Daneben vermitteln die Interviews Meinungen und Prognosen sowie Einblicke in das Schaffen ausgewiesener Experten.

Nach über sechs Jahren ist es an der Zeit, ausgewählte Beiträge aus **Bauen+** – beginnend mit dem Bereich Gebäudetechnik – als »Edition Bauen+« zusammenzufassen. Die kompakte Zusammenstellung der »Best-of-Bauen+« in Buchform erspart Ihnen nicht nur die Suche in vergangenen Ausgaben, sondern verspricht sozusagen auch eine längere »Haltbarkeit« als eine Journaille. Trotzdem verlieren diese Beiträge nichts von ihrer Praxisnähe und -relevanz, ihren Inspirationen und ihrer Interdisziplinarität.

In der »Edition Bauen+« finden Sie Beiträge zu modernem Lehmmauerwerk, zum Forschungsprojekt »Einfach Bauen«, zur Entwicklung einer modularen, flexiblen und mobilen Wohneinheit sowie zu ausgewählten Aspekten der Planung von Aufstockungsmaßnahmen. Es werden Projekte wie das Recyclinghaus am Kronsberg in Hannover, ein eindrucksvolles Schwimmbad in Massivholzbauweise oder das Flatiron von Leipzig vorgestellt und Experten werden zu Themen wie Holzhochhäuser, Baupolitik, Denkmalpflege oder Lehmmauerwerk befragt. Ein besonderes Highlight bildet das Interview mit Andreas Hofer, Intendant der Internationalen Bauausstellung 2027 StadtRegion Stuttgart, der erklärt, welche Fragen ihn und sein Team in den nächsten sieben Jahren beschäftigen.

In der »Edition Bauen+« kommen sowohl unsere Stammleser als auch neue Leser auf ihre Kosten. Lassen Sie sich durch das Kompendium begeistern und kompakt durch wichtige Informationen inspirieren.

Wir wünschen Ihnen eine spannende und informative Lektüre.

Im Dezember 2020

Reinhard Eberl-Pacan, Klaus-Jürgen Edelhäuser, Birger Gigla

# Inhalt

## FORSCHUNG UND TECHNIK

Raik Hartmann	
<b>Modernes Lehmmauerwerk ist richtungsweisend für nachhaltiges Bauen</b>	
Lehm: ein Traditionsbaustoff mit Zukunft	8
Anne Niemann	
<b>Das Forschungsprojekt »Einfach Bauen«</b>	
Ganzheitliche Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen mit Holz, Leichtbeton und hochwärmedämmendem Mauerwerk	14
Daniel Nyman und Wolfgang Breit	
<b>Entwicklung einer modularen, flexiblen und mobilen Wohneinheit</b>	
Komplexe geometrische Strukturen entstehen aus einem Baukastenprinzip	20
Maren Fath und Mike Sieder	
<b>Ausgewählte Aspekte der Planung von Aufstockungsmaßnahmen</b>	
Leitlinie zur Vereinfachung der Planung und Durchführung von Aufstockungs-/Erweiterungsmaßnahmen als Nachverdichtungsmaßnahme in innerstädtischen Bereichen	28
Martin Kneißl und Herbert Gottschalk	
<b>Keine anerkannte Regel der Technik?</b>	
Urteil stellt verbreitetes Abdichtungsverfahren infrage	33

## EXPERTENINTERVIEWS

Andreas Lerge und Sebastian Fischbeck	
<b>»Das Holzhochhaus ist die Antwort auf die Frage, wie kriege ich ganz viele Menschen auf ganz wenig Fläche«</b>	38
Andreas Otto	
<b>»Die Politik muss vorangehen und althergebrachte Dinge infrage stellen«</b>	40
Andreas Hofer	
<b>»Ich schlaf in der Fabrik und produziere in der Wohnung«</b>	42
Mathias Pfeil	
<b>»Denkmalpflege ist Nachhaltigkeit«</b>	46
Wolfram Jäger	
<b>»Lehmmauerwerk kann einen wichtigen Beitrag im Hinblick auf die Nachhaltigkeit des Bauens leisten«</b>	50

**PROJEKTE**

Nils Nolting

**Das Recyclinghaus am Kronsberg in Hannover**

Ein experimentelles Wohnhaus in Recyclingbauweise

54

Achim Pilz

**Innovative Lüftung eines Mehrfamilienwohnhauses**

Hybridsystem mit weitgehend freier Belüftung und Vorkonditionierung der Zuluft

62

Marc Wilhelm Lennartz

**Massivholzbau auf der Höhe der Zeit**

Das Lehrschwimmbad der City of London Freemen's School in Ashtead, Großbritannien

66

Susanne Jacob-Freitag

**Flatiron von Leipzig**

Massivholzbau mit auskragender Gebäudespitze löst Kniffliges

70

Marc Wilhelm Lennartz

**Ein Campus aus Holz und Glas**

Neuer Standort für die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

76

Susanne Jacob-Freitag

**Spezialverbund im Knotenpunkt**

Verguss-System und FT-Verbinder für wirtschaftlichen Bürobau

80

Klaus W. König

**Neue Grundsätze der Regenwasserbewirtschaftung**

Zwei Betriebshöfe erfüllen die künftigen Erfordernisse der lokalen Wasserbilanz schon heute

86

**Stichwortverzeichnis**

91



# Forschung und Technik

Raik Hartmann

## **Modernes Lehmmauerwerk ist richtungsweisend für nachhaltiges Bauen**

Lehm: ein Traditionsbaustoff mit Zukunft

8

Anne Niemann

## **Das Forschungsprojekt »Einfach Bauen«**

Ganzheitliche Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen mit Holz, Leichtbeton und hochwärmedämmendem Mauerwerk

14

Daniel Nyman und Wolfgang Breit

## **Entwicklung einer modularen, flexiblen und mobilen Wohneinheit**

Komplexe geometrische Strukturen entstehen aus einem Baukastenprinzip

20

Maren Fath und Mike Sieder

## **Ausgewählte Aspekte der Planung von Aufstockungsmaßnahmen**

Leitlinie zur Vereinfachung der Planung und Durchführung von Aufstockungs-/Erweiterungsmaßnahmen als Nachverdichtungsmaßnahme in innerstädtischen Bereichen

28

Martin Kneißl und Herbert Gottschalk

## **Keine anerkannte Regel der Technik?**

Urteil stellt verbreitetes Abdichtungsverfahren infrage

33

Raik Hartmann

# Modernes Lehmmauerwerk ist richtungsweisend für nachhaltiges Bauen

## Lehm: ein Traditionsbaustoff mit Zukunft



Abb. 1: Bauteilanschlüsse – Konstruktionsmodell

Das häufige Vorkommen von Lehm und die überwiegend positiven Eigenschaften prädestinieren Lehm als günstigen, wohngesunden und nachhaltigen Baustoff. Erkenntnisse aus der aktuellen Forschung zu Lehmmauerwerk, mit dem Projekt EGsL (Jäger, Hartmann 2019) [1] bestätigen zum einen die Leistungsfähigkeit von Lehm als Baustoff und zum anderen, dass Lehmmauerwerk als moderne tragende Konstruktion sich selbstverständlich in die gängigen und praxisüblichen Baustoffe einreihen kann. Die dafür notwendigen Planungsgrundsätze, um die essentiellen Eigenschaften und die Leistungsfähigkeit von Lehm zu nutzen, wurden in einem Bauteilkatalog mit den wesentlichen Bauteilanschlüssen überführt. Dabei ist die Leistungsfähigkeit höher, als es dem Baustoff Lehm aktuell zugetraut wird. Es wird die Chance ausgenutzt, den Lehmmauerwerksbau

*Aktuelle Forschungen zu Lehmmauerwerk zeigen, Lehm ist ein leistungsfähiger Baustoff, der sich für tragende Konstruktionen ebenso gut eignet wie andere gängige und praxisübliche Baustoffe. Die Leistungsfähigkeit ist höher, als es dem Baustoff Lehm häufig zugetraut wird. Notwendige Planungsansätze wurden in einem Bauteilkatalog mit den wesentlichen Bauteilanschlüssen zusammengestellt.*

aus der heutigen Nische in eine Breitenanwendung zu überführen. Neben der Leistungsfähigkeit liegen die ökologischen und ökonomischen Vorteile auf der Hand, um sich längerfristig und häufiger für den Lehm als Baustoff zu entscheiden.

Lehm ist ein Baustoff mit jahrtausendelanger Tradition und wurde schon in den Anfängen der Siedlungsgeschichte zum Beispiel in Jericho und in allen Regionen der Erde als Baustoff verwendet ([11] vgl. S. 2–18). Lehm ist ein Verwitterungsprodukt der Erdkruste und kommt nahezu in allen Regionen unserer Erde vor. Der seit dem Mittelalter vorherrschende Mangel an Bauholz förderte die Anwendung von Lehmbau mit der Einführung von Bauvorschriften. Die aus dem französischen Raum seit dem 16. Jahrhundert populär werdenden Schriften über Lehmbautechniken [3], verhalfen dem Lehmbau zu seiner Blüte.

Ein sechsgeschossiges Stampflehmhaus in Weilburg aus dem Jahr 1830 zeugt von der vergangenen und heute wiederentdeckten stolzen Baukunst. Es ist das höchste Haus in massiver Lehmbauweise Mitteleuropas. Nach massivem Einsatz bis zum 19. Jahrhundert wurde der Lehmbau durch die Industrialisierung und damit durch industriell gefertigte Baustoffe bis zur Bedeutungslosigkeit verdrängt. Seitdem wurde der Lehmbau nur in Notzeiten und besonders nach den Weltkriegen als alternative Bauweise reaktiviert. Die damit teilweise bestehenden Vorurteile gegenüber den Lehmbauten mit »ärmlichem Charme« als Notbehelf könnten damit in Verbindung gebracht werden. ([4] vgl. S. 6 u. [9] vgl. S. 17).

Die geringe Lehmbautätigkeit im industriellen Zeitalter gerade ab den 1950er-Jahren hatte zur Folge, dass angestrebte Normierungen (DIN 1169 / 18951 / 18952 / 18953 / 18954 / 18955 / 18956 / 18957) aufgrund vermeintlich technischer Veralterung und wirtschaftlicher Bedeutungslosigkeit im Jahr 1971 gestrichen wurden. Jedoch veranlasste die signifikant anwachsende Lehmbautätigkeit in den achtziger Jahren den Dachverband Lehm e. V. zur Erarbeitung der seit 1998 herausgegebenen Lehmbau-Regeln [7]. Die Lehmbau-Regeln bilden seit Aufnahme in die Musterliste der Technischen Baubestimmungen des DIBt eine Grundlage der Rechtssicherheit in Deutschland für das Bauen mit Lehm. Die Verwendung von tragenden Lehmkonstruktionen wird durch die Lehmbau-Regeln allerdings auf zwei Geschosse

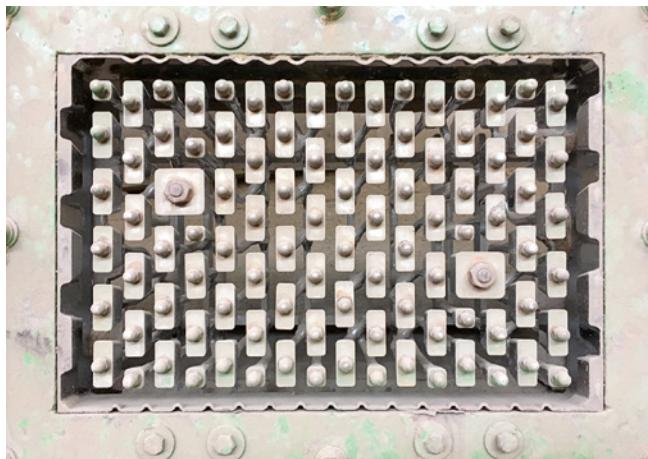


Abb. 2: Mundstück Strangpresse



Abb. 3: Trockenregal Steinrohlinge Ziegelproduktion

begrenzt und damit derzeit stark eingeschränkt. ([4] vgl. S. 10 f.). Obwohl es im Jemen Gebäude aus Lehm gibt, welche beinahe doppelt so hoch sind wie das höchste Stampflehmhaus Mitteleuropas in Weilburg, war es mit Einführung der deutschen Norm von 1955 (DIN 18951 Blatt 1) nicht mehr erlaubt, mehr als zweigeschossige tragende Wände aus Lehm zu errichten. ([9] vgl. S. 60)

- Folgende Eigenschaften zeichnen den Baustoff Lehm aus:
- **Lehm ist nahezu unbegrenzt verfügbar.** Lehm ist ein natürlicher Rohstoff und kommt in nahezu allen Regionen der Erde vor. Lehm als Rohstoff fällt in den meisten Fällen beim Baugrubenaushub als Nebenprodukt an und könnte so vor Ort bzw. regional weiterverarbeitet werden. ([9] vgl. S. 11)
- **Lehm eignet sich für den Selbstbau.** Unter Anleitung von Fachpersonal ist es Laien gerade auch wegen des geringen Geräteeinsatzes möglich, sich selbst am eigenen Werk zu probieren, zu experimentieren und letztlich zu bauen. ([9] vgl. S. 19 f.)
- **Lehm spart konventionelles Baumaterial und Transportkosten.** Lehm fällt auf vielen Baustellen als Aushub an und kann vor Ort oder regional weiterverarbeitet werden. Eine überregionale Anfahrt von Mauerwerksbaustoffen entfällt. ([9] vgl. S. 19)
- **Lehm ist ein umweltverträglicher Baustoff.** Lehm wird als Rohstoff weiterverarbeitet und dabei nicht grundlegend verändert, sodass Lehm vollständig in den Baustoffkreislauf zurückgeführt werden kann. ([11] vgl. S. 22 f., [9] vgl. S. 19) Die aufgewendete Energie zur Herstellung von Lehmabstoffen ist vergleichsweise gering. ([11] vgl. S. 26 ff.)
- **Lehm ist wiederverwendbar.** Durch Zufuhr von Wasser kann er jederzeit neu geformt und aufbereitet werden. ([9] vgl. S. 19)
- **Lehm reguliert die Luftfeuchtigkeit.** Lehm kann relativ schnell Feuchtigkeit aufnehmen und auch wieder an die Umgebung abgeben. ([9] vgl. S. 19)
- **Lehm speichert Wärme.** Lehm ist ein schwerer Baustoff ähnlich wie Beton oder gebrannte Ziegel, der aufgrund seiner Masse Wärme speichern kann. Dies trägt zum Wohlbefinden bei. ([9] vgl. S. 19)
- **Lehm hat hervorragende schalldämmende Eigenschaften.** Lehm ist ein schwerer Baustoff und wirkt aufgrund seiner Masse schalldämmend. ([11] vgl. S. 349 und [12])
- **Lehm bindet Schadstoffe.** Lehm bindet im Wasserdampf gelöste Schadstoffe. Diese reinigende Wirkung findet sogar

in der Industrie bei der Rückgewinnung von Phosphaten Anwendung. ([9] vgl. S. 20)

- **Lehm hat konservierende Eigenschaften.** Bedingt durch seine im trockenen Zustand geringe und konstante Umgebungsfeuchte, konserviert Lehm organische Zusätze, wie z.B. Holz (Stäbe, Schnitzel), Pflanzen- und Tierfasern vor Schädlings- und Pilzbefall. Bei Leichtlehm mit einer geringen Dichte von unter 500 kg/m<sup>3</sup> kann es bei Strohzugaben zu biochemischen Problemen kommen, denen jedoch durch entsprechende Maßnahmen begegnet werden kann. ([9] vgl. S. 20)
- **Lehm ist nicht brennbar.** ([11] vgl. S. 135) Lehm setzt sich aus mineralischen Bestandteilen zusammen. Diese sind nicht brennbar.

Die allgemeinen positiven Eigenschaften von Lehm werden stets in vielen Veröffentlichungen aufgeführt und betont. Daran wird deutlich, welche herausragende und selbstverständliche Rolle der Lehm als Baustoff spielte und Menschen ihn intuitiv immer noch v. a. mit positiven Eigenschaften in Verbindung bringen.

## Modernes Lehmmauerwerk

Das moderne tragende Lehmmauerwerk aus unserer Forschung besteht aus stranggepressten Hochlochlehmsteinen mit Plansteineigenschaften und folgenden Abmessungen: 30,5 cm lang, 24 cm breit und 24,9 cm hoch. Diese werden in bestehenden Ziegelwerken industriell hergestellt. Dabei wird

### KERNAUSSAGEN

- Modernes Lehmmauerwerk ist ein leistungsfähiges Plansteinmauerwerk.
- Es ist möglich mit praxisüblichen Methoden zu bauen. Zahlreiche Bauteilanschlüsse aus unterschiedlichen Konstruktionsmaterialien sind möglich.
- Die Herstellung von Lehmsteinen ist in den Ziegelherstellungsprozess integrierbar → keine Neuinvestitionen für die Industrie.
- Der Bauteilkatalog bietet eine Planungshilfe für die wesentlichen konstruktiven Anschlüsse von modernem Lehmmauerwerk.

der Brennprozess, der den größten Energiefaktor im Ziegelproduktionsprozess darstellt, ausgeschlossen. Das moderne Lehmmauerwerk wird im Verbund von Lehmplansteinen mit Dünnbettlehmmörtel hergestellt.

Moderne Lehmsteine fallen im üblichen Produktionsprozess von Ziegelprodukten an und werden durch die Abwärme aus den Brennprozessen anderer keramischer Baustoffe im Werk getrocknet. Ziegel werden beispielsweise heute schon vor dem eigentlichen Brennen durch Abwärme getrocknet. Die Infrastruktur bestehender Herstellungsbetriebe kann mit geringem Investitionsaufwand für die Herstellung moderner Lehmsteine genutzt werden. Bei Integrierung der Lehmherstellung in die Produktion anderer keramischer Bauprodukte und Nutzung von deren Abwärme, reduziert sich die Herstellungsenergie für nicht erneuerbare Energie um mind. 50 % bei vergleichbarer Wandkonstruktion und Tragfähigkeit. (Daten als Berechnungsgrundlage aus ÖkoBauDat und herstellereigene Angaben GIMA) [13].

Das Lehmplansteinmauerwerk in Kombination mit ökologischen Materialien zur Herstellung der Gebäudehülle schneidet in der Gesamtökobilanz sehr gut ab und trägt als moderner Baustoff zur gesellschaftlichen Verantwortung für umweltschonendes Bauen bei.

In Deutschland werden 61 % der Bauinvestitionen im Wohnungsbau getätigt. Davon werden etwa 72 % aller genehmigten Gebäude als Mauerwerkskonstruktionen errichtet. Die Tendenz über die letzten sieben Jahre zeigt, dass die Ziegelproduktion mit einem hohen Marktanteil von über 30 % aller Mauerwerksbaustoffe, trotz sich in den letzten Jahren etablierender alternativer Baustoffe (wie z. B. Holz), stabil blieb. Es ist davon auszugehen, dass dies weiterhin der Fall sein wird. Damit wäre die Integration der modernen Lehmsteinherstellung in die bestehende Ziegelproduktion ohne Nachteile für die Ziegelindustrie möglich. Es sind lediglich die Herausnahme der Rohlinge aus dem Produktionsfluss und das Erzielen der Plansteinqualität technisch umzusetzen. (Daten aus: DGfM, VDZ, DeStatis) siehe [14], [15] und [16]

## Stand der Technik

Die Lehmbau-Regeln [7] lassen bisher eine zulässige Mauerwerksdruckspannung von  $0,5 \text{ N/mm}^2$  in der Steinfestigkeitsklasse 4 nach dem alten Sicherheitskonzept zu. Die eben da festgelegte Wandstärke für tragendes Lehmmauerwerk

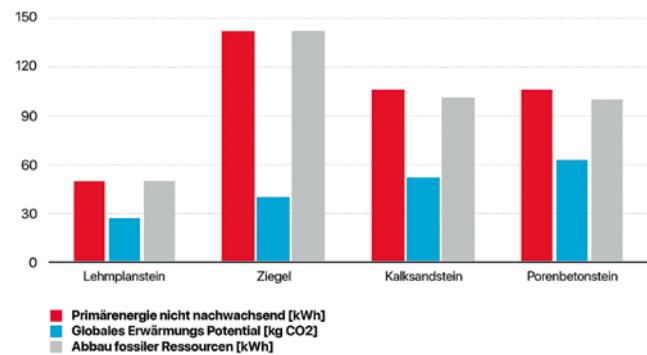


Abb. 5 Herstellungsenergie: Mauerwerkssteine im Vergleich

beträgt mindestens 36,5 cm für Außenwände. Die Schweizer »Regeln zum Bauen mit Lehm« der SIA D0111 [6], fordern ebenfalls eine maximal zulässige Mauerwerksdruckspannung von  $0,5 \text{ N/mm}^2$ . Bei zweigeschossiger Bauweise beträgt die Wandstärke mindestens 30 cm. Die Wandstärke darf allerdings mindestens 20 cm bei eingeschossiger Bauweise betragen oder beim oberen von zwei Geschossen. Beide Regeln für den Lehmbau lassen maximal zwei Geschosse zu. Die Forschung in Österreich [5] zeigt, dass zweigeschossige Gebäude aus Lehmmauerwerkswänden mit einer Wandstärke von mindestens 20 cm gebaut werden können. Allerdings ist das Mauerwerk in der Studie kein reines Lehmmauerwerk, da die Lehmsteine mit zementgebundenen Mörtelschichten in Normalstärke gefügt sind.

In Untersuchungen zum Festigkeitsverhalten von Lehmsteinen bei unterschiedlichen raumklimatischen Bedingungen wurde festgestellt, dass in Abhängigkeit von diesen sich die Druckfestigkeit erheblich verändert. Bei zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit rH nimmt die Druckfestigkeit von Lehm ab. [8]

## Lehm kann mehr! Perspektive für das Lehmmauerwerk

Die für unser modernes Lehmmauerwerk ermittelte Bemessungsdruckspannung beträgt  $1,64$  bis  $1,48 \text{ N/mm}^2$  (im bauklimatischen Normalfall (bei  $23^\circ\text{C}$  und  $50\text{-}70\%$  rH), je nach Nutzung (Wohnraum oder Bad). Selbst bei maximaler Festigkeitsabnahme von 20 % (bei dauerhaft 80 % rH) im ungünstigsten Falle besteht für den Grenzzustand der Tragfähigkeit immer noch eine Bemessungsdruckspannung für das Mauerwerk von  $1,32 \text{ N/mm}^2$ . Mit der durchgeführten Brandprüfung wurde REI60 erreicht. Damit wurde gezeigt, dass die Leistungsfähigkeit von Lehmmauerwerk höher ist, als bisher in Deutschland angenommen wird. Voraussetzung dafür ist, dass die für das moderne Lehmmauerwerk entwickelten konstruktiven und gebäudetechnischen Sicherheitsgrundsätze für das moderne Lehmmauerwerk eingehalten werden. Mit dem erarbeiteten Bauteilkatalog ist eine Planungshilfe entstanden, die die wesentlichen konstruktiven Anschlüsse berücksichtigt, um sicher, zeitgemäß und dauerhaft mit modernem Lehmmauerwerk bauen zu können.

## Konstruieren mit modernem Lehmmauerwerk

Für den Gebäudeentwurf und die Gebäudekonstruktion wurden für das moderne Lehmmauerwerk auf der Grundlage wesentlicher konstruktiver Erkenntnisse und anhand

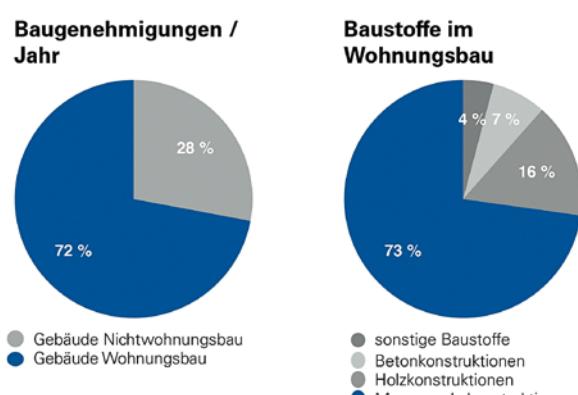


Abb. 4: Bauwirtschaft von 2010-2017: Investitionen und Anteile der Baustoffe im Wohnungsbau

empirischer Ergebnisse wie Druckfestigkeits-, Brandschutz- und technischen Untersuchungen sowie bauphysikalischer Bauteilsimulationen Planungsgrundsätze abgeleitet. Die Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze wurden in einem Bauteilkatalog für alle wesentlichen Anschlussdetails für ein Wohngebäude zeichnerisch abgebildet. Im Folgenden werden die Planungsgrundsätze zusammengefasst als Planungsleitsätze dargestellt und exemplarisch an zwei Anschlussdetails dargelegt.

### Planungsleitsätze

Herauszustellen sind übergeordnete Grundsätze, die sowohl die Prozesse von Entwurf als auch von Konstruktion charakterisieren:

#### 1. Schadensvorbeugung

- ▷ Neubau: Entwurfs-, Planungs- und Ausführungszeitraum
- ▷ nutzungsbegleitend: Sicherheits- und Wartungskonzept

#### 2. Redundanz

Schadensvorbeugende Grundsätze dienen in Entwurf und Konstruktion zur Reduzierung von potenziellen Schadensquellen bereits während der Planung. Redundante Maßnahmen werden ergriffen, um existenziellen Schaden durch z.B. Materialversagen zu vermeiden. Ein redundantes System übernimmt dann die Funktion eines möglichen geschädigten oder nicht funktionierenden Systems. Dies ist insbesondere für Abdichtungen im Dachbereich und für Havariesicherungen in Nassbereichen und Nasszellen der Fall. Ein Wartungskonzept ist dabei unerlässlich.

### Bauteilkatalog – Beispiele

Der Bauteilkatalog soll als Planungshilfe zum Konstruieren von Gebäuden mit modernem tragenden Lehmmauerwerk dienen. Dieser fasst alle aus den Versuchen und Simulationen gewonnene Erkenntnisse zusammen. Folgend werden exemplarisch die wesentlichen Grundaussagen an zwei Beispielen anschaulich dargestellt. Obwohl in den folgenden Beispielanschlüssen Stahlbetondecken gezeigt

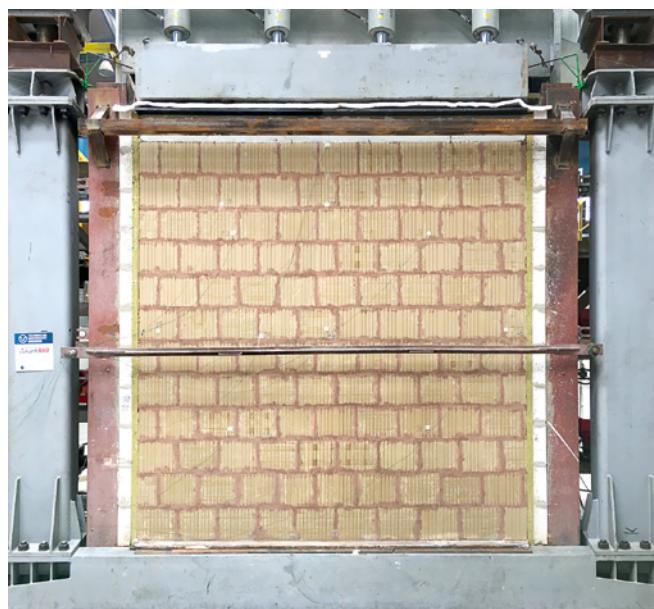


Abb. 6: Ansicht Prüfrahmen mit kopfseitiger hydraulischer Belastungseinrichtung vor Prüfofen mit eingebauter Wand und angebrachter Messtechnik

werden, sind weitere Deckenkonstruktionen, wie zum Beispiel eine Holzbalkendecke, möglich. Im Projekt EGsL und im Folgeprojekt Pilothaus Lehm in Meißen wurde und wird die Leistungsfähig- und Vielseitigkeit von modernem Lehmmauerwerk unter Verwendung einer Stahlbetondecke unterstrichen.

### Wandaufbau

Der Außenwandaufbau ist für die Tragfähigkeit der Lehmmauerwerkskonstruktion entscheidend. Ungebrannte Steine nehmen je nach Feuchtebedingung Wasser auf und geben es wieder an die Umgebung ab. Damit sich keine Feuchtigkeit im Mauerwerk anreichern und die Tragfähigkeit vermindern kann, muss der Wandaufbau mit einer diffusionsoffenen Außenwanddämmung hergestellt werden. Es können dabei mindestens zwei Fassadentypen angewendet werden: das Wärmedämmverbundsystem (WDVS) und die vorgehängte Fassade (VH-F). Beide Fassadentypen, insbesondere die Dämmung und die Fassadenunterkonstruktion, werden mit nachwachsenden Rohstoffen aus Holz, Holzfaser und Hanffaser hergestellt. Beide Fassadentypen lassen sich von Decke zu Decke befestigen, sodass eine Verankerung am Lehmmauerwerk nicht notwendig ist. Die verklebungsfreie Befestigung ermöglicht zudem ein sortenreines Recycling des Mauerwerks.

Zur Vermeidung von Wasserschäden im kritischen Bereich des Deckenanschlusses ist es wichtig, dass das Mauerwerk mit einer ersten Lage wasserfester Steine beginnt, die mindestens 5 cm über dem fertigen Fußboden endet. In Nasszellen und Nassbereichen wird die Rohdecke einschließlich der ersten Lage wasserfester Steine vollflächig abgedichtet. Zwischenabdichtungen, die Horizontalsperren, verhindern aufsteigendes Wasser ins Lehmmauerwerk insbesondere in der Bauphase. Die letzte Lage Steine auf dem Lehmmauerwerk besteht ebenfalls aus wasserfesten Steinen, die beim Aufbringen einer Betondecke zusammen mit einer Abdichtung das tragende Mauerwerk vor Wasser schützen. Die letzte Lage wasserfeste Steine kann z.B. bei Holzbalkenkonstruktionen entfallen, da dort nicht die Gefahr eines konzentrierten Wasseranfalls besteht.

Um eine Kantenpressung und daraus resultierende potenzielle lokale Beschädigungen am Lehmmauerwerk zu vermeiden, werden Zentrierstreifen aus einem weichen elastischen Material eingebracht.

### Konstruktive Havariesicherheit am Beispiel der Nasszelle

In Nasszellen und Nassbereichen leitet eine Notentwässerung überschüssiges Wasser bei einem Schadensfall kontrolliert ab, sodass kein Wasser die Lehmmauerwerkswand beschädigen kann. Die revisionierbaren Entwässerungsabläufe werden z.B. effektiv in der Türschwelle eingebracht. Alle wasserführenden Leitungen werden in einem separaten Schacht geführt, der aus einem wasserfesten Material besteht und ebenfalls eine interne Notentwässerung besitzt. Zudem werden wasserführende Leitungen durch Druckwächtersysteme und Durchflussbegrenzer überwacht.

### Wandkonstruktion mit modernem Lehmmauerwerk

Die moderne Wandkonstruktion unterscheidet sich wesentlich vom traditionellen Lehmziegelbau. Die gesamte Gebäudekonstruktion besteht aus verfügbaren modernen Baustoffen

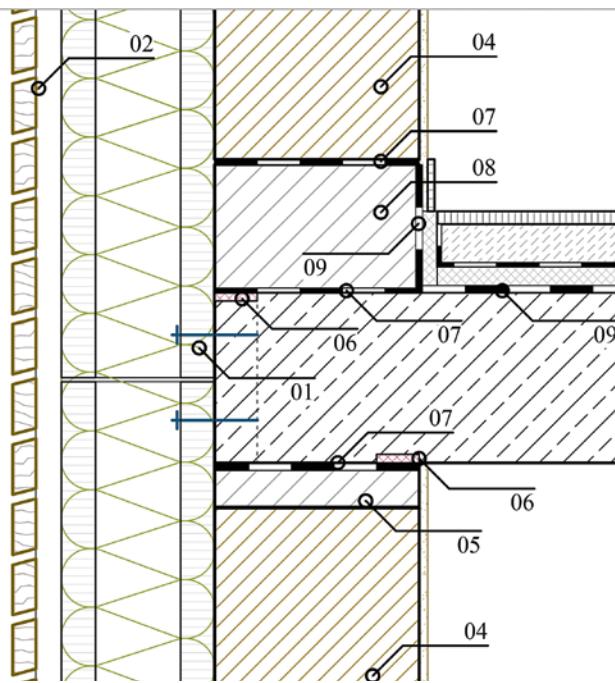


Abb. 7: Außenwand mit vorgehängter Fassade

- 01 Unterkonstruktion Fassadenaufbau Doppelstegträger aus Holzwerkstoff von Decke zu Decke befestigt  
 02 Vorhangsfassade  
 03 Wärmedämmverbundsystem  
 04 tragendes Lehmmauerwerk  
 05 Schlussstein wasserfest

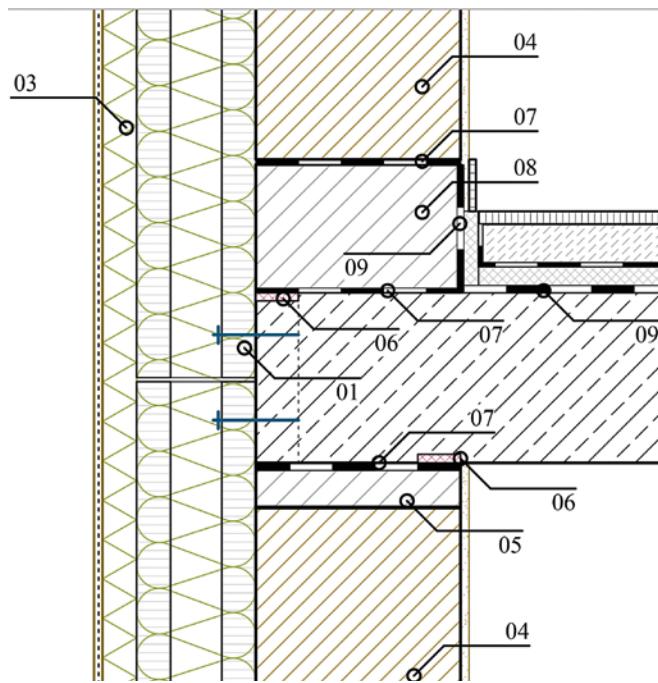


Abb. 8: Außenwand mit WDVS

- 06 Zentriersteifen  
 07 Horizontalsperrre  
 08 erste Lage wasserfester Stein  
 09 Flächenabdichtung nur in Nasszellen notwendig – sonstige Wohnräume werden ohne Flächenabdichtung hergestellt

und Systemen, was eine effektive Planung und Errichtung ermöglicht. Auf der Baustelle kann beispielsweise mit den gängigen Methoden Mauerwerk mit ungebrannten Steinen errichtet werden. Der Auftrag von Lehmdünnbettmörtel erfolgt mit einer Mörtelspritze und wird mittels eigens dafür entwickelter Glättenschlitten auf die notwendige Planmörtelschichtdicke geglättet. Das moderne Lehmmauerwerk ist eine Alternative zu den derzeitigen Mauerwerkskonstruktionen, welche aufgrund des geringeren Primärenergiebedarfs und des hohen Recyclingpotenzials einen wesentlichen Anteil zum umweltschonenden und nachhaltigen Bauen beitragen. Die industrielle Infrastruktur zur Herstellung von großformatigen Lehmsteinen entspricht die der Herstellung der Ziegel, ausgenommen dem Brennprozess. Die Integration der Lehmsteinherstellung in die Ziegelproduktion ist dabei wegweisend, weil sie keine zusätzlichen Investitionen erfordert.

### Lehm ist ein moderner und leistungsfähiger Baustoff

Vor dem Hintergrund der Diskussion um die globale Erwärmung und zunehmender Umweltbelastung wird mit der vorliegenden Forschung ein Beitrag geleistet, sich der Erfüllung ökologischer Anforderungen unserer Gesellschaft anzunähern. Mit einem niedrigen Energieverbrauch bei der Produktion der Steine und bei der Verwendung nachwachsender Rohstoffe für die Vorhangsfassade inkl. Unterkonstruktion und Dämmmaterial ist es möglich, den CO<sub>2</sub> Verbrauch aus fossilen Brennstoffen zu minimieren und zudem CO<sub>2</sub> aus der Umwelt durch Verwendung nachwachsender Rohstoffe zu binden, ohne dabei die

Anforderungen an zeitgemäßes Bauen zu vernachlässigen. Es wird mit der Arbeit die Chance formuliert, dass es möglich ist, umweltbewusst und mit konventionellen Methoden zeitgemäße Gebäude zu errichten, die einen Beitrag leisten können, die globale Erwärmung zu begrenzen und wertvolle fossile Ressourcen zu schonen.

Mit den: modernen großformatigen Lehmplansteinen wird für den Wohnungsmarkt ein weiterer Baustoff zugänglich gemacht, der für die Wohnbequemlichkeit von Vorteil ist und damit den Wohnwert im Sinne der Wohnqualität steigern kann. Mit dem modernen Lehmsteinmauerwerk entsteht ein neuer moderner Baustoff in alter Tradition, der die Vorteile von Lehm betont und durch moderne einfache Konstruktionsprinzipien effektiv geschützt wird.

### Nachhaltig und gesund wohnen mit Lehm – ein Ausblick

In Meißen wurde in diesen Tagen der Bau des ersten Wohnhauses aus modernem Lehmmauerwerk aus großformatigen Lehmplansteinen begonnen. Das energetische Gesamtkonzept vereint alle wesentlichen Ziele, die als Herausforderungen an ein modernes Wohngebäude gestellt werden, wie beispielsweise unter anderem Ressourceneinsatz, Regionalität, sparsamer Energieverbrauch während der Nutzungsperiode und sortenreine Rückbaubarkeit. Mit der ökologischen und ressourcenschonenden Konstruktion und der sich daraus ergebenden energetischen Gesamtbilanz wird das moderne Lehmmauerwerk für das nachhaltige Bauen in Deutschland richtungsweisend sein.

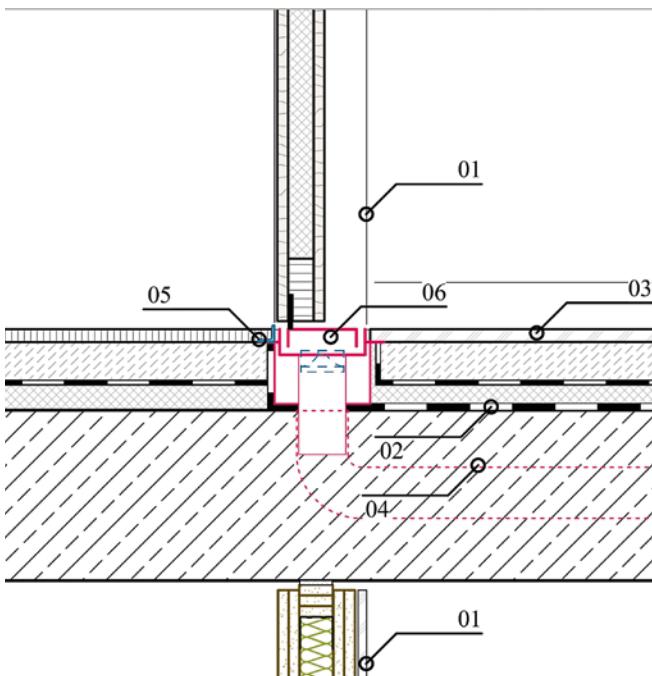


Abb. 9: Bad Notentwässerung Türschwelle

- 01 nichttragende Innenwand (Lehmmauerwerk möglich, sofern kein Schacht integriert),  
 02 Flächenabdichtung  
 03 Fußbodenauflauf, Estrich auf Trennlage und wasserfeste Trittschalldämmung,  
 04 redundantes Notentwässerungssystem  
 05 Anlaufwinkel

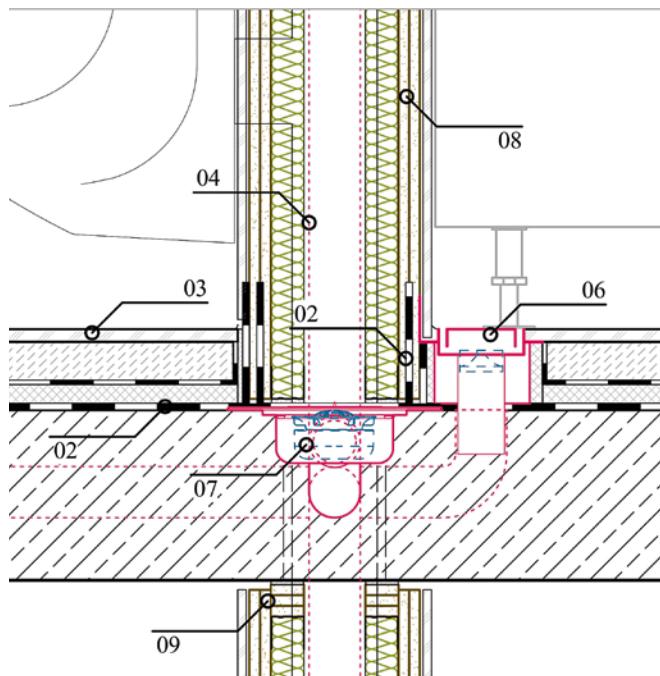


Abb. 10: Wasserführende Schachtwand

- 06 Einbau Entwässerungsrinne (DN 50) mit Manschette mit Geruchs- und Ungezieferschutz  
 07 Entwässerungseinbaupof DN 50 mit Silikonlippendichtung Geruchs- und Ungezieferschutz  
 08 Schachtwand feuerbeständig – Trockenbausystemwand für Sanitär  
 09 gleitender Deckenanschluss

## Hinweis

Kostenfreier Download des Schlussberichts [1]:

[www.baufachinformation.de/lehmmauerwerk-entwurfs-und-konstruktionsgrundsätze-für-eine-breitenanwendung-im-wohnbau-unterberücksichtigung-klimatischer-bedingungen-gemaßigter-zonen-am-beispielstandort-deutschland/fb/252831](http://www.baufachinformation.de/lehmmauerwerk-entwurfs-und-konstruktionsgrundsätze-für-eine-breitenanwendung-im-wohnbau-unterberücksichtigung-klimatischer-bedingungen-gemaßigter-zonen-am-beispielstandort-deutschland/fb/252831)

## Literatur

- [1] Jäger, W.; Hartmann, R.: Lehmmauerwerk: Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze für eine Breitenanwendung im Wohnbau unter Berücksichtigung klimatischer Bedingungen gemäßiger Zonen am Beispielstandort Deutschland. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019
- [2] Lehmhausbau. URL: <http://www.lehmhaus.net/> [Stand: 21.07.2016]
- [3] Gilly, D.: Handbuch der Land-Bau-Kunst: vorzüglich in Rücksicht auf die Construction der Wohn- und Wirthschafts-Gebäude für angehende Kameral-Bau-meister u. Ökonomen. Braunschweig: Friedr. Vieweg, 1818
- [4] Braun, J.: Beitrag zur Sanierung von erdbebengeschädigtem Lehmmauerwerk – Untersuchungen zur Sanierung von erdbebengeschädigtem Lehmmauerwerk, zur Erhöhung der Schubfestigkeit, Erdbebensicherheit und zur Verbesserung des Witterungsschutzes. In: Bauforschungs – Baupraxis. [Schriftenreihe des Lehrstuhls Tragwerksplanung 11] Dresden; Technische Universität Dresden, 2012
- [5] Feiglstorfer, H. (Hrsg.); Kubista, M.: Earth Construction and Tradition: Volume I: Industrially produced adobe bricks: Austrian projects 2004–2008. Wien: IVA Institut für vergleichende Architekturforschung, 2016, S. 233–245
- [6] Huber, A.-L.; Kleespies, Th.: Regeln zum Bauen mit Lehm. SIA-Dokumentation D 0111. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, 1994
- [7] Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.); Volhard, F.; Röhlen, U.: Lehmbau-Regeln. Begriffe - Baustoffe - Bauteile. 3. überarb. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2009
- [8] Müller, U.; Kaiser C.; Ziegert, Ch.; Röhlen U.: Eigenschaften industrieller Lehmbauprodukte für den Mauerwerksbau und Verhalten von Lehmsteinmauerwerk. Mauerwerk 16 (2012) Nr. 1, S. 17–28
- [9] Minke, G.: Lehmbau-Handbuch - Der Baustoff Lehm und seine Anwendung. Staufen bei Freiburg: Ökobuch, 1997
- [10] Röhlen, U.; Ziegert, Ch.: Lehmbau-Praxis: Planung und Ausführung. Berlin: Beuth Verlag, 2014
- [11] Schroeder, H.: Lehmbau: Mit Lehm ökologisch planen und bauen. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013
- [12] Arch4 AG Basel (Hrsg.): Lehm. Ein nachhaltiger Baustoff. URL: [https://www.grassi-partner.ch/UserFiles/Blog/Lehm\\_Ein\\_nachhaltiger\\_Baustoff/Broschüre-lehm.pdf](https://www.grassi-partner.ch/UserFiles/Blog/Lehm_Ein_nachhaltiger_Baustoff/Broschüre-lehm.pdf), [Stand: 16.07.2020]
- [13] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hrsg.): Datenbank für Ökobilanzen von Baustoffen. URL: <http://www.oekobaudat.de/> [Stand: 10.9.18]
- [14] Statistisches Bundesamt: Branchen und Unternehmen, Bauen. URL: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/\\_inhalt.html#spr239534](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/_inhalt.html#spr239534) [Stand: 18.08.2020]
- [15] Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V. DGfM (Hrsg.): Jahresbericht 2013–2015. URL: [https://www.dgf.m.de/fileadmin/downloads/06\\_Verband/Jahresberichte/56112\\_DGfM\\_Jahresbericht\\_13\\_15\\_final.pdf](https://www.dgf.m.de/fileadmin/downloads/06_Verband/Jahresberichte/56112_DGfM_Jahresbericht_13_15_final.pdf) [Stand: 10.09.2018]
- [16] Verein Deutscher Zementwerke VDZ (Hrsg.): Bauwirtschaftliche Rahmendaten. URL: <https://www.vdz-online.de/publikationen/zahlen-und-daten/> [Stand: 18.08.2020]

## DER AUTOR



Dr.-Ing. Raik Hartmann

Mit dem Thema »modernes Lehmmauerwerk« promovierte Raik Hartmann bei Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger und widmet sich am Lehrstuhl weiteren Forschungen zu ressourcenschonendem Bauen mit Mauerwerk sowie zu demontierbarem Bauen. Er betreut die Errichtung des Pilothauses aus modernem Lehmmauerwerk in Meißen.

Fichtenstraße 2  
 01097 Dresden  
 raik\_hartmann@gmx.de

Anne Niemann

# Das Forschungsprojekt »Einfach Bauen«

## Ganzheitliche Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen mit Holz, Leichtbeton und hochwärmédämmendem Mauerwerk

Forschende am Lehrstuhl für Entwerfen und Konstruieren der Technischen Universität München gehen der Frage nach, wie die Architektur mit baulichen Mitteln so optimiert werden kann, dass es möglichst wenig Technik bedarf, um ein angenehmes Raumklima zu erzeugen. Weiterhin werden die so entwickelten Gebäude mit Standardwohngebäuden oder Wohngebäuden in Niedrigenergiebauweise bezüglich Umweltwirkung und Lebenszykluskosten über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren verglichen.

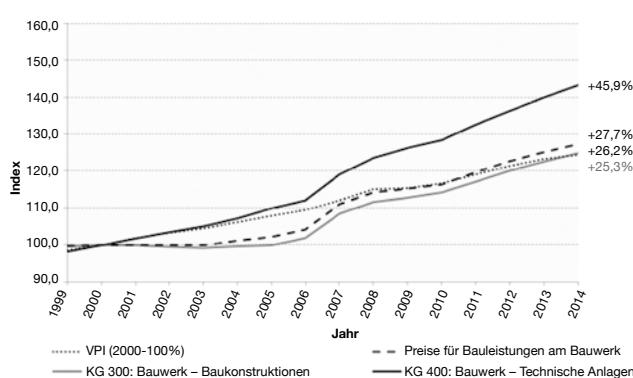


Abb. 1: Darstellung der Indexreihen »KG 300 – Bauwerk – Baukonstruktionen« und »KG 400 – Bauwerk – Technische Anlagen« im Vergleich zum Verbraucherpreisindex (VPI) [1]

Die Anforderungen an den Wärme-, Brand- und Schallschutz von Gebäuden steigen seit Jahrzehnten stetig. Neben der Optimierung von Baumaterialien wird vor allem durch den vermehrten Einsatz von technischen Anlagen versucht, die hohen Ziele zu erreichen: Energie (in Form von Heizenergie)

### KERNAUSSAGEN

- »Einfach Bauen« bedeutet, die Komplexität von Konstruktion und Gebäudetechnik zu reduzieren.
- Das Ergebnis sollen Gebäude sein, die einfach zu bauen und einfach zu nutzen sind.
- Ziel ist, durch Reduktion und Robustheit die Umwelt über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden hinweg zu schonen.

zu sparen und für den Nutzer einen ganzjährigen Komfort zu gewährleisten. In der Folge ist der Anteil für technische Anlagen an den Baukosten in den letzten Jahren erheblich gestiegen. Wie Abb. 1 zeigt, hat zwischen dem Jahr 2000 und 2014 eine Preissteigerung von 45,9 % stattgefunden.

Weiterhin führt dies zu einer Vielzahl von Vorschriften und technischen Regelungen, die Planer und Bauherren oftmals überfordern. Fehler in Planung, Ausführung und Bedienung sind die Folge. »Die Dinge, die wir entwerfen, und die wir umsetzen, sind in der Regel zu kompliziert«, findet Florian Nagler, unter dessen Federführung der Forschungsschwerpunkt »Einfach Bauen« an der TU München stattfindet. »Da ist der Reflex verständlich, zu fragen: Wie geht das einfacher?« [2].

Mangelnde Flexibilität der auf eine spezielle Nutzung hin maßgeschneiderten modernen Gebäude führt oftmals zu ihrem frühen Abbruch und Neubau. Dabei gibt es genügend historische Beispiele, wie Gebäude langfristig flexibel genutzt werden und ohne komplizierte Technik funktioniert haben. Gründerzeitbauten sind wohl deshalb so begehrt, weil ihre Grundstruktur eine vielfältige Nutzung für Wohnen, Büro, Arztpraxen u. v. m. zulässt. Dazu zählen sowohl die Raumgrößen und -proportionen als auch die große Raumhöhe. Umbauten sind aufgrund der einfachen und nachvollziehbaren Konstruktionen leicht durchführbar. Gleichzeitig ist die Grundsubstanz mit dicken Außenwänden robust und langlebig. Wirtschaftliche Zwänge, aber auch Technikgläubigkeit, führten im Laufe der Zeit zu einem Verlust an baulicher Qualität. Gebäude wurden optimiert durch niedrigere Decken und monofunktionale Grundrisslösungen [2]. Technische Systeme gleichen seither den Verlust an Komfort aus, statt diesen mit baulichen Mitteln zu erreichen.



Abb. 2: Das Gebäude 2226 diente als Anregung für die Forschungstätigkeiten an der TU München

Das Projekt 2226 von Baumschlager Eberle Architekten zeigt eindrucksvoll, dass nicht das Zurückfallen in alte Zeiten, sondern die Rückbesinnung auf traditionelle Entwurfskonzepte, kombiniert mit moderner Technik, eine Lösung darstellen können. Bei diesem multifunktionalen Büro- und Wohngebäude aus dem Jahr 2013 wurde durch den Verzicht auf wassergeführte aktive Raumkonditionierungssysteme ein radikal einfacher Weg beschritten. Das Kunstlicht stellt die einzige fest installierte Wärmequelle der Räume neben den Bürogeräten dar, zur aktiven Kühlung besteht grundsätzlich keine Möglichkeit. Herausgekommen ist ein Gebäude mit geringem Heizwärmebedarf, der durch eine hochwertige Gebäudehülle, thermische Speichermassen und durch die internen und die solaren Gewinne erreicht wird [3]. Weitere Projekte, wie das ohne technische Raumtemperierung auskommende Kräuterlager in Laufen von Herzog & De Meuron Architekten, haben in den letzten Jahren eine Diskussion über die Möglichkeiten von Lowtech-Gebäuden angeregt.

### Forschungsprojekt »Einfach Bauen«

Vor diesem Hintergrund hat sich an der TU München das Thema »Einfach Bauen« als Forschungsschwerpunkt etabliert. Das Team unter der Leitung von Prof. Florian Nagler, bestehend aus Architekten und Bau- und Umweltingenieuren, stellte sich die Frage, wie die Architektur mit baulichen

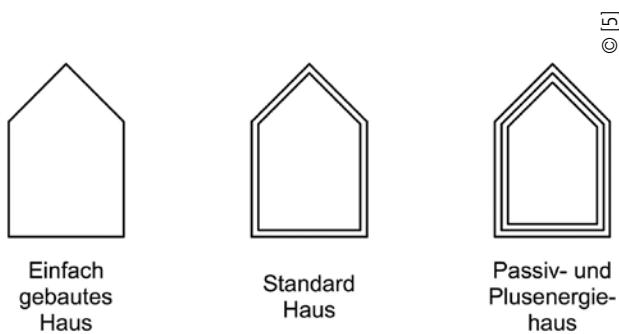


Abb. 3: Hypothese des Forschungsprojekts: Wohngebäude mit hochwertiger und gleichzeitig suffizienter Architektur, robuster Baukonstruktion und reduzierter Gebäudetechnik sind, über einen Lebenszeitraum von 80 bis 100 Jahren, bei besserer Aufenthaltsqualität sowohl üblichen Standardwohngebäuden als auch Passiv- und Niedrigenergiehäusern hinsichtlich Ökobilanz und Lebenszykluskosten überlegen

Mitteln so optimiert werden kann, dass es möglichst wenig Technik bedarf, um ein angenehmes Raumklima zu erzeugen. Und wie verhalten sich derart »einfach gebaute« Häuser im Vergleich zu Standardwohngebäuden oder Wohngebäuden in Niedrigenergiebauweise bezüglich Umweltwirkung und Lebenszykluskosten über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren? Im von der Forschungsinitiative Zukunft Bau [4] geförderten Forschungsprojekt »Einfach Bauen – Integrale Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen mit Holz, Leichtbeton und hochwärmmedämmendem Mauerwerk – Untersuchung der Wechselwirkungen von Raum, Konstruktion und Gebäudetechnik« wurden über einen Zeitraum von zwei Jahren grundlegende Prinzipien des einfachen Bauens untersucht.

### Methodik

Zu Beginn der Untersuchung traf das Team einige Festlegungen [5]: Betrachtet wird die Typologie von Wohngebäuden mit flexibel nutzbaren Raumgrößen nach Vorbild der Gründerzeitbauten. Da der Bau von Studentenwohnanlagen als Pilotprojekte anvisiert war, bildet das Raummodell ein durchschnittliches Studentenzimmer eines Wohnheims mit einer Nettogrundfläche von 18 m<sup>2</sup> nach.

Die Wandaufbauten sind schichtenarm bzw. monolithisch ausgebildet, um die Nachteile von vielschichtigen Wandaufbauten zu umgehen: Bei mehrschichtigen Bauteilen



Abb. 4: Durch die verschiedenen Schichten mit unterschiedlicher Lebensdauer befindet sich ein Gebäude im ständigen Wandel

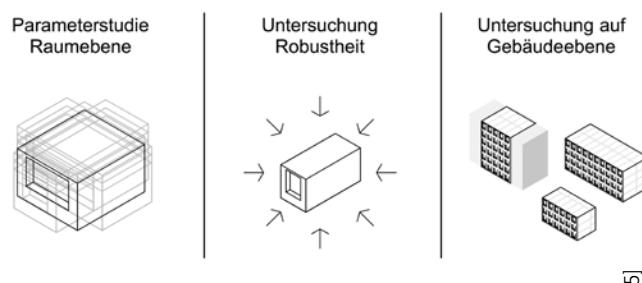
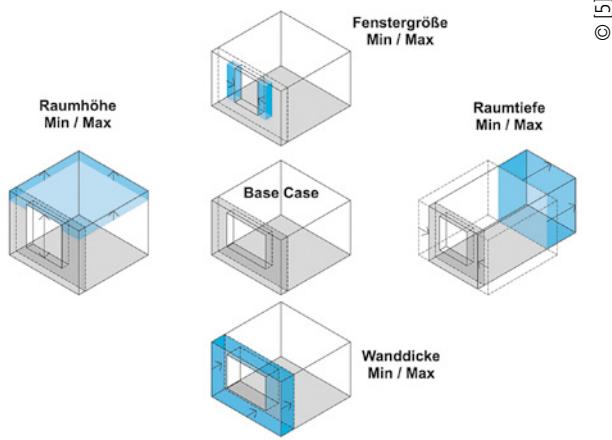


Abb. 5: Aufeinander aufbauende Arbeitsschritte im Forschungsprojekt »Einfach Bauen«



© [5]

Abb. 6: Jeweils ein Parameter der Grundvariante wurde schrittweise verändert

übernehmen die einzelnen Schichten jeweils spezielle Anforderungen. Durch die unterschiedliche Haltbarkeit und Nutzungsdauer der Bauteilschichten müssen diese Schichten, während und auch am Ende der Lebenszeit eines Gebäudes, wieder voneinander getrennt werden. Aufwendige Bauweisen, d.h. jeder Knotenpunkt im Detail, jede Überabstelle von Gewerken auf der Baustelle, bergen zudem ein hohes Fehlerpotenzial.

Um ein breites Spektrum abzudecken, werden gleich drei Materialien betrachtet: die heute hoch entwickelten Konstruktionsmaterialien Massivholz, Leichtbeton und hochwärmédämmendes Mauerwerk. Eine ausführliche Produkt- und Projektrecherche führt in den Vorarbeiten zur Festlegung von optimierten Konstruktionen und Detaillösungen.

Grundsätzlich gliedert sich die Studie in drei Teile. Der erste Abschnitt ist eine Parameterstudie auf Raumebene, in der Einzelräume entworfen und hinsichtlich des Energieverbrauchs untersucht wurden. Anschließend überprüften die Forscher, ob die Raumvarianten, die die besten Ergebnisse geliefert hatten, auch mit veränderten Randbedingungen zureckkamen. Im letzten Schritt wurden die Räume zu schematischen Gebäuden addiert und mit haustechnischen Systemen ergänzt. Hierfür ermittelte man jeweils die Kosten für Entstehung und Betrieb sowie die Umwelteinwirkung.

## Untersuchung auf Raumebene – Optimierung der Architektur

Ein multifunktional nutzbarer Raum mit der Grundfläche von 18 m<sup>2</sup> stellte das Basis-Raummodell dar, den sogenannten »Base Case«. Das Nutzerverhalten sowie die Heiztechnik wurden ideal angesetzt, und konstant der Wetterdatensatz für die Stadt München verwendet. Davon ausgehend variierte man Raumparameter wie Geometrie, Fenstergröße, Glasart und Außenwanddicke. Das Innenraummaß für die Fassadengliederung sowie für die Raumtiefe betrug jeweils zwischen drei und sechs Meter, wobei die Wertepaare Tiefe/Breite in Kombination immer eine Nettogrundfläche von 18 m<sup>2</sup> ergaben. Die Raumhöhe

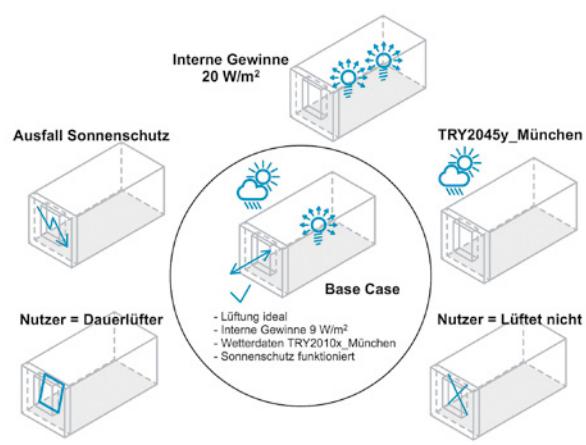


Abb. 7: Unsichere Randbedingungen = Robustheit

variierte von 2,40 m, wie von der Musterbauordnung (MBO) vorgeschriebenen, bis zu komfortablen 3,40 m. Auch der minimale Fensterflächenanteil wurde mit 1/8 der Nettogrundfläche des Raumes durch die MBO vorgegeben. Die Brüstungs- und Sturzhöhe, welche ein Fensterband aufspannen, bestimmten die maximal mögliche Fensterfläche. Als Glasvarianten standen Sonnen- und Wärmeschutzglas jeweils mit Zwei- oder Drei-Scheibenverglasung zur Auswahl. Die

Außenwände unterschieden sich in drei Stärken, wobei die mittlere Wandstärke eines jeden Materials den U-Wert von 0,28 W/m·K nach EnEV 2014/16 ergibt. Davon deutlich abweichend, stellten die Mindest- und Maximal-Wandstärken Extremfälle dar, um die Auswirkungen von U-Wert und

Speichermasse auf Raumklima, Energieeffizienz, Ökologie (LCA) und Ökonomie (LCC) zu beleuchten.

Die Kombination von 81 verschiedenen Geometrien, vier Himmelsrichtungen, drei Bauweisen und drei Glasarten ergab 2916 zu simulierende Varianten. Wenn die gewählte Fenstergröße in Kombination mit Glasart und Raumproportion zu wenig Tageslicht in den Raum ließ (als Grenze wurden min. 2 % Tageslichtquotient festgelegt), wurde diese nicht weiter untersucht. So reduzierte sich die Variantenzahl auf 2603, die thermisch dynamisch simuliert wurden. Dafür kam die Rhinoceros/Grasshopper®-Umgebung mit dem Plug-in TRNLizard mit dem Rechenkern der Software TRNSYS 18 zum Einsatz.

Welche Parameterkonfigurationen vereinigen nun am besten den Wunsch nach einem geringen Heizwärmebedarf und wenigen Übertemperaturgradstunden im Gebäude?

Der Heizwärmebedarf wird primär durch Maßnahmen gesenkt, die die Transmissionswärmeverluste über die Hülle verringern und sekundär über Maßnahmen, die die solaren Gewinne erhöhen. Die Übertemperaturgradstunden werden primär über die Vermeidung von solaren Gewinnen und sekundär über mehr Speichermasse gesenkt. Ein adaptives System, das solare Wärmeeinträge im Sommer vermeidet und solare Wärmegewinne im Winter ermöglicht, könnte diesen Konflikt auflösen. Allerdings wird, sofern das System nicht stabil gegenüber des »Nutzerfehlverhaltens« ist, die

*»Man sollte alles so einfach wie möglich sehen – aber auch nicht einfacher.«*

Albert Einstein

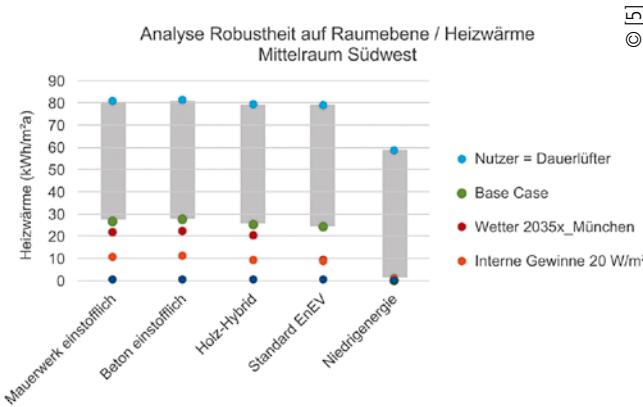


Abb. 8: Beispiel der Robustheitsanalyse auf Raumbene: Ergebnisspreizung für den Heizwärmebedarf für einen Mittelraum mit Südwestausrichtung

Robustheit vermindert, da im Falle einer Fehlfunktion keine Verbesserung, sondern eine Verschlechterung entsteht, z. B. durch einen geschlossenen Sonnenschutz im Winter oder eine ungeschützte Glasfassade auf der Südseite im Sommer. Eine robustere Strategie wäre es, die Fensteröffnung so zu gestalten, dass die Belichtung des Raums auch bei einem kleinen Fensterflächenanteil noch ausreichend gegeben ist. Dies wäre durch höhere Räume zu erreichen, da dadurch die Belichtungswirkung der Fensteröffnung verbessert wird, weil das Licht tiefer in den Raum gelangt. In der detaillierten Auswertung der Parameterstudie befinden sich Varianten mit maximaler Raumtiefe und Raumhöhe, geringem Fensterflächenanteil und Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung immer unter den Top 10 bei den Übertemperaturgradstunden und in der Top 30 bezüglich des Heizwärmebedarfs.

Insgesamt zeigte es sich, dass Raumvarianten mit reduziertem Hüllflächenanteil, thermischen Speichermassen und optimierten Fensterflächen mit einem Tageslichtquotienten von 2 % sich als optimal bezüglich geringem Heizwärmebedarf und reduzierter Überhitzung im Sommer erwiesen. An diesen erfolgreichen Raumkonfigurationen wurde im nächsten Schritt die Robustheit gegenüber unsicheren Randbedingungen untersucht.

## Untersuchung der Robustheit

Bisherige Planungsprozesse haben zum Ziel, für die jeweilige Aufgabe das Optimum zu finden. So erreicht beispielsweise ein Niedrighaus bestmögliche Werte in Bezug auf den Heizwärmebedarf. Dabei bleibt oft unberücksichtigt, dass sich die als ideal angenommenen Umgebungsparameter in der Realität dramatisch ändern können. Diese Annahme wurde als Grundlage für die Robustheitsuntersuchung genommen. Ein System wurde als robust definiert, wenn es unter Idealbedingungen nicht unbedingt das bestmögliche Ergebnis erreicht, dafür aber unsensibel auf sich verändernde Eingangsgrößen reagiert. Ein robustes System sollte also auch dann gute Ergebnisse liefern, wenn die im ersten Simulationsdurchlauf konstant gehaltenen Umgebungsparameter variieren.

In Phase 2 beschreibt der zugrunde gelegte Wetterdatensatz ein ganzjährig milder Klima, das der Deutsche

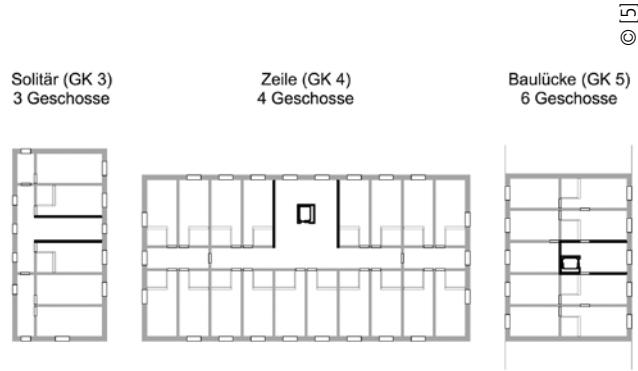


Abb. 9: Typengrundrisse GK 3 (Solitär), GK 4 (Zeile), GK 5 (Baulücke)

Wetterdienst für das Jahr 2045 prognostiziert. Für das Nutzerverhalten wird der Extremfall angenommen: Entweder lüftet der Bewohner tagsüber zu keinem Zeitpunkt. Damit besteht der Luftwechsel ausschließlich aus einer minimalen angenommenen Grundlüftung. Als entgegengesetztes Verhalten lüftet der Nutzer tagsüber konstant, unabhängig von der Außentemperatur. Auch wenn dieses Verhalten in der Realität nur selten eintreffen mag, gibt es doch sehr deutlich Aufschluss über die Performance des simulierten Raums. Als Extremfall des Kriteriums »Interne Gewinne« werden die internen Lasten von 9 auf 20 W/m mehr als verdoppelt, um den Effekt auf Heizwärmebedarf und sommerlichen Wärmeschutz zu testen. Während in Phase 1 kein Sonnenschutz vorgesehen war und die Fenster nur durch die unterschiedlich tiefen Laibungen verschattet wurden, ist diesmal für den Holzbau ein außen liegender, dynamischer Sonnenschutz mit einem Abminderungsfaktor von 80 % vorgesehen. Im Extremfall fällt der Sonnenschutz komplett aus. Zum Vergleich wurden zusätzlich zu den drei bislang untersuchten einfachen Bauweisen (Mauerwerk, Infralichtbeton und Massivholz) noch ein Holz-Beton-Hybrid und jeweils ein Raummodell in Standardbauweise und in Niedrigenergiebauweise betrachtet, was eine Variantenzahl von 128 ergab.

Abb. 8 stellt beispielhaft den Heizwärmebedarf für einen Mittelraum mit Südwestausrichtung in fünf untersuchten Varianten dar. Diese Untersuchung wurde für alle Himmelsrichtungen durchgeführt. Der grüne Punkt zeigt jeweils den Base Case an. Alle weiteren Punkte stehen für eine veränderte unsichere Randbedingung. Die vertikale Anordnung der Punkte je Variante geschieht nach Wärmegewinnen/-verlusten bzw. Kelvinstunden auf der y-Achse. Der graue Balken entspricht der Streuung der Zielgröße induziert durch die Schwankung der unsicheren Randbedingungen. Somit lassen sich die Varianten bezüglich ihrer Robustheit vergleichen.

In der Untersuchung hat sich gezeigt, dass das Lüftungsverhalten des Nutzers den größten Einfluss auf den Heizwärmebedarf im Negativen wie im Positiven hat. Im Sommer bestimmen das Wetter und die internen Gewinne vorrangig die Überhitzung. Insgesamt zeigen sich die einfachen Bauweisen robuster gegenüber Einflussnahme durch den Nutzer als die parallel untersuchten Raummodelle mit

Lebenszykluskosten (LCC) in EUR netto / m<sup>2</sup> Nutzfläche  
Herstellung, Transport, Austausch und Energie Betrieb Zeitraum 100 Jahre, Entsorgung

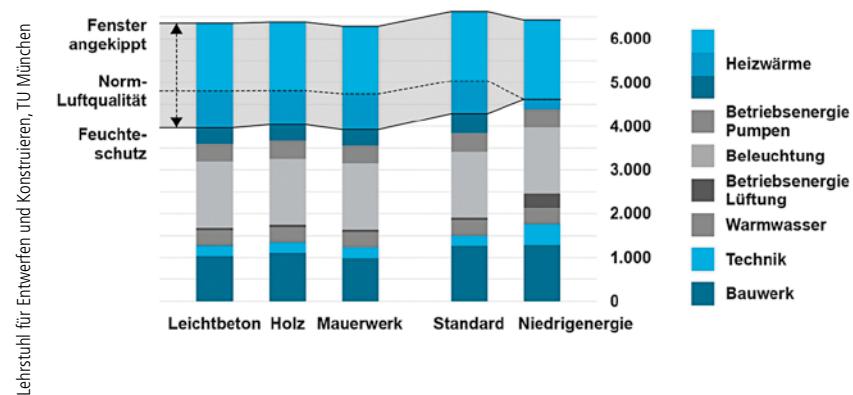


Abb. 10: Lebenszykluskosten der Zellentypologie in GK 4 betrachtet über einen Lebenszyklus von 100 Jahren mit Darstellung verschiedener Lüftungsszenarien

Standard- und Niedrigenergiekonzept. Der Unterschied der Varianten in der Robustheit auf Raumbene lässt darauf schließen, dass die Robustheit auch auf der Gebäudeebene eine wichtige Rolle spielt. Aus diesem Grund werden im Weiteren durch eine Lebenszyklus- und Lebenskostenanalyse die Effekte der Robustheit berücksichtigt.

### Untersuchung auf Gebäudeebene

Im dritten Schritt wurden auf Basis der Raumvarianten drei typische Bauformen im Geschosswohnungsbau schematisch als Basis für eine Mengenermittlung und Abschätzung der Verbrauchswerte erstellt.

- ▶ Solitär (GK 3), 3 Geschosse, 704 m<sup>2</sup> Nutzfläche,
- ▶ Zeile (GK 4), 4 Geschosse, 2820 m<sup>2</sup> Nutzfläche,
- ▶ Baulücke (GK 5), 6 Geschosse, 1614 m<sup>2</sup> Nutzfläche.

Als Referenz werden den einfachen Bauten in jeder Gebäudeklasse ein Standardgebäude nach EnEV-Standard 2016 mit Wärmepumpenheizsystem und ein Niedrigenergiegebäude gegenübergestellt.

Die Untersuchung auf Gebäudeebene hat gezeigt, dass, über den Zeitraum von 100 Jahren betrachtet, der Energieeinsatz für die Heizung und Belüftung des Gebäudes den dominierenden Einfluss auf die Gesamtbilanz des Gebäudes hat. Wie in der Robustheitsuntersuchung auf Raumbene ermittelt wurde, gibt es hier gleichzeitig große Schwankungen abhängig vom Nutzerverhalten bei der Fensterlüftung. Aufwendigere Gebäudetechniksysteme produzieren nicht automatisch Einsparungen im Betrieb, wie auch andere Studien beweisen [7]. Als Fazit kann festgehalten werden, wenn man ergänzend zu den statischen Umwelt- und Kostenkennwerten die Unsicherheit in den Randbedingungen mitberücksichtigt, hat man bei einfachen Bauten eine deutlich geringere Spreizung des Heizwärmebedarfs und damit ein robusteres System als bei den konstruktiv komplexeren und im Betrieb sensibleren Standard- und Niedrigenergiegebäuden. Das zeigt sich nicht nur speziell am Heizwärmebedarf, sondern auch in den Übertemperaturstunden, denn diese schwanken bei einfachen Bauten in einem schmalen Band und zeigen auch damit eine höhere Robustheit sowohl gegen unvorhergesehenes Nutzerverhalten als auch gegen

äußere Einflüsse oder nicht funktionsfähige Teilsysteme. Die Kosten verhalten sich analog dazu.

### Ergebnis der Forschung

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse die anfangs gestellte These, dass einfache Wohngebäude mit hochwertiger, suffizienter Architektur, robuster Baukonstruktion und reduzierter Gebäudetechnik hinsichtlich Umweltwirkung und Lebenszykluskosten sowohl Standardwohngebäuden, als auch Niedrigenergiehäusern überlegen sind. Einfach Bauen bedeutet, ein Gebäude bereits in den ersten Planungsschritten durch eine Vielzahl von Entscheidungen robust und langlebig zu gestalten:

- ▶ kompakte Gebäudeform,
- ▶ einschichtige Wand- und Deckenkonstruktionen,
- ▶ klimatisch träge Bauteile durch thermische Speichermasse,
- ▶ angemessene Fensterflächen – kein Sonnenschutz – Nutzerlüftung,
- ▶ wenig Aufwand für den Betrieb durch geringe Komplexität des Gebäudes,
- ▶ handwerkliche Fügung der Bauteile,
- ▶ Verzicht auf Hilfsstoffe und materialfremde Sonderbauteile,
- ▶ konsequente Trennung von Gebäude und Techniksystemen.

Da der spätere Nutzer insbesondere durch sein Lüftungsverhalten große Einflussmöglichkeiten auf die Energiebilanz des Gebäudes besitzt, sollte er geschult und gleichzeitig sollten technische Systeme verwendet werden, die auch bei einem abweichenden Verhalten des Nutzers noch ausreichend robust sind, um die angestrebten Ergebnisse zu erzielen. Zudem sollten bereits bei der Planung spätere Umnutzungen und Instandsetzungen bedacht werden, da diese bei langer Lebensdauer des Gebäudes ökologisch und ökonomisch große Bedeutung haben.

### Umsetzung in die Praxis – Bau von drei Forschungshäusern

In Bad Aibling planen Florian Nagler Architekten derzeit drei Forschungshäuser als nicht unterkellerte, dreigeschossige



Abb. 11: Fensterdetails der verschiedenen Bauweisen; Foto der Fassadenmodelle im Maßstab 1:1

Wohngebäude in den Bauweisen Massivholz, Leichtbeton und wärmedämmendem Mauerwerk nach der Strategie »Einfach Bauen«. Die material- und klimagerecht konstruierten Gebäude benötigen von sich aus wenig Heizenergie und überhitzen im Sommer nicht. Der Einsatz von einschichtigen Bauteilen aus natürlichen und nachwachsenden Rohstoffen schont die Umwelt über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes hinweg. Das Ergebnis sind Wohngebäude, die einfach zu bauen und einfach zu betreiben sind. Um Stürze und damit Materialwechsel und aufwendige Details zu vermeiden, leiten sich die Fensterformen von den Eigenschaften des Außenwandmaterials ab (Abb. 11). Die Grundrisse sind möglichst nutzungsneutral entwickelt, um spätere Veränderungen zu ermöglichen (Zusammenschluss von Wohneinheiten, Nutzung als Büroräume o. Ä., s. Abb. 12). Durch die Optimierung von Raumgeometrie, Fensterfläche und Speichermasse konnte das Haustechniksystem sehr einfach gehalten werden: Die Wärmeerzeugung erfolgt über ein vor Ort vorhandenes Biogas-Blockheizkraftwerk mit einer Wärmeübergabe an den Raum über Heizkörper. Fensterfalzlüfter sorgen in Kombination mit Ablüftern in den Badbereichen für eine kontrollierte Grundlüftung zum Feuchteschutz. Fensterlüftung je nach Laune des Nutzers bleibt jederzeit möglich. Die Häuser funktionieren ohne einen außen liegenden, variablen Sonnenschutz.

## Weitere Forschung

Die im Herbst 2018 abgeschlossene Grundlagenforschung ist Start eines Großprojekts mit dem übergeordneten Titel »Einfach Bauen«. Im daran anschließenden, aktuell bis Ende 2020 laufenden Forschungsprojekt »Einfach Bauen 2 – Planen, Bauen, Messen« begleitet und dokumentiert das Forschungsteam den Bau der drei Forschungshäuser in Bad Aibling. Ein Feuchtemonitoring und Wärmeflussmessungen der Bauteile sollen Aufschluss über die tatsächlichen Materialeigenschaften geben. Erste Probemessungen einzelner Räume bilden die Grundlage für ein umfangreiches Messkonzept für die nächste Forschungsphase.

Die Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung vom einfachen Bauen finden unter Rückkopplung mit den Ergebnissen der Forschung aus »Einfach Bauen 1« Eingang in einen



Abb. 12: Grundrisse und Straßenansicht der drei Forschungshäuser

Leitfaden. Durch die anwenderfreundliche Aufbereitung des Themas und das Aufzeigen von Lösungsansätzen bis ins Detail sollen Planer in die Lage versetzt werden, die Prinzipien des einfachen Bauens frühzeitig in die Gebäudeplanung einfließen zu lassen. Private und öffentliche Auftraggeber und Bauherren bekommen damit eine gut verständliche Entscheidungshilfe an die Hand.

Den Abschluss der Reihe bildet die dritte Forschungsphase, deren Durchführung in den Jahren 2021 bis 2022 geplant ist. Nach dem Bezug der Häuser werden vergleichende Langzeitmessungen den Verbrauch und das Raumklima erfassen. Die Bewohner der Forschungshäuser werden zu ihren Gewohnheiten und Wohnzufriedenheit befragt. Die Ergebnisse lassen Rückschlüsse zu, inwieweit die Annahmen aus der Simulation in der Realität zutreffen und ob eine Anpassung des Konzepts »Einfach Bauen« nötig ist.

## Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BUNBR) (Hrsg.): Bericht der Baukostensenkungskommission des Bündnisses für bezahlbares Wohnen und Bauen. Berlin, 2015
- [2] Auer, Thomas: Einfach Bauen. In: XIA – Intelligente Architektur 10-12 (2014)
- [3] Eberle, Dietmar (Hrsg.) et al.: be 2226 Die Temperatur der Architektur. Basel: Birkhäuser Verlag, 2016
- [4] Zukunftbau. URL: [www.zukunftbau.de](http://www.zukunftbau.de) [Stand: 10.07.2020]
- [5] Nagler, Florian et al.: Schlussbericht des Forschungsvorhabens Einfach Bauen. München: Technische Universität München, 2018
- [6] Brand, Stewart: How Buildings Learn: What Happens After They're Built. New York City: Viking Verlag, 1994
- [7] GEWOFAG Holding GmbH München: Forschungsprojekt Riem – Wichtige Erkenntnisse für zukünftige Bauvorhaben. München: 2016

## Hinweise

Weitere Informationen und Auflistung der Projektpartner:

[www.einfach-bauen.net](http://www.einfach-bauen.net)

Kostenfreier Download des Schlussberichts [5]:

[www.baufachinformation.de/einfach-bauen/fb/252337](http://www.baufachinformation.de/einfach-bauen/fb/252337)

## DIE AUTORIN



Dipl.-Ing. Architektin Anne Niemann

Die wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Technischen Universität München ist Projektleiterin im Forschungsprojekt »Einfach Bauen«. Weitere Schwerpunkte ihrer Forschungs- und Autorentätigkeit sind Bauen mit Laubholz und Geschlechtergerechtigkeit in der Architektur.

Technische Universität München

Fakultät Architektur

Lehrstuhl für Entwerfen und Konstruieren

Arcisstraße 21

80333 München

[anne.niemann@tum.de](mailto:anne.niemann@tum.de)

Daniel Nyman und Wolfgang Breit

# Entwicklung einer modularen, flexiblen und mobilen Wohneinheit

## Komplexe geometrische Strukturen entstehen aus einem Baukastenprinzip

*Modulares Bauen bietet beim rasanten Wachstum der Städte eine Möglichkeit, den Ansprüchen unserer heutigen Zeit gerecht zu werden und entwickelt sich hin zur experimentellen und innovativen Architektur. Mit dem Forschungsvorhaben »MonoBau« wurde eine neuartige Variante der modularen Bauweise aus Sandwichelementen mit dünnen Deckschichten aus Textilbeton in monolithischer Ausführung entwickelt. Des Weiteren lässt sich anhand der flexiblen Gestaltungsmöglichkeiten durch angehängte Module sowie einer minimalistisch, effizienten Architektur ein innovatives Design mit konstruktiven Tragwerksideen vereinen.*



Abb. 1: MonoBau-Körper

### Ausgangssituation

Seit Anfang des 21. Jahrhunderts leben erstmals mehr Menschen in Städten als auf dem Land. Die Prognosen der Vereinten Nationen gehen sogar davon aus, dass im Jahr 2050 zwei von drei Menschen in urbanisierten Gebieten leben.

#### KERNAUSSAGEN

- MonoBau = monolithisch, modern, minimalistisch, modular
- Innovative Architektur mit vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten
- Verwirklichung höchster Ansprüche durch betontechnologisches Know-how

Das damit einhergehende rasante Wachstum der Städte und der zur Verfügung stehende Bauplatz stellt besonders Stadtplaner und Architekten vor große Herausforderungen. Besonders die strukturellen Veränderungen in Familie und Gesellschaft erfordern ein hohes Maß an Flexibilität, welches sich auch in der Wohnraumnutzung widerspiegelt. Um diesem Umstand gerecht zu werden, müssen die vorhandenen Städtestrukturen optimiert und ausgebaut werden. Dabei ist vor allem die Nachfrage nach neuem und preiswertem Wohnraum groß.

Modulares Bauen – eine Bauweise, die nach dem Baukastenprinzip die einzelnen Elemente zusammenfügt und bei der komplexe geometrische Strukturen entstehen können, bietet dabei eine Möglichkeit, den Ansprüchen unserer heutigen Zeit gerecht zu werden. Durch einzelne modulare



Abb. 2: Gebäudeentwurf

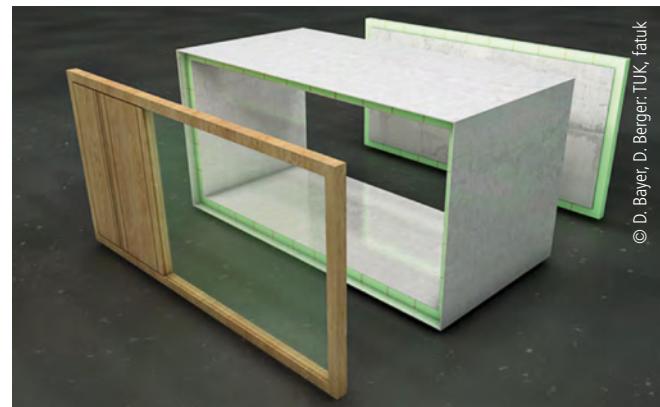


Abb. 3: Struktureller Aufbau



Abb. 4: Ansicht

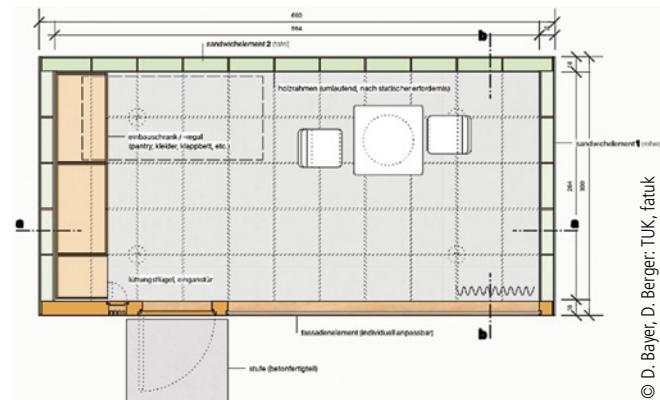


Abb. 5: Wohnkonzept

Elemente, die jederzeit flexibel ausgetauscht oder ergänzt werden können, entsteht eine wandelbare Wohneinheit, die jeder Umgebungsstruktur angepasst werden kann. Während die meisten Menschen in Deutschland die »Containerbauweise« mit Notunterkünften assoziieren, haben Architekten längst das Potenzial dieser Bauweise entdeckt. Im Vergleich zu den anfänglichen Interessen der Material- und Zeiteinsparung entwickelt sich modulares Bauen hin zur experimentellen und innovativen Architektur (siehe Abb. 1).

Ein neuer experimenteller Ansatz ist die Herstellung monolithisch konzipierter Wohnelemente aus Sandwichstrukturen mit Deckschichten aus textilbewehrtem Beton. Textilbewehrter Beton oder auch Textilbeton genannt, ist ein innovativer Verbundwerkstoff, der eine der bedeutendsten Erforschungen im Massivbau der letzten Jahrzehnte ist. Mit dem Einsatz von Carbonfasern als textiles Gelege wird die Korrosionsanfälligkeit der Bewehrung ausgeschlossen und die damit verbundene Betondeckung hinfällig. Zudem hat Carbon eine höhere Zugfestigkeit als Stahl und ist um ein Vielfaches leichter. Diese positiven Eigenschaften ermöglichen eine Herstellung von Sandwichelementen mit filigranen Deckschichten. Durch den Einsatz von Hochleistungsbetonen wird gleichzeitig eine dauerhafte,witterungsbeständige und optisch ansprechende Oberfläche geschaffen. In Kombination mit einer Dämmung als Kernmaterial lassen sich damit moderne Gebäudehüllen aus Sandwichelementen herstellen, die sehr gute bauphysikalische Eigenschaften, geringen

Baustoffbedarf, Modularität und moderne Architektur vereinbaren.

Der Aspekt der monolithischen Herstellung nimmt einen wesentlichen Schwerpunkt bei der Herstellung ein. Der Begriff stammt aus dem altgriechischen und bedeutet so viel wie »aus einem Guss« hergestellt. Für das monolithisch konzipierte Wohnelement bedeutet dies, der Boden, die Wände und die Decke werden gleichzeitig betoniert und es entstehen keine konstruktiven Fugen zwischen den einzelnen Bauteilen. Es impliziert eine vermeintliche Einfachheit in der Planung und Ausführung. Die Eigenschaft des Betons im Laufe der Zeit durch Feuchtigkeitsabgabe zu schwinden, führt jedoch besonders an den Schnittstellen der Bauteile zu Problemen. Die Verformungen des Betons werden verhindert und es entstehen Zwangsspannungen, die besonders im jungen Alter des Betons zu Schwindrissen führen können. Um das Konzept der monolithisch hergestellten Wohnelemente in die Praxis umzusetzen, mussten die Ausführbarkeit und die auftretenden Probleme analysiert und bearbeitet werden.

## Konzeption

Basierend auf der grundlegenden Konzeption der modularen, flexiblen und mobilen Wohneinheit aus Sandwichstrukturen mit Deckschichten aus Beton ergeben sich verschiedene Raumkonzepte, die individuell anpassbar sind und somit eine vielfältige Nutzung ermöglichen. Exemplarisch



Abb. 6: Urbane Umsetzungsmöglichkeiten

für den umgesetzten Gebäudeentwurf mit einer integrierten Wohneinheit dienen die Illustrationen Abb. 2 bis Abb. 5. Sie veranschaulichen die pragmatisch, sinnvolle Nutzung eines Wohnraums für Bedürftige oder Personen mit dem Bedürfnis sich in einer wandelbaren Unterkunft verwirklichen zu können.

Des Weiteren wurden in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet »Methodik des Entwerfens und Entwerfen« des Fachbereichs Architektur neben den exemplarischen Wohnkonzeptideen weitere Visualisierungen für die Einsatzmöglichkeiten im urbanen Umfeld oder in Küstengebieten entwickelt (siehe Abb. 6).

Die Dimensionierung des einzelnen Moduls wurde an die allgemein zulässigen Grundabmessungen eines LKW nach § 32 StVZO [1] angepasst. Des Weiteren wurden im Zuge der Assoziation zwischen Gesamtgewicht und Mobilität des Baukörpers die Außenabmessungen mit (L/B/H) 6,0/2,4/3,0 m definiert. Die Anforderungen an die Betoneigenschaften wurden aufgrund der Aspekte des filigranen Baues sowie einer ressourcenschonenden Herstellung der Betondeckschichten wie folgt festgelegt:

- ▷ hohe Druckfestigkeit,
- ▷ hohe Dauerhaftigkeit,
- ▷ hohe Fließfähigkeit,
- ▷ möglichst geringes Schwindverhalten,
- ▷ Größtkorn  $\leq 5$  mm,
- ▷ Sichtbetonklasse SB4.

## Frisch- und Festbetonuntersuchungen

Zur Ermittlung der Materialkennwerte der verwendeten Betone wurden die entsprechenden Frischbetonuntersuchungen nach DIN EN 12350 und die Festbetonuntersuchungen nach DIN EN 12390 durchgeführt. Dabei wurde die Druckfestigkeit nach DIN EN 12390-3 [2] an Würfeln mit einer Kantenlänge von 150 mm ermittelt und die Biegezugfestigkeitsprüfungen sowie die anschließenden Druckfestigkeitsuntersuchungen von Mörtelprismen nach DIN EN 196-1 [3] mit den Abmessungen von (L/B/H) 160/40/40 mm bestimmt. Die Ermittlung des Elastizitätsmoduls erfolgte nach DIN EN 12390-13 [4] an Zylindern mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Höhe von 300 mm. Im Anschluss an die Analyse des E-Moduls

wurden die zylindrischen Probekörper noch auf ihre Spaltzugfestigkeit nach DIN EN 12390-6 [5] untersucht.

Während der Herstellung der Probekörper wurden die in Tab. 1 aufgeführten Frischbetonparameter (Setzfließmaß, Zeit  $t_{500}$ , Frischbetonrohdichte und Luftporengehalt) zum Zeitpunkt ( $t = 0$  min) bestimmt. Die Verfahren zur Herstellung der Betone und zur Ermittlung der Materialeigenschaften wurden zum Vergleich unter konstanten Bedingungen durchgeführt. Die Ausgangsmaterialien wurden vor dem Mischprozess auf ( $2 \pm 1$  °C) gekühlt und in einer definierten Reihenfolge dem Mischer hinzugegeben. Anhand der erbrachten Versuche bzgl. der differierenden Betonzusammensetzungen konnten Bandbreiten der Frischbetoneigenschaften, wie in Tab. 1 dargestellt, erzielt werden.

Tab. 1: Frischbetoneigenschaften

Setzfließmaß (SF)	Zeit ( $t_{500}$ )	Frischbetondichte (D)	Luftporengehalt (Ac)
930 – 1030 mm	3,3 – 5,5 s	2 290 – 2 360 kg/m <sup>3</sup>	1,1 – 3,2 %

Neben der Kühlung der Ausgangsmaterialien wurde zudem zur Vermeidung von Rissbildung infolge des Schwindprozesses teilweise ein Schwindreduzierer hinzugegeben. Des Weiteren wurden unterschiedliche Zemente als auch Korngrößenverteilungen zur Herstellung differierender Probekörper berücksichtigt. Die Korngröße wurde aufgrund des Blockiereffekts der Bewehrung sowie der geringen Öffnung beim Betonievorgang variiert. Der Frischbeton zeigte bei den unterschiedlichen Hochleistungsbetonen rein optisch keine Entmischungsanzeichen und ein gutes Zusammenhaltevermögen. Dies bestätigte sich auch in den Rissflächen der untersuchten Probekörper.

Auf Basis der Festbetonanalysen ergaben sich die in Tab. 2 erzielten Materialeigenschaften, sodass die verwendeten Betone als Hochleistungsbetone bezeichnet werden können. Im Laufe der Forschungsarbeiten bzgl. einer optimierten Betonzusammensetzung wurde u. a. ein Konsistenzhalter

Tab. 2: Festbetoneigenschaften

Mittlere Druckfestigkeit ( $f_{cm, cube}$ )	Mittlerer Elastizitätsmodul ( $E_{cm}$ )	Mittlere Spaltzugfestigkeit ( $f_{cm, sp}$ )
130 – 150 N/mm <sup>2</sup>	35 400 – 43 200 N/mm <sup>2</sup>	3,1 – 5,3 N/mm <sup>2</sup>

eingesetzt, um die Verarbeitbarkeit des Frischbetons über einen längeren Zeitraum (ca. 1,5 h) gewährleisten zu können. Die Ergebnisse hinsichtlich des Setzfließmaßes sowie die Zeit  $t_{500}$  sind exemplarisch für die ausgewählte Zusammensetzung in Tab. 3 dargestellt. Die Untersuchung umfasst den veranschlagten Verarbeitungszeitraum von 90 min, die für eine spätere Betonage des Prototyps ausreichen sollte. Vor jeder Messung wurde der Frischbeton jeweils 5 min im Mischer durchmengt. Bei der Auswertung wurde darauf geachtet, dass die Frischbetoneigenschaften auch nach Ablauf des Untersuchungszyklus den Anforderungen eines selbstverdichtenden Betons entsprechen.

Tab. 3: Setzfließmaß und Zeit  $t_{500}$  über einen Verarbeitungszeitraum von 90 min

		$t = 0 \text{ min}$	$t = 15 \text{ min}$	$t = 45 \text{ min}$	$t = 90 \text{ min}$
Setzfließmaß SF	[mm]	1020	980	920	880
Zeit $t_{500}$	[s]	4	4	6	7

An den Frischbetonuntersuchungen ist deutlich die Wirksamkeit des Konsistenzhalters zu erkennen. Selbst nach einer Wartezeit von 90 min wies der Beton noch ein Setzfließmaß von 880 mm auf, womit die Konsistenzanforderung SF3 von selbstverdichtendem Beton übertrroffen wurde. Dennoch traten über den Bearbeitungszeitraum hinweg keine Inhomogenitäten bzw. Entmischungerscheinungen auf.

## Bauteiluntersuchungen

Zur Analyse der Sandwichelemente wurden die Bauteile mittels 4-Punkt-Biegezugversuchsaufbau hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit untersucht. Aus den Beobachtungen während und nach den Versuchen konnten wichtige Erkenntnisse über das komplexe Trag- und Verbundverhalten der einzelnen Schichten der getesteten Sandwichelemente gewonnen werden. In den beiden Tragschichten entstanden mit zunehmender Verformung Risse, bis sich ein abgeschlossenes Rissbild einstellte und nur noch ein Rissfortschritt und eine Rissvergrößerung zu beobachten waren. Während in der unteren Tragschicht erwartungsgemäß überwiegend Biegerisse auftraten, wurden in der oberen Tragschicht neben den Lasteinleitungspunkten schräg laufende Schubrisse beobachtet. Bezuglich der Rissanzahl wurde in der unteren



Abb. 7: Schnitt durch ein Sandwichelement

Tragschicht eine Mehrzahl an gleichmäßig verteilten Rissen festgestellt. Trennrisse sind in den Tragschichten in keinem der Versuche aufgetreten.

In der Kernschicht haben sich trotz der hohen Belastungen keine sichtbaren Risse gebildet. Lediglich an den Auflagerenden wurde die Dämmung zusammengedrückt und der obere und untere Teil gegeneinander verschoben, was aber nicht zu einem kompletten Bauteilversagen führte. Das Verbundverhalten und damit die Haftung zwischen Beton und Dämmung erwies sich als äußerst beständig. Es konnte bis zur maximalen Tragfähigkeit der Sandwichelemente kein Verbundversagen festgestellt werden. Dies zeigte, dass mit der gewählten Dämmplattenmaserung eine ausreichende Haftsicherung der Schichten hergestellt wurde und keine zusätzlichen Verbindungsmittel notwendig waren. Zur Überprüfung inwieweit der Beton die Rillen ausfüllte, wurden die Sandwichelemente im Anschluss der Versuche durchschnitten (siehe Abb. 7). Bei den stichprobenartigen Schnittflächen ist jeweils erkennbar, dass die Rillen vollständig und ohne Fehlstellen ausgefüllt wurden. Ein Ablösen der Schichten konnte auch hier nicht erkannt werden.

Das Versagen der Sandwichelemente kündigte sich mit ähnlich großen Verformungen wie bei den zuvor einzeln untersuchten Betonplatten (bzw. -schichten) an. Ein großer Unterschied bestand darin, dass trotz des Hauptversagens

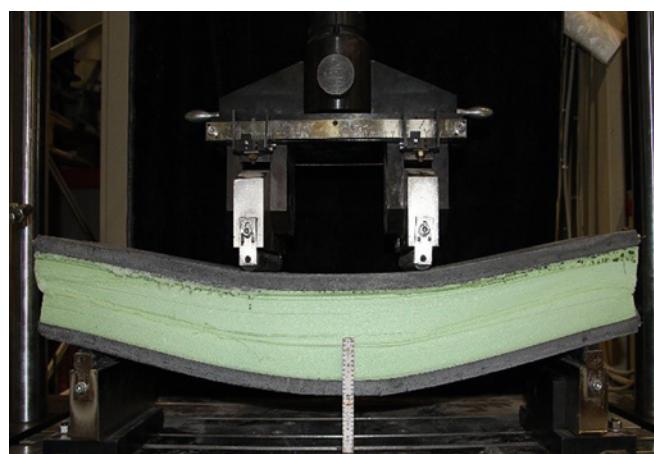


Abb. 8: Maximale Durchbiegung kurz vor Versagen

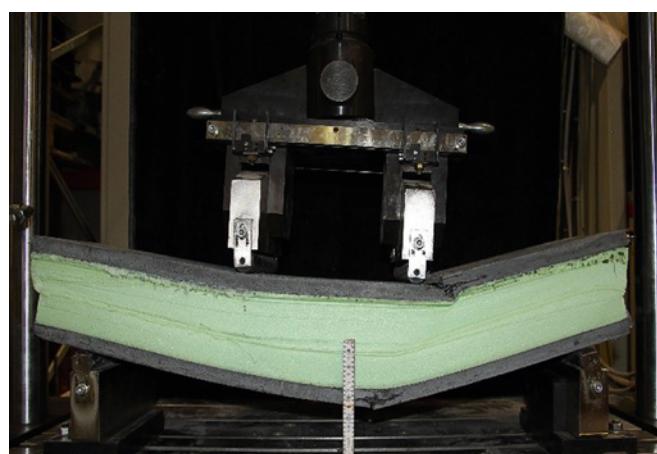


Abb. 9: Versagen des Sandwichelements

weiterhin Lasten abgetragen wurden. Dies lässt sich mit den Umlagerungsmöglichkeiten der Sandwichelemente begründen.

Das Hauptversagen entstand trotz der symmetrischen Ausführung des 4-Punkt-Biegezugversuchs nicht gleichzeitig auf beiden Seiten, sondern entweder auf der rechten oder auf der linken Seite des Versuchskörpers. Dabei handelte es sich bei allen Sandwichelementen um ein lokales Querkraftversagen der oberen Deckschicht im Bereich der Lasteinleitung. Es bildete sich zuerst an der Unterkante der Tragschicht ein Riss aus, der mit zunehmender Kraft schräg nach oben zur Lasteinleitung wanderte und im Anschluss schließlich zum Versagen führte. Hierbei platzten Stücke des Betons ab und teilweise wurde die Carbonbewehrung freigelegt. In Abb. 9 ist dieses Versagen an der rechten Lasteinleitung zu erkennen.

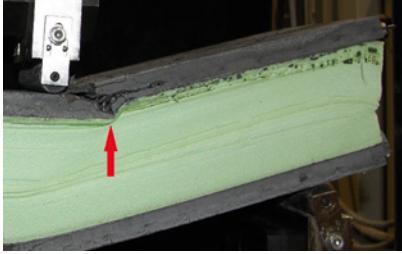
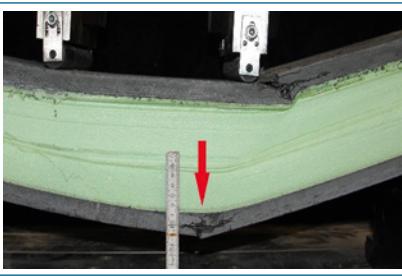
Nach Entstehung des lokalen Querkraftversagens der oberen Deckschicht konnten im weiteren Belastungsverlauf noch andere Versagensarten beobachtet werden. So entstand, wie in Abb. 9 veranschaulicht, zum Querkraftversagen zusätzlich ein Biegedruckversagen der unteren Tragschicht.

Eine Steigerung der Traglast konnte hingegen nicht mehr erzielt werden. Im Rahmen der Biegezugversuche konnten vier unterschiedliche Versagensformen festgestellt werden. Die Versagensarten sind in Tab. 4 beschrieben.

Das in Abb. 10 dargestellte Last-Verformungs-Diagramm stellt einen typischen Verlauf der untersuchten Probekörper dar. Das aufgezeichnete Verhalten lässt sich in drei unterschiedliche Bereiche unterteilen:

- ▶ **Bereich I:** Der erste Bereich wird durch einen starken Lastanstieg mit geringen Verformungen gekennzeichnet. Die Laststeigerung nimmt annähernd linear zu.
- ▶ **Bereich II:** In diesem Bereich flacht durch die Entstehung von mehreren Rissen in den Tragschichten die Lastverformungskurve infolge eines Steifigkeitsverlustes ab. Dieser Bereich hält solange an, bis ein Versagen des Bauteils eintritt und die Last drastisch abfällt.
- ▶ **Bereich III:** Der letzte Bereich wird dadurch gekennzeichnet, dass trotz des Versagens des Bauteils die Last infolge der Umlagerungsmöglichkeiten im Sandwichelement wieder leicht ansteigt. Ein Erreichen der maximal aufgebrachten Last ist aber nicht mehr möglich.

Tab. 4: Versagensarten der Sandwichelemente

Beschreibung	Beispielaufnahme
<p><b>Lokales Querkraftversagen der oberen Deckschicht:</b> Diese Versagensart bildete bei allen Versuchen die Maßgebende. Es bildete sich ein diagonal verlaufender Schubriss über die vollständige Höhe der oberen Tragschicht aus. Der Schubriss stellte sich aufgrund der einleitenden Last direkt neben der Lasteinleitungsrolle im Bereich der hohen Querkraft ein.</p>	
<p><b>Lokales Biegedruckversagen der unteren Deckschicht:</b> Das Versagen trat infolge großer Verformungen durch ein Einschnüren der Betondruckzone und damit einhergehender Überschreitung der Druckfestigkeit des Betons ein. Dieses konnte zeitlich kurz nach dem lokalen Querkraftversagen beobachtet werden.</p>	
<p><b>Schubversagen zwischen Kern und Deckschicht:</b> Bei dem Schubversagen löste sich die obere Deckschicht von der Kernschicht und ragte einige Zentimeter über den Kern hinaus. Das Versagen des Verbunds zwischen den Schichten trat allerdings erst nach dem Querkraftversagen auf und wurde durch den querlaufenden Riss wahrscheinlich begünstigt, indem die Betonplatte seitlich nach oben geschoben wurde.</p>	
<p><b>Druckversagen im Kern am Auflager:</b> Das Druckversagen im Kern bildete sich meist in der Mitte der Kernschicht aus. Es zeigte sich ein Knick in der Dämmung, der durch die gegenseitige Verschiebung der unteren und oberen Hälften des Sandwichelements entstand. Das Versagen trat teilweise schon vor dem Querkraftversagen auf, führte aber zu keinem Lastabfall.</p>	

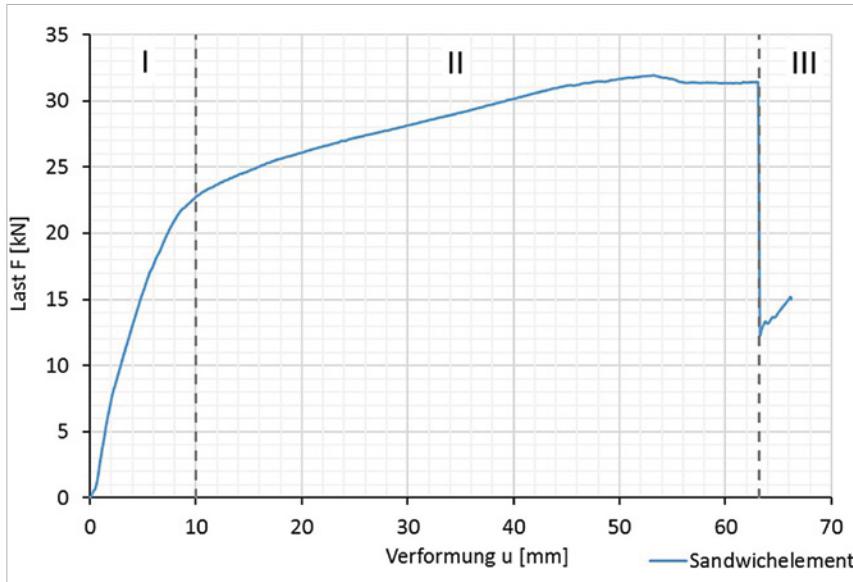


Abb. 10: Typisches Last-Verformungs-Diagramm der Sandwichelemente

Der exemplarische Last-Verformungsverlauf demonstriert, dass mit dem gewählten Querschnitt der Sandwichelemente bestehend aus einer beidseitigen, dünnen Textilbetondeckschicht zzgl. einer aufgebrachten Vorspannung und der zwischenliegenden Kernschicht aus einer XPS-Dämmung Auflasten von über 30 kN verwirklicht werden konnten. Im Vergleich zu den einzelnen Betonplatten mit Bewehrung wurde eine vier- bis sechsfache Steigerung der maximalen Tragfähigkeit realisiert. Infolge der Umlagerungsmöglichkeiten der Lasten im Sandwichelement war der Steifigkeitsabfall bei der Entstehung erster Risse deutlich geringer als bei den Betonplatten. Die Kernschicht konnte einen wesentlichen Anteil zur Begrenzung der Verformungen und der Aufnahme der Kräfte beitragen.

Die Verbundfestigkeit der einzelnen Schichten, welche für Sandwichelemente von essentieller Bedeutung ist, konnte mit der verwendeten Maserung in der Dämmplatte ohne Verbundmittel gewährleistet werden. Vor allem um die Reduzierung der Verformung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit einzuhalten, musste eine ausreichende Verbundfestigkeit vorliegen. Die Profilierung wurde hierbei ausreichend groß gewählt, um ein vollständiges Verfüllen zu ermöglichen und demzufolge eine gute Haftung der Schichten sicherzustellen. Ein Versagen der Verbundfestigkeit wurde bei den Versuchen erst nach dem lokalen Querkraftversagen beobachtet und war damit für das Bauteil nicht mehr entscheidend.

In der Kernschicht, die hauptsächlich Quer- bzw. Schubkräfte aufnimmt, zeigten sich keine Risse während der Versuchsdurchführung. Des Weiteren sind keine nennenswerten Stauchungen in der Mitte der Kernschicht aufgetreten. Lediglich im Auflagerbereich konnte eine gegenseitige Verschiebung der oberen und unteren Hälfte der Dämmung mit einem leichten Knick beobachtet werden.

Bei den Biegezugversuchen der unterschiedlichen Sandwichelemente konnten im Allgemeinen ähnliche Versagensformen des Bauteils festgestellt werden. Somit ließen sich erste Prognosen für das mögliche Versagen des monolithisch hergestellten Probekörpers treffen. Die erzielten Tragfähigkeiten dienten ebenfalls als erste Hinweise.

## Prototyp Untersuchungen

Die großmaßstäblichen Untersuchungen erfolgten im Labor des Fachbereichs Konstruktiver Ingenieurbau der Technischen Universität Kaiserslautern. Zur Messung der maximalen Verformungen des Prototyps wurden neben den induktiven Wegaufnehmern an den Außenflächen der Betondeckschichten zur Untersuchung der einzelnen Verschiebungen im Querschnitt der Sandwichstruktur eine photogrammetrische Messung durchgeführt.

Bei den Untersuchungen konnten die typischen Merkmale der zuvor analysierten Sandwichelemente auch bei den großmaßstäblichen Bauteilversuchen beobachtet werden. Mit zunehmender Verformung entstanden in den Tragschichten dem Momentenverlauf angepasste Biegezugrisse. Diese bildeten sich in einem regelmäßigen Abstand aus

und verliefen über die komplette Querschnittsbreite. In der Dämmung konnten zunächst augenscheinlich keine Risse und Stauchungen beobachtet werden. Ein Verbundversagen der einzelnen Schichten konnte ebenfalls nicht konstatiert werden.

Eine Versagensform, die in den vorherigen Bauteilversuchen nicht zu beobachten war, stellte sich erst bei den großmaßstäblichen Probekörpern ein. Hierbei handelte es sich um das Aufklaffen der Verbindungsstufen zwischen den einzelnen XPS-Dämmelementen. Erste Rissanzeichen in der Mitte der Fuge konnten bei einer Durchbiegung von 23 mm in Feldmitte festgestellt werden. Wie beim exemplarischen Endzustand der großmaßstäblichen Bauteilversuche (Abb. 11) dargestellt, wanderte der Riss mit steigender Verformung zu den Betondeckschichten und bildete sich dort als parallel laufender Riss in den Schichtübergängen weiter aus. Eine Abnahme der aufgebrachten Last wurde dadurch nicht beobachtet. Nachdem sich der Riss über die vollständige Höhe der Kernschicht eingestellt hatte, wurde eine deutliche Rissbreitenöffnung erkennbar. Die maximal abgelesene Rissbreite betrug 10 mm.

Im weiteren Bauteilversuch entwickelten sich bei größeren Verformungen in Feldmitte in der oberen Tragschicht neben der Krafteinleitung flach verlaufende Biegeschubrisse, bis schließlich die obere Deckschicht des Sandwichelements versagte. Mit Auftreten des lokalen Querkraftversagens in Feldmitte war die Maximallast erreicht und damit die maßgebende Versagensart der Wohnraumhülle identifiziert. Im Anschluss nahmen die Verformungen stetig zu, wobei ein stufenweiser Lastabfall zu verzeichnen war. Der Versuchsvorgang wurde jeweils mit dem Biegezugversagen der Rahmenecke abgeschlossen. Hierbei entwickelte sich, wie in Abb. 11 demonstriert, ein diagonal verlaufender Riss von der Außenkante der Rahmenecke durch die äußere Betondeckschicht bis weit in den XPS-Kern hinein. Ein Schubversagen der Betondeckschicht zur Polystyrol-Dämmung des Sandwichelements sowie ein Biegedruckversagen der unteren Deckschicht konnte hingegen nicht diagnostiziert werden.

Das Last-Verformungs-Diagramm aus Abb. 12 wies bis zu einer Lastaufnahme von ca. 45 kN bei gleichzeitiger



Abb. 11: Exemplarischer Endzustand der großmaßstäblichen Bauteilversuche

Durchbiegung von ca. 30 mm ein lineares Tragverhalten auf. Danach nahm das Lastaufnahmevermögen exponentiell ab, bis sich bei einer einleitenden Kraft von ca. 47 kN ein Plateau ausbilden konnte. Der Beginn dieses Plateaus war verbunden mit dem Entstehen erster Schubrisse an der Lasteinleitung. Die sich danach einstellenden Verformungen ohne einen Abfall der Last verdeutlichen die großen Lastumlagerungsmöglichkeiten des Tragwerksystems. Erst bei einem Mittelwert von 81 mm zeigte sich ein Kraftabfall. Dieser Lastabfall korreliert mit dem lokalen Querkraftversagen der oberen Deckschicht.

Im Anschluss begann das Lastaufnahmevermögen stufenweise abzufallen. Nachdem die Verformung in Feldmitte im Durchschnitt über 110 mm betrug, konnte eine deutlichere Abnahme der Last festgestellt werden. Dieses Bauteilverhalten war mit dem Entstehen des querlaufenden Biegezugrisses in der Bauteilecke verbunden. Die erzielte Maximalkraft lag bei knapp 49 kN in Verbindung mit einer Verformung von ca. 73 mm. Diese Werte übertrafen die Ergebnisse aus den Kleinbauteilversuchen deutlich, was mit der günstigeren Momentenverteilung begründet werden kann.

Bei der Auswertung der photogrammetrischen Messung wurden für eine detaillierte Untersuchung des Sandwichelements aus dem Markierungsbereich, wie in Abb. 13 dokumentiert, unterschiedliche Punkte ausgewählt. Somit konnte eine genauere Aussage über das Verformungsverhalten des Tragwerksystems getroffen werden. Bei der Auswahl der Markierungen wurde ein regelmäßiger Abstand mit zwei bis drei Punkten über die gesamte Querschnittshöhe selektiert. Der obere sowie untere Messpunkt befand sich mit Ausnahme des ersten Punktes am Übergang der Schichtgrenzen und der mittlere Messpunkt in der Mitte der Kernschicht. Der erste Punkt wurde zum Vergleich der Wegaufnehmer in Feldmitte direkt unter der Lasteinleitung gesetzt.

Für eine geeignete Darstellung des vertikalen Verschiebungsverhaltens der einzelnen Punkte sind diese als polynomische Trendfunktionen wiedergegeben. Die Werte der übereinanderliegenden Punkte im Querschnitt sind in Abb. 14 für eine bessere Übersicht farblich angepasst.

Von besonderem Interesse sind die Verformungen vor dem Erreichen der Versagenslast, womit auch Aussagen über die Verformungen im Grenzzustand der

Gebrauchstauglichkeit gewonnen werden können. Vergleicht man die Ergebnisse der Punkte, die im Längsquerschnitt in der gleichen Lage liegen, sind die Kurven praktisch identisch. Erst nach dem Abfall der Last deutet sich eine ungleichmäßige Verformung an.

Ergebnisse der Messpunkte eins bis drei unterhalb der Lasteinleitung decken sich mit den aufgezeichneten Werten der Wegaufnehmer. Die gemessene Verformung mit den Wegaufnehmern bei der Maximallast betrug bspw. ca. 73 mm und der Mittelwert der Messpunkte 74,8 mm. Die Aufzeichnung der Messwerte von Punkt 1 wurde nach dem Versagen der oberen Deckschicht abgebrochen, was an einem Riss in diesem Bereich lag und die Messaufzeichnung störte.

## Fazit

Der Schwerpunkt des vom Bundesamt für Bauwesen und Raumforschung (BBR) geförderten Forschungsprojekts lag in der Entwicklung eines geeigneten Herstellverfahrens der monolithischen Wohneinheit und der anschließenden Untersuchung der Wohnraumhülle bezüglich des Last-Verformungsverhaltens sowie der optischen Erscheinung.

Wie sich beim Aufbau des Schal- und Vorspannsystems zeigte, bedarf die Konzeption der Eckdetails eine sorgsame und detailgenaue Planung. Die erforderliche Segmentierung der einzelnen Bestandteile musste auf jedes darauffolgende Ausführungselement angepasst werden, damit die innen liegenden Carbonfasermatten ohne Probleme nach Außen geführt werden konnten. Neben den Eckdetails benötigten auch die Halterungskonstruktionen und das Vorspannsystem eine passgenaue Abstimmung der Abmessungen. Aus diesen Gründen erwies sich die Herstellung der Proberörper als äußerst aufwendig und zeitintensiv.

In umfangreichen Versuchen wurde schließlich das Traglastverhalten der Wohnraumhülle näher untersucht. Die Durchbiegungen, bis kurz vor Erreichen der Maximalkraft, waren dabei verhältnismäßig gering. Das Versagen der Wohnraumhülle ging mit einem lokalen Querkraftversagen

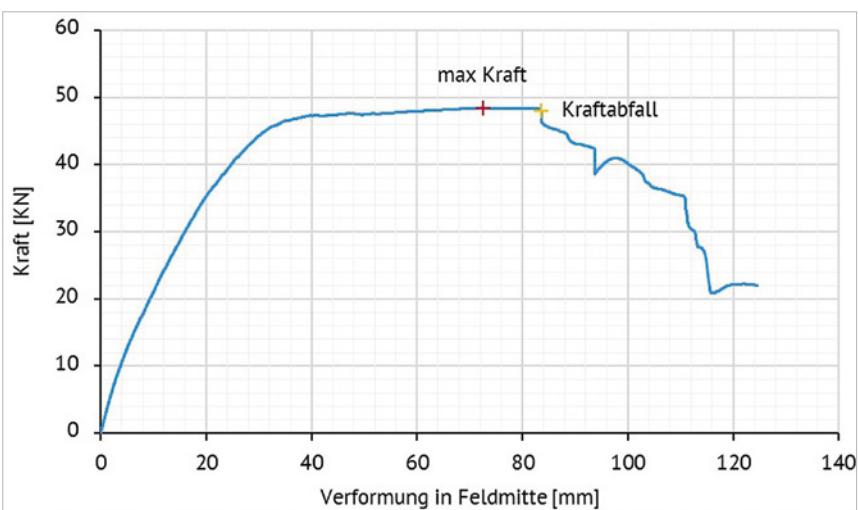


Abb. 12: Typisches Last-Verformungs-Diagramm der Prototypen (induktiver Wegaufnehmer in Feldmitte)

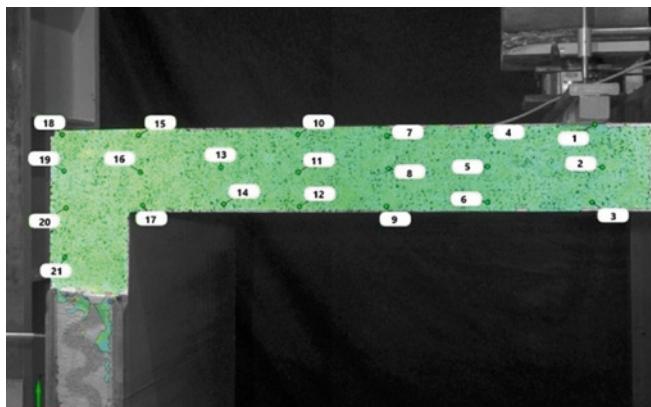


Abb. 13: Markierungspunkte der photogrammetrischen Analyse

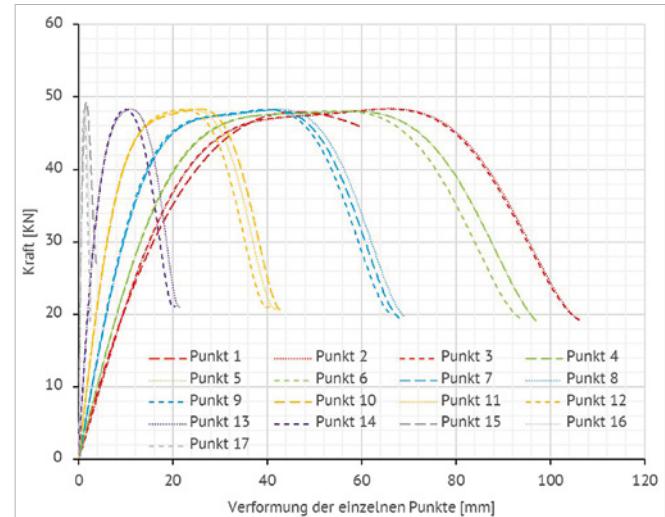


Abb. 14: Typisches Last-Verformungs-Diagramm der Prototypen (Photogrammetrische Analyse)

an der Lasteinleitung einher. Infolge der Umlagerungsmöglichkeiten im Bauteil konnte kein schlagartiger Abfall der Last beobachtet werden. Besonders auffallend war während der Versuchsdurchführung das frühe Aufklaffen der Fuge zwischen dem Dämmplattenstoß.

Begleitend zu den Bauteilversuchen wurden die jeweiligen Frisch- und Festbetoneigenschaften der einzelnen Betonagen untersucht. Die erzielten Festigkeiten und Konsistenzwerte konnten den Ansprüchen eines selbstverdichtenden Hochleistungsbetons gerecht werden. Die Adaptation des Betongemisches stellte sich als äußerst vorteilhaft für die Herstellung des Prototyps dar und konnte die Problematik des frühen Ansteifens während der ersten Versuchsserien beseitigen. Zudem konnte eine äußerst schwindarme Betonzusammensetzung mit einer Verkürzung von bis zu 1,5 mm/m entwickelt werden.

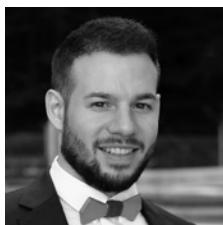
## Ausblick und Diskussion

Mit diesem Forschungsvorhaben wurde das Spektrum der modularen Bauweise erweitert. Die zunächst kalkulierten Herstellungskosten für einen fertigen MonoBau-Körper belaufen sich auf ca. 33 000 € und können infolge einer Serienfertigung eventuell noch entscheidend verringert werden, sodass dieser Baukörper für Wohngebiete in urbanen Siedlungen eine interessante wie auch wirtschaftliche Alternative darstellen kann. Anhand der flexiblen Gestaltungsmöglichkeiten durch angehängte Module sowie einer minimalistisch, effizienten Architektur lässt sich ein innovatives Design mit konstruktiven Tragwerksideen vereinen.

## Literatur

- [1] Straßenverkehrsrecht. Sonderausgabe 53. München: Dt. Taschenbuch-Verl.; Beck, 2015 (dtv)
- [2] DIN EN 12390-3:2009-07 Prüfung von Festbeton – Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern.
- [3] DIN EN 196-1:2005-05 Prüfverfahren für Zement - Teil 1: Bestimmung der Festigkeit.
- [4] DIN EN 12390-13:2014-06 Prüfung von Festbeton – Teil 13: Bestimmung des Elastizitätsmoduls unter Druckbelastung.
- [5] DIN EN 12390-6:2010-09 Prüfung von Festbeton – Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern.
- [6] Breit, Wolfgang; Nyman, Daniel: Entwicklung einer modularen, flexiblen und mobilen Wohneinheit – MonoBau. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019

## DIE AUTOREN



Daniel Nyman, M. Eng.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen an der Technischen Universität Kaiserslautern. Lehrbeauftragter für das Internationale Studienkolleg der Hochschule Kaiserslautern.



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit

Leiter des Fachgebiets Werkstoffe im Bauwesen an der Technischen Universität Kaiserslautern. Vorstandsmitglied des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Mitglied in zahlreichen Gremien des DIN, DAFStb, DVGW

Technische Universität Kaiserslautern  
Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen  
Gottlieb-Daimler-Straße 66  
67663 Kaiserslautern  
daniel.nyman@bauing.uni-kl.de  
wolfgang.breit@bauing.uni-kl.de



© VBW Bauen und Wohnen in Bochum

Maren Fath und Mike Sieder

# Ausgewählte Aspekte der Planung von Aufstockungsmaßnahmen

## Leitlinie zur Vereinfachung der Planung und Durchführung von Aufstockungs-/Erweiterungsmaßnahmen als Nachverdichtungsmaßnahme in innerstädtischen Bereichen

Trotz vieler Vorteile schrecken Hauseigentümer und Planer oft vor der Planung und Durchführung einer Aufstockungsmaßnahme zurück. Allein der Umgang mit der Bestandskonstruktion ist – aufgrund fehlender Unterlagen oder unzureichender Kenntnisse über den Zustand des Gebäudes – eine Herausforderung. Unkenntnis über Zustand, Konstruktion und verwendete Baustoffe im Bestand führen zu einer hohen Planungsunsicherheit. Der nachfolgende Beitrag beschreibt ausgewählte Aspekte der Leitlinie [3], die im Kontext der baukonstruktiven und bauphysikalischen Betrachtung von Aufstockungsmaßnahmen von Interesse sind.

Großstädte und Metropolregionen in Deutschland, wie Hamburg, München, Berlin oder Köln, wachsen stetig. In den kommenden Jahren wird in diesen Regionen mit einem Zuwachs von bis zu 500 000 Einwohnern gerechnet. [1] Nachverdichtung in Städten ist unter dem Gesichtspunkt der Wohnraumschaffung ohne zusätzlichen Flächenverbrauch sowie mit dem Ziel der Treibhausgasreduzierung durch Anstoßen von Sanierungen von Bestandsgebäuden von hoher Bedeutung. 2015 wurde ein Potenzial durch Nachverdichtung mittels Aufstockungen von ca. 1,1 Mio. kostengünstig zu bauenden Wohnungen in Gebieten mit

großer Wohnungsnot ermittelt. [2] Zudem reduzieren Aufstockungen als Überbauung der obersten Geschossdecke mit beheiztem Raum den Energiebedarf der oberen Wohnungen und unterstützen so die Forderung des Umweltbundesamts nach einem klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050. Beispielhaft zeigt dies eine in der Leitlinie betrachtete Aufstockungsmaßnahme in Bochum. Obwohl der beheizte Raum durch die Aufstockungsmaßnahme größer wird, sinkt der jährliche Gesamtprimärenergiebedarf. Von einem absoluten rechnerischen Bedarf von 63 429 kWh/a vor der Maßnahme verringerte sich der Jahresprimärenergiebedarf auf 47 771 kWh/a. Noch deutlicher wird der Vergleich, wenn der Bedarf auf die Bruttogeschoßfläche bezogen wird. Lag der Wert vor der Sanierung und Aufstockung bei 155,1 kWh/m<sup>2</sup>a, liegt er danach bei 55,5 kWh/m<sup>2</sup>a.

Eine Aufstockungsmaßnahme bietet sich maßgeblich für Bestandsgebäude an, die zusätzlich energetisch saniert werden. Da eine Aufstockung als Neubau an die aktuellen energetischen Standards anzupassen ist, müssen, falls das Bestandsgebäude nicht gleichzeitig energetisch saniert wird, Wärmebrücken im Anschlussbereich der Aufstockung unterbunden werden. Um dies umzusetzen, muss der Bestand mit flankierender, übergreifender Dämmung versehen

### KERNAUSSAGEN

- Die Planung einer Aufstockungsmaßnahme stellt Planende vor vielfältige Herausforderungen.
- Der Erfolg einer Aufstockungsmaßnahme hängt unmittelbar mit der genauen Kenntnis des Bestands zusammen.
- Die Integration von Fachplanern der Bereiche Bauphysik und Tragwerksplanung ist bereits in einer frühen Planungsphase unabdingbar.



Abb. 1: Bewertungsparameter für Aufstockungen

werden. Die Anschlussdetails der Aufstockung sind in der Planungsphase ohnehin mit großer Sorgfalt zu entwickeln, was durch ungleiche energetische Standards in Bestand und Aufstockung an Bedeutung gewinnt. Zusätzlich zur eigentlichen Aufstockung ebenfalls den Bestand energetisch zu sanieren, um mit den Anschlusssituationen gewissenhaft umgehen zu können und den äußereren Eindruck des Gebäudes anzupassen, ist also grundsätzlich empfehlenswert. Im Anschlussbereich der Aufstockungskonstruktion sind baukonstruktive und bauphysikalische Aspekte zu berücksichtigen, für die es frühzeitig eine Lösung zu finden gilt. Die Integration von Fachplanern der Bereiche Bauphysik und Tragwerksplanung ist bereits in einer frühen Planungsphase unabdingbar.

## Planungsgrundlagen

Für die Umsetzung einer Aufstockungsmaßnahme sind zahlreiche Parameter des Bestandsgebäudes zu berücksichtigen, beispielhaft zeigt dies Abb. 1. Die Planenden müssen viele Bewertungskriterien berücksichtigen und sich nach einem Entscheidungsprozess, der alle Parameter zur Bewertung des Bestands einschließt, für oder gegen eine Maßnahme entscheiden.

Jede Aufstockungsmaßnahme ist ein Einzelfall, da die Planung individuell auf das jeweilige Bestandsgebäude

anzupassen ist. Dabei bringt jeder Bestand unterschiedliche Problemstellungen mit sich, die individuell und auf den jeweiligen Bestand abgestimmt, gelöst werden müssen.

## Gebäudeeigenschaften

Das Baujahr und die Gebäudegröße des Bestandsgebäudes sind wichtige Faktoren zur Bewertung des Bestands, da sie Aufschluss darüber geben können, mit welchen Konstruktionen, Baustoffen und konstruktiven Schwachstellen zu rechnen ist. Der Bauzustand ist in diesem Zusammenhang immer ausreichend genau zu bestimmen. Nur durch zusätzliche Untersuchungen und eine umfassende Bauaufnahme können sich die Planenden ein Bild für eine effektive Bewertung machen. Eine Ermittlung und Eingrenzung ggf. notwendiger Investitionen und kostenintensiver Bewertungs-/Untersuchungsmaßnahmen muss frühzeitig vorgenommen und mit dem Bauherrn besprochen werden, damit das Risiko unvorhergesehener hoher Kosten bei der nachfolgenden Umsetzung minimiert werden kann. Eine intensive Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen planenden Architekten und Ingenieuren ist essenziell.

## Bestandsdaten und Gebäudetypen

Für die erfolgreiche Planung einer Aufstockungsmaßnahme ist es von besonderer Bedeutung, vor dem eigentlichen Planungsbeginn den Zustand des Bestandsgebäudes möglichst exakt zu bewerten und die sich daraus ergebenden Abhängigkeiten für die weiteren Planungsschritte zu identifizieren. Die Kenntnis des Bestands ist essenziell für die Projektierung notwendiger Maßnahmen vor Baubeginn. Die zu koordinierenden Maßnahmen gehen dabei über die Umsetzung der eigentlichen Aufstockung hinaus, es sind zusätzlich Maßnahmen für die Zustandserfassung sowie für die Instandsetzung des Bestands festzulegen. Vorhandene Feuchteschäden oder detektierte Wärmebrücken müssen zu Beginn betrachtet und, falls notwendig, mit zusätzlichen Maßnahmen, wie neuen Abdichtungsebenen, in die Planung mit aufgenommen werden.

Zu Beginn eines Aufstockungsprojekts sollte folglich eine Bestandsaufnahme durchgeführt werden, die als Grundlagenermittlung für die Planung zu sehen ist. Mit den gewonnenen Datensätzen und Informationen können anschließend die Bestandsdatenblätter aus der »Leitlinie Aufstockungen« [3] verwendet werden, um zusätzliche Informationen zu signifikanten Besonderheiten und möglichen Problematiken unterschiedlicher Gebäudetypen zu erhalten. Diese basieren auf der Gebäudetypologie nach dem Institut für Wohnen und Umwelt (IWU) [4] und erweitern diese um typische Konstruktionen, Mängel und Schäden sowie zu erwartende Schadstoffbelastungen, abhängig vom Baujahr des Gebäudes. Diese Faktoren sind in der Planung einer Aufstockung besondere Herausforderungen, da sie Unsicherheiten darstellen, die zur Erarbeitung spezifischer Lösungsvorschläge zunächst identifiziert werden müssen.

Tab. 1 zeigt die angepasste Aufteilung der Gebäudetypen nach IWU. Ein besonderes Augenmerk legt die Leitlinie auf Gebäude, die nach 1950 gebaut wurden, da etwa 75 % des Gebäudebestands in Deutschland dieser Zeit entstammen. Die intensivsten Bauphasen waren dabei die

Tab. 1: Gebäudetypologie für den Leitfaden Aufstockungen

Bezeichnung	Baualter	Kategorie
D - KH	1949–1957	kleine Häuser
E - KH	1958–1968	
F - KH	1969–1978	
G - KH	1979–1983	
H - KH	1984–1994	
D - GH	1949–1957	große Häuser
E - GH	1958–1968	
F - GH	1969–1978	
G - GH	1979–1983	
H - GH	1984–1994	

1960er- und 1970er-Jahre [5]. Diese Fokussierung wurde vorgenommen, da sich dieser Gebäudebestand aufgrund seines verbreiteten flächendeckenden Vorkommens (häufig in Ensembleanordnung) in besonderer Weise für die serienartige Multiplizierung von Aufstockungsmaßnahmen auf mehreren gleichartigen Gebäuden eignet und so für die Aufstockung als flächendeckende Nachverdichtung v. a. in innenstadtnahen Gebieten besonders sinnvoll ist.

Die Gebäude werden des Weiteren in »kleine Häuser« und »große Häuser« unterteilt. Dies ist zielführend, da die Einteilung nach IWU hauptsächlich auf die Bestimmung des Energieverbrauchs abzielt und demnach die Anzahl der Wohneinheiten sowie die Kubatur des Gebäudes eine wichtige Rolle spielen. Hinsichtlich Aufstockungen ist es zielführend, die Unterteilung anzupassen, da aus statischer, baukonstruktiver und brandschutztechnischer Sicht die Anzahl der Geschosse und somit die Gebäudeklasse ebenfalls von Bedeutung ist.

Für eine vereinfachte Planung sowohl der Aufstockung, als auch der energetischen Sanierung des Bestands, geben die Bestandsdatenblätter der Leitlinie Informationen zu typischen Konstruktionen, Mängeln und Schäden des Bestands abhängig vom Baualter. Diese stellen einen Überblick über zu erwartende Problemstellungen dar und zeigen auf, welche Gesichtspunkte bei einer Bestandsaufnahme zu betrachten sind. Tab. 2 zeigt beispielhaft typische Mängel und Schäden für die Gebäude der Baualterklasse E (1958–1968). Bei einer Bestandsaufnahme können die Bestandsdatenblätter der Leitlinie als Orientierung für eine strukturierte Untersuchung des Bestands auf Mängel und Schäden dienen.



Abb. 2: Nachträglich zugemauerte Öffnung in einer Wand

Tab. 2: Typische Mängel und Schäden für die Baualterklasse E (1958–1968)

Bauteile	Typische Mängel und Schäden
Außenwände	unzureichende oder beschädigte Wärmedämmung
	durchfeuchtete Kellerwände
	Fensterbrüstungen mit Wärmebrücken
Innenwände	geringe Wandstärken
	mangelhafter Schallschutz
Dächer	unzureichende Dämmung der Steil- und Flachdächer
	Undichtigkeiten bei Flachdächern
Decken	mangelhafte Trittschalldämmung
Fenster	mangelhafter Wärme- und Schallschutz
	Einfachverglasung
	verzogene Fensterrahmen
	ungedämmte Metallfenster ohne thermische Trennung
Heizung	überwiegend veraltete Zentralheizungen
	mangelhafte Steuerungsmöglichkeiten
Gründungen	Setzungen
	Durchfeuchtung
	Rissbildungen

## Bestandsaufnahme

Vor dem Erstellen neuer Datensätze für ein Bestandsgebäude sollten die vorhandenen Bestandsunterlagen gesammelt und gesichtet werden. Zwar stimmen Planungsunterlagen und bauliche Umsetzung meist nicht überein, aber die Unterlagen können grundsätzlich Hinweise auf Konstruktion und Ausführung des Bestands geben, wofür andernfalls aufwendige Untersuchungen notwendig wären [6]. Vorhandene Unterlagen ermöglichen es, den Umfang von Untersuchungsmaßnahmen, möglicherweise verbunden mit weiteren zerstörenden Eingriffen am Bestand, zu reduzieren sowie Kosten und Zeit zu sparen. Für Planende gilt beim Bauen im Bestand immer eine intensive Pflicht zur Bauwerkserkundung. Die Erkundung geht mit einer umfassenden Aufklärung des Bauherrn über die technischen Risiken des Bauvorhabens einher.

Im Rahmen einer Bauaufnahme ist die Durchführung einer Thermografieaufnahme empfehlenswert. Zunächst



Abb. 3: Rissbildung über einem Sturz

können hierdurch Wärmebrücken und Feuchteschäden am Bestand erkannt, des Weiteren innere Gebäudestrukturen sichtbar gemacht werden. Geeignete Infrarotkameras arbeiten heutzutage so hochauflösend, dass Strukturen beispielsweise unterhalb von Putzschichten konkret erkennbar werden. Nachträglich vermauerte Bereiche können sichtbar gemacht, siehe Abb. 2, oder Rissursachen, z.B. bei Bauteilen, ermittelt werden, siehe Abb. 3.

Mittels der Durchführung von Thermografieaufnahmen lassen sich Ursachen für Wärmebrücken identifizieren. Bei einem im Rahmen des genannten Forschungsvorhabens untersuchten Beispielgebäude konnten eine in der Wand befindliche metallische Abwasserleitung und Mauerwerksinhomogenitäten unterhalb der Putzschicht zweifelsfrei identifiziert werden. Auch Ursachen für Feuchteschäden können so genauer bestimmt werden. Erkenntnisse über Materialien und Schäden sind aus bauphysikalischer Sicht für die Planung von Sanierungsmaßnahmen bedeutsam. Grundlegende systemische Parameter und konstruktive Mängel des Gebäudebestands müssen vor der Durchführung beispielsweise von Dämmmaßnahmen an der Fassade identifiziert werden. Weiterhin muss sichergestellt werden, dass evtl. vorhandene Feuchteschäden am Gebäude nicht zu einer Verringerung der ursprünglichen Tragfähigkeit führen. Feuchteschäden im Bestand müssen für die Aufrechterhaltung der generellen Standsicherheit behoben werden, sodass die zusätzlichen Lasten aus der Aufstockung vom Bestandsgebäude sicher und dauerhaft abgetragen werden können.

## Anschluss Bestand/Aufstockung

Ist der Einbau einer neuen lastverteilenden Ebene notwendig, weil die Tragfähigkeit der Bestandsdecke nicht ausreichend für die neue Nutzung ist, so ist der Anschluss

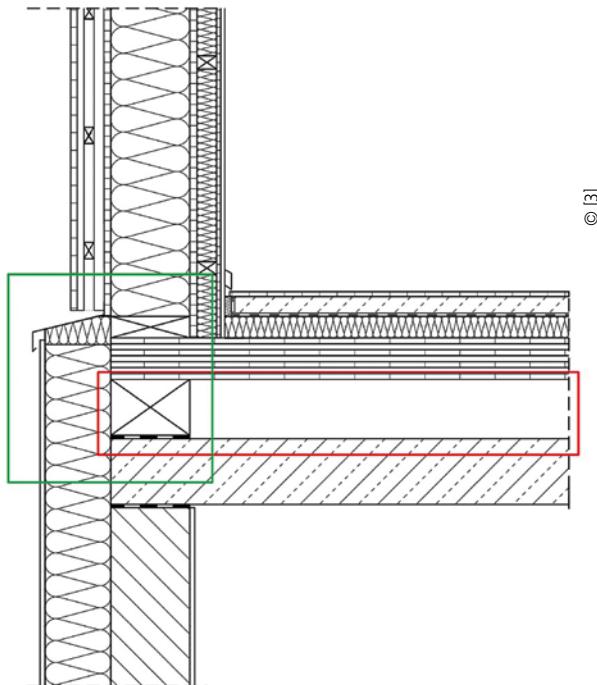


Abb. 4: Anschlussausbildung Aufstockung/Bestand mit zusätzlicher lastverteilender Ebene

der Aufstockung an den Bestand im Fassadenbereich bedeutsam, siehe Abb. 4. Dort ist aus bauphysikalischer Sicht sicherzustellen, dass der Anschlussbereich sorgfältig abgedichtet ist und flankierend gedämmt wird. Andernfalls kann es im Raum zwischen alter Geschossdecke des Bestands und neuer Fußbodenkonstruktion der Aufstockung (rot markierter Bereich) zu bauphysikalischen Problemen, wie durch Wärmebrücken verursachter Kondensatausfall und Schimmelpilzbildung, kommen. Zusätzlich muss gewährleistet sein, dass sich keine Feuchtigkeit aus möglichen Undichtigkeiten von Feuchträumen im Hohlraum sammelt, da es i. d. R. keine planmäßige Belüftungsmöglichkeit gibt, die ein Abtrocknen sicherstellt. Ist, wie in Abb. 4 dargestellt, ein Fassadenwechsel zur Hervorhebung der Aufstockung als neuem Gebäudeteil geplant, muss die Wasserführung an der Fassade so ausgebildet sein, dass keine Feuchtigkeit hinter die Fassade und somit in den Hohlraum dringen kann.

Der entstehende Raum zwischen Bestandsdecke und neuer Konstruktion kann genutzt werden, um die Versorgungsleitungen der Aufstockung darin zu verlegen. Dabei ist zu beachten, dass für nachträgliche Reparaturen oder Instandhaltungsarbeiten Revisionsöffnungen an relevanten Stellen vorgesehen werden müssen. Die Leitungen müssen des Weiteren durch die Bestandsdecke hindurchgeführt werden, wobei besonders schall- und brandschutztechnische Aspekte zu berücksichtigen sind. Die Leitungen müssen so durch die Bestandsdecke geführt werden, dass ein Brandschutzschnitt einer Brandausbreitung durch die Bestandsdecke hindurch (also zwischen zwei Nutzungseinheiten) vorbeugt. Dies sorgt aufgrund der Luftdichtigkeit des Anschlusses zur Verhinderung einer Rauchausbreitung gleichfalls für einen guten Schallschutz des Anschlusses.

## Schwierigkeiten der Bauphase

Aufstockungsmaßnahmen werden in großer Anzahl an noch bewohnten Gebäuden in innerstädtischen Bereichen vorgenommen. Dies stellt vor allem aus bauphysikalischer Sicht eine Herausforderung dar, da eine Aufstockung immer mit dem Freilegen der obersten Geschossdecke, z.B. durch den Rückbau eines Bestandsdachs, einhergeht. Es ist sicherzustellen, dass während der Bauarbeiten der freigelegte, nicht abgedichtete Bereich nicht durch Feuchte beeinträchtigt wird, da es sonst zu schwerwiegenden Schäden in den darunterliegenden Geschossen kommen kann. Aus diesem Grund sind vor Baubeginn entsprechende Schutzmaßnahmen, wie ein Einhaus mit einer vorübergehenden Zeltkonstruktion oder Abdichtungsmaßnahmen in Form von Folien oder Ähnlichem, vorzusehen.

## Zusammenfassung

Die Planung einer Aufstockungsmaßnahme stellt Planende vor vielfältige Herausforderungen. Da es sich um eine Maßnahme des Bauens im Bestand handelt, sind bauphysikalische Fragestellungen in drei Planungsphasen zu berücksichtigen:

- Welche bauphysikalischen Mängel und Schäden weist der Bestand auf und wie können diese behoben werden? (Bestand)
- Wie können Schäden während der Bauphase, beispielsweise Feuchteschäden durch eine mangelhafte Abdichtung

der obersten Geschossdecke während der Bauphase, verhindert werden? (Bauphase)

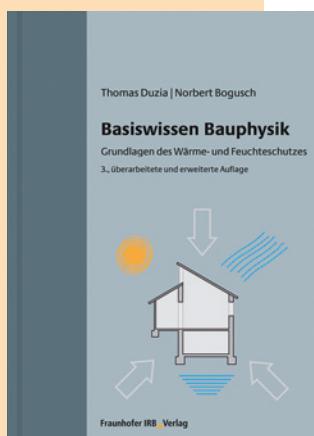
- Wie wird sichergestellt, dass in der Aufstockungskonstruktion selbst sowie im Übergangsbereich zum Bestand keine bauphysikalisch bedingten Mängel und Schäden auftreten? (Neubau)

Der Erfolg einer Aufstockungsmaßnahme ist als Maßnahme im Bestand maßgeblich davon abhängig, wie gut die Gebäudesubstanz vor Beginn der Planung untersucht wurde. Hierzu empfiehlt es sich – nicht nur zur Identifizierung von Wärmebrücken oder Feuchteschäden – eine Thermografieaufnahme durchzuführen, die ein genaueres Bild des Bestands vermittelt. In die Planung einer Aufstockung sollten weiterhin frühzeitig Fachplaner für Bauphysik und Brandschutz einbezogen werden, da der Bestand als neues Fundament einer Aufstockung Eigenheiten mit sich bringt, die frühzeitig bewertet, analysiert und berücksichtigt werden müssen, um eine erfolgreiche Planung und Durchführung gewährleisten zu können.

## Literatur

- Mooser, M. et al. (2014): Aufstocken mit Holz. Verdichten, Sanieren, Dämmen. Basel: Birkhäuser Verlag GmbH
- Tichelmann, K. et al. (2016): Wohnraumpotentiale durch Aufstockungen – Deutschland-Studie 2015. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt
- Fath, M. et al. (2019): Leitlinie zur Vereinfachung der Planung und Durchführung von Aufstockungs- / Erweiterungsmaßnahmen als Nachverdichtungsmaßnahme in innerstädtischen Bereichen. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag
- Loga, T. et al. (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Darmstadt
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.) (2014): Gebäude- und Wohnungsbestand in Deutschland. Erste Ergebnisse der Gebäude- und Wohnungszählung 2011. Wiesbaden
- Bielefeld, B.; Wirths, M. (2010): Entwicklung und Durchführung von Bauprojekten im Bestand. Analyse – Planung – Ausführung. Wiesbaden: Vieweg+ Teubner Verlag

Anzeige



**Fraunhofer IRB Verlag**  
Der Fachverlag zum Planen und Bauen

## Basiswissen Bauphysik

Grundlagen des Wärme- und Feuchteschutzes

Thomas Duzia, Norbert Bogusch

3., überarb. u. erw. Aufl. 2020, 236 Seiten, 199 Abb., 46 Formeln u. 66 Tab., Softcover

ISBN 978-3-7388-0419-5 | € 52,-

E-Book: € 52,- | BuchPlus: € 67,60

Mit diesem Grundlagenwerk erhalten Architekten, Planer, aber auch Studierende einen schnellen Überblick über Wärmelehre, geltende Normen und Regelwerke, energiesparendes Bauen und zukünftige Anforderungen an den Wärmeschutz. Planer und Entscheidungsträger erhalten Orientierung innerhalb der mannigfaltigen Normen und Regelwerke sowie Hintergrundwissen, um bauphysikalische Probleme des Planungsaltags leicht nachvollziehen und lösen zu können, damit Bauschäden vermieden werden.

Der Autor geht in der dritten Auflage zusätzlich auf das Zusammenspiel der unterschiedlichen normativen Vorgaben ein und nimmt auf die Neufassung der DIN 4108-3 zum Feuchteschutz Bezug. Auch ergänzt er die Themenbereiche Energieeinsparverordnung und luftdichtes Bauen um die normativen und bauphysikalischen Hintergründe. Durch die Erfahrungen aus der gutachterlichen Tätigkeit werden zudem die bauphysikalischen Prozesse bildhaft beschrieben, die zu Bauschäden führen.

### Bestellung:

Tel. 0711 970-2500 | Fax 0711 970-2508

E-Mail: [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de) | [www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

## DIE AUTOREN



Dipl.-Ing. Maren Fath

studierte Bauingenieurwesen an der Leibniz Universität Hannover mit dem Schwerpunkt konstruktiver Ingenieurbau. Seit April 2015 ist sie Wissenschaftliche Mitarbeiterin der TU Braunschweig am Institut für Baukonstruktion und Holzbau.



Prof. Dr.-Ing. Mike Sieder

war von 2009 bis 2012 Universitätsprofessor und stellvertretender Ordinarius der TU München am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion. 2013 und 2014 war er Honorarprofessor der TU München am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion und ist seit 2014 Universitätsprofessor der TU Braunschweig am Institut für Baukonstruktion und Holzbau.

Technische Universität Braunschweig  
Institut für Baukonstruktion und Holzbau  
Schleinitzstraße 21  
38106 Braunschweig  
m.fath@tu-braunschweig.de  
m.sieder@tu-braunschweig.de

Martin Kneißl und Herbert Gottschalk

# Keine anerkannte Regel der

## Technik?

### Urteil stellt verbreitetes Abdichtungsverfahren in Frage

Die Außenwandabdichtung mit kunststoffmodifizierter Bitumendickbeschichtung (PMBC – Polymer Modified Bitumenous Coating) und Anschluss an WU-Betonbodenplatten ist ein gängiges Verfahren, das die Abdichtungsnorm erfüllt. Laut einem aktuellen Gerichtsurteil entspricht es jedoch für den Lastfall aufstauendes Sickerwasser nicht den anerkannten Regeln der Technik. TÜV SÜD-Experten warnen vor möglichen Folgen, auch weil das Urteil indirekt Klebeverbindungen generell in Frage stellt – mit Auswirkungen auf die Baukosten.

Zum Fall eines Gebäudes mit Wassereintrag in den Keller sprach das Oberlandesgericht Hamm am 14.08.2019 ein Urteil (12 U 73/18, nicht rechtskräftig) mit den folgenden Leitsätzen:

1. Die Außenwandabdichtung mittels Kombinationslösung aus WU-Bodenplatte und kunststoffmodifizierter Bitumendickbeschichtung entspricht für den Wasserlastfall aufstauendes Sickerwasser – trotz Konformität mit den Regelungen der DIN 18195-6 bzw. DIN 18533 – nicht den anerkannten Regeln der Technik.
2. Die von der Regelung der vorgenannten DIN ausgehende Vermutungswirkung sieht der Senat – insbesondere aufgrund der Vielzahl an aufgetretenen Schadensfällen – als widerlegt an.

Fachleute kritisieren vor allem, dass der gerichtlich beauftragte Sachverständige nicht die eigentliche Schadensursache untersucht hat. Stattdessen beurteilte er die Konstruktionsart generell nicht als anerkannte Regel der Technik. Mittlerweile wurde eine Nichtzulassungsbeschwerde gegen das Urteil eingereicht. Die Verunsicherung der Betroffenen bleibt allerdings bestehen. Für sie kann man vorwegnehmend betonen:

Auf der sicheren Seite ist, wer die Schlämme (auch Schlempe oder Sinterschicht) mechanisch abträgt und so gerichtlichen Auseinandersetzungen vorbeugt. Detaillierte Untersuchungen zeigten schon vor 15 Jahren: Wasser tritt in der Regel an Loslösungen der Schlämme ein – auf der Stirnseite



Abb. 1: Exemplarische Schadensfeststellung: Ablösung im Bereich »Unterer Übergang«, Schlempe haftet an Rückseite des abziehbaren PMBC-Materials

bzw. der Oberseite der Stahlbetonbodenplatten. Richtlinien und Normung wurden seit 2010 dahingehend angepasst.

#### Schadensbild und Schadensursache

Es ist unstrittig, dass es bei Außenwandabdichtungen mit Kombinationslösung bei über einen relativ langen Zeitraum anstauendem Sickerwasser/anstehendem Wasser in der weiter zurückliegenden Vergangenheit zu vergleichsweise vielen Wasserschäden kam. Konkretisiert werden muss, dass der weit überwiegende Teil dieser Schäden auf einen inzwischen erkannten und bewiesenen Fehler zurückzuführen ist.

Fachleute mussten im Zuge von Schadensbeurteilungen nach dem Freilegen der Anschlüsse im Erdreich immer wieder feststellen, dass sich die Klebeverbindung zwischen der WU-Bodenplatte und der PMBC-Abdichtung gelöst hatte – wenn der Bereich der Bodenplatte längere Zeit durch aufstauendes Sickerwasser oder drückendes Wasser belastet war. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass an losgelösten PMBC-Teilen teilweise noch flächig Reste der

#### KERNAUSSAGEN

- PMBC-Abdichtungen und weitere Klebeverbindungen bleiben trotz OLG-Urteil anerkannte Regel der Technik
- Erfolg bei PMBC-Abdichtungen liegt in der fachgerechten Untergrundvorbereitung, welche in den Regelwerken vorgegeben ist
- Beim Anschluss an WU-Bodenplatten muss der Untergrund mechanisch abtragend vorbereitet werden (schleifen, fräsen, strahlen)

## AUSSENWANDABDICHTUNG

Neben der hohen Qualität des Abdichtungsproduktes ist natürlich auch die professionelle Ausführung der Vorbereitung abzudichtender Flächen notwendig. So muss z.B. der Zementleim am Fundamentvorsprung entfernt und die Kante gebrochen werden. Große Ausbruchstellen sind vor dem Aufbringen der Abdichtung mit einem geeigneten Mörtel zu füllen.

© Saint-Gobain Weber



Abb. 2: Die Firma Saint-Gobain Weber veröffentlichte in ihrer Schrift »Sichere Bauwerksabdichtung« zum Produkt »Weber.tec superflex 10« diesen Text mit Bild im Jahr 2010. Er weist bereits auf die Bedeutung des Arbeitsschrittes »Schlämme entfernen« hin.

Zementschlämme hafteten. Das heißt, der »Bruch« vollzog sich zur bzw. innerhalb dieser Schicht (siehe Abb. 1).

Die Zementschlämme des Betons ist wasserdurchlässig. Anstehendes Wasser kann sie hinterwandern. Das kann, je nach »Qualität« der Zementschlämme und Häufigkeit bzw. Dauer der Wasserbelastung, mehrere Monate oder sogar Jahre dauern. Wenn aber die Rückseite der PMBC-Abdichtung vollständig feucht ist, löst sich mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die Klebung auf bzw. kann die Festigkeit der Zementschlämme den anstehenden Spannungen nicht mehr standhalten.

### Kein Wassereintrag bei richtiger Ausführung

Sachverständige fordern deshalb im Rahmen von baubegleitenden Qualitätskontrollen auf den Baustellen, dass die Stirn- bzw. Oberseiten der WU-Bodenplatten im Anschlussbereich der Wandabdichtungen gestrahlt bzw. geschliffen werden. So lange alle normativen und regelwerkseitigen Randbedingungen (wie Staubfreiheit, Trockenheit, Frostfreiheit etc.) bei der Verarbeitung berücksichtigt wurden, konnte TÜV SÜD in mehreren Hundert Objektbegehungen pro Jahr in keinem Fall mehr einen Wassereintrag ins Gebäude feststellen.

Auch führende Anbieter von Systemkellern in Deutschland verwenden bei richtiger Untergrundvorbereitung seit Langem erfolgreich und in großer Zahl die Kombinationsabdichtung. Die erfolgreiche Anwendung ist ein wesentliches Merkmal für eine anerkannte Regel der Technik und damit erfüllt.

Das Anarbeiten von Abdichtungsbahnen beinhaltet zudem genauso die vorliegende Problematik. Dass hier nicht mehr Schäden statistisch erfasst sind, dürfte lediglich der Tatsache geschuldet sein, dass diese Bauweise nur noch äußerst selten ist (vgl. hierzu auch Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller, Werkstatt-Beitrag vom 23.08.2019, [ibr-online.de](http://ibr-online.de)). Das »Zementschlämme-Problem« war mindestens in den vergangenen zehn Jahren auch bei vielen Marktteilnehmern bekannt (vgl. Auszug aus Broschüre Saint-Gobain Weber, Abb. 2).

Festzuhalten ist also: Seitdem das »Schleifen, Fräsen bzw. Strahlen« eingefordert und geschult wurde, gingen die Schäden signifikant zurück. Wird dies berücksichtigt, sind keine Systemschwächen, Materialschwächen oder Verarbeitungsdefizite zu erkennen.

### Das aktuelle Urteil des Oberlandesgerichts Hamm

Beim Fall in Hamm, auf den sich das Urteil vom 14.08.2019 bezieht, war gemäß Baubeschreibung eine Abdichtung nach DIN 18195-6 geschuldet. (Unstrittig ist, dass Wasser im Bereich der Bodenplatte anstand). Geplant und ausgeführt wurde die Abdichtung als Kombinationsabdichtung.

Rund ein Jahr nach dem Einzug, im Jahr 2014, drang Wasser in zwei Untergeschossräume ein. Der gerichtlich beauftragte Sachverständige urteilte, dass die Art der Abdichtung für die anstehende Wasserbelastung generell nicht geeignet sei, um den anerkannten Regeln der Technik gerecht zu werden. »Da bereits die Planung (...)

mangelhaft sei, habe er die (...) Abdichtung nicht weiter auf Ausführungsmängel untersucht.« Zur Art der Abdichtung wurde im Urteil auf eine Umfrage unter Sachverständigen aus dem Jahr 2009 verwiesen.

»Der Sachverständige stellte weiter fest, dass eine wirksame Abdichtung nur durch das Einbringen eines Gelschleiers aus dem Innenbereich heraus zwischen Kelleräußenwand und Erdreich erreicht werden könne.«, heißt es weiter. Weil die installierte Abdichtung nicht funktionsfähig ist, wird zunächst geurteilt, dass ein Mangel vorliegt. Das ist sicherlich unstrittig. Das Gericht folgt der Beurteilung des Sachverständigen, wonach eine dauerhafte Verbindung zwischen WU-Bodenplatte und kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtung (KMB-Abdichtung) bei aufstauendem Sickerwasser nicht gegeben sei – generell bzw. systembedingt. »Die von dem Sachverständigen festgestellte Maßnahme, das Einbringen eines Gelschleiers, und die hierfür anfallenden Kosten« seien »zur Mängelbeseitigung erforderlich«.

Ein Öffnen von außen und eine entsprechende Mängelbeseitigung wird ohne Begründung abgelehnt. Des Weiteren urteilt das Gericht, dass auch eine Abdichtungsmethode, die anfällig für Ausführungsfehler ist, nicht den anerkannten Regeln der Technik entspricht.

### Einordnung in vorangegangene Urteile

Vorangegangene Urteile zu diesem Thema zeigen ein differenziertes Bild:

- ▶ Das OLG Bamberg urteilte noch generell negativ bezüglich Bitumendickbeschichtung und der Frage der anerkannten Regeln der Technik (IBR 1997, 417).
- ▶ Das OLG Schleswig urteilte positiv (IBR 1998, 149).
- ▶ Das OLG Hamm urteilte 1998 ebenfalls noch positiv (IBR 998, 337).
- ▶ Der BGH ließ in seiner Entscheidung vom 15.06.2000 die grundsätzliche Frage zu Bitumendickbeschichtungen als anerkannte Regel der Technik noch offen (Az. VII ZR 212/99).
- ▶ Das OLG Bamberg sah nur bei einer unsachgemäßen Ausführung die anerkannten Regeln der Technik nicht angewendet (IBR 2003, 407).

Aus laienhaft-technischer Sicht ließe sich daraus folgern, dass die juristische Fachwelt die Thematik bereits



Abb. 3: Am Übergang von der Bodenplatte zur Wand ist die hergestellte Hohlkehle zu sehen. Die Oberseite und die Stirnseite der Bodenplatte sind fachgerecht ge-schliffen: Die Schlempe wurde hier vollständig entfernt.

differenziert und tiefgehend bearbeitet hat. Zudem lässt sich ein positiver Wandel in der Ausführung und Schadenshäufigkeit ablesen. Das korreliert damit, dass die älteren »negativen« Urteile auf der Basis von nicht funktionsfähigen Kombinationsabdichtungen basieren müssen.

Der »verkürzte« Leitsatz im Urteil des OLG Hamm vom 14.08.2019 spiegelt die Differenzierung nach Material, System und Ausführung – in Würdigung der Historie der Schäden – nicht wider.

## Beteiligte Regelwerke

Die Ausführung der PMBC-Abdichtungen ist in der DIN 18533-3, in deren Vorgängernorm (DIN 18195) sowie in der Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit polymermodifizierten Bitumendickbeschichtungen, kurz PMBC-Richtlinie bzw. vormals KMB-Richtlinie, geregelt. Es ist festzuhalten, dass Richtlinien und Normung das Thema vor 2010 sehr lange nicht fachgerecht behandelt haben. Die DIN 18195-3, August 2010, Anforderungen an den Untergrund, forderte nur, dass die Flächen frostfrei, eben, lunkerfrei, rissefrei, trocken etc. sind. Teil 9 forderte im Mai 2010 aber schon das mechanisch abtragende Vorbereiten der Untergründe.

Der nachfolgenden DIN 18533-3, Juli 2017, Kapitel 9.3.2, a) Untergrundvorbereitung und -behandlung ist zu entnehmen: »Bei Betonbauteilen ist der Untergrund mechanisch abtragend (z. B. durch Schleifen, Strahlen, Fräsen) so vorzubereiten, dass er frei von Verunreinigungen und losen Bestandteilen ist. Kanten müssen gefast und Kehlen gerundet sein.« Kapitel 7 der KMB-Richtlinie Mai 2010 forderte eine Kratzprobe zur Feststellung der Sinterschicht: »Springen hierbei Teile ab oder dringt der Nagel in den Untergrund ein, so ist die gesamte Sinterschicht zu beseitigen.« Diese Formulierung beurteilte TÜV SÜD als kritisch, weil trockene Sinterschichten relativ fest sind und der physikalische Vorgang des Hinterwanderns mit Wasser dabei keine Berücksichtigung findet. In Kapitel 8.3 »Vorarbeiten bei Beton« stand aber: »Zementleimschichten oder festsitzende Verunreinigungen sind mechanisch zu entfernen (z. B. rotierende Scheiben, Fräsen). Beim Anschluss

von KMB-Abdichtungen an Ortbetonbauteile mit hohem Wassereindringwiderstand ist der Untergrund mechanisch abtragend, z. B. durch Fräsen, so vorzubereiten, dass er frei von Verunreinigungen und losen Bestandteilen ist.« Die PMBC-Richtlinie, Dezember 2018, wiederholt diese Forderungen.

## Schulung gefordert

Bei der nachträglichen Beurteilung ist wichtig, dass in der KMB-Richtlinie in Kapitel 9 (später PMBC-Richtlinie, Kapitel 10), Anforderungen an den Verarbeiter, an die Fachkenntnis bzw. die Schulung der Ausführenden beschrieben wurden. Auch Hersteller fordern eine entsprechende Schulung in vielen vergleichbaren Fällen. Denn vor allem für Klebeverbindungen gilt: Nur wenn die Anwender die Verarbeitungsrichtlinien volumnäßig einhalten, können sie das Produkt erfolgreich anwenden. Ein führender Hersteller regelt beispielsweise für das Ausführen von nachträglichen Bewehrungsanschlüssen durch Kleben für Befestigungstechnik schon in der Zulassung, dass der Anwender eine entsprechende Schulung nachzuweisen hat. Hintergrund ist, dass auch hier der Erfolg des Anschlusses überwiegend von der Reinigung des Bohrloches abhängt. Diese Art des nachträglich geklebten Bewehrungsanschlusses wird in der Fachwelt unstrittig als anerkannte Regel der Technik beurteilt.

## Abschließender Blick auf das Urteil

Offensichtlich haben der Sachverständige und das Gericht nicht hinterfragt, warum sich konkret am Übergang Boden/Wand die Abdichtung löste. TÜV SÜD liegen keine Untersuchungen bzw. Forschungsergebnisse vor, die belegen könnten, dass das Material bzw. das System für die Loslösungen verantwortlich ist. Ganz im Gegen teil: In der Vergangenheit wurde bei vergleichbaren Fällen immer festgestellt, dass, soweit WU-Beton in fachgerechter Ausführung vorliegt, die Loslösung nur dann erfolgte, wenn die Sinterschicht nicht mechanisch abgetragen wurde. Dies hatte der Sachverständige im aktuellen Fall offensichtlich nicht einmal in Erwägung gezogen. Auch die vom Gutachter angeführte Umfrage von 2009, in der Sachverständige Bitumendickbeschichtungen bewerteten, ist aus mehreren Gründen problematisch – wie bereits Matthias Zöller (Werkstatt-Beitrag, s. o.) und Christian Herold (Erdberührte Außenwandabdichtungen aus PMBC auf WU-Beton-Bodenplatten Kritische Stellungnahme zu einem problematischen Gerichtsurteil. In: Der Bausachverständige, Ausgabe 5. Stuttgart: Fraunhofer IRB, 2019) an anderer Stelle gut herausgearbeitet haben. Zu ergänzen ist, dass die Umfrage schon aufgrund des Durchführungszeitraums nicht die Normung ab 2010 berücksichtigte und die Qualität der Untergrundvorbereitung gar nicht thematisierte. Bezuglich der vom Gericht positiv beurteilten Gelschleierinjektion spricht Prof. Zöller (s. o.) aus guten Gründen von »Ironie«: Es ist physikalisch betrachtet nicht verständlich, wie eine Technik, die ohne Öffnung von innen eingebracht wird, eine Dichtigkeit im Übergang zum Beton – trotz Schmutz, Nässe und Sinterschicht – herstellen bzw. garantieren soll. Besonders gilt das, wenn dies beim »klebenden« Auftrag der KMB auf die Sinterschicht

nicht gelang. (Die Sinterschicht wurde sehr wahrscheinlich beim in Rede stehenden Fall nicht abgeschliffen).

Gelschleierinjektionen werden erfolgreich im Gebäude-Altbestand angewendet – wenn die Randbedingungen keine Außenabdichtung zulassen und der Wassereintrag deutlich verringert werden soll. Nicht garantiert werden kann damit aber eine Dichtigkeit. Das OLG Hamm hat im aktuellen Urteil nicht dargestellt, warum diese Technik den anerkannten Regeln der Technik für die Herstellung einer Dichtigkeit im Neubau entsprechen soll.

Von vornherein wurde ein Planungsfehler vom Sachverständigen beurteilt, was das Gericht ohne weitere Auseinandersetzung hingenommen hat. Dabei musste es »ins Auge springen«, dass in der Normung und den Richtlinien das mechanische Abtragen der Sinterschicht gefordert wird und dass im vorliegenden Fall wahrscheinlich ein Fehler in der Ausführung zu dem beanstandeten Mangel geführt hat. Zwingend notwendig wäre somit eine Auseinandersetzung mit der Ausführung der Abdichtungsarbeiten gewesen. Nachvollziehbar ist, dass eine Ausführungsart nicht den anerkannten Regeln der Technik entsprechen kann, wenn sie ausführungsfehleranfällig ist. Die Historie belegt aber im vorliegenden Fall, dass die Ausführung für eingewiesenes Personal nicht schwieriger ist als z. B. das Einbringen der Fugenbänder bei WU-Konstruktionen oder das hinterlaufsichere Ankleben von Bitumenbahnen an Wänden. Ohne explizite Schulung können die Arbeiter eine entsprechende Untergrundvorbereitung vornehmen – also fachgerecht schleifen und die PMBC-Abdichtung auftragen. Dass in der Vergangenheit von allen anderen Beteiligten zu wenig auf die Notwendigkeit des Abschleifens der Sinterschicht hingewiesen wurde, rechtfertigt noch lange keinen Leitsatz, der eine Ausführungsart auch für die Zukunft negativ beurteilt.

## Fazit und mögliche Folgen des Urteils für die Bautechnik

Wird die Schlämme an der Stahlbetonbodenplatte mechanisch abgetragen, ist der Übergang zwischen WU-Bodenplatte und PBMC-Wandabdichtung robust und dauerhaft herstellbar. Die Ausführungsart der Kombinationslösung von Außenwandabdichtung mit Bitumendickbeschichtung und WU-Bodenplatte ist als anerkannte Regel der Technik

### DIE AUTOREN



Dipl.-Ing. Martin Kneißl

Geschäftsfeld Bautechnik, TÜV SÜD Industrie Service GmbH

TÜV SÜD Industrie Service

Westendstraße 199  
80686 München  
bautechnik@tuev-sued.de  
www.tuev-sued.de/is



Dipl.-Ing. Herbert Gottschalk

### ERDBERÜHRTE BAUTEILE RICHTIG ABDICHTEN

Grundsätzlich benötigen Bauteile im Erdreich immer eine Abdichtung. Dafür gibt es zwei Techniken, mit denen die Abdichtungen in abgestuften Qualitäten entsprechend der jeweiligen Wasserbelastung geplant und hergestellt werden.

1. Bauwerke aus wasserundurchlässigem Stahlbeton (WU-Konstruktionen)  
Bei WU-Konstruktionen übernimmt der Stahlbeton sowohl die tragende Funktion als auch die Abdichtungsfunktion. Diese Konstruktionen sind in der DAfStb-Richtlinie für wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie) geregelt.
2. Bauwerke mit Abdichtungen  
Die Abdichtung der statischen Konstruktion aus Mauerwerk oder Stahlbeton wird bei allen anderen Bauwerken mit Dichtstoffen aus z. B. Kunststoffen oder Bitumen hergestellt. Sie werden in Form von Bahnern oder flüssig verbaut. Die kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtung (früher KMB, heute PMBC – Polymer Modified Bitumenous Coating) waren früher – je nach Wasserbelastung – in der DIN 18195-4 geregelt bzw. in der DIN 18195-6 geregelt. Seit der Überarbeitung der Normenfamilie regelt sie die DIN 18533, Abdichtung von erdberührten Bauteilen. Anwender können Bauteile im Erdreich, also Boden und Wände, bei strikter Anwendung einer der beiden Abdichtungsvarianten entweder in WU-Bauweise abdichten (weiße Wannen nach WU-Richtlinie) oder mit Abdichtungen aus Dichtstoffen (z. B. schwarze Wannen nach DIN-Norm). Die jeweilige Bauweise unterliegt dann einem einzigen Regelwerk. Bei den Abdichtungen mit Dichtstoffen bedeutet dies, dass – gemäß der Norm – unter der Bodenplatte beispielsweise eine Dichtbahn eingebracht werden muss. An der Seite ist sie mit der Wandabdichtung wasserundurchlässig zu verbinden. Das fachgerechte Einbauen der Dichtbahnen erfordert einen geeigneten und die Abdichtung für den Gebrauch schützenden Untergrund. In der Praxis ist das kostenaufwendig und kaum anzutreffen. Eventuelle Fehlstellen wären zudem praktisch nicht mehr wirtschaftlich zu beseitigen.
3. Kombinationslösungen aus WU-Richtlinie und Abdichtungsnorm  
Gerade für den Wohnungsbau sind WU-Bodenplatten relativ preiswert herzustellen. Entsprechend wurden seit Jahrzehnten vielfach Kombinationslösungen geplant und gebaut – gerade bei der Ausführung von Untergeschoss-Wänden aus Mauerwerk. Sie bestehen aus einer WU-Bodenplatte und einer Wandkonstruktion mit einer Abdichtung aus Dichtstoffen.

zu beurteilen. Grundsätzlich ist aber festzuhalten: Alle Beteiligten können den Arbeitsschritt »Schlämme mechanisch entfernen« nicht ernst genug nehmen. Über die Folgen für den Einzelnen hinaus könnte das Urteil bei dauerhafter Anerkennung weitreichende Konsequenzen haben. Vereinfacht ausgelegt, stellt es Klebungen schließlich generell infrage. Schlussendlich sind adhäsive Verbindungen immer nur so gut, wie es die Untergrundvorbereitung zulässt. Gegenüber mechanischen Verbindungen sind gute Klebungen häufig stabiler und leichter dicht herzustellen.

In vielen Anwendungen haben sie das Bauen qualitativ verbessert und zugleich günstiger gemacht, z. B. bei Abdichtungen von Dächern oder bei Anschlägen an Fenster und Türen bei Terrassen und Balkonen bzw. bei Bad- oder Küchenabdichtungen. Bei Oberflächenschutzsystemen liegt der Erfolg der Ausführung ebenfalls überwiegend darin, dass die Anwender den Untergrund mechanisch vorbehandeln. Die Bautechnik könnte also schlimmstenfalls um Jahrzehnte zurückgeworfen werden – und das vor dem Hintergrund, dass politische Akteure aktuell versuchen, die Baukosten zu senken. WU-Konstruktionen würden zu einem Monopol, weil schwarze Wannen schlicht und einfach zu kostenintensiv sind. Der Sachverhalt muss daher dringend neutral, fachlich und wissenschaftlich fundiert diskutiert werden.

# Experteninterviews

Andreas Lerge und Sebastian Fischbeck

**»Das Holzhochhaus ist die Antwort auf die Frage, wie kriege ich ganz viele Menschen auf ganz wenig Fläche«**

38

Andreas Otto

**»Die Politik muss vorangehen und althergebrachte Dinge infrage stellen«**

40

Andreas Hofer

**»Ich schlafe in der Fabrik und produziere in der Wohnung«**

42

Mathias Pfeil

**»Denkmalpflege ist Nachhaltigkeit«**

46

Wolfram Jäger

**»Lehmmauerwerk kann einen wichtigen Beitrag im Hinblick auf die Nachhaltigkeit des Bauens leisten«**

50

# »Das Holzhochhaus ist die Antwort auf die Frage, wie kriege ich ganz viele Menschen auf ganz wenig Fläche«

Im Interview sprechen die Experten Andreas Lerge und Sebastian Fischbeck über Hochhäuser aus Holz und benennen zahlreiche Vorteile der Bauweise gegenüber konventionellen Stahlbetonkonstruktionen. Es gilt den Holzbau als mögliche Alternative sowohl bei Planern als auch bei Investoren zu verankern und Berührungsängste oder Unwissenheit zu verringern.



Reinhard Eberl-Pacan (links) mit den Interviewpartnern Sebastian Fischbeck (Mitte) und Andreas Lerge (rechts)

**Bauen+**: Lieber Sebastian, lieber Andreas, das Thema, über das wir uns heute unterhalten, sind Hochhäuser und vor allem Hochhäuser, die aus Holz gebaut wurden, werden oder gebaut werden sollen. In Deutschland ist bereits das erste Holz-Hochhaus fertiggestellt und mehrere sind in Planung. Wie beurteilt ihr diese Entwicklung?

**Andreas Lerge**: Jeder der futuristisch denkt, muss an Massenproduktion denken. Er muss eine Pipeline von Projekten haben. Einzelne Hochhausprojekte zu entwickeln, das ist Liebhaberei. Wir brauchen eher Massenproduktion, keine Plattenbauten, aber stilvolle und ökologische Massenproduktion, die ein System hat.

**Sebastian Fischbeck**: Für mich stellt sich da die Frage, was ist Massenproduktion? Wie viele Hochhäuser aus Holz müssen wir dafür bauen? In Deutschland ist Hochhaus relativ einfach, weil ab 22 Meter oberstes Geschoss schon das Hochhaus beginnt. Deshalb würde ich die Frage in den Raum stellen, muss man wirklich ein Hochhaus bauen? Oder ist es besser, wenn man knapp darunter anfängt?

**Bauen+**: Erst einmal zur Motivation, überhaupt wieder Hochhäuser zu bauen. Woher kommt diese Motivation? Hochhäuser waren eine ganze Weile total out, zumindest was Wohnhochhäuser angeht.

**Andreas Lerge**: Das Hochhaus oder das Holzhochhaus ist die Antwort auf die Frage, wie kriege ich ganz viele Menschen auf ganz wenig Fläche. Die Motivation zum Hochhaus kommt, so könnte man sagen, aus dem Wanderungsverhalten der Menschen. Es gibt einen ganz starken Willen, in die Stadt zu kommen, weil da die Arbeit ist, weil da der soziale Mittelpunkt ist.

**Sebastian Fischbeck**: Hochhäuser brauchen mehr Abstände als niedrigere Bauwerke. Mit einer Blockrandbebauung kann ich mehr oder we-

niger die gleiche Dichte erzeugen. Dabei finde ich auch die Frage wichtig: Wie hoch soll das Haus sein, habe ich noch den Bezug vom Straßenraum zum Gebäude oder zu den Leuten, die im Gebäude wohnen und andersherum? Deswegen sind die europäischen Häuser auch so niedrig.

**Andreas Lerge**: Wenn ich aktuell vom Holzhochhaus spreche, dann ist bei mir bei 60 Meter Schluss, das sogenannte »kleine Hochhaus«. Nicht, weil ich mir das nicht höher vorstellen kann, ganz im Gegenteil, sondern weil da meiner Meinung nach auch wirtschaftlich der Break-even-Point erreicht ist. Über 60 m haben wir eine deutliche Erhöhung der Schutzbestimmungen, auch Brandschutz. Da wird es dann wirtschaftlich unrentabel. Auf der anderen Seite ist auch die Akzeptanz der Bevölkerung nicht mehr da. Man will so hohe Häuser nicht haben, weil sie neu sind. Wenn es dann aus Holz ist, ist es noch schlimmer.

**Bauen+**: Hat ein Hochhaus aus Holz nicht auch einen positiven Aspekt für das Marketing?

**Andreas Lerge**: Doch, ganz klar, im Marketing schon, aber natürlich nicht für das Umfeld. Das Wohnumfeld, bzw. die Nachbarn interessiert das nicht, ob das aus Holz ist. Projektentwickler, die mit Holz bauen möchten, wollen das ganz klar als Marketingargument nutzen. Das sind wichtige

Argumente: Nachhaltigkeit, CO<sub>2</sub>-Ersparnis, die Schnelligkeit. Gerade weil der Ökohype jetzt auch den Holzbau so richtig beflogt.

**Bauen+**: Die schnelle Bauzeit müsste doch auch für den Nachbarn positiv sein? Bei einer Holzbaustelle habe ich doch weniger Schmutz oder Belästigung der Nachbarn als bei einer konventionellen Betonbaustelle?

**Sebastian Fischbeck**: Der Aufbau ist natürlich viel leichter, weniger Bauteile, alle Teile werden vorgefertigt. Es ist keine Baustelle, sondern eher eine Montagestelle. Die Bauteile werden vor Ort nur zusammengefügt. Decken und Wände werden punkt- und zeitgenau angeliefert, an den Kran gehängt und hinein gehoben. Die Baustelle ist deshalb schneller, leiser und sauberer. Der große Vorteil beim Holzbau oder Holzmodulbau ist aber auch, dass die Gebäudehülle komplett zu ist. Selbst wenn dann der Ausbau im Gebäude erfolgt, hört man das fast gar nicht. Für die Akzeptanz ist es gut, wenn die Allgemeinheit mehr einbindet, z.B. durch ein Quartiersmanagement, das die Verbindung herstellt zwischen dem Projektentwickler, den Bewohnern und der Stadt. Da kann man sicher noch schärfen und mehr auf die Vorteile von Holzbauten hinweisen ...

**Andreas Lerge**: ... oder aufklären. Der Projektentwickler denkt sein Projekt klassisch immer noch in Stahlbeton. Da gibt es Berührungsängste oder Unwissenheit. Bei der Projekt-kalkulation kommen die Vorteile des Holzbaus nicht vor. Es heißt am Ende nur, Holz ist teurer. Die Kalkulation spiegelt die ganzen Vorteile nicht wider: die schnelle Bauzeit, dass man früher wieder das Kapital zurückhat, dass die Nachbarschaft weniger belastet wird, dass da weniger Stäbe sind, weniger Transporte. Diese ganzen Benefits fließen nicht ein. Der Vergleich hinkt deshalb ganz stark. Meine Aufgabe ist, hier Aufklärung zu machen, dass man Nachteile hat, aber auch viele, viele Vorteile.

**Bauen+**: Was sind das für Vorteile? Welche Verbesserungen gäbe es noch, die den Holzbau fördern könnten?

**Andreas Lerge**: Erster großer Vorteil ist eine bis zu 45 % verkürzte Bauzeit. Dann sind da bis zu 3 % mehr vermietbarer Fläche. Wenn ich das alles berücksichtige, dann rechnet

### ANDREAS LERGE

Dipl.-Ing. Andreas Lerge ist gelernter Zimmerer, Architekt und seit 5 Jahren als Projektentwickler tätig. Er ist als Berater für Investoren und Projektentwickler deutschlandweit aktiv und hat bereits Holz-Hybridbauten mit einem Volumen von 100 Mio. bei der Realisierung begleitet. Zur Zeit entwickelt er mit Arup Deutschland und team v architecture aus Amsterdam ein Hochhaus-System im Holzbau.

Weitere Informationen: [www.wood-real-estate.de](http://www.wood-real-estate.de)

### SEBASTIAN FISCHBECK

Sebastian Fischbeck, M.Arch., ist Architekt, Stadtplaner und Massivholzexperte. Seit Sommer 2019 lebt er in Berlin. Er hat internationale Erfahrungen in renommierten Büros und in der Lehre gesammelt. Zuletzt in den USA und Kanada, wo er sich auf die Erarbeitung von Großprojekten in Holzbauweise konzentrierte. Insbesondere plante er neue Bürolandschaften für Amazon und Microsoft, sowie Masterpläne und Lehrsaalgebäude für namhafte Universitäten an der amerikanischen Ostküste.

sich der Holzbau. Es ist ganz klar, alles was einen Vorteil hat, muss auch einen Preis bekommen. Wir müssen öffentlich aufklären, dass Holzbau wieder modern ist oder schon immer war. Auf der anderen Seite steht die Aufklärung der Investoren bzw. Projektentwickler, dass Holz ein Hightech-Baustoff ist.

**Sebastian Fischbeck**: Ein gutes Steuerungsinstrument wäre z.B. die CO<sub>2</sub>-Steuer. Dann muss man gar nicht mehr den Holzbau propagieren. Es kostet dann mehr, mit den klassischen Baumaterialien zu bauen. Das wäre ein Punkt die soziale Verantwortung für die nächste Generation, für den Planeten zu fördern.

**Bauen+**: Hochhäuser sind aus vielen Gründen teurer als niedrige Gebäude. Für das Holzhochhaus würde ja gelten, auf keinen Fall günstiger ...

**Andreas Lerge**: ... es muss teurer sein! Das ist eine Segmentfrage. Bei großen Projekten ist immer ganz klar, wer diese Wohnungen kauft. Hochhäuser werden von klassischen Marketingexperten vermarktet. Die suchen sozusagen den »richtigen« Kaufpreis für den Kunden. Die Baukosten haben wir dann auf der anderen Seite. Ich würde mich aber schwer tun, wenn wir sagen würden, wir bauen jetzt billige Holzhochhäuser. Dazu ist es, denke ich, die falsche Technologie.

**Bauen+**: Wie sieht den so ein Holzhochhaus in Zukunft aus?

**Andreas Lerge**: Das sieht nicht mehr so aus, dass man alles auf die Baustelle karrt und baut das zusammen, sondern 80 % der Bauteile sind vorgefertigt, vorelementiert und gerastert. Diese Bauteile, die alle Schutzziele einhalten, werden auf die Baustelle geliefert und aufgebaut. Der große Vorteil ist, dass man das nicht mehr auf der Baustelle zusammenstöpselt, sondern in der Fabrik fertigt und schon mit der fertigen Außenfassade auf die Baustelle fährt und nur noch ein minimales Maß an Innenausbau hat.

**Sebastian Fischbeck**: Vom städtebaulichen Betrachtungswinkel oder von der Morphologie es das Hochhaus der Zukunft eher ein Mix. Es ist weder die Blockrandbebauung noch das Punkthochhaus. Es ist eher die Mischung. Man hat viel Diversität und in vielen Städten baut man quasi alles vom dreistöckigen Reihenhaus bis zum Hochhaus. Man braucht natürlich ein großes Baufeld, aber das kann man gut mischen. Man baut z.B. vorne zur Straße hin eine Blockrandbebauung mit 20 Metern und im Hintergrund, wie auf einem Podium, wächst dann das Hochhaus heraus. Wichtig ist auch die soziale Durchmischung. Es sollte sich weder auf sozial schwache noch auf sozial starke Schichten konzentriert werden.

**Bauen+**: Lieber Sebastian, lieber Andreas, sicher könnten wir uns zu diesem Thema noch stundenlang austauschen, aber das soll es an dieser Stelle fürs Erste gewesen sein. Ich danke Euch für das interessante Gespräch.

Das Interview führte Reinhard Eberl-Pacan, leitender Redakteur der **Bauen+**.

# »Die Politik muss vorangehen und althergebrachte Dinge infrage stellen«

Für die **Bauen+** sprach Reinhard Eberl-Pacan mit Andreas Otto, Mitglied im Berliner Abgeordnetenhaus für Bündnis 90/Die Grünen, über politisch machbare Unterstützung von Holzbau-Projekten, wie die Änderung der Berliner Bauordnung, und warum Berlin eine Vorreiterrolle eingenommen hat.



Reinhard Eberl-Pacan (rechts) beim Interview mit Andreas Otto (links)

**Bauen+:** Herr Otto, das Berliner Abgeordnetenhaus hat 2018 beschlossen, die Berliner Bauordnung so zu ändern, dass der Holzbau auch baurechtlich für höhere Gebäude zugelassen werden kann. Dieser Beschluss kam für viele überraschend, da Berlin ja nicht unbedingt als »Holzbau-Bundesland« bekannt ist. Wie kam es dazu?

**Andreas Otto:** Bei den Koalitionsverhandlungen nach der Wahl von 2016 haben wir (»Bündnis 90/Die Grünen« Anm. d. Red.) gesagt, wir müssen etwas tun für Nachhaltigkeit, für Ökologie im Bauwesen. Wir haben dann in den Koalitionsvertrag aufgenommen, dass der Holzbau in Berlin angeschoben werden soll. Einerseits muss der öffentliche Auftraggeber eine Vorbildfunktion übernehmen; das fing dann an mit Kindertagesstätten und Schulen. Andererseits hat sich schnell herausgestellt, es muss beim Genehmigungswesen – Stichwort Bauordnung – etwas verändert werden. Wir hatten die Situation, dass viele Gebäude für Flüchtende errichtet werden sollten, die nach Berlin kamen. Wir hatten vor unserem Regierungseintritt die Situation, dass der damalige Senat für diese Gebäude den Holzbau sogar ausdrücklich ausgeschlossen hat. Obwohl doch Holzbau viel schneller geht und die Gebäude sehr gut umnutzbar oder wieder abzubauen sind.

Deshalb haben wir das in der Bauordnung geändert. Es hat ja auch funktioniert und insofern freue ich mich über die Leute, die sich dabei über Berlin wundern. Dieser erste Schritt ist nun gelungen.

**Bauen+:** Nachdem seit April 2018 dieser Beschluss in der Bauordnung Berlin umgesetzt wurde, kam es zu einem deutlichen Aufschwung des Holzbaus in Berlin. Hat sich die Änderung der Bauordnung bisher bewährt?

**Andreas Otto:** Das hat sich bewährt, auf jeden Fall. In der Zwischenzeit ist ja viel anderes in diese Richtung passiert, z.B. die Klimaschutzdebatte und die »Fridays for Future«-Bewegung. Das bestärkt uns natürlich in allen ökologischen Fragen. Das erkennen auch die Leute in der Verwaltung und im Berliner Abgeordnetenhaus. Selbst Leute, die sich mit dem Gedanken tragen, ein Haus zu bauen oder irgendwo einzuziehen, setzen sich vermehrt mit Fragen der Nachhaltigkeit auseinander. Ganz viele Leute beschäftigen sich mit dem Holzbau, von denen es vorher keiner gedacht hätte. Ich habe dabei gelernt, wenn das gesellschaftliche Umfeld stimmt und wenn man als Politiker nachweisen kann, dass alles sehr ernsthaft ist, dann findet man Partner, mit denen man vielleicht vorher gar nicht gerechnet hat. So erkläre ich mir diesen Aufschwung.

**Bauen+:** Eine wesentliche Behinderung des innerstädtischen Holzbaus stellte davor hauptsächlich der Brandschutz dar. Es gab in der Vergangenheit Befürchtungen, dass bei höheren Gebäuden, die aus Holz gebaut werden, die Sicherheit leidet. Kann hier schon eine erste Bilanz gezogen werden?

**Andreas Otto:** Das würde ich nicht so sagen, dass die Sicherheit gelitten hat. Die Projekte müssen nach wie vor ein ordentliches Brandschutzkonzept haben. Wir verlassen uns natürlich auf die Fachleute, dass die nötigen Anforderungen beachtet werden. Von daher würde ich denken, dass sich das bewährt hat und dass man beim Baurecht auch weitergehen kann. Der Brandschutz ist sicher immer mal wieder ein Thema, aber eher bei den Leuten, die weniger Ahnung haben. Wenn man mit Fachleuten spricht, auch mit denen von der obersten Bauaufsicht oder aus den Bezirksamtern, sehen die das als geklärt an. Die haben keine Probleme mehr damit.

Darum geht es: Politik muss vorangehen und auch mal die Vorstellungswelten, die althergebrachten Dinge infrage stellen. Bei einem so schönen Thema macht das auch großen Spaß.

**Bauen+:** Seitens der öffentlichen Bauherrn, insbesondere des Senats und der städtischen Wohnungsbau- gesellschaften, werden bereits große Bauvorhaben – z. B. Schulen oder Kindertagesstätten – als Holzbauten konzipiert und ausgeschrieben. Leider scheinen hier die anbietenden Firmen, die solche Bauvorhaben in Holz ausführen können, knapp zu werden. Wie will der Senat und das Abgeordnetenhaus hier zusätzliche Anreize anbieten?

**Andreas Otto:** Das ist richtig beobachtet. Es ist aber völlig normal, wenn man hier quasi von null anfängt. Wo sollen da die Firmen sein? Es gibt natürlich Holzverarbeitungsbetriebe in Berlin und Brandenburg, die sind aber alle eher klein. Mein Bestreben ist es daher, erstens, Betrieben zu sagen: Ihr müsst euch vergrößern und zusammenschließen. Der Senat wird weiterhin Gebäude für eine Generalunternehmervergabe ausschreiben. D. h., die Firmen müssen sich in die Lage bringen, große Projekte mit Projektierung anbieten zu können, z. B. als Arbeitsgemeinschaft oder in ähnlichen Zusammenschlüssen. Das ist, was die Firmen machen müssen.

Das Zweite ist, dass der Senat öffentlich sagt, wir wollen mehr Holzbau. Er hat zwar z. B. drei Schulen bestellt und ein Studentenwohnheim gebaut, aber im Prinzip die ganzen drei Jahre nie gesagt, wir arbeiten daran, dass Holzbau in Berlin ein großer Markt wird.

Jetzt hat sich das geändert. Anfang dieses Jahres hat die Senatorin Lompscher gesagt, wir machen in Tegel das Schumacher-Quartier mit 5000 Wohnungen als Holzbauten. Ich habe das als Bekenntnis verstanden, auf das sich Firmen einrichten können. Alle, die da mitmachen wollen, sind eingeladen, sich jetzt darauf vorzubereiten. Da sind dann hoffentlich auch Betriebe aus Berlin und Brandenburg dabei, auch welche aus dem süddeutschen Raum, ohne deren Know-how kriegt man so große Projekte nicht gestemmt.

#### DIPL.-ING. (FH) ANDREAS OTTO

Mitglied des Berliner Abgeordnetenhauses seit 26. Oktober 2006. Sprecher für Baupolitik und Sprecher für Berlin-Brandenburg. Vorsitzender des Ausschusses für Europa- und Bundesangelegenheiten sowie Medien.

**Bauen+:** Im Baurecht finden sich immer noch zahlreiche Regelungen, die die Verwendung von natürlichen, nachwachsenden Baustoffen verhindern oder zumindest einschränken. Ein Beispiel ist der eingeschränkte Einsatz von organischen Dämmstoffen zur Wärmedämmung bei höheren Gebäuden (Stichwort: schwer entflammbar). Sind hier weitere Änderungen der Bauordnung Berlin geplant?

**Andreas Otto:** 2018 war ja eine kleinere Novelle der Bauordnung. Aber die Bauordnung als Gesetz, die ändert man ja nicht jede Woche. Wir müssen als Gesetzgeber auch ein bisschen Verlässlichkeit ausstrahlen. Deshalb wird sowohl beim Senat als auch im Abgeordnetenhaus erstmal gesammelt. Es gibt dabei einen ganzen Strauß von Themen. Beim Brandschutz, aber ebenso bei vielen anderen Themen, wie Barrierefreiheit, Vogelschutz am Gebäude bis hin zu der Solarfrage, gibt es Änderungswünsche. Das wird im politischen Raum besprochen und es gibt unterschiedliche Änderungen, die in einzelnen Parteien wichtig sind. Die Verwaltung ist oft eher sehr zurückhaltend, wenn es darum geht, Bewährtes umzuwerfen. Aber es besteht die Absicht, bis zur Wahl, die ist etwa September 2021, noch mal eine Novelle zu machen.

**Bauen+:** Wie beurteilen Sie die wünschenswerte Gesamtsituation? Wie hoch sollte in Zukunft der Anteil nachwachsender, organischer Baustoffe wie Holz, Stroh, Hanf etc. beim Bauen sein?

**Andreas Otto:** Da kann man sich immer viel wünschen. Ich weiß es nicht, kann man sich 100 % wünschen? Ich wäre erst mal froh, wenn wir stufenweise in Berlin vorankommen und zumindest die Hälfte der neuen Schulgebäude aus Holz wären und vielleicht 10 bis 20 % der neuen Wohnungen in den nächsten fünf Jahren.

**Bauen+:** Welche Maßnahmen wären – neben den oben genannten – dazu seitens Senat und Abgeordnetenhaus nötig?

**Andreas Otto:** Am wichtigsten ist, dass der Senat selbst Holzbau bestellt. Bei den Schulen funktioniert das so einigermaßen. Bei den Wohnungsbau- gesellschaften ist noch nicht viel zu sehen. Da wird gerne gesagt, Holzbau ist teurer. Es wäre aber wichtig, dass die Landesunternehmen da noch einen größeren Anteil leisten, nicht nur im Wohnungsbau. Ich könnte mir auch vorstellen, dass so jemand wie die Messegesellschaft mal ein Messegebäude aus Holz errichtet. Das wäre ja ein Hingucker und vielleicht auch ein Werbe- projekt. Es gibt einen Mangel an Planern und Ingenieuren. Da müssen die Berliner Universitäten mit Unterstützung des Senats ihre Ausbildungskapazitäten erweitern.

Ein Herzenswunsch von mir ist ein Holzhochhaus für Berlin. Als Signal für nachhaltiges Bauen. Am liebsten am Alexanderplatz. Das wäre natürlich toll.

**Bauen+:** Dabei wünschen wir Ihnen viel Erfolg und danken Ihnen für das interessante Gespräch.

Das Interview führte Reinhard Eberl-Pacan, leitender Redakteur der **Bauen+**.

# »Ich schlafe in der Fabrik und produziere in der Wohnung«

*Andreas Hofer, Intendant der Internationalen Bauausstellung 2027 StadtRegion Stuttgart, ordnet im Interview mit Klaus-Jürgen Edelhäuser die IBA'27 ein und erklärt, welche Fragen das Team rund um die Bauausstellung vor dem Hintergrund der gesellschaftlichen Veränderungen beschäftigen.*



© IBA'27 / Sven Weber

Interviewpartner Andreas Hofer, Intendant der Internationalen Bauausstellung 2027  
StadtRegion Stuttgart

**Bauen+:** Die Internationale Bauausstellung war in der Vergangenheit oft das Merkmal einer neuen Epoche oder einer Wende im Bauwesen. In Stuttgart setzte die Werkbundausstellung 1927 mit der Weißenhofsiedlung deutliche Zeichen des »Neuen Bauens« und läutete hier mit namhaften Architekten wie Mies van der Rohe, Walter Gropius, Le Corbusier und Hans Scharoun die Industrialisierung des Bauens, neue Bautechniken und neue Wohnformen ein. Nun, hundert Jahre später, gibt es in Stuttgart mit der IBA'27 eine neue Internationale Bauausstellung. Wird das wieder eine neue Epoche?

**Andreas Hofer:** Es ist schon auffällig, dass Bauausstellungen in Deutschland häufig in Phasen gesellschaftlicher Umbruchsituationen stattfanden – und das passiert auch jetzt. Meine Vorgänger haben hierfür einmal den Begriff des »präventiven Strukturwandels« benutzt, um das zu beschreiben, was wir hier tun. Dass wir im Moment gesellschaftlich in einer Umbruchsituation sind, war absehbar und bestätigt sich. Wir möchten uns mit der IBA natürlich mit diesen Themen auseinandersetzen. Durch »Corona« hat dieser Umbruch in gewisser Weise nun auch eine Beschleunigung erfahren.

Die IBA'27 hat dabei auch viel mit Technologie zu tun. Man hat in der Bauwirtschaft lange über die Digitalisierungsprozesse gesprochen, sie wurden aber eigentlich nie zu einer durchgängigen Kette. Jetzt beginnen diese Prozesse wirklich zu greifen. Bauen ist ja eines der konservativsten

Gewerbe mit einem sehr niedrigen Industrialisierungs- und Digitalisierungsanteil. Gerade auch in Stuttgart besteht eine lange Tradition mit Konstruktionen und neuen Materialien – z. B. dem Leichtbau. Auch da, denke ich, kommt im Moment sehr vieles zusammen, das vermutlich schon die gebaute Umwelt verändern und prägen wird.

**Bauen+:** Der Großraum Stuttgart ist maßgebend von der Automobilindustrie geprägt. Dieser Industriezweig ist aktuell von einem gewissen Umbruch gekennzeichnet. Wird das die IBA'27 konzeptionell begleiten? Und wenn »ja«, wie fließt das in das Konzept der IBA'27 ein? Im ersten Anschein hat die Automobilindustrie weniger mit dem Thema »Bau« zu tun, sehr wohl aber mit Mobilität.

**Andreas Hofer:** Das ist auf jeder Ebene ein sehr heißes Eisen und ich habe mich am Anfang ein bisschen dagegen gewehrt, dass die IBA jetzt auch noch die Mobilitäts- oder Verkehrsprobleme lösen soll. Aber Sie haben es auch schon angesprochen: Mobilität ist natürlich intensiv mit räumlicher Entwicklung verbunden. Was ich besonders spannend finde, sind die Produktionsstätten. Das sind ja zum Teil regelrechte Städte. Die Werke haben eine Dimension, die den Raum und den Alltag der Menschen prägen. Wenn nun Transformationsprozesse stattfinden, dann hat das räumliche Auswirkungen. Die interessieren uns. Also: Was wird in Zukunft produziert, wie sehen die Fabriken aus? Eines unserer Leitthemen heißt »Produktive Stadt«. Das bezieht sich genau auf solche Fragestellungen. Ein weiterer Aspekt ist dann noch: Welche Auswirkungen haben veränderte Mobilitätsmöglichkeiten auf die Art, wie wir den Raum nutzen, wie wir uns in ihm bewegen?

Wir haben eine funktionierende große Industrie. Das ist eine spezielle Eigenschaft der Region und uns beschäftigt natürlich, wie diese sich in den nächsten Jahren verändert. Die räumlichen Auswirkungen dieser Veränderungen, also der Produktion von Mobilität und der Mobilität selbst, möchten wir mit exemplarischen Bauprojekten begleiten.

**Bauen+:** Wie sehen Sie ganz generell das Bauen durch die IBA'27 beeinflusst bzw. beeinflussbar. Es gibt bestimmte Entwicklungen, wie beispielsweise Tiny-Houses, modulares Bauen, 3-D-Druck o. ä. Sehen Sie hier Berührungspunkte mit der IBA'27? Wie ist der Stellenwert einer IBA bei solchen technischen Entwicklungen?

**Andreas Hofer:** Eine IBA ist ja eigentlich ein komischer Zwittr. Sie muss ausbrechen aus dem Alltag und Zukunftsfragen diskutieren, diese dann aber in der realen Welt

konkret baubar machen. Es ist also nicht Science-Fiction, was wir tun. In diesem Spannungsfeld bewegt sich eine IBA. Die Hoffnung ist schon, dass diese Schritte über die gegenwärtige Baupraxis hinaus gehen. Die von Ihnen angesprochenen Punkte, insbesondere die Tiny-Houses, sind für mich eher der Ausdruck einer Reflexion über Wohnformen und Wohnflächenkonsum, als dass ich da große Zukunft des Bauens sehe. Aber genau diese Fragen – wie wohnen wir – wie bauen wir die Häuser – welche Rolle spielen da vielleicht auch neue Technologien und Materialien? Das sind natürlich Dinge, die uns beschäftigen.

**Bauen+:** Meinen Sie, dass wir heute vielleicht etwas verwöhnt sind? Also, wenn man sich anschaut, welche Wohnfläche wir pro Kopf beanspruchen – und da sind wir in Deutschland Weltmeister – muss es da einen Wandel geben?

**Andreas Hofer:** Das ist eine sehr schwierige und auch vielschichtige Frage. Die Zunahme des Wohnflächenkonsums hat viel mit gesellschaftlichen Veränderungen zu tun. Stichwort: Zunahme der kleinen und der Ein-Personen-Haushalte. Wenn man diese veränderte Gesellschaft im bestehenden Wohnungsbestand unterbringen will, dann führt das zu Ineffizienzen. Man könnte auch sagen, wir haben die letzten Jahrzehnte die falschen Wohnungen gebaut. Und dann hat es natürlich auch eine Konsumkomponente, also Wohnfläche wächst mit Wohlstand. Damit muss man sich auseinandersetzen, da Wohnfläche direkt korreliert mit Energieverbrauch, mit Kosten, auch mit grauer Energie. Da stellt sich durchaus die Suffizienz-Frage.

**Bauen+:** Daran anknüpfend eine Frage, die nun vielleicht etwas überflüssig erscheint: Welchen Stellenwert haben ökologische Aspekte und Biodiversität bei der IBA'27? Vermutlich einen sehr hohen?

**Andreas Hofer:** Wir müssen uns ja mit dem Jahr 2027 auseinandersetzen und mit dem, was dann Zukunft ist. Wir diskutieren »Next Practice« statt »Best Practice«. Die Häuser, die wir jetzt bauen, sollen ja Jahrzehnte überdauern. Und wenn ich mir vorstelle, ich blicke aus der Perspektive 2037 oder 2050 zurück auf 2027, dann stellt sich die Frage nach den ökologischen Aspekten eigentlich gar nicht. Wir werden dann keine fossilen Brennstoffe mehr zur Verfügung haben, wir werden in völlig geschlossenen Stoffkreisläufen unterwegs sein, wir werden vermutlich in Städten im Klimawandel leben. Das heißt, die Dinge, die heute noch relativ verrückt klingen, die sind eigentlich für die Häuser, die wir jetzt bauen, schon fast imperativ.

**Bauen+:** Ich greife den Imperativ auf: Wenn Sie sagen, dass die Dinge, die heute verrückt klingen, eigentlich der »Imperativ« für die Häuser sind, die wir heute bauen müssen. Meinen Sie, die Menschen begreifen das?

**Andreas Hofer:** Ich glaube, die Menschen begreifen das als Herausforderung in ihren alltäglichen Welten. Sie sind natürlich nicht die Fachleute, um dann den Schritt zur gebauten Umwelt zu tun. Das ist eine Verpflichtung der Berufsleute

und einer IBA, genau das zu erklären. Man könnte auch vom »neuen Normal« sprechen, das etwas völlig anderes ist als das, was wir heute als »normal« empfinden.

**Bauen+:** Die IBA und die Beteiligten der IBA als »Pädagogen« für unsere Konsumgesellschaft?

**Andreas Hofer:** Ja. Wobei »pädagogisch« immer so einen Ansatz von »besserwisserisch« beinhaltet. Es hat viel mit Kommunikation und Dialog zu tun. Das ist dann diese Ambivalenz, die auch schon die Moderne in den 20er-Jahren hatte. Wir erklären euch jetzt, wie ihr wohnen müsst. Es ist eine heikle Geschichte, wie besserwisserisch die Architekten den Menschen gegenüber auftreten. Aber wir müssen etwas tun. Die Umwelt wartet nicht darauf, bis wir begriffen haben, was wir da gerade anrichten.

**Bauen+:** Ganz aktuell hat die Corona-Pandemie unser Leben sehr stark beeinflusst. Wir waren durch den Appell »Zuhause bleiben« in unserer Bewegungsfreiheit eingeschränkt. Gerade in den Ballungsräumen haben die Menschen besonders darunter gelitten, »eingesperrt« zu sein und nicht ins Grüne zu können. Sehen Sie in diesem Zusammenhang besondere Herausforderungen für das »neue Wohnen« oder für neue Wohnformen bzw. ist das vielleicht eine Dimension, die man tatsächlich noch nicht in dieser Art vor Augen hatte, die uns aber jederzeit wieder ereilen kann?

**Andreas Hofer:** Da möchte ich zwei Sachen dazu sagen. Einerseits gibt es jetzt schon erste Stimmen die sagen »Oh... böse Stadtdichte...«. Das ist ein Diskurs, den wir seit 100 Jahren kennen – nein, seit 4000 Jahren: Sodom und Gomorra – die Stadt, der Sündenpfuhl. Das finde ich extrem ideologisch und vermutlich auch völlig falsch. Der zweite Aspekt ist, dass wir eigentlich jetzt erleben, wie so eine Krise soziale Unterschiede sichtbar macht. Die Familie mit drei Kindern in der kleinen Dreizimmerwohnung ohne Balkon – die leidet. Das Hipster-Pärchen mit der Jugendstil-Wohnung und der großen Dachterrasse weniger. Ich glaube, das hat nichts mit Stadt als Lebensform zu tun. Natürlich bricht eine Epidemie in der Stadt aus. Die Stadt hat ja die Funktion, sich auszutauschen und sich zu begegnen.

Ich glaube, wir erkennen jetzt die Bedeutung des Zwischenraums. Eben z.B. die Verbindung in den städtischen Rahmen, also Balkone, Terrassen, solche Dinge, aber auch die Gemeinschaftsräume, die Erdgeschosse, die flexibel beispielsweise für Nachbarschaftshilfe genutzt werden können. Meine These ist, dass es eher in die Richtung Gemeinschaftlichkeit geht. Wir können es uns gar nicht leisten, dass jetzt jeder noch zwei Zimmer dazu nimmt, für den Fall, dass er mal wieder im Homeoffice arbeiten muss. Wir können es uns ebenso nicht leisten, dass nun wieder jeder mit dem Auto fährt, weil er Angst vor dem öffentlichen Verkehr hat. Ich sehe es eigentlich eher in die umgekehrte Richtung.

**Bauen+:** Anknüpfend an die vorangegangene Frage: Sind Ballungsräume überhaupt noch en vogue oder ist der ländliche Raum vielleicht attraktiver? Wo und wie werden wir in Zukunft Ihrer Meinung nach lieber wohnen?

**Andreas Hofer:** Man fällt ja gerne immer wieder in die Romantik des Landes und der weiten Natur zurück. Aber die meisten Menschen werden nicht gefragt, wo sie lieber wohnen möchten, sondern sie reagieren – gerade in der angespannten Wohnungssituation, die wir im Moment haben – auf ökonomische Opportunitäten und greifen sich dann eben das, was für sie möglich ist. Ich würde es auch nicht als »Entweder-oder« bezeichnen. Es werden weiterhin Menschen auf dem Land leben. Ich sehe aber keinen Trend aufs Land. Auch international nimmt die Stadtbevölkerung zu. Gerade hier in Stuttgart sind die Grenzen zwischen Stadt und Land auch vielschichtig und häufig verwischt, das ist eben der Ballungsraum, die Agglomeration. In der Stadtregion, in der ich sehr ländliche Ecken habe und auch sehr urbane, gelingt es vielleicht, so etwas wie eine Identität der Region zu produzieren, die dann eben wirklich sehr in die Richtung Wahlfreiheit geht, auch in den Lebensphasen. Ich sehe ganz viele junge Familien, die beim dritten Kind dann sagen, jetzt wird mir die Wohnung in der Stadt zu klein und zu teuer. Sie ziehen dann aufs Land. Das Land – wenn wir vom richtigen Land, von der Peripherie sprechen – birgt dann aber auch seine Schwierigkeiten. Beispielsweise was die Versorgung mit Internet oder mit sozialen Netzwerken betrifft. Dort habe ich – wenn wir von der Pandemie reden – niemanden, der mir hilft, der mir das Essen bringt, und ich kann nicht so leicht soziale und nachbarschaftliche Netzwerke aufbauen. Ich persönlich komme aus einem ländlichen Raum. Ich habe diese Großfamilie noch erlebt, die über drei Generationen und mit 20 Leuten am Küchentisch saß. Das ist heute nicht mehr so.

*»In einem Zeitraum von 20 Jahren gibt es die Trennung in Wohnen und Arbeiten nicht mehr, so wie wir sie jetzt kennen.«*

**Bauen+:** Auch unsere Arbeitswelt hat sich in den letzten Monaten durch die Corona Pandemie spontan verändert. Viele haben festgestellt, dass beispielsweise Telearbeit eine hervorragende Alternative zum Büro ist – Wohnen und Arbeiten ist plötzlich zusammengewachsen. Glauben Sie, dass sich unser Wohnen diesbezüglich verändern wird? Haben Sie generell mit einer solchen Entwicklung – wenn auch nicht in dieser Geschwindigkeit – gerechnet?

**Andreas Hofer:** Wir hatten das wirklich schon im Kopf. Das war eine unserer Thesen bei der IBA. Jetzt wieder mit dieser langen Perspektive würde ich sagen: In einem Zeitraum von 20 Jahren gibt es die Trennung in Wohnen und Arbeiten nicht mehr, so wie wir sie jetzt kennen.

**Bauen+:** Die Arbeit zieht ins Wohnzimmer ein, jetzt mal ganz lapidar gesagt?

**Andreas Hofer:** Genau. Ich schlafe in der Fabrik und produziere in der Wohnung. Das wird sich nicht für alle Dinge gleich schnell und gleich grundlegend verändern. Aber auch da ist sicher das Stichwort: Es gibt keine eindeutige Lösung mehr. Unser Leben wird flüider sein, wir werden vielleicht zwei Tage in einen Co-Working-Space in der benachbarten S-Bahn-Station gehen und einen Tag quer durch die Region ins Stammwerk. Und dann stellt sich natürlich noch die

grundlegende Frage, was wir denn überhaupt noch herstellen in unserer Gesellschaft. Das könnte dann im positiven Fall so etwas in die Richtung einer postindustriellen Gesellschaft mit sinkender Arbeitszeit und viel Sozialzeit und Freizeit gehen.

**Bauen+:** Postindustrielle Gesellschaft ist ein interessanter Aspekt. Gibt es dann aber nicht unter Umständen eine weitere Aufteilung in eine Klassengesellschaft? Die einen, die in Co-Working-Spaces arbeiten können, die eben die klassischen Büroarbeiten machen und die anderen, die in eine Fabrik gehen müssen, denn eine Produktion wird ja immer noch stattfinden. Oder ist das jetzt übertrieben, wenn man das so denkt?

**Andreas Hofer:** Nein, da gibt es ganz viele Gefahren und Herausforderungen. Es könnte auch eine Spaltung geben in eine überhaupt noch in das Wirtschaftssystem eingebundene Elite und dem Prekariat, das quasi auf Hartz-IV-Niveau leben muss. Aber wir sind ja eine demokratische, kluge und reiche Gesellschaft, die hoffentlich die notwendigen Mittel und Strategien finden wird, damit sie nicht völlig als Gesellschaft auseinanderfällt, sondern für alle eher einen Lebensqualitätszuwachs produzieren wird.

Also, die IBA leistet sich so eine fröhliche Zukunftsfreude.

**Bauen+:** Aus Ihrem Büro in Zürich – sozusagen Ihrer Heimat – stammt der Satz: »Für uns ist Stadt ein Lebensraum, den Bedürfnisse, politische Forderungen, wirtschaftliche Prozesse und kulturelle Bilder ständig verändern.« Wie schaffen Sie es, die Bedürfnisse der Menschen zu erfassen und in dem Veränderungsprozess mit zu berücksichtigen?

**Andreas Hofer:** Ja, der Hintergrund ist natürlich auch wieder: Wenn wir auf 1927 zurück schauen – da gab es noch diese genialen Architekten, die gemeint haben, sie schaffen für das einfache Volk die Stadt der Zukunft. Das geht heute so nicht mehr. Wir befinden uns in einem Dialog, wir tauschen uns aus. Ich bin ein überzeugter Demokrat, der glaubt, dass die Stadt quasi das gebaute Bild einer Gesellschaft ist, und eine demokratische Gesellschaft muss über die Form dieses Raumes verhandeln. Konkret ist die IBA auch ein partizipatives Projekt. Das hat sich extrem bewährt. Wir haben das gar nicht in diesem Maße erwartet – dass sich bei uns so viele Menschen in Arbeitsgruppen auf so etwas wie einer IBA-Meta-Ebene mit diesen Zukunftsfragen auseinandersetzen. Diese IBA macht also offenbar auch Lust, über die Zukunft nachzudenken. Das unterscheidet sich von den oft eher etwas mühsamen etablierten Beteiligungsformaten, die ich häufig feststelle: Man hat ein Bauprojekt, dann macht man einen Beteiligungsprozess, dann kommen vor allem die Leute aus der Nachbarschaft, die lieber nicht möchten, dass sich da irgend etwas verändert. Dann holt man alle diese Bedenken und Zweifel ab und schleift die Projekte in eine harmlose Mittelmäßigkeit herunter. Wir versuchen das Umgekehrte: Lust an der Veränderung, Lust an der Gestaltung und es gelingt uns nicht so schlecht, die

zu wecken. Ich hoffe, dass wir die auch in die Projekte tragen können.

Partizipation sehen wir eben nicht als »Wie würde mein Traumhaus aussehen« und auch nicht als Summe der möglichen Bedenken, der Veränderungsangst. Partizipation als gestalterische Kraft. Generative Partizipation ist ein Wort, mit dem wir uns beschäftigen. Wie können wir die Gestaltungskräfte entfesseln? Da suchen wir Formate, experimentieren wir, suchen auch die Zusammenarbeit mit Kunst, mit anderen Ausdrucksformen, die vielleicht ein bisschen spielerischer sind als die schwere Immobilie.

**Bauen+:** Unter dem Motto »Wissen-schafft-Stadt« findet seit März 2013 bis 2022 in Heidelberg die IBA statt. Hier sollen modellhafte Lösungen für die Stadt der Zukunft aufgezeigt werden. Wenn man im Internet stöbert, findet man zahlreiche weitere IBAs. Was ist das Besondere an der IBA'27?

**Andreas Hofer:** Ich glaube, die IBA-Inflation hat etwas mit dem Bedürfnis an ganz vielen Orten zu tun, die Grenzen der etablierten Planungspraxis, das sehr Konservative aufzubrechen. Und da ist IBA vielleicht dann ein Ventil, auf das man kommt – IBA wird ja auch Ausnahmezustand auf Zeit genannt. Man sucht einen Raum, der nicht schon tausendfach überdefiniert ist und in dem man gewisse Freiheiten hat. Als IBA'27 in der Region Stuttgart stehen wir vor dem Hintergrund des Weißenhofs und auch vor dem Hintergrund der beeindruckenden Stuttgarter Ingenieurtradition und Architekturgeschichte. Da versuchen wir natürlich schon, nicht nur Ventil zu sein, sondern wirklich auch spektakulär und prägend. Wir nehmen die drei Buchstaben sehr ernst: International relevant und zwar in beide Richtungen. Wir möchten die Welt hierherholen, um die Planung hier in der Region im Diskurs zu befruchten, und wir möchten so attraktiv sein, dass die Welt auf uns schaut. Das sind alles hehre Ansprüche. Noch nicht eingelöst, aber das muss unser Anspruch sein. Wir möchten bauen. Manche IBAs schaffen diesen Sprung zu wenig. Und wir möchten am Schluss eine attraktive, physisch besuchbare Ausstellung sein, die mit gebauten Beispielen einen relevanten Beitrag zur Diskussion leistet. Wir sind dafür gut aufgestellt, wir sind autonom, wir sind eine eigene GmbH mit jetzt 20 Leuten. Da sind wir im Verhältnis zu anderen IBAs sehr gut ausgestattet. Wir haben also zumindest mal den institutionellen Rahmen, um diesen Anspruch stellen zu können und ihn vielleicht auch einzulösen.

#### DIPL. ARCHITEKT ETH ANDREAS HOFER

Andreas Hofer studierte Architektur an der ETH Zürich. Er ist seit Anfang 2018 Intendant der Internationalen Bauausstellung 2027 StadtRegion Stuttgart (IBA'27).

In Zürich war er Partner im Planungs- und Architekturbüro Archipel und engagierte sich für den genossenschaftlichen Wohnungsbau bei der Verbandsarbeit und als Berater. Aus dieser Tätigkeit entstanden die Genossenschaften Kraftwerk1 und »mehr als wohnen«.

Andreas Hofer publiziert regelmäßig in verschiedenen Medien zu Architektur-, Städtebau- und Wohnungsfragen, begleitet Wohnbauprojekte als Jurymitglied in Wettbewerben und engagiert sich in der Lehre an Hochschulen.

**Bauen+:** Dann ist die IBA tatsächlich schon was Besonderes in Stuttgart im Vergleich zu den anderen?

**Andreas Hofer:** Wir IBA-Macher kennen uns natürlich untereinander. Es gibt ein Netzwerk. Wir tauschen uns aus. Wir wollen aber natürlich schon ein bisschen Wettbewerb. Wir in der Region Stuttgart möchten zeigen, dass das IBA-Format auch wieder diese Bedeutung haben kann, wie eine IBA auf dem Weißenhof. Gerade vor den gesellschaftlichen und technologischen Umbrüchen, die wir im Moment erleben – beschleunigt durch die Corona-Geschichte.

**Bauen+:** Abschließend will ich die vorangegangene Frage nochmals aufgreifen. Ist die IBA inflationär? Brauchen wir weitere IBAs? Bringen uns diese noch voran oder müsste das Modell »IBA« vielleicht einmal überdacht werden? Sie haben sehr schön dieses Ventil zitiert, das die IBA sein kann – spektakulär und prägend zu sein.

**Andreas Hofer:** Mein Zwischenfazit im Moment ist, dass es vermutlich mehr Ventile braucht. Bis hin zur Gesetzgebung. Die Überregulation, die wir haben, ist ein Jammer. Das Land hat sich in ein Korsett der Ängstlichkeit begeben, ein Korsett der doppelten Absicherung. Damit kannst du viele Probleme, die sich heute stellen, einfach nicht mehr lösen. Ich würde empfehlen, dass man sich ernsthaft darüber Gedanken macht, wie eine Baugesetzgebung und wie Bauprozesse gestaltet werden können, dass sie wieder mehr Lust machen, schneller funktionieren. Ich meine das jetzt nicht in einem plumpen Liberalismus, aber wir müssen uns schon fragen, wo der sehr enge Rahmen gute Dinge verhindert, die für Gesellschaft und die Städte notwendig wären. Wenn es mehr Ventile, andere Formate der Öffnung, des Ausprobierens gäbe, dann könnte vielleicht die IBA als solche wieder stärker wirklich zu einem Monument werden, das echte Paradigmenwechsel anstößt und ganz neue Dinge exemplarisch demonstriert an einem bestimmten Ort für eine bestimmte Zeit.

**Bauen+:** Aber IBA dann wieder konzentriert auf eine Stadt oder eben eher auf eine Stadt-Region?

**Andreas Hofer:** Das ist eine sehr schwierige Frage. Meine Aufgabe ist ja eigentlich unmöglich: In einem Raum mit 179 Kommunen und 2,8 Mio. Menschen eine Ausstellung zu veranstalten, die eine Sichtbarkeit hat, das ist ja eigentlich völliger Wahnsinn. Gleichzeitig ist es aber auch richtig. 60 Wohnungen auf dem Weißenhof von 15 berühmten Architekten – das macht heute keinen Sinn mehr. Wir müssen uns mit den regionalen und mit den strukturellen Fragen des Wohnens, des Arbeitens, der räumlichen Gliederung auseinandersetzen. Und dann landest du bei der Region.

Man muss aber schon aufpassen, dass die IBA nicht zu einem Planungsinstrument wird. Die IBA soll das Exemplarische, das Experimentelle, auch das Freie, das zeitlich Begrenzte behalten.

**Bauen+:** Vielen Dank für das interessante Gespräch!

Das Interview führte Klaus-Jürgen Edelhäuser, Redakteur der **Bauen+**.

# »Denkmalpflege ist Nachhaltigkeit«

*Mathias Pfeil, Generalkonservator des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege, betont im Interview mit Klaus-Jürgen Edelhäuser die Nachhaltigkeit von Denkmalpflege. Er stellt heraus, dass unter Denkmalschutz stehende Gebäude sich nach hochwertigen energetischen Ansprüchen sanieren lassen und welche Vorteile eine Sanierung gegenüber einem Neubau hat.*



© Michael Forstner

Interviewpartner Prof. Mathias Pfeil, Generalkonservator des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege

**Bauen+:** Beim Thema »Bauen« richtet sich heute der Fokus mehr und mehr auf die Themen Energieeffizienz und Nachhaltigkeit. Hin und wieder hat man den Eindruck, dass die »Baukultur« eher als Nebensache in den Hintergrund tritt. Der Oberbürgermeister einer größeren Stadt in Baden-Württemberg hat sich sogar öffentlich so geäußert, dass ihm die »Gestaltung von Gebäuden weniger wichtig ist als die Energieeffizienz«. Unabhängig vom Denkmal: Bleibt Ihrer Meinung nach die »Baukultur« auf der Strecke und dominieren aktuell beim Bauen die rein technischen Aspekte?

**Mathias Pfeil:** Ich sehe es als die Aufgabe von Architekten und Ingenieuren, Umwelt zu gestalten. Diese Art der Umweltgestaltung muss natürlich technisch funktionieren und auch gestalterisch überzeugen – das kann man nicht trennen. Ich kann also nicht das eine oder das andere machen, ohne die Dinge miteinander verbunden zu sehen. Was ich schade finde, ist, wenn Bauen ohne gestalterische Ansprüche vonstatten geht – dazu ist es einfach auch zu teuer. Wenn Sie ein Gebäude erstellen, gestalten Sie immer auch einen Teil Umwelt, der allen Menschen dienen muss.

Ich denke schon, dass es auch für das Empfinden der Menschen viel ausmacht, wo sie leben. Wenn sie in einem Gewerbegebiet leben, sind sie vermutlich unglücklicher, als wenn sie in einer historischen Altstadt ihre Umgebung finden. Auch die Gebäude, die allen technischen Standards entsprechen, können schön sein. Und man sollte sich bemühen, Gebäude eben auch so zu gestalten.

Ich glaube aber auch, dass die Architekten letztlich nicht mehr die Entscheidenden sind. Das sind inzwischen die Bauherren. Welcher Architekt plant denn schon noch ein Gebäude abschließend? Architekten sind oft nur noch dazu da, dass sie bestehende Lösungen irgendwie zusammenbringen. Ich glaube, der gestaltende Architekt, der sich wirklich Gedanken um Gebäude macht, ist selten geworden. Wenn ein Architekt dann aber doch die Aufgabe bekommt, gestaltend tätig zu sein, dann soll er sich bitte schön auch Mühe geben.

Es wird schon ziemlich viel schachbrettartiger Mist gebaut. Natürlich hat jede Zeit ihre Sprache. Wenn ich mir aber die Architektenwettbewerbe anschaue oder die Werke von herausragenden Architekturbüros, dann wundere ich mich schon, wie viel wirklich Vergleichbares, fast schon Identisches, hingestellt wird. Meist sind es Rechteckfenster und schmucklose Fassaden mit Flachdach. Das wird mal unsere Zeit prägen. Ich werde es nicht mehr erleben, dass so etwas auf die Denkmalliste kommt.

**Bauen+:** Ich greife noch mal den eingangs bereits genannten Begriff »Nachhaltigkeit« auf. Ich kenne viele Menschen, die diesen Begriff nicht mehr hören können, da er inflationär eingesetzt wird und der Kerngedanke oft in Vergessenheit geraten ist. Der Begriff »Nachhaltigkeit« beinhaltet ökologische, ökonomische und soziale Aspekte gleichermaßen. Bei den sozialen Aspekten wird in der Literatur in der Regel auch die Denkmalpflege mit genannt. Ist Denkmalpflege nur wegen der »sozialen Aspekte« nachhaltig? Oder was macht Denkmalpflege noch nachhaltig?

**Mathias Pfeil:** Ich glaube, auch hier ist die Denkmalpflege nicht allein maßgeblich. Das Thema Nachhaltigkeit sollte man beim Bauen – jedenfalls beim Bauen im Bestand – grundsätzlich sehen. Nachhaltigkeit bedeutet, unnötige Ausgaben und unnötigen Verbrauch so weit als möglich zu reduzieren. Wir haben ja nur 1,5 % Denkmäler in Bayern. In Großstädten ist es etwas mehr – in München sind es 4 %. Die Masse sind die Bestandsgebäude. Und hier stellt sich die Frage: Wie gehe ich mit Gebäuden um? Die Frage der Nachhaltigkeit muss also schon größer gesehen werden.

Ein wichtiger Aspekt – auch im Sinne der Nachhaltigkeit – ist die graue Energie. Ein Stahlbeton-Skelettbau ist beispielsweise ja nicht unbedingt »kaputt«, wenn die Fassade entfernt wird. Wie kann ich das, was mal gebaut wurde, auch weiterhin nutzen und dessen Attraktivität steigern?

Es ist aus meiner Sicht auch ganz wichtig, dass man im Sinne der Nachhaltigkeit beim Bauen im Bestand auch die Flächenreduzierung im Auge hat. Flächenverbrauch oder Flächennutzung heißt eben auch, die Flächen werden immer teurer. Wie ermögliche ich den Menschen denn attraktive Wohnformen? Und da meine ich, dass der reine Neubau, das Gebäude auf der grünen Wiese, tatsächlich nicht mehr unser Ziel sein kann.

Ich glaube, dass Denkmäler immer moderner werden, weil das Bauen im Denkmal tatsächlich gelebte Nachhaltigkeit ist. Und wir erleben jetzt gerade in den Zeiten, in denen Ressourcen knapp werden, wie wichtig es ist, dass man nachhaltig denkt. Denkmäler sind von der städtebaulichen Struktur, von den verwendeten Materialien und von den Bauformen Nachhaltigkeit pur.

Um das Planen und Bauen im Bestand und im Denkmal zu erleichtern, sollten meines Erachtens aber auch die Planer und Bauherrn Erleichterungen im Rahmen der Verordnungen haben: Muss es denn wirklich sein, dass ich für Bestandsgebäude dasselbe Regelwerk nehme, wie für Neubauten? Kann ich nicht sagen: Das, was schon einmal genehmigt wurde, hat Bestand im weitesten Sinne des Wortes? Ich denke, wir brauchen beispielsweise neben der Bayerischen Bauordnung auch eine Umbauordnung, bei der tatsächlich auch mehr Gedanken darauf gelegt werden, diejenigen Planer und Bauherren zu belohnen, die im Bestand bleiben.

**Bauen+:** Ich komme noch mal kurz auf die »sozialen Aspekte« als Kriterium der Nachhaltigkeit zurück. Vereinfacht gesagt geht es also um das Ambiente, das uns historische Gebäude oder Plätze bieten, eine Umgebung, in der wir uns wohlfühlen. Die »neue Altstadt« in Frankfurt (eigentlich ein begrifflicher Widerspruch in sich) oder

#### PROF. DIPL.-ING. MATHIAS PFEIL

Prof. Pfeil studierte Architektur an der TUM und legte im Anschluss die zweite Staatsprüfung im Fachgebiet Städtebau (Regierungsbaumeister) ab. Erst Referent in der Städtebauförderung der Regierung von Schwaben, dann Stadtbaurat von Waldkirch, war Prof. Pfeil sodann Städtebauförderungsreferent an der Regierung von Oberbayern. Im Anschluss ging er der Tätigkeit an der Obersten Baubehörde im bayerischen Staatsministerium des Inneren nach, danach wurde Prof. Pfeil als Referatsleiter (ab 2004 Ministerialrat) in die Bayerische Staatskanzlei an den Standort Brüssel versetzt. Von 2006 bis 2014 war er Leiter der Bauabteilung der Bayerischen Schlösserverwaltung, seit März 2014 ist er Generalkonservator des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege.

auch der Neubau des Schlosses in Berlin, um nur zwei Beispiele zu nennen, bieten uns energieeffiziente Häuser in einer historisch anmutenden »Wohlfühl-Architektur«. Der Vertreter einer Energieagentur sprach bei einem Vortrag in diesem Zusammenhang auch einmal vom »denkmalgerechten Ersatzneubau«. Wie sehen Sie als ranghöchster Denkmalpfleger in Bayern solche Entwicklungen?

**Mathias Pfeil:** Ich finde zwar auch, dass man Denkmäler nicht unbedingt nachbauen muss. Stattdessen sollte man darauf achten, die bestehenden Denkmäler zu erhalten. Aber es zeigt doch auch ein Bedürfnis der Menschen in Frankfurt, in einem Umfeld zu leben, das jetzt zwar fiktiv nachgebaut ist, das aber letztlich dann eben schon die Qualitäten eines historischen Ortszentrums oder Stadtzentrums hat, nämlich: menschlicher Maßstab, nicht zu große Freiflächen, enge Räume. Einfach ein menschengerechtes Umfeld und vielleicht auch ein bisschen die Idee, dass das, was die Menschen vor Ort auch kulturhistorisch ausgemacht hat, sichtbar wird. Also eine Architektursprache, die traditionell ist. Wenn sie es nicht mehr haben, bauen sie es eben nach. Ich kann es verstehen. Es ersetzt aber auf gar keinen Fall die Denkmalpflege.

Unter denkmalfachlichen Aspekten ist der Römer in Frankfurt ein Neubau, sonst gar nichts. Aber unter emotionalen Aspekten finde ich es eigentlich ganz lustig, dass sich die Menschen diese Mühe machen, etwas zu wiederholen, was sie verloren haben. Einfacher ist es natürlich, den Bestand nicht zu zerstören. Aber eigentlich freut es mich. Es zeigt das Bedürfnis der Menschen in Frankfurt, dass die Hochhäuser allein von Weitem vielleicht nett sind, aber nicht, wenn man darin lebt und dass das, was in der Nachkriegszeit aus den Trümmern gemacht worden ist, vielleicht doch nicht so ganz das Richtige war.

**Bauen+:** Denkmäler haben oft den Ruf, dass eine zeitgemäße Nutzung nicht oder nur schwer erreichbar ist – auch wenn es natürlich zahlreiche Beispiele gibt, die das Gegenteil beweisen. Wenn bauliche Eingriffe stattfinden sollen, beispielsweise zur energetischen Verbesserung, wird die Denkmalpflege oft als »Verhinderer« degradiert. Sind die Denkmalpfleger wirklich so schlimm? Können nicht auch Denkmäler weiterentwickelt werden?

**Mathias Pfeil:** Es gibt ganz wenige Denkmäler, die man nicht verändern sollte, weil sie einfach in ihren Aussagen so dicht sind, dass sie praktisch tatsächlich musealen Charakter haben. Das sind aber die Allerwenigsten. Denkmäler sind in der Regel Gebäude, die mehrere hundert Jahre alt sind. Diese Gebäude wurden in der Vergangenheit alle verändert, weil sich die Gebäude immer an die Lebensverhältnisse anpassen mussten. Sonst wären oder sind sie abgerissen worden. Vor diesem Hintergrund sind die meisten Denkmäler ohnehin schon Beispiele der Nutzungsanpassung und das kann man heute natürlich immer noch machen.

Es geht allerdings auch immer darum, mit welcher Qualität des Nachdenkens man an solche denkmalgeschützten Gebäude herangeht. Wir haben jetzt z.B. die Aufgabe, zu prüfen, ob die Landesstelle für die nicht staatlichen Museen, die von München nach Weissenburg verlagert wird, dort in einem ehemaligen Kloster untergebracht werden kann. Ein

Kloster war ja keine Behörde. Aber ich sage Ihnen, da finden wir Lösungen, die viel spannender sind, als wenn man es neu planen würde. Gerade der Umbau im Denkmal, das Nachdenken über die Qualitäten von Räumen ist viel intensiver, als wenn Sie es einfach nur neu planen würden. Und deswegen glaube ich, dass gerade in der Nutzung von Denkmälern ein Reiz liegt, den sie sonst eigentlich nicht haben. Ich will nicht sagen, dass Denkmalpflege besser als Neubau ist, aber – überraschender in jedem Fall. Auf jeden Fall haben Sie dann die Geschichte noch mit dabei, die Identität und die Nachhaltigkeit.

Was das Bauen im Denkmal interessant und spannend macht, ist die Tatsache, dass ein Denkmal »lebt«. In einem Denkmal – das sage ich oft und gerne – hat man geliebt, ist man geboren, ist man auch gestorben und es kam wieder eine neue Generation. Und diese Generationenfolge hat sich mit dem Gebäude beschäftigt und es immer wieder angepasst. Es spiegelt eben Geschichte wider – das ist ein Neubau erst, wenn er ein paar hundert Jahre alt wird. Wenn man sich überlegt, dass das durchschnittliche Alter eines Denkmals wirklich sehr grob gerechnet 150 Jahre ist und wir bei einem Neubau von ca. 30 bis 50 Jahren ausgehen können, dann sieht man schon auch, wie stark sich diese Denkmäler einfach schon bewährt haben und die verschiedensten Phasen der gesellschaftlichen Ideen überlebt haben. Das müssen Neubauten erst einmal hinkriegen.

**Bauen+**: Gerade im Kontext der energetischen Modernisierung werden oft Fronten konstruiert: Häufig bekommt man den Eindruck, dass Energieeffizienz und Denkmalpflege als konträre Interessen gesehen werden. Einfach gefragt: Ist eine denkmalgerechte energetische Modernisierung heute nicht selbstverständlicher Standard?

**Mathias Pfeil**: Zunächst mal ist ein Denkmal natürlich ein unter Schutz gestelltes Gebäude. Und eine Unterschutzstellung impliziert natürlich auch, dass sie nicht alles damit machen können. Die Unterschutzstellung bringt also auch einen gewissen Eingriff in die freie Verfügbarkeit des Eigentums mit sich. Dies vor dem Hintergrund, um für das Wohl der Allgemeinheit einen Mehrwert zu bilden. D.h., ein Denkmal gehört einem schon, aber auch der Allgemeinheit. Und diese hat ein Anrecht darauf, dass man als Denkmaleigentümer mit diesem Gebäude, das ja für etwas steht, was die eigene Geschichte bedeutet, nicht alles machen kann.

Wenn es nun um Energieeffizienz und Nachhaltigkeit geht, darf man nicht vergessen, dass diese Gebäude in der Regel schon vom Planungsansatz her nachhaltig sind. Man hat sich beispielsweise nach der richtigen Wetterseite orientiert, man hat die Größe von Öffnungen so gestaltet, dass der Energieaustritt nicht so hoch ist, die Gebäude haben meistens auch eine Wanddicke und -materialien, die für die Wärmeeffizienz auch heute noch recht guten Standards entsprechen. Da gibt es in der Regel sehr gute Möglichkeiten, Denkmäler auch energetisch weiter zu ertüchtigen.

Es gibt im Denkmal die unterschiedlichsten Möglichkeiten, ein Gebäude so zu modernisieren, dass das Denkmal

auch ganz hochwertigen energetischen Ansprüchen genügt. Eine Innendämmung ist häufig möglich. Sie können oft mit entsprechenden Raumtemperierungsmöglichkeiten arbeiten, Sie können auch in der Regel die aktuellen technischen Standards wie Lüftungsanlagen oder Fußbodenheizungen realisieren. Auch die Dämmung von Dächern oder Geschossdecken ist in der Regel machbar. Ich habe, ehrlich gesagt, noch kein Denkmal erlebt, das man energetisch nicht so ausrüsten kann, sodass es den heutigen Aspekten entspricht. Sie müssen sich mit einem Denkmal natürlich anders beschäftigen, als wenn Sie neu bauen.

**Bauen+**: Ein aktuelles Schlagwort im Bauwesen ist ja »Cradle to Cradle« – also nicht von der Wiege zur Bahre, sondern von der Wiege zur Wiege. Baustoffe sollen, vereinfacht gesagt, nach dem Rückbau wieder für die Errichtung neuer Gebäude verwendet werden. Mit dem Leitgedanken der Reparatur und der »Weiterverwendung« des Bestands folgt doch Denkmalpflege eigentlich damit diesem hochmodernen Ansatz. Wie sehen Sie das? Ist Denkmalpflege damit vielleicht sogar moderner als manche vermuten?

**Mathias Pfeil**: Ja sicher. Ich denke immer, die Denkmalpflege oder die Denkmäler haben sich über Jahrhunderte bewährt. Jetzt ist es natürlich so, dass wir in einer Zeit leben, in der es sehr viel mehr Menschen gibt, in der auch die Arbeitsprozesse anders sind als früher. Aber die Gesellschaften, die es früher gab, waren im Grundsatz nicht wirklich viel anders. Und ich glaube, wir haben ganz große Chancen auch im Bereich des digitalen Arbeitens. Wenn die Menschen wieder da arbeiten können, wo sie leben, dann brauchen wir vielleicht nicht mehr so große Bürokomplexe und nicht so große Industriegebiete und dann dürften diese Gebäude, die schon immer Arbeiten und Wohnen miteinander verbunden haben, noch besser passen. Also ich lege wirklich ganz viel Wertschätzung in den Bereich des technologischen Fortschritts. Auch die Corona-Krise hat uns gezeigt, dass Arbeitsplätze sehr verändert werden können. Wir haben beispielsweise schon jetzt im Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege die Hälfte unserer Kolleginnen und Kollegen in Heimarbeit sitzen. Das funktioniert. Und wenn das noch besser läuft und wir beispielsweise auch eine bessere Internet-Infrastruktur haben, dann glaube ich ganz ehrlich, haben wir mit den Denkmälern eigentlich fast schon ideale Wohn- und Arbeitsformen, die beispielgebend auch für Neubauten sein werden. Auch die städtebaulichen Strukturen, die früher gewählt wurden, sind wesentlich effizienter als heutige Ideen. Man kann von Altem auch sehr viel lernen.

**Bauen+**: Es gibt immer mehr Gebäude der Nachkriegsmoderne, die unter Denkmalschutz stehen. Oft handelt es sich hier um Beton-Bauwerke, die, bedingt durch ihre Bauweise, wahre Energieschleudern sind – oder als solche wahrgenommen werden. Erst letztes Jahr gab es heftige Diskussionen zum Aalener Rathaus, bei der sich der bekannte Architekt Werner Sobek zum »sanften Sanieren« positioniert hat. »Abreißen wäre ein gewaltiges

*»Was das Bauen im Denkmal interessant und spannend macht, ist die Tatsache, dass ein Denkmal ›lebt.‹«*

Verschleudern von Ressourcen« wurde Sobek in der Presse zitiert. Meinen Sie, solche Denkansätze können sich durchsetzen? Welche Relevanz hat die Nachkriegsarchitektur für die Denkmalpflege?

**Mathias Pfeil:** Ich glaube, die graue Energie lässt sich ebenso durchsetzen wie die Nachhaltigkeit. Ich glaube aber auch, der Betonbrutalismus lässt sich nicht durchsetzen. Aber was macht denn die Denkmalpflege? Wir setzen ja nicht jedes Gebäude der Nachkriegsmoderne auf die Liste, sondern nur die Ausgewählten, also diejenigen, die für diese Zeit schlicht so gut sprechen, wie es andere nicht tun. Von daher muss man nicht befürchten, dass wir es mit einer Flut von Denkmälern der Nachkriegsmoderne zu tun haben werden. Unter Schutz gestellt werden nur die Gebäude, die für diese Zeit ausdrucksstark – wie andere nicht – sprechen.

Ich glaube tatsächlich schon, dass die Nachkriegsmoderne in der Architektursprache Fehler gemacht hat, dass hier städtebauliche Maßstäbe mit Absicht gebrochen worden sind, um ganz harte Zeichen zu setzen. Die werden wir nicht alle auf die Liste nehmen, aber einige davon schon, die eben noch besonders starke Aspekte dieser Zeit zeigen.

Das ist auch eine Zeitschicht, deren Gebäude eine wichtige Aussage haben. Die Gesellschaft war damals so. Und dann steht da eben mal ein vermeintlich »scheußliches« Kaufhaus in der Mitte der Stadt da. Es gibt in Art. 1 des Bayrischen Denkmalschutzgesetzes auch den Aspekt des künstlerischen Werks. Da muss man auch die Offenheit haben, das zu sehen. Es gab in der Zeit der Nachkriegsmoderne sehr viele mittelmäßige Gebäude. Keine Angst, die stellen wir nicht unter Schutz.

**Bauen+:** Wie sehen Sie die Chance, ganz generell der Denkmalpflege – gerade auch im Kontext der Energieeffizienz-Diskussionen – ein besseres Image zu geben und gerade auch den Aspekt »Denkmalpflege ist Nachhaltigkeit« weiter in der Öffentlichkeit zu platzieren?

**Mathias Pfeil:** Durch gute Beispiele. Gute Beispiele schaffen eine Akzeptanz in der Bevölkerung, die in der Folge dazu führt, dass auch die Politik es durchsetzen will. Daher glaube ich schon, dass wir sowohl bei den Menschen, aber auch bei der Politik schlicht und einfach noch Aufklärungsarbeit machen müssen und zeigen müssen, dass das Sinn macht. Die Dinge, die wir tun, müssen sinnvoll sein, sie müssen einen Mehrwert beinhalten und ohne Frage haben diese Ansätze Mehrwert, den man kommunizieren muss.

Ich glaube, die Nachnutzbarkeit, die Weiternutzbarkeit und die Beweglichkeit von Denkmälern sind sehr groß. Da sollten wir klug genug sein, uns Gedanken zu machen, wie wir vonseiten der Denkmalbehörde mit den gesellschaftlichen Bedürfnissen umgehen können. Denkmalpflege ist Nachhaltigkeit. Im Denken, im Planen, in der Verwendung der Materialien, im Ansatz – das alles muss man besser erläutern und auch zeigen. Wir sind so was von grün, das kann man sich eigentlich gar nicht vorstellen. Grün und konservativ.

**Bauen+:** Ganz herzlichen Dank, dass Sie sich Zeit für uns genommen haben!

Das Interview führte Klaus-Jürgen Edelhäuser, Redakteur der **Bauen+**.

Anzeige

**BAUSUBSTANZ**  
Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege

**NEUES WISSEN ÜBER ALTE BAUWERKE**

Die **BAUSUBSTANZ** ist die Fachzeitschrift für alle, die sich professionell mit der Instandhaltung, Sanierung, Restaurierung und Pflege alter Bauwerke beschäftigen. Mit einer Mischung aus Reportagen über gelungene Sanierungsobjekte, der Vorstellung von Techniken, Baustoffen und Verfahren sowie wissenschaftlichen Beiträgen bietet Ihnen die **BAUSUBSTANZ** Neues, Bewährtes und Wichtiges aus dem weiten Feld der Bausanierung.

**Fraunhofer IRB Verlag**

**www.bausubstanz.de**

**10 Jahre BAUSUBSTANZ**

erscheint 6 x jährlich  
ca. 64 Seiten je Heft

# »Lehmmauerwerk kann einen wichtigen Beitrag im Hinblick auf die Nachhaltigkeit des Bauens leisten«

Der international ausgewiesene Fachmann für Mauerwerksbau, Professor Wolfram Jäger, spricht im Interview mit Raik Hartmann für die **Bauen+** über die Zukunft des Lehmhauses in Deutschland, die Rolle von Forschung und Industrie sowie über Herausforderungen und Schwierigkeiten für die Forschung.



© Raik Hartmann

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger auf der Baustelle des Pilothauses aus Lehmmauerwerk in Meißen

**Bauen+:** Herr Professor Jäger, Sie sind ein international ausgewiesener Fachmann für den Mauerwerksbau. Sie haben die Standard-Publikation »Mauerwerk-Kalender« über viele Jahre herausgegeben, waren Schriftleiter der Zeitschrift »Das Mauerwerk« und vertreten Deutschland in mehreren europäischen Normenausschüssen unter anderem im Mauerwerksbau. Als Ingenieur waren Sie an der Planung herausragender Mauerwerksbauten beteiligt, unter anderem bei der Frauenkirche in Dresden und der Elbphilharmonie in Hamburg. Wie kommt es nun zu Ihrem Engagement im Lehmhaus?

**Wolfram Jäger:** Angeregt wurde ich durch unser Engagement beim Wiederaufbau der Zitadelle von Bam im Südosten des Irans. Es handelt sich dabei um den größten Lehmkomplex auf der Welt, der bei einem Erdbeben im Dezember 2003 fast völlig zerstört wurde. Um den Wiederaufbau erdbebenresistent zu realisieren, haben wir viel geforscht und an dem »Sistani Haus« beispielhaft umgesetzt. Die Zitadelle existiert seit 2500 Jahren. Die Menschen haben die Häuser und Einrichtungen mit einfachsten Mitteln gepflegt und Schäden immer wieder selbst ausgebessert. Der Lehm wurde vor Ort gewonnen, die Steine mit der Hand geformt, in der Sonne getrocknet und dann mit Lehm vermauert. Die Häuser haben in der Winterzeit Wüstenstürme

und Wolkenbrüche überstanden, im Sommer bieten sie ein angenehmes Wohnklima. Natürlich kann man diese absolut energiesparende Bauweise nicht einfach in unsere heutige Gesellschaft mit ihren Anforderungen an das Lebensniveau transportieren, sondern man muss die Idee transformieren, um sie zu nutzen.

**Bauen+:** Der Umgang mit unserer Umwelt ist zu einem Kernthema unserer Zeit geworden. Warum kann gerade Lehmmauerwerk einen wichtigen Beitrag dazu leisten?

**Wolfram Jäger:** Lehmmauerwerk kann einen wichtigen Beitrag im Hinblick auf die Nachhaltigkeit des Bauens leisten. Es werden 70 % der sonst üblichen Energie bei der Herstellung der Steine gespart und die Vorteile des Massivbaus in Bezug auf das Raumklima bewahrt. Das wird erreicht, indem die vorhandenen technologischen Linien zur Produktion von Ziegeln genutzt werden und lediglich das Brennen entfällt. Die Trocknung der Steine erfolgt mit der Abwärme des Brennprozesses für Ziegel, auf die man nicht ganz verzichten wird. Dadurch, dass die Vermauerung mit einem Lehmmörtel erfolgt und das Verputzen ebenfalls, können die Steine am Ende des Lebenszyklus eines Hauses 1:1 als Rohstoff in die Steinproduktion zurückgeführt und auf gleicher Prozessebene wieder eingesetzt werden.

Der Rohstoff Lehm wird also nur noch einmal der Natur entnommen, weshalb die Bauweise auch ein Beitrag zur Ressourcenschonung ist.

**Bauen+:** Holzbau als Alternative zum Massivbau ist eine Art Aushängeschild für ressourcenbewusstes Bauen geworden. Warum ist der Lehmhaus bisher unterrepräsentiert? Holz ist zwar ein nachwachsender Rohstoff, kann aber am Ende nicht auf gleicher Prozessebene wiedereingesetzt werden.

**Wolfram Jäger:** Der Lehmhaus ist in unserer Gesellschaft als Bauweise armer Leute bekannt und außerdem feuchteempfindlich. Sicher wird er in begrenztem Umfang von umweltbewussten Menschen genutzt, denen aber die Kenntnisse zu tragendem Mauerwerk fehlen. Deshalb wollen wir nicht unbedingt mit selbst geformten Lehmsteinen aus dem Garten arbeiten, sondern mit hochentwickelten Erzeugnissen unserer Mauerwerksindustrie, die die Anlagen dazu besitzt, Steine in konstanter und hoher Qualität zu produzieren. Und wie bei jedem Baustoff kann man die weniger guten Eigenschaften durch fundierte Überlegungen kompensieren, indem man gewisse Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze beachtet. Wenn man das tut, hat der Lehmhaus eine Chance. So kann man sich vorstellen, dass er in Bälde einen zweistelligen Marktanteil des Mauerwerksbaus einnimmt. Der Weg dahin wird über ein zweigeschossiges Pilotheum gehen, das die Machbarkeit und die Leistungsfähigkeit des modernen Lehmhauses in unseren Breiten demonstrieren wird.

**Bauen+:** Hersteller betreiben üblicherweise ebenfalls Forschung, um die besten Ideen und Baustoffe vermarkten zu können. Wenn den Steinherstellern bekannt ist, dass Ressourcen gespart und letztlich Geld bei der Herstellung gespart werden kann: Warum wurde der Ansatz bisher nicht verfolgt?

**Wolfram Jäger:** Weil die Machbarkeit in unseren Breiten bisher nicht unter Beweis gestellt werden konnte. Es gab vor über zehn Jahren einen ersten Ansatz, der aber als solcher stecken geblieben ist. Die notwendigen Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze zur Anwendung industriell gefertigter Lehmsteine waren von uns noch nicht zusammengestellt. Über diese erst nach 2015 im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« des BBSR erforschten Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze wurde in der zurückliegenden Ausgabe Bauen+ 5/2020 berichtet. Wenn

© Raik Hartmann



Modernes Lehmmauerwerk, Sockelanschluss: Anwendung im Neubau des Zinzendorf-Gymnasiums in Herrnhut

man sie kennt, ist es einfach, sie umzusetzen und dann gibt es kein Hindernis mehr bei der Anwendung von Lehmmauerwerk.

**Bauen+:** Die Grundlagen für das moderne Lehmmauerwerk haben Sie ja bereits erforscht. Wann und wo ist die Realisierung des Pilotgebäudes zu erwarten und welche Schwierigkeiten entstanden bei der Förderung des Anschlussprojekts?

**Wolfram Jäger:** Wir brennen schon seit über einem Jahr darauf, endlich mit dem Pilotheum beginnen zu können. Die Baugenehmigung liegt bereits eine Weile vor, nur hatten wir wirklich mit einer Förderung durch das BBSR gerechnet, die nun leider ausbleibt. Als Grund wurde angegeben »zu wenig Forschungsgehalt«. Man muss ein Haus aber bauen, um die bisherigen Forschungsergebnisse 1:1 verifizieren und publik machen zu können. Dass dabei jeder Schritt forschungsmäßig beobachtet, ausgewertet und dokumentiert wird, ist doch klar. Deshalb ist es ein Pilotheum.

Inzwischen haben wir mit dem Bau begonnen, die Bodenplatte ist fertig und die ersten Steine werden gerade vermauert. Die Baustelle befindet sich in der wunderbaren Porzellan- und Weinstadt Meißen am Rande des Neubaugebietes Niederauer Straße, in idyllischer Lage am Ausgang des Leitmeritzer Bogens vor einem Weinhang.

**Bauen+:** Wie geht es weiter?

**Wolfram Jäger:** Wir sind dabei eine Massivhausfirma »auszutragen«, die zukünftig Lehmhäuser schlüsselfertig baut und somit das akkumulierte Wissen geballt in Sachsen und der ganzen Bundesrepublik anbietet. Bauwillige erhalten die Leistungen von der Planung bis zur Übergabe komplett aus einer Hand. Ziel ist dabei, das Aktivhauskonzept vollständig umzusetzen. Schauen Sie einfach einmal nach unter [www.GreenConceptLehm.de](http://www.GreenConceptLehm.de).

**Bauen+:** Herr Professor Jäger, vielen Dank für Ihre Zeit und den Einblick in Ihre Forschungsarbeit.

Das Interview führte Dr.-Ing. Raik Hartmann für die **Bauen+**.

### PROF. DR.-ING. WOLFRAM JÄGER

Professor Jäger ist international einer der profiliertesten Experten für den Mauerwerksbau. Nach seinem Facharbeiterabschluss als Maurer studierte er Bauingenieurwesen, gründete ein Büro für Tragwerksplanung und wurde Prüfingenieur. Von 1998 bis 2019 hatte er die Professur für Tragwerksplanung an der TU Dresden inne. Prof. Jäger vertritt Deutschland seit vielen Jahren in mehreren europäischen Normenausschüssen, hat eine Vielzahl von Fachbeiträgen veröffentlicht und war Herausgeber der beiden Standardwerke »Mauerwerk-Kalender« und »Das Mauerwerk«.



Nils Nolting

## **Das Recyclinghaus am Kronsberg in Hannover**

Ein experimentelles Wohnhaus in Recyclingbauweise

54

Achim Pilz

## **Innovative Lüftung eines Mehrfamilienwohnhauses**

Hybridsystem mit weitgehend freier Belüftung und Vorkonditionierung der Zuluft

62

Marc Wilhelm Lennartz

## **Massivholzbau auf der Höhe der Zeit**

Das Lehrschwimmbad der City of London Freemen's School in Ashtead, Großbritannien

66

Susanne Jacob-Freitag

## **Flatiron von Leipzig**

Massivholzbau mit auskragender Gebäudespitze löst Kniffliges

70

Marc Wilhelm Lennartz

## **Ein Campus aus Holz und Glas**

Neuer Standort für die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

76

Susanne Jacob-Freitag

## **Spezialverbund im Knotenpunkt**

Verguss-System und FT-Verbinder für wirtschaftlichen Bürobau

80

Klaus W. König

## **Neue Grundsätze der Regenwasserbewirtschaftung**

Zwei Betriebshöfe erfüllen die künftigen Erfordernisse der lokalen Wasserbilanz schon heute

86

Nils Nolting

# Das Recyclinghaus am Kronsberg in Hannover

## Ein experimentelles Wohnhaus in Recyclingbauweise

Das Recyclinghaus ist ein experimentelles Wohnhaus, das aus gebrauchten, recycelten und recyclingfähigen Bauteilen in recyclinggerechter Bauweise erstellt wurde. Es handelt sich um einen Prototyp, der die Möglichkeiten und Potenziale verschiedenster Arten von Recycling im Reallabor austestet und einen kreislauforientierten und ressourcenschonenden Planungsansatz aufzeigt.



An der Endlichkeit der Ressourcen gibt es seit mehr als drei Jahrzehnten keinen Zweifel. Ebenso lange werden Lösungsvorschläge für die Probleme des Klimawandels auf nachfolgende Generationen verschoben.

Auf das Konto des Gebäudesektors gehen EU-weit rund 50 % des Ressourcenverbrauchs, 33 % des Müllaufkommens, 50 % des Energieverbrauchs und 33 % des Wasserverbrauchs. [1], [2]

Bestrebungen, die negativen Umweltauswirkungen des Bauens zu verringern, beschränkten sich in der jüngeren Vergangenheit vor allem auf die Reduzierung der Verbrauchsentnergie von Gebäuden in deren Betrieb durch verschiedene Strategien der Effizienzsteigerungen bei Gebäudehülle und Haustechnik. Zugleich gehen diese zumeist mit Rebound-effekten [3] einher, die die Erfolge der Effizienzsteigerungen

egalisieren, beispielsweise durch höhere Komfortansprüche und einer Steigerung des Flächenbedarfs pro Kopf.

Die Energie- und Ressourcenaufwendungen für die Gebäudeherstellung stehen hingegen noch selten im Fokus, obwohl der Anteil der »grauen Energie« bei Neubauten in Bezug auf den Gesamtenergiebedarf mit ca. 40 % bis 60 % erheblich ist. [4] Neben einer generellen Reduktion von Bau-tätigkeit und Flächenversiegelung ist eine Strategie zur Verringerung des Ressourcen- und Energieverbrauchs das Herstellen von geschlossenen Stoffkreisläufen bei der Gebäudeproduktion. Hierzu zählt sowohl das Wiederverwenden und Recyceln von Bauteilen und Baustoffen als auch der Einsatz von recyclingfähigen Produkten und eine recyclinggerechte Bauweise. Die Möglichkeiten und Grenzen wurden im Pilotprojekt Recyclinghaus umfassend praktisch erprobt und dokumentiert.

### Projektziel: Wie viel Recycling ist möglich?

Zielvorgabe des 2015 vom hannoverschen Bau- und Wohnungsunternehmen Gundlach ausgelobten Wettbewerbs war der Bau eines Hauses unter 100 %igem Einsatz von Recyclingbaustoffen. Als Ergebnis sollte nicht ein temporäres Gebäude entstehen, sondern ein dauerhaftes Wohnhaus, auch effizient in Bezug auf die Verbrauchsenergie.

### KERNAUSSAGEN

- Experimentelles Wohnhaus in Recyclingbauweise
- Umfassender Einsatz von Gebraucht- und Recyclingmaterialien
- Recyclinggerechte Bauweise

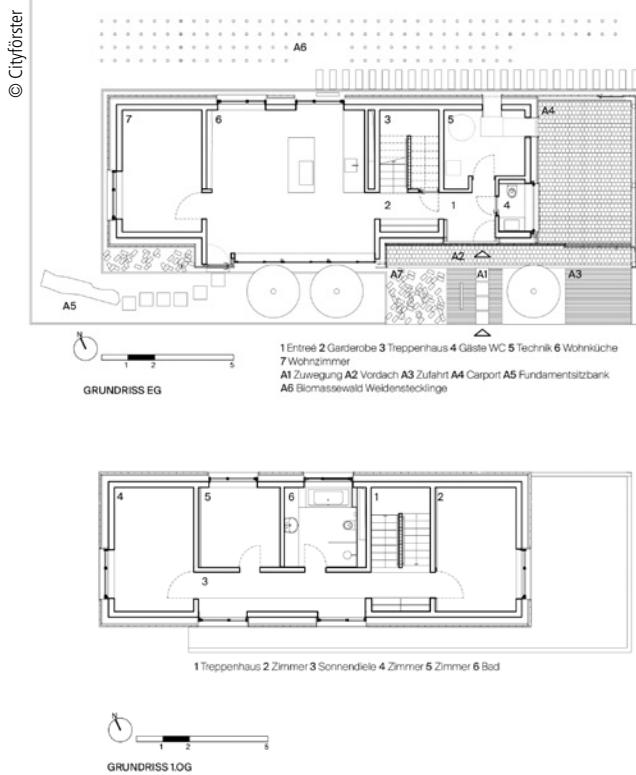


Abb. 1: Grundrisse EG und 1. OG

Das Büro Cityförster konnte den Wettbewerb für sich entscheiden. Mit der Durcharbeitung des Konzepts wurden die anzuwendenden Recyclingstrategien genauer definiert und vertiefend als Projektziele vereinbart:

Mit höchster Priorität sollten gebrauchte Bauteile wieder verwendet werden. Diese sollten möglichst aus den eigenen Gebäudebeständen der Bauherrin stammen, auch mit der Überlegung firmeneigene Stoffströme zukünftig kreislaufgerechter zu organisieren. In gestaffelter Prioritätenabfolge sollten weitere Gebrauchtmaterialien aus lokalen, regionalen oder nationalen Materialquellen bezogen werden, um den Transportaufwand gering zu halten. Darüber hinaus sollten Materialien und Produkte zum Einsatz kommen, die recycelt sind, also bereits weiterverarbeitete, auf dem Baustoffmarkt verfügbare Recyclingprodukte.

Die eingesetzten Bauteile, Materialien und Produkte sollten recyclingfähig sein und recyclinggerecht verbaut werden. D. h., Materialien sollten einstofflich verwendet, auf Verbundwerkstoffe sollte verzichtet werden und die Bauteile sollten dekomponierbar, also möglichst schadensfrei lösbar gefügt werden. Schlussendlich sollte auch während des Bauprozesses im Sinne einer »Zero-Waste-Baustelle« im Hinblick auf Bauabfälle und Zwischenprodukte in Materialkreisläufen gedacht und gehandelt werden.

## Entwurf

Das Recyclinghaus wurde auf dem letzten freien Restgrundstück der Expo Siedlung am Kronsberg in Hannover errichtet. Die unter ökologischen Gesichtspunkten gebaute Siedlung entstand Ende der 1990er-Jahre im Zusammenhang mit der EXPO 2000. Damals wurde erstmals in Deutschland eine Wohnsiedlung mit über 70ha Größe flächendeckend in

Niedrigenergiehaus-Bauweise errichtet. Insofern steht das Haus mit seinem Innovationscharakter in der ökologischen Tradition des Standorts.

Das Wohnkonzept des Hauses sieht die Nutzung durch eine Familie oder Wohngemeinschaft vor. Das Gebäude verfügt über eine Wohnfläche von 156 m<sup>2</sup> zuzüglich eines Carports mit einer Nutzfläche von 20 m<sup>2</sup>. Das Gebäude umfasst bei einer BGF (R) von 275 m<sup>2</sup> zwei Vollgeschosse und ein Staffelgeschoss mit großer Dachterrasse. Das Grundrisskonzept sieht fünf kleine Individualräume zugunsten größerer, gemeinschaftlich nutzbarer Flächen vor. Alle Türen und Fenster wurden ohne Stürze ausgebildet, sodass der Raum ununterbrochen zwischen Innen und Außen sowie zwischen den einzelnen Räumen »fließt«. So entsteht trotz kompakter Grundrissorganisation ein großzügiges Raumgefühl.

Das Recyclinghaus wurde als leimfreier Massivholzrohbau auf einer Gründung aus Recyclingbeton ausgeführt. Das Dach wurde als Warmdach ausgebildet. Die Fassaden wurden als vorgehängte, hinterlüftete Fassaden mit verschiedenen Bekleidungen aus Gebrauchtmaterialien erstellt. Im Innenausbau und im Freiraum kamen ebenfalls fast ausschließlich gebrauchte Bauteile und Recyclingbaustoffe zum Einsatz.

Das Haus erreicht den lokal geforderten Klimaschutzstandard »Kronsberg-Standard«, der neben dem Ausschluss umweltschädlicher Baumaterialien einen energetischen Standard von mindestens KfW-Effizienzhaus 55 bedeutet. Haustechnisch wurde dies durch eine Beheizung mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit solarthermischer Unterstützung (Warmwasser) sowie einer kontrollierten Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG 96 %) umgesetzt. Baulich wurde eine durchgehend gut gedämmte thermische Hülle ausgebildet (U-Werte opake Bauteile 0,11-0,17 W/(m<sup>2</sup>K), transparente Bauteile  $U_w = 0,94-1,01 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ), deren Fügung mithilfe von detaillierten Wärmebrückeberechnungen überprüft und optimiert wurden. Die gute Luftdichtheit des Gebäudes dokumentiert das Blower-Door-Messergebnis von  $n50 = 1,37 \text{ 1/h}$ . Besonders hervorzuheben ist, dass der Energiestandard trotz der umfassenden Verwendung von gebrauchten Bauteilen und Recyclingmaterialien erreicht werden konnte.

## SPIELARTEN VON RECYCLING

Im Bauvorhaben Recyclinghaus wurde entsprechend der vereinbarten Projektziele eine Vielzahl verschiedener Spielarten von Recycling erprobt. Hierbei kamen sowohl auf dem Markt verfügbare industrielle Recyclingbaustoffe als auch individuell für das Bauvorhaben recycelte und beschaffte Materialien und gebrauchte Bauteile zum Einsatz. Zudem wurde auf recyclingfähige Bauprodukte und eine recyclinggerechte Bauweise geachtet und während des Planungs- und Bauprozesses wurde in Materialkreisläufen gedacht.

## Bauteilerne, Bauteilrecycling und Bauteiltransformationen

Gebrauchte Bauteile wurden im Ganzen aus verschiedenen Abbruch- oder Umbauvorhaben »geerntet«, überarbeitet und im Recyclinghaus verbaut. Die Bauteile stammen weitgehend aus dem Stadtgebiet Hannover und zu einem großen Teil sogar aus dem firmeninternen Materialkreislauf der Bauherrin; also von eigenen Umbau- und Abbruchvorhaben.



© Olaf Mahlstedt

Abb. 2: Fassade aus gebrauchten Bauteilen

So wurden 90 % der Fassadenbekleidungen und alle Fensterelemente aus gebrauchten Bauteilen hergestellt. Die als Bekleidung für die hinterlüftete Fassade verbauten Profilbaugläser stammen von einer Abbruchbaustelle in Hannover-Döhren. Faserzementplatten und Wellbleche wurden aus dem ehemaligen Haus der Jugend in Hannover-Linden ausgebaut: Das Gebäude hatte die Bauherrin erworben, um es zu einem gemeinnützigen Wohnprojekt umzubauen. Durch die Nutzungsänderung und Veränderung der Erschließungssituation mit Laubengängen wurde die erst 2007 errichtete Fassade obsolet und für das Bauvorhaben verfügbar. Auch sämtliche Aluminium-Fensterelemente des Recyclinghauses stammen aus dieser Materialquelle. Allerdings konnten diese trotz des jungen Baujahres die U-Wert-Anforderungen nicht erfüllen, weshalb die Rahmen mit Isolatoren energetisch ertüchtigt und die Scheiben durch neue Drei-Scheiben-Isolierverglasung getauscht werden mussten.

Im Bereich des Eingangs wurde als Fassadenbekleidung und Deckenabhängung eine Lückenschalung aus Holzleisten verbaut, die von ehemaligen Saunabänken aus einem im Bestand der Bauherrin befindlichen, in die Jahre gekommenen Fitnesscenter stammen. Insgesamt wurden unter Rückgriff von relativ wenigen, lokal verorteten Materialquellen rund 250 m<sup>2</sup> Fassade mit gebrauchten Bauteilen bekleidet.

Auch im Innenausbau wurde weitgehend auf gebrauchte Bauteile zurückgegriffen. Aufgrund der räumlichen Nähe des Baugrundstücks zum Messegelände war der Einsatz von gebrauchten Messebaumaterialien naheliegend – zumal diese trotz guter Materialqualitäten oftmals nur einen sehr kurzen primären Einsatzzeitraum von der Dauer einer ein- bis zweiwöchigen Messe haben. Begünstigend kam hinzu, dass ein von uns im Zuge der Recherchen kontaktierter Messebauer pünktlich zu Beginn der Ausbaurbeiten sein Lager verkleinern wollte, sodass in großem Maßstab verschiedene Plattenwerkstoffe zur Verfügung standen. Obsolet gewordene Wandplatten, Rahmenwände, Verlegespanplatten, Acrylglasplatten, großformatige Spiegelplatten sowie diverse Vollholzbauteile wurden im Innenausbau für die Erstellung von Fußbodenaufläufen, Wänden, Bekleidungen, Laibungen, Einbaumöbeln und Innentüren eingesetzt. Insgesamt wurden rund 12 m<sup>3</sup> gebrauchte Plattenwerkstoffe aus dem Messebau im Recyclinghaus



© Olaf Mahlstedt

Abb. 3: Innenausbau mit gebrauchten Messebaumaterialien

verbaut. Im Erdgeschoss wurde zudem eine Gipskarton-Brettstapelwand aus rund 80 m<sup>2</sup> gebrochenen Gipskarton-Plattenresten – Verschnittreste einer anderen Baustelle – erstellt.

Beim Innenausbau wurde auch historisches Bauteilrecycling betrieben: Bei einem Abbruchvorhaben der Bauherrin wurden historische Ziegelsteine von einer Scheune geborgen, sortiert und gereinigt. Die Steine wurden als nichttragende Sichtmauerwerkswände und Schachtverkleidungen im Erdgeschoss des Recyclinghauses eingebaut. In die Sichtmauerwerkswände wurden zwei raumhohe Türen integriert, die ihren ursprünglichen Einsatzzweck als doppelflügelige Eingangstür des Bauernhauses derselben Materialquelle hatten.

Im Treppenauge wurde eine 8,60 m hohe Brettstapelwand aus jahrhundertealten, historischen Eichenholzbalken errichtet. Als Materialquelle wurde hier auf einen Baustoffhändler aus dem Umland zurückgegriffen, der auf den Vertrieb von historischen Baustoffen spezialisiert ist. Der Handel mit historischen Baustoffen und Bauteilen kann, im Gegensatz zum Handel mit moderneren gebrauchten Baustoffen, als bereits etabliert und professionalisiert bezeichnet werden. Die Eichenbalken wurden nach einer Auswahl aus vorsortierten Güteklassen vom Händler mit einer Gattersäge mittels Sägefeinschnitt auf Maß gebracht. Die Eichenholz-Brettstapelwand wurde daraufhin vom Zimmermann auf seinem Werkplatz vorgefertigt und im Zuge der Errichtung des Rohbaus in einem Stück mit dem Kran in das Haus gehoben.

Die im Treppenhaus zwischen den Holzwänden freie spannende Treppe des Recyclinghauses wurde aus ge-



Abb. 4: Innenwände aus Abbruchziegeln



Abb. 5: Wand aus historischen Eichenholzbalken, Treppenkonstruktion aus gebrauchten Stahlteilen

brauchten feuerverzinkten Rechteck-Rohrprofilen hergestellt. Diese dienten in ihrem ursprünglichen Einsatzzweck als Auflagerkonsole der im Recyclinghaus verbauten, gebrauchten Fensterelemente. Es kamen aber auch noch weitere, aus Abbruchvorhaben gewonnene gebrauchte Stahlteile zum Einsatz. Beim Abriss des Freizeitheims Hannover-Stöcken wurden aus Geländerkonstruktionen verschiedene Rohrprofile und U-Profile gesichert. Im Recyclinghaus wurden daraus auf den neuen Einsatzzweck abgestimmte Podestkonstruktionen, Handläufe und Absturzsicherungen entworfen. Selbst die Türzargen der beiden raumhohen Innentüren im Erdgeschoss wurden aus gebrauchten Stahlprofilen konstruiert.

Für die Herstellung der Fußbodenaufbauten in den Obergeschossen wurden zuerst gebrauchte Betongehwegplatten auf einem Hanffilz auf die Brettstapeldecken aufgelegt, um Speichermasse in das Gebäude zu bringen und um den Schallschutz zu verbessern. Den Abschluss des Fußbodens bilden auf einer Kreuzlattung aufgeschraubte, gebrauchte Verlegespanplatten aus dem Messebau und ein Teppichboden aus Recyclinggarn. Sanitärobjekte, Türgriffe, Leuchten und weitere Ausstattungsmaterialien wurde zum Teil aus dem Materialfundus der in Hannover ansässigen Bauteilbörse erworben. Auch auf den »Erntebaustellen« konnten einige besondere Einzelstücke gesichert werden. So wurde beispielsweise ein Saunaufgussbecken aus Edelstahl aus dem erwähnten Fitnesscenter ausgebaut und zu einem Aufsatzwaschbecken in einem der Bäder umgebaut.

In den Bädern wurden einige Wandbeläge mit einem Kronorkenmosaik gestaltet, dieses wurde konventionell mit Fliesenkleber befestigt und verfugt. Die gebrauchten

Kronorken wurden von einem hannoverschen Gastronomiebetrieb für das Recyclinghaus gesammelt. Die haustechnischen Anlagen und Ausstattungen wurden weitgehend mit neuwertigen Produkten ausgeführt. Allerdings stammen die Heizkörper in den Obergeschossen von Fehlbestellungen des ausführenden Sanitärunternehmers, die Schalterprogramme aus Restposten des Elektroinstallateurs und bei den Küchengeräten handelt es sich um Ausstellungsstücke. In der Außenraumgestaltung kamen mit Großkopfpflastersteinen, Betongehwegplatten, Betonblockstufen und einem gebrauchten Fahrradbügel ebenfalls gebrauchte Bauteile zum Einsatz, die von verschiedenen Ausbauorten im Stadtgebiet stammen.

Bei der Bewertung der Eignung der gebrauchten Baumaterialien wurden Fehlstellen und Kratzer nicht als Mängel begriffen. Vielmehr können die ablesbaren Geschichten der Bauteile, ihre Patina, auch als nicht reproduzierbarer Mehrwert verstanden werden. Die Aufwendungen an natürlichen Ressourcen und an Herstellungsenergie, die für die Produktion neuer Bauteile erforderlich wären, entfallen bei der Verwendung gebrauchter Bauteile vollständig. Da nahezu alle Bauteile lokal beschafft wurden, war der Umwelteinfluss des Transportaufwands ebenfalls gering. In erster Linie besteht der Mehraufwand beim Bauen mit gebrauchten Bauteilen in einer aufwendigeren entwerferischen, planerischen und handwerklichen Realisierung.

### Baustoff- und Materialrecycling

Neben gebrauchten Bauteilen wurden industriell recycelte Materialien eingesetzt. Diese stammen beispielsweise aus Abbrüchen oder sind Nebenprodukte aus der Baustoffher-



Abb. 6: Kronkorkenmosaik, gebrauchte Badobjekte



Abb. 7: Terrazzo »Opus Signum« aus Nebenprodukten der Dachziegelherstellung

© Olaf Mahlstedt

stellung. Die Grundstoffe werden zumeist gewerblich durch Abbruchunternehmer gewonnen, verarbeitet und wieder zu neuen Baustoffen zusammengesetzt. Es können aber auch Recyclingmaterialien aus baufremden Industrien zu Bauprodukten rezykliert werden.

Die Fundamente und Bodenplatte des Recyclinghauses wurden aus Recyclingbeton (RC-Beton) hergestellt. Hierfür wurde durch das Betonwerk explizit für das Bauvorhaben eine dauerhafte bauaufsichtliche Zulassung erwirkt, sodass die allgemeine Verfügbarkeit von RC-Beton in Niedersachsen verbessert werden konnte. Bei RC-Beton wird der sonst in der Regel aus Flusskies bestehende Zuschlag des Betons zu einem Anteil von ca. 42 % durch geschreddertes Recyclingmaterial ersetzt. Dies hat zwar weniger einen Effekt auf eine Energie- und CO<sub>2</sub>-Reduktion, schont aber natürliche Ressourcen.

Es kamen weitere, frei auf dem Baustoffmarkt verfügbare Recyclingbaustoffe zum Einsatz: Die Bodenplatte wurde unterseitig mit Schaumglasschotter gedämmt, oberhalb der Bodenplatte wurde eine mineralisch gebundene Schüttung aus Schaumglasgranulat als Dämmstoff eingebaut; beides Produkte aus dem Glasrecycling. Feuchtesensible Bereiche wie Dach und Sockel wurden mit Schaumglasplatten aus rezykliertem Glas gedämmt.

Im Erdgeschoss wurde nach römischem Vorbild ein Terrazzo »Opus Signum« als Heizterrazzo verbaut, dessen ziegelroter Zuschlag neben einigen Mauerwerksfragmenten hauptsächlich aus Ziegelsplitt besteht, einem Nebenprodukt aus der Dachziegelherstellung. Ziegelsplitt wurde auch in der Freiraumgestaltung für Zierflächen und den um das Haus lau-

fenden Spritzschutzstreifen eingesetzt. Für die Tragschichten im Freiraum kamen RC-Mineralgemische zum Einsatz.

Die Außenwanddämmung der Massivholzwände erfolgte mit gefilzter Jutedämmung, die aus alten Kakaobohnensäcken hergestellt wurde und als Recyclingprodukt auf dem Baustoffmarkt verfügbar ist. Die Dämmung wurde als Klemmfilz zwischen einer Holzunterkonstruktion verbaut.

Als Bodenbelag ist in den Obergeschossen ein Teppichboden verlegt mit Garnen, die zu 100 % aus Post-Consumer-Abfällen wie Fischernetzen, Flor (Oberseite von Teppichen und Teppichböden) und starren Geweben recycelt wurden.

#### Recyclingfähige Bauprodukte und recyclinggerechte Bauweise

Es wurden weitgehend recyclingfähige Bauprodukte eingesetzt, wobei der beschriebene Einsatz von Gebrauchtbau teilen bereits deren Recyclingfähigkeit beziehungsweise Wiederverwendbarkeit unter Beweis stellen konnte. Durch recyclinggerechte Fügungsmethoden, also beispielsweise Stapeln, Schütten und Verschrauben anstelle von Verkleben, wird die Wiederverwendbarkeit von Bauteilen nach Ablauf ihrer Lebensdauer ohne Qualitätsverlust ermöglicht.

So ist beispielsweise die mit Gebrauchtbau teilen bekleidete vorgehängte, hinterlüftete Fassade (VHF) wieder in ihre Bestandteile Unterkonstruktion, Dämmung und Fassadenbekleidung trennbar. Auch bei den beschriebenen Decken aufbauten der Obergeschosse wurden Verbindungen lösbar ausgebildet, da sie auf die Decken aufgestapelt und verschraubt wurden. Im Außenraum wurden die gebrauchten Bauteile ebenfalls dekomponierbar gefügt, beispielsweise wurde das Kopfsteinpflaster nebeneinander gestapelt und die Splitflächen wurden geschüttet.

Beim Einsatz der neuen Bauprodukte wurde ebenfalls auf Kreislaufgerechtigkeit im Sinne des technischen oder biologischen Kreislaufs geachtet. Der Rohbau wurde aus leimfreien Massivholzelementen hergestellt. Im Gegensatz zu anderen Massivholzbauweisen (bspw. Cross-Laminated-Timber) sind die einzelnen Brettlagen der 18 bis 24 cm starken Wand-, Decken- und Dachelemente nicht miteinander verklebt, sondern durch Buchenholzscreuben untereinander verbunden. Hierdurch ist

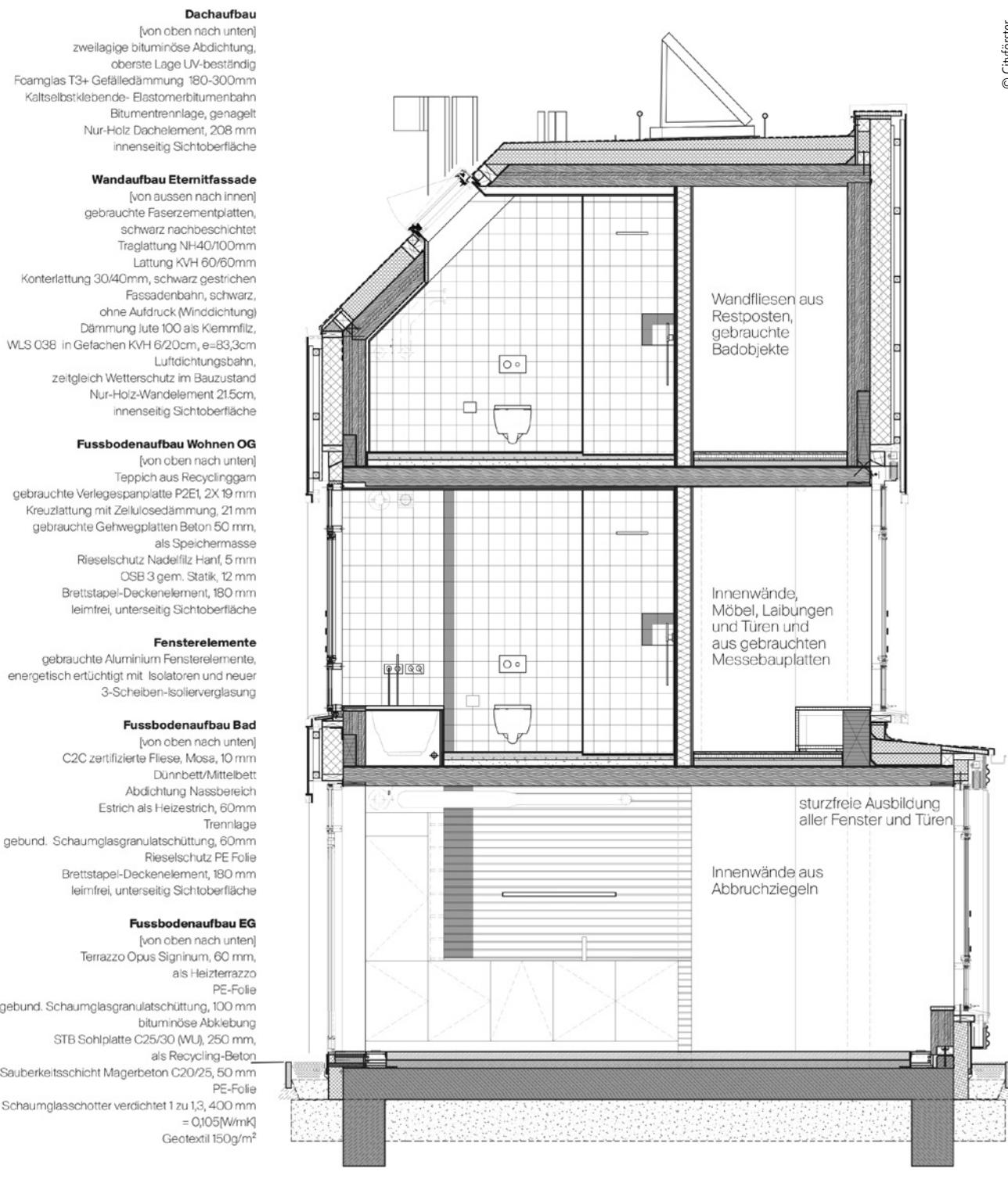


Abb. 8: Detailschnitt

der Rohbau nach Ende seiner Lebensdauer ohne Qualitätsverlust rezyklierbar oder im biologischen Kreislauf kompostierbar. Darüber hinaus ist das Holz der Bauelemente als nachwachsender Rohstoff klimaneutral: Im Massivholzrohbaum sind rund 100t CO<sub>2</sub> gespeichert, die erst im Falle einer thermischen Verwertung oder Kompostierung nach dem Ablauf seiner Lebensdauer wieder an die Umwelt abgegeben werden.

### Materialkreisläufe im Bauprozess

Durch einen bis zur Fertigstellung des Recyclinghauses nicht endgültig abgeschlossenen Entwurfsprozess konnte der Bau im Sinne einer »Zero-Waste-Baustelle« organisiert werden. Das bedeutet, dass nahezu sämtliche während des Bauens »übrig gebliebenen« Materialien aufgrund der im endgültigen Ergebnis offenen Gestaltung restlos verbaut wer-

den konnten. Der Begriff »Müll« wurde auch während der Bauphase selbst konsequent durch »Rohstoff« ersetzt. So konnten Abfall und Transportwege vermieden und der Entsorgungsaufwand minimiert werden.

In den Freianlagen wurden sämtliche mineralischen Überreste aus dem Innenausbau verarbeitet. Aus den Mehrmengen der im Innenausbau verwendeten, gebrauchten Beton-gehwegplatten wurden Mauer- und Spritzschutzstreifen-begrenzungen, Zufahrtsflächen und »Rasensteine« gebaut. Mit dem aus der Terrazzoherstellung verbliebenen Ziegel-split wurden Schotterflächen erstellt und der Spritzschutz-streifen gefüllt. Mauerwerksschutt, der von der Herstellung der Innenwände stammte, wurde zu einem Reptilienbeet. Die Musterplatten für die Terrazzobemusterung wurden als Trittstufen im Bereich der Eingangszuwegung verbaut.

Selbst ein im Zuge der Erd- und Gründungsarbeiten ge-fundenes, 2,5t schweres Altfundament aus Beton wurde nicht entsorgt, sondern zu einer Sitzbankskulptur im Garten umfunktioniert. Aus übrig gebliebenen Holzresten wurde noch ein Tisch für das Einweihungsfest gebaut.

Weitere Restmaterialien, von denen bereits vor Beginn der Bauphase klar war, dass sie nicht im Recyclinghaus selbst ver-baut werden konnten, wurden an andere Bauvorhaben weiter-gegeben und dort verwendet. Die für das Recyclinghaus auf-grund des geforderten Energiestandards ungeeigneten Zwei-Scheiben-Isoliergläser aus dem Haus der Jugend wurden nicht entsorgt, sondern an das gemeinnützige »Platz Projekt« in Hannover-Linden geliefert, wo die Scheiben in einem tempo-rären Veranstaltungsgebäude mit geringeren thermischen Anforderungen eingebaut wurden. Von den gebrauchten Fenster-elementen aus dem Haus der Jugend waren zudem größere Mengen verfügbar, als für das Recyclinghaus benötigt wur-den. Einige davon wurden dem hannoverschen Skatehallen-projekt »Gleis D« gespendet; aus ihnen wurde ein Einbau für den Kassen- und Wartebereich der Skatehalle gebaut.

Für das Gelingen eines müllarmen, kreislaufgerechten Bau-prozesses war der kreative Umgang mit Mehr- und Minder-mengen von Baumaterialien und die Offenheit gegenüber dem finalen Ergebnis von großer Bedeutung. Es galt, beim Entwerfen noch Raum zu lassen für Unbekanntes; durch die Resteverwertung entstanden unerwartete gestalterische und auch funktionale Mehrwerte.

## PLANUNGS- UND BAUPROZESS

### Günstige Rahmenbedingungen: Bauherrin = Materiallieferantin

Das Projekt entstand in enger und kooperativer Zusammen-arbeit mit der Bauherrin, die als lokales Bau- und Wohnungs-unternehmen zu einem großen Teil die gebrauchten Bauteile aus eigenen Immobilienbeständen, Abriss- oder Umbau-projekten liefern konnte. Dass die Bauherrin gleichzeitig Materiallieferantin ist, war aus verschiedenen Gründen günstig. Zum einen gab es einen direkten Zugriff auf ge-brauchte Baumaterialien mit Kenntnissen zur zeitlichen und quantitativen Verfügbarkeit. Zum anderen konnten aufgrund der vorliegenden Dokumentationen zu den eige-nen Gebäudebeständen auch die Materialeigenschaften der gebrauchten Bauteile nachgewiesen werden. Die Datenlage zu gebrauchten Bauteilen spielt eine wichtige Rolle. Erstens muss mit den gebrauchten Bauteilen geplant werden können,

Das Recyclinghaus wurde für den Niedersächsischen Staatspreis 2020, den Deutschen Fassadenpreis 2020 und den DAM-Preis 2020 nominiert und zur Einreichung für den Mies Van der Rohe Award 2020 vorgeschlagen.

## BETEILIGTE

Bauherr:	Gundlach GmbH & Co. KG- Wohnungsunternehmen
Architekt:	CITYFÖRSTER architecture + urbanism PartGmbB
Tragwerksplanung:	Drewes + Speth
Bauphysik:	H2 A – v. Heeren Habibi
Haustechnik:	TGW GmbH
Vermessung:	ahb Vermessung
Baugrund:	Dr.-Ing. Meihorst und Partner
Qualitätssicherung:	IFB – Institut für Bauforschung
Erdarbeiten:	Tessmer & Sohn Straßenbaugesellschaft mbH
Beton und Maurerarbeiten:	Gundlach GmbH & Co. KG – Bauunternehmen
Recyclingbeton:	GP Papenburg Betonwerke GmbH
Massivholzelemente:	Rombach Bauholz + Abbund GmbH
Zimmermann:	Dach & Fachwerk – G. Schneider & J. Depenbrock GbR
Fassaden- und Metallbau:	Adolf Schwonberg GmbH & Co.KG
Trockenbau:	Kühne Bauten – Mark Kühne
Tischler:	Tischlerei Hass
Elektroinstallationen:	Elektro Rieger
HLS:	Jung & Söhne
Bauteilernte:	Molle – Thorsten Moldenhauer
Galabau:	G. Dobbert GmbH

hierfür ist es hilfreich oder sogar notwendig, dass Dimen-sionen, Konstruktionszeichnungen, U-Werte etc. bekannt oder beschaffbar sind. Und zweitens müssen alle Bauteile zugelassen und in ihren Produkteigenschaften nachweisbar sein, zum Beispiel durch Übereinstimmungszeichen, Liefer-scheine und Datenblätter.

Um zukünftig auf breiterer Basis das Wiederverwenden von Bauteilen zu ermöglichen, braucht es also Zugang zu Informationen über die Eigenschaften und (rechtzeitige) Verfügbarekeiten. Potenziale könnten in der zentralen Spei-cherung von Bauteildaten liegen, beispielsweise über BIM (Building Information Modelling). Bauteilinformationen könnten im Zuge einer Abbruchanzeige bekannt gegeben werden. So könnten Bauteile auch in einem größeren Maß-stab für kreislaufgerechte Wiederverwendungen verfü-gbar werden.

## Neue Leistungsbilder

Für die Planer entstanden gerade im Umgang mit Ge-bräuchbauteilen neue, zusätzliche Leistungsbilder, die die Grundleistungen »normaler« Objektplanung nicht ab-bilden. Hierzu zählen neben umfassenden Recherchen zu Materialien und Materialquellen die Mitwirkung bei der Eignungsprüfung von Materialien, Bestandsaufnahmen und ein erhöhter Aufwand in der entwerferischen und planerischen Integration von Gebrauchbauteilen. Auch die Leistungsbeschreibungen für die Ausschreibungs-phase mussten im Vergleich zu konventionellen Bauvor-haben deutlich erweitert werden: Sind sonst lediglich der Einbau von Materialien ihr Bestandteil, mussten die Leis-tungen zu Ausbau, Lagerung, Prüfung und Überarbeitung konzipiert und beschrieben werden. Die einzelnen Positio-

nen wurden recht umfassend – auch mit möglichen Alternativen – beschrieben, da bei einigen Bauteilen vor deren Ausbau und Prüfung deren tatsächliche Eignung noch ungewiss war. Der Umgang mit vorhandenen Mengen von Bauteilen war sowohl für das Entwerfen herausfordernd als auch für die Durcharbeitung der Planung. Die Mengen mussten sowohl für den Ausbau als auch für den Einbau ermittelt und kalkuliert werden.

Darüber hinaus liegt es natürlich im Wesen eines Experiments, dass auch einige sich als untauglich herausstellende Ideen verworfen und Entwurfsleistungen entsprechend wiederholt werden mussten. Es mussten einige Extrarunden gedreht werden.

### Design by Availability

Das Reagieren der Planung auf die Eigenschaften gefundener Baumaterialien bot einmalige Ausgangslagen für das Entwerfen, bei der der Zufall der verfügbaren Baumaterialien in gezielte Gestaltung gelenkt werden musste. Die Planung mit gebrauchten Bauteilen und ihren durch die Bestandssituationen der »Rohstoffquellen« festgelegten Dimensionen und Mengen erforderte einen agilen, teilweise »umgekehrten« Planungsansatz.

So musste beispielsweise die Elementplanung der Massivholzwandelemente frühzeitig auf Grundlage der vorhandenen, unveränderbaren Dimensionen der gebrauchten Fensterelemente erfolgen. Die Fassadengestaltung musste auf die bestehenden Abmessungen und vorhandenen Mengen der gebrauchten Fensterelemente, Faserzementplatten und Profilbaugläser reagieren.

Die Bauarbeiten wurden begonnen, nachdem der erweiterte Rohbau (Rohbau, Fassaden, Dach) planerisch weitgehend festgelegt war und Sicherheit bezüglich der Verfügbarkeit und Eignung der hierfür zu verwendenden Materialien bestand. Viele weitere Entwurfsentscheidungen, z. B. bezogen auf den Innenausbau, wurden noch während der Bauphase getroffen und mussten teilweise auch auf sich verändernde Abrufbarkeit von Baumaterialien reagieren. Auch das beschriebene Verbauen von Restmaterialien in der Freiraumgestaltung erforderte Offenheit der Planung

bis kurz vor Fertigstellung des Bauvorhabens. Das Gebäude wurde also noch während des Bauprozesses durchgängig weiter entworfen.

Die Materialakquisition, -eignungsprüfung und -einplanung benötigte entsprechende Vorlaufzeit, sodass das Recyclinghaus nach ca. zweieinhalbjähriger Planungszeit schließlich im Sommer 2019 fertiggestellt werden konnte.

### ZUSAMMENFASSUNG

Das Recyclinghaus zeigt anhand vielfältiger Praxisbeispiele auf, wie der Umgang mit Rohstoffen im Baugewerbe optimiert werden kann und wie Stoffkreisläufe künftig geschlossen werden könnten. Zukünftig sollte bei der energetischen Betrachtung nicht mehr nur der Energieverbrauch von Gebäuden im Betrieb berücksichtigt werden, sondern der gesamte Gebäudelebenszyklus einschließlich der Gebäudeherstellung. Neben dem heute bereits möglichen Einsatz von Recyclingbaustoffen wird die Rückbaubarkeit – »Design for Disassembly« und die Kreislauffähigkeit eine wichtige Rolle für zukünftige Konstruktionen spielen. Es bedarf aber auch einer Veränderung in der Wertschätzung von Vorhandenem. Wenn wir begreifen, dass alles wertvoll ist, können wir unsere Gebäudebestände als gigantische, nutzbare Ressource begreifen.

### Literatur

- [1] Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen zum effizienten Ressourceneinsatz im Gebäudesektor. URL: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/DE/1-2014-445-DE-F1-1.Pdf> [Stand: 13.10.2020]
- [2] Hillebrandt, Annette; Riegler-Floors, Petra; Rosen, Anja; Seggewies, Johanna-Katharina: Recycling Atlas. München: Detail, 2018
- [3] Umweltbundesamt: Rebound-Effekte. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/oekonomische-rechtliche-aspekte-der/rebound-effekte> [Stand: 05.10.2020]
- [4] Mahler, Boris; Idler, Simone; Gantner, Johannes: Graue Energie im Ordnungsrecht. Abschlussbericht Forschungsprogramm Zukunft Bau. URL: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2017/grae-energie/Endbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2017/grae-energie/Endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=3) [Stand: 05.10.2020]

### DER AUTOR



#### Nils Nolting

Dipl.-Ing. Architekt Nils Nolting ist Gründungsmitglied von CITYFÖRSTER architecture + urbanism, einer interdisziplinär besetzten Partnerschaftsgesellschaft aus Architekten, Ingenieuren und Stadtplanern. Er ist geschäftsführender Partner des Büros in Hannover. Experimentelles Planen und Bauen, einfache Bauweisen, Holzbau und das Bauen im Bestand sind seine Schwerpunkte.

CITYFÖRSTER architecture + urbanism PartGmbB  
Dipl.-Ing. Architekt Nils Nolting  
Escherstraße 22  
30159 Hannover  
nils@cityfoerster.net



Achim Pilz

# Innovative Lüftung eines Mehrfamilienwohnhauses

## Hybridsystem mit weitgehend freier Belüftung und Vorkonditionierung der Zuluft

*Nach Erfahrungen mit dem Passivhausstandard wollen Planer die Lüftungstechnik wieder vereinfachen. Bei der Baugemeinschaft Dreiklang in Tübingen wurde das Energieniveau KfW 55 mit einer freien Lüftung erzielt. Suffizient werden dabei Temperatur- und Druckunterschiede ausgenutzt. Den Brandschutz garantiert ein Notaggregat.*

Das Büro Eble Messerschmidt Partner plant seit über 30 Jahren ökologische Architektur mit dem Schwerpunkt Wohnungsbau. Das Ziel der Planer sind gesunde, behagliche und ästhetisch motivierende Lebensräume. Dabei sammelte das Büro auch viele Erfahrungen mit größeren Wohnprojekten und Passivhauskomponenten. Heute setzt es bei gleichem energetischen Standard wieder auf eine Reduktion der Lüftungstechnik. Ihr Baugemeinschaftsprojekt »Dreiklang« im Stadtquartier »Alte Weberei« in Tübingen-Lustnau, einem ehemaligen Industriegelände, hat eine innovative, natürliche und effiziente Lüftung (Abb. 1). Meist funktioniert sie als eine reine, freie Lüftung ohne mechanische Unterstützung. In Sonderfällen, wie größere Feuchtelast,

bei unangenehmen Gerüchen, größerer Belegung oder bei bestimmten Wetterlagen, kann sie mechanisch unterstützt werden.

### Lüftung ohne Filter

Die Lüftung sollte technisch möglichst einfach sein: ohne Filter, mit wenigen Ventilatoren sowie mit gut zugänglichen und einfach zu reinigenden Leitungen (Abb. 2). »Wir gönnen uns, keine Filter zu verwenden«, fasst es Rolf Messerschmidt zusammen. Er ist Partner von Joachim Eble, verantwortlicher Architekt des Projekts und inzwischen selbst einer der Bewohner des Gebäudes. »Torkel Anderson, ein alternativer Lüftungstechniker aus Schweden, zeigte uns Bilder, was sich alles in Filtern ansammelt«, fährt er fort. »Bis die wieder ausgewechselt werden, geht da die komplette Zuluft durch.« Anderson von der schwedischen Firma Deltatec, heute Wikström AB, war verantwortlich für die Schwerkraftlüftung der Rudolf-Steiner-Schule in Göteborg. Dort wird das gesamte Jahr ein Innenraumklima von 20 °C mit 30 bis 60 % relativer Luftfeuchtigkeit durch ein System erreicht, das auf natürlicher Ventilation basiert. Die Schule

#### KERNAUSSAGEN

- Lüftung ohne Filter, die verschmutzen können
- Gut zugängliche und leicht zu reinigende Leitungen ohne Brandklappen
- Minimale Laufzeiten der Ventilatoren mit großem freien Querschnitt

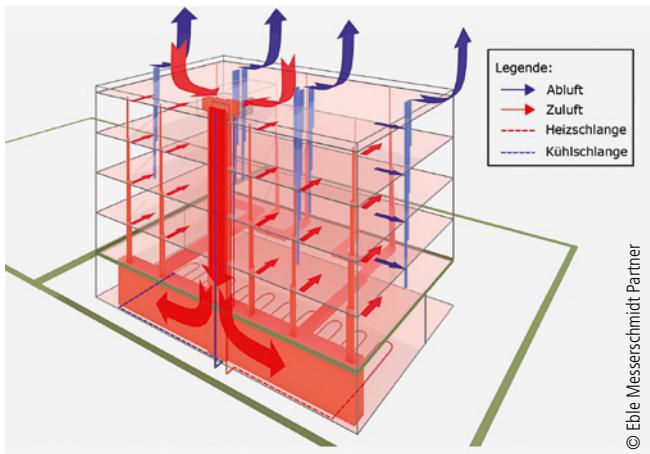


Abb. 2: Die Leitungen der natürlichen Lüftung sind hygienisch geführt: Der Hauptschacht im Keller ist zugänglich und dadurch einfach zu reinigen.



Abb. 3: Detail der Zuluftöffnung auf dem Dach. Dahinter sitzt der Wärmetauscher.

ist mit anderen internationalen Projekten wissenschaftlich dokumentiert [1].

### Reibungslose Zuluft

Die Zuluftführung von Dreiklang beginnt auf der Nordseite des Dachs. Ursprünglich sollte die Luft über den grünen und kühlenden Hof angesaugt werden, was aber nicht möglich war, da dieser im Hochwassergebiet liegt. Deshalb strömt sie über ein Lüftungsgitter in der kleinen Dachlaterne ein (Abb. 3). Ein Wärmetauscher mit größeren Querschnitten als üblich, der mit geringeren Strömungsgeschwindigkeiten auskommt, konditioniert die Zuluft gleich nach dem Einströmen vor. Über eine Pumpe ist er mit Heiz-Kühlschlangen

verbunden, die in der Bodenplatte des Kellers liegen. So zirkuliert ganzjährig ein auf ca. 8 °C temperiertes, frostsicheres Wasser-Glykol-Gemisch im Wärmetauscher. Im Sommer fällt die so gekühlte und schwerere Luft in einem senkrechten Schacht vor dem Treppenhaus nach unten in einen 1,2 m breiten und raumhohen Gang im Keller, den Hauptschacht (Abb. 4). Staub und andere Schwebeteilchen setzen sich auf dem Boden des über eine Tür leicht begehbaren Gangs ab, der von Zeit zu Zeit nass gereinigt wird. Über den Gang und wenige horizontale Leitungen wird die Zuluft verteilt. An den Außenwänden des Gebäudes wird sie in senkrechten Schächten hinauf in die Zimmer geleitet. Immer wurde auf gute Zugänglichkeit und Reinigungsmöglichkeit geachtet.

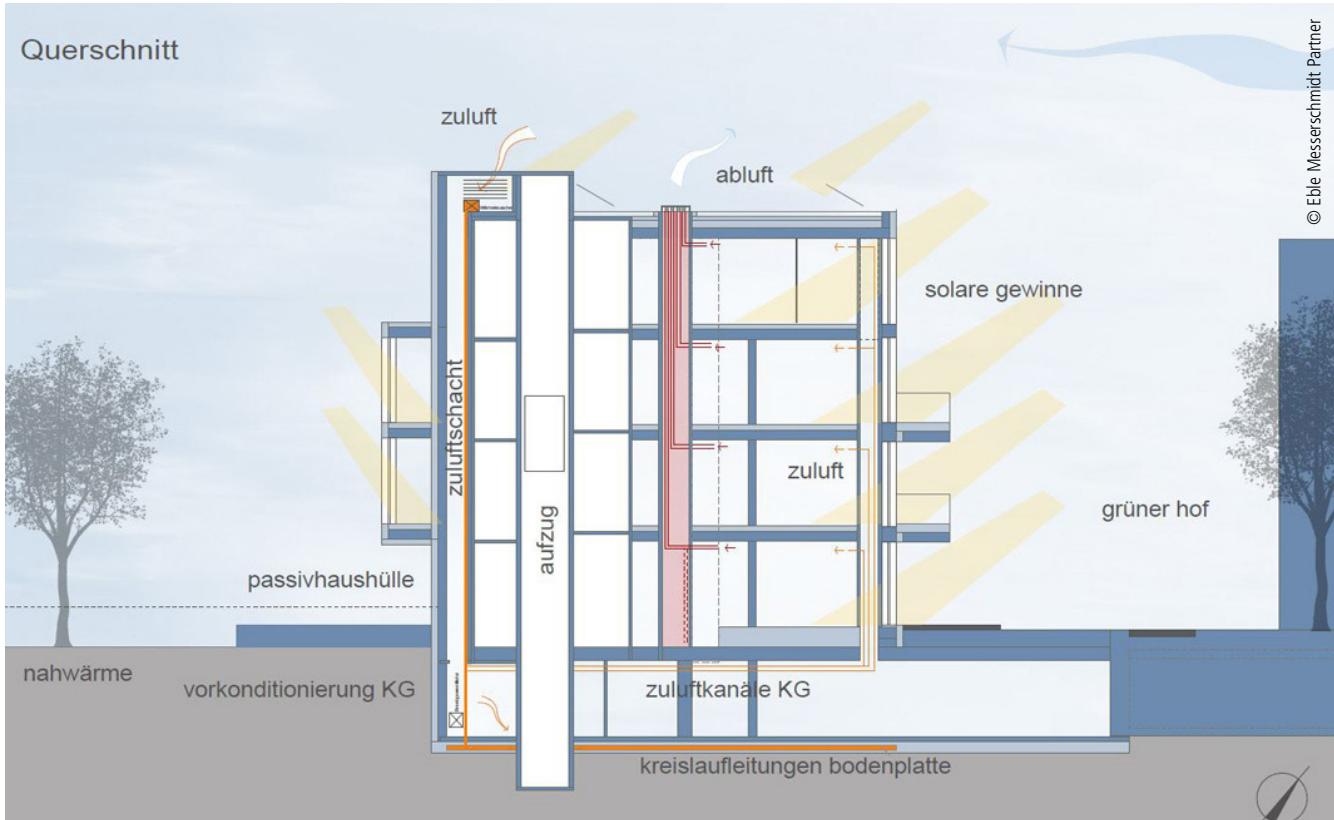


Abb. 4: Querschnitt durch das Gebäude und den vertikalen Zuluftschacht vom Dach in den Keller. Vom Hauptschacht gibt es kleine Kanäle zur Hofseite.



© Eble Messerschmidt Partner

Abb. 5: Detail der Luftauslässe. Jeder Raum hat einen eigenen Schacht.

## Zug durch Abluftkamine

In den innen liegenden Bädern und den Küchen wird die Abluft durch senkrechte Schächte über das Dach abgeführt (Abb. 5). Die warme Luft steigt dabei wie in einem Kamin hoch. »Das funktioniert im Winter richtig gut«, weiß Messerschmidt. In der Übergangszeit ist der Zug schon reduzierter. Im Sommer, wenn der Auftrieb fehlt, gibt es die Möglichkeit einer temporären mechanischen Unterstützung. In der Küche ist die Lüftung in die Dunstabzugshauben integriert, in den Bädern werden einfache, auch über die Raumluftfeuchte gesteuerte Ventilatoren eingesetzt (Abb. 6). Sie wurden eigens aus Schweden importiert. Wenn sie stillstehen, bieten sie einen großen Querschnitt für die natürliche Abluft. Somit verbraucht das Lüftungssystem kaum elektrische Energie und geht über die klassische Passivhaustechnik hinaus. Um den Kamineffekt zu unterstützen, hatten die Planer auch Windkappen auf dem Dach in der Planung. Da diese aber schwer zu regeln sind, verzichteten sie darauf (Abb. 7).



Abb. 6: Detail des Abluftventilators aus Schweden mit großem freiem Querschnitt

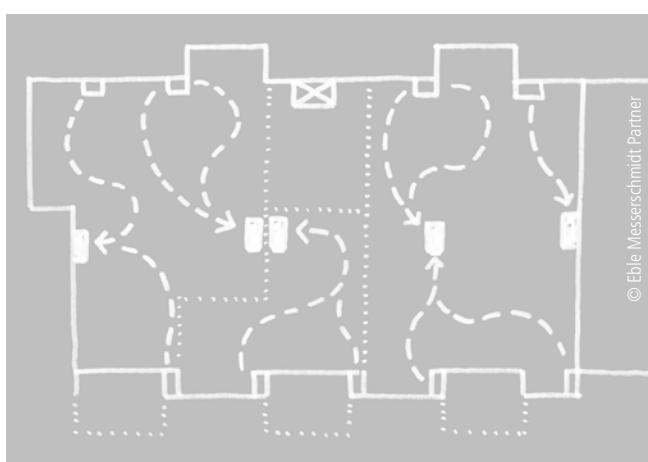
Brandschutzkonzept funktioniert ganz anders als in einem Passivhaus«, betont Messerschmidt. Dort gibt es in den Leitungen Brandklappen, die aber auch die strömende Luft bremsen. Bei Dreiklang gibt es ein Notaggregat, das über eine Brandmeldeanlage angesteuert wird. Die Brandmeldeanlage war in dem Holzbau obligatorisch. Im Brandfall zieht das Aggregat genug Luft aus den brandfreien Wohnungen, sodass diese rauchfrei bleiben. Die Anlage warnt die Bewohner zudem akustisch. In puncto Brandschutz wurde das gesamte Lüftungssystem von einem Gutachter überprüft.

## Herausforderung Brandschutz

Neben der Steuerung des Luftwechsels ist auch der Brandschutz bei dem Holzbau mit dem innovativen Lüftungskonzept eine Herausforderung (Abb. 8). »Das

## Vorkonditionierung statt Wärmerückgewinnung

Damit die Abluft reibungsarm natürlich abziehen kann, darf sie keine Wärmerückgewinnung bremsen. Die Energieverluste der Lüftung werden hier jedoch durch die



© Eble Messerschmidt Partner

Abb. 7: Skizze eines Wohngeschosses mit Schnitt durch die Luftleitungen sowie Luftzirkulation zwischen Zuluft- und Abluftöffnungen

### BAUDATEN BAUGEMEINSCHAFT DREIKLANG, TÜBINGEN

Baujahr:	2014
Bauherr:	Baugruppe Dreiklang
Wohnfläche:	1010 m <sup>2</sup> (inkl. 40 m <sup>2</sup> für Physiotherapiepraxis)
Nutzung:	9 Wohnungen und 1 Gewerbeeinheit
Bauweise:	Massivholz mit Brettstapel-Betonverbunddecken
Außenwände, Dach:	U = 0,12–0,16 W/(m <sup>2</sup> K)
Entwurf & Planung:	Eble Messerschmidt Partner, Architekten und Stadtplaner PartGmbB, Tübingen
Haustechnik:	Energieberater Jochen Letsch (ehemals EnerCheck), Stuttgart
Ausschreibung und Bauleitung:	Architekturbüro Gauggel, Tübingen
Konzept natürliche Belüftung:	Wikström AB, Göteborg
Energiestandard:	KfW 55-Haus
Lüftungskonzept:	Hybridsystem mit weitgehend freier Belüftung, Vorkonditionierung der Zuluft, weitestgehend vertikale Schächte



Abb. 8: Den Brandschutz für den Vollholzbau mit Luftleitungen ohne Brandklappen garantiert ein Notaggregat



Abb. 9: Die Wandheizung aus vorproduzierten Lehmplatten wird durch Nahwärme gespeist

Vorkonditionierung reduziert. Messerschmidt rechnet vor: »Die Lüftungsingenieure geben an, dass die Vorkonditionierung in etwa einer Wärmerückgewinnung von 65 Prozent entspricht, während ein klassisches Passivhaus auf 80 bis 85 Prozent kommt. Dabei verbraucht ein Lüftungsaggregat eines Passivhauses aber auch einige elektrische Energie. Zudem ist ein Lüftungsaggregat auch keine geringe Investition und hat hohe Wartungskosten. Wobei die vielen Schächte unseres Systems natürlich auch Fläche benötigen. Aber wenn Sie sich die Zu- und Abluftsysteme von Passivhäusern ansehen, brauchen die auch viel Raum«, betont der Planer. Das Gebäude Dreiklang hat zudem schlanke Holzbauwände, die wiederum Nutzfläche sparen. Um einen optimalen Komfort zu garantieren, können die voreingestellten Drosselklappen am Lufteinlass, je nach Jahreszeit, angepasst werden. »Bei so einem Konzept macht es trotz einer Voreinstellung Sinn, selbst mitzumachen«, betont der Hausherr. »Bei -10 °C dreht man sie ein bisschen zu. Im Sommer mache ich sie maximal auf. Bei uns im Haus funktioniert das so gut.« Die Wärme, die das Haus benötigt, erhält es aus einem Nahwärmennetz. Ein nah gelegenes Blockheizkraftwerk erzeugt sie klimafreundlich aus Klärgas. In den Wohnungen wird sie durch vorproduzierte Lehmplatte wieder als angenehme Strahlungswärme an den Raum abgegeben (Abb. 9).

Rechnerisch lässt sich dieses Lüftungskonzept mit Vorkonditionierung mit den vorhandenen Berechnungsmodellen nicht einfach abbilden. Eine Berechnung mit dem Passivhauspaket hätte zwar die Vorkonditionierung mit einbezogen, nicht jedoch den stark reduzierten Stromverbrauch bei der Lüftung, sagen die Planer. Deshalb rechneten sie nach EnEV. »Aber auch die EnEV bildet dieses Konzept nicht vollständig ab«, sagt Messerschmidt. Ein guter Grund, die EnEV weiter zu entwickeln.

Letztendlich geht nicht nur die natürliche Lüftung über den Stand der Technik hinaus. Auch die künstlerische Farbgestaltung und die ökologisch Materialwahl sind ihrer Zeit voraus.

## Literatur

- [1] Kennedy, Margrit; Großmann, Uwe; Schütze, Thorsten: Erfahrungen mit innovativen Erdwärmemischer-Lüftungsanlagen. Abschlussbericht, 2001.  
URL: [http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/Zusatzinfos/2001-06\\_Bericht.pdf](http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/Zusatzinfos/2001-06_Bericht.pdf) [Stand: 27.08.2020]

## DER AUTOR



Achim Pilz

Dipl.-Ing. Architektur Achim Pilz publiziert seit 2002 über nachhaltiges Bauen. Er ist freier Fachjournalist, Buchautor (z. B. »Lehm im Innenraum«, Fraunhofer IRB Verlag), Referent, Juror und Kurator, Baubiologe IBN und Chefredakteur von »baubiologie-magazin.de«. Er studierte an den Universitäten Wien, Aachen und Stuttgart und arbeitete in internationalen Architekturbüros.

Bau|Satz  
Architektur|Journalismus  
Mahatma Gandhi Str. 29  
70276 Stuttgart  
energie@bau-satz.net

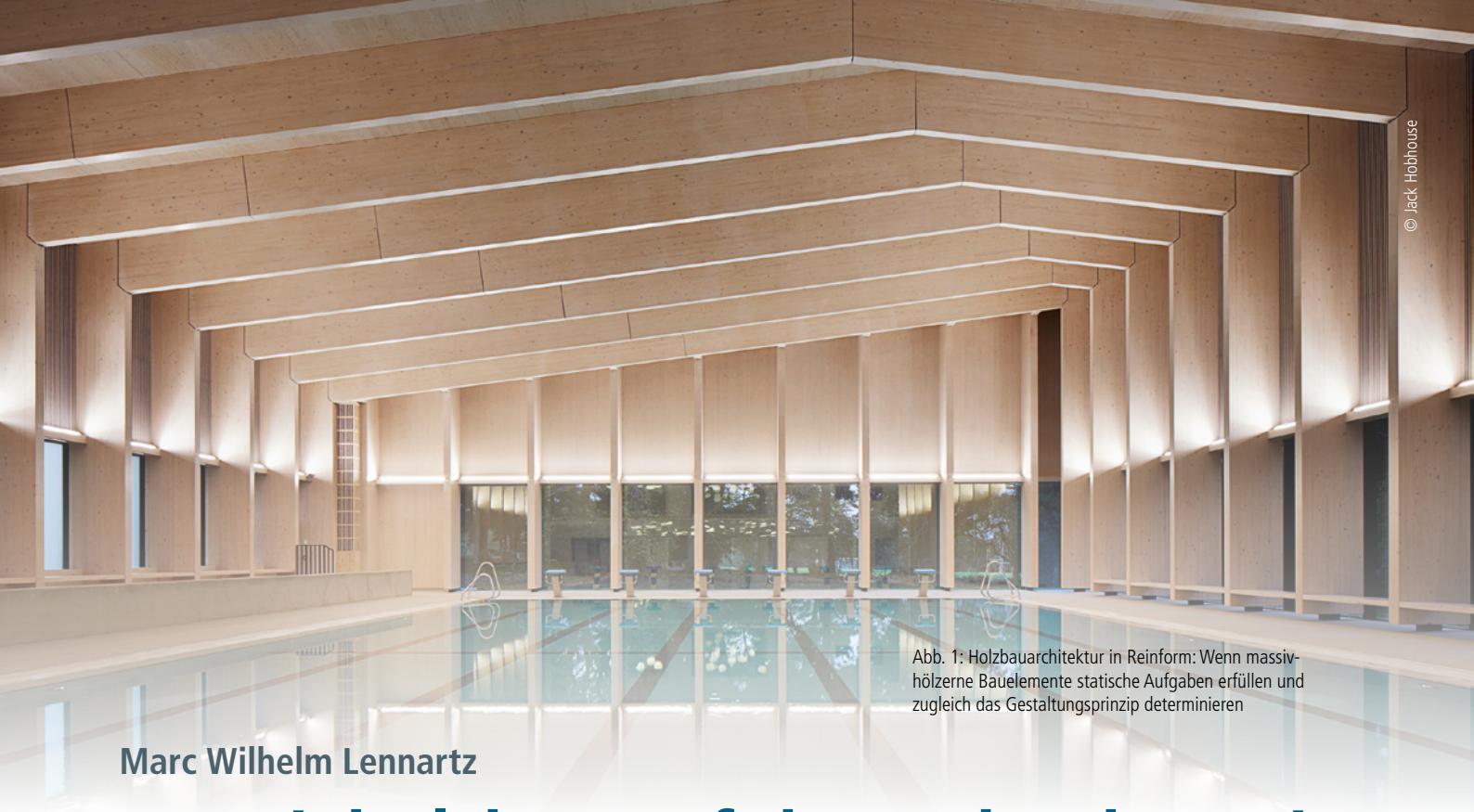


Abb. 1: Holzbauarchitektur in Reinform: Wenn massivholzerner Bauelemente statische Aufgaben erfüllen und zugleich das Gestaltungsprinzip determinieren

Marc Wilhelm Lennartz

# Massivholzbau auf der Höhe der Zeit

## Das Lehrschwimmbad der City of London Freemen's School in Ashtead, Großbritannien

Nach einem Brandschaden wurde der Neubau eines Schulschwimmbads in England in Holz ausgeführt. Die statisch ausdrucksstarke Dachgeometrie hat einen dynamischen Raum erschaffen, der von dem nachwachsenden Baustoff determiniert wird.

Die Grafschaft Surrey liegt im Süden des Vereinten Königreichs, im sogenannten Metropolitan Green Belt am Rande des Großraums London. Das Lehrschwimmbad der City of London Freemen's School im Dorf Ashtead, eine koedukative Privatschule für Tages- und Internatsschüler im gleichnamigen Ashtead Park, war 2014 durch einen Brand komplett zerstört worden.

Beim Neubau hat die Schulleitung mit den Architekten des Büros Hawkins/Brown entschieden, die Schwimmhalle in Massivholzbauweise ausführen zu lassen. In unmittelbarer Nachbarschaft zu bestehenden Sportanlagen, inmitten einer parkähnlichen, teilbewaldeten Landschaft, galt es das neue Hallenbad so zu platzieren, dass der Kontext des denkmalgeschützten, historisch gewachsenen Campus aufgegriffen und zugleich mit modernen Impulsen bereichert werden sollte. Dem folgend wählte man als Bauplatz eine leichte Hanglage, in die das Schwimmbad unaufgeregt eintaucht

und die es ermöglichte, den uralten Baumbestand der Umgebung weitestgehend zu erhalten. Die sanfte Neigung des Dachs von etwa 10° unterstützt die Zurückhaltung im Außenbereich, wobei sich an dessen höchstem Punkt oberhalb des Hangs der Eingangsbereich befindet.

Das 25 m lange, sechsspurige Wettkampfbecken wird durch Umkleideräume und einen multifunktionalen Lehr- und Veranstaltungsbereich, die sich an der Kopfseite des Gebäudes befinden, ergänzt.

### BSH- und BSP-Elemente im statischen Verbund

Aufgrund der Möglichkeit einer weitestgehenden Elementierung des Bauwerks durch die Verwendung von werkseitig komplett vorgefertigten Bauteilen sowie dem Ansinnen, der Nachhaltigkeit durch nachwachsende und CO<sub>2</sub> speichernde Rohstoffe Rechnung zu tragen, fiel die Entscheidung zugunsten der massivholzernen Bauweise. Hierbei konnte die österreichische Wiegag ihr baulogistisches Know-how und Erfahrung hinsichtlich Projekten auf der britischen Insel in Gänze einbringen.

Das neue Schulschwimmbad besteht aus weitgespannten Portalrahmen aus Brettschichtholz (BSH), die mit großdimensionalen Platten aus Brettspertholz (BSP) am Dach und den Wänden verspannt wurden – allesamt in Österreich vorproduziert und just-in-time auf die Baustelle zur sofortigen Montage geliefert. Für die in Gänze vorgeschnittenen

#### KERNAUSSAGEN

- Das Holz trägt, dämmt, schaut prächtig aus und erschafft ein angenehmes Raumklima.
- Der hohe Vorfertigungsgrad der Bauelemente dezentralisiert den Bauprozess und minimiert die Risiken.

und gebohrten Massivholzelemente bedurfte es einer acht-wöchigen Vorplanung und Arbeitsvorbereitung, gefolgt von einer siebenwöchigen Produktion, die von einer nur drei-wöchigen Montagephase vor Ort finalisiert wurde. Das Schwimmbad konnte inklusive eines vielseitig verbindlichen, kopfseitigen Lehr- und Veranstaltungsbereichs in nur 12 Monaten komplett fertiggestellt werden.

Entgegen der landläufigen Meinung verfügt der Werkstoff Holz über geradezu idealwertige Materialqualitäten bei der Errichtung und dem Betrieb von Schwimmhallen. Die vergleichsweise leichte Konstruktion wirkt nicht erdrückend, denn belebend und passt zum sportiven Habitus der Bauwerke. Des Weiteren weist Massivholz eine natürliche, hohe Dämmwirkung auf, die im Vergleich zu Stahlbeton oder Ziegeln um ein Vielfaches höher liegt und schmälere Querschnitte in der Gebäudehülle ermöglicht. Dazu ist das Holz zu 100 % korrosionsbeständig und zeigt sich auch gegenüber gelegentlichem Spritzwasser unbeeindruckt, zumal man in Ashtead das Hirnholz gut 10 cm entfernt vom Boden gehalten und mit gefrästen Abtropfkanten versehen hat.

Die gänzlich weiß gebeizten Oberflächen der in Sichtqualität angefertigten BSH- und BSP-Elemente, aus denen auch die Sitzgelegenheiten am Beckenrand gefertigt wurden, bescheren dem Schwimmbad eine warme und gediegene Raumatmosphäre.

## OBJEKTDATEN

Bauweise:	Holzmassivbau
Bauherrschaft:	City of London Freemen's School, Surrey, KT21 1ET, <a href="http://www.freemens.org">www.freemens.org</a>
Architektur, Entwurfsplanung:	HawkinsBrown Architects LLP, London EC1 V 4QJ, <a href="http://www.hawkinsbrown.com">www.hawkinsbrown.com</a>
Holzbau Werkplanung, Vorfertigung, Montage:	Wiehag GmbH, A-4950 Altheim, <a href="http://www.wiehag.com">www.wiehag.com</a>
Generalunternehmer:	Gilbert-Ash Limited, London, SE1 4NA, <a href="http://www.gilbert-ash.com">www.gilbert-ash.com</a>
Tragwerksplanung, Statik:	Eckersley O'Callaghan, London WC1X 8HE <a href="http://www.eocengineers.com">www.eocengineers.com</a>
Landschaftsplanung:	BD Landscape Architects, GL20 5NX Gloucestershire, <a href="http://www.bdlandarch.com">www.bdlandarch.com</a>
Bruttogeschoßfläche (BGF):	1750 m <sup>2</sup>
Jährliche CO <sub>2</sub> -Emissionen:	43,9 kg/m <sup>2</sup>
Baukosten gesamt:	9,2 Mio. €

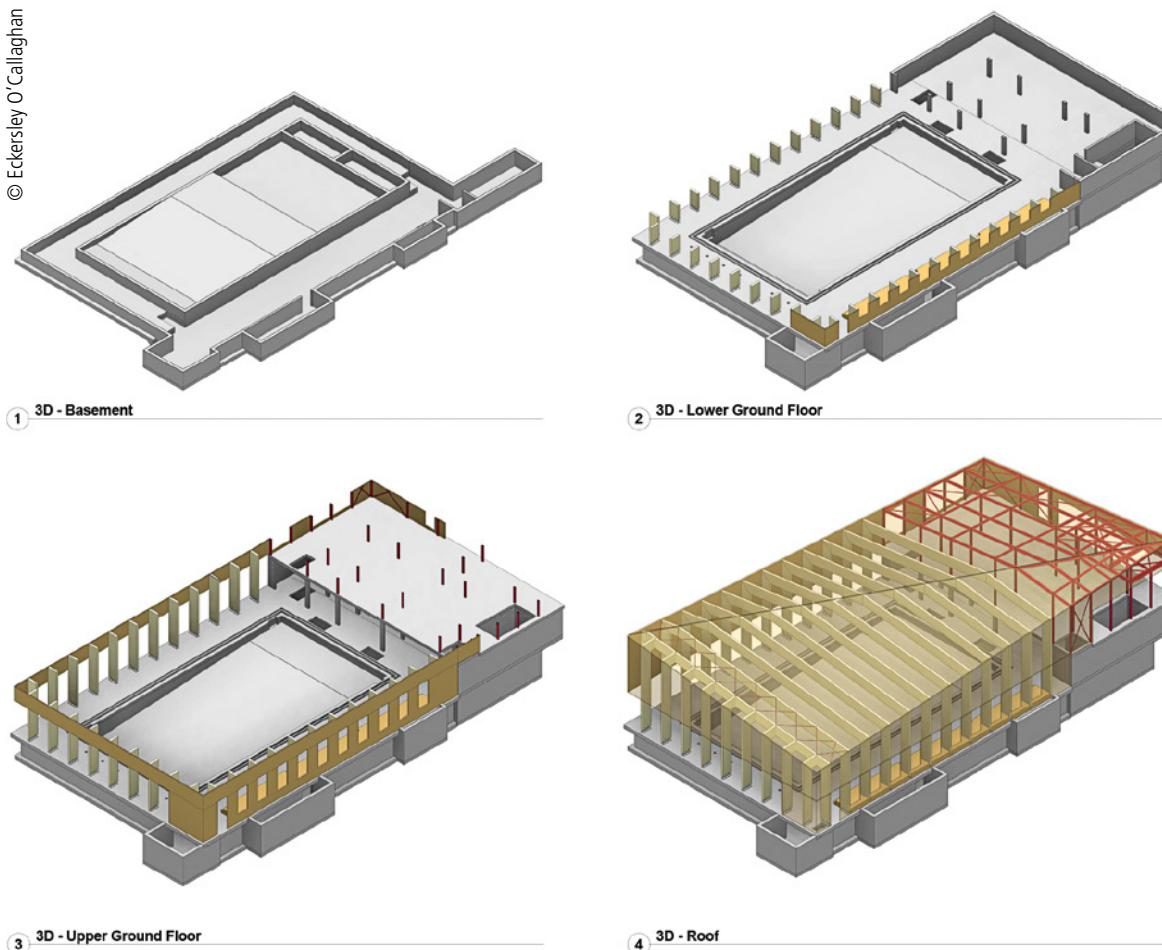


Abb. 2: 3-D-Konstruktionsabfolge



Abb. 3: Das Hirnholz der BSH-Rahmen ist rund 10 cm vom Boden abgesetzt und mit gefrästen Abtropfkanten versehen

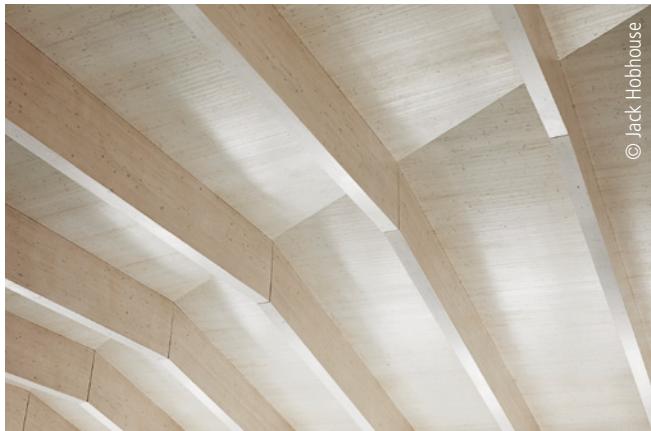


Abb. 4: Die Portalrahmen aus Brettschichtholz (BSH) wurden mit groß dimensionierter Platten aus Brettsperrholz (BSP) am Dach und den Wänden verspannt

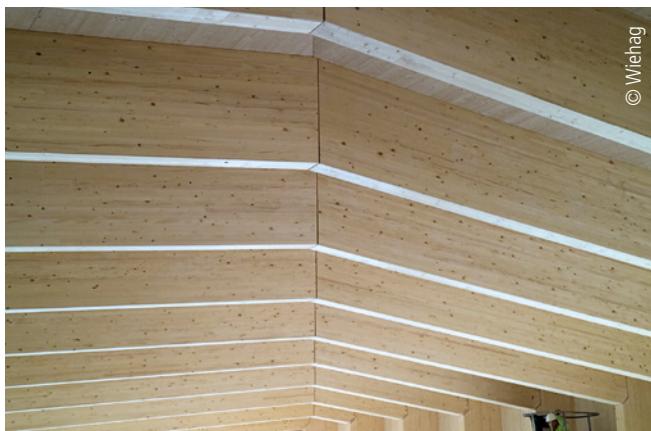


Abb. 5: Die Firstpunkte der Portalrahmen sind reihenweise verschoben, sodass die Firstlinie diagonal zum Schwimmbecken verläuft



Abb. 6: Die Einbindung des Baukörpers in die bewaldete, leichte Hanglage im Kontext des denkmalgeschützten Areals zeigt eine bewusste Zurückhaltung

## Reihenweise verschobene Portalrahmen erschaffen vitalen Schwimmraum

Die Primärstruktur des Tragwerks besteht aus 12 BSH-Vollportalrahmen und 9 BSH-Halbportalrahmen der Maße 220 mm (B) × 1020 mm (H) in der Festigkeitsklasse GL 28c, die mit verdeckten Schlitzblechen und Stabdübeln miteinander verbunden sind. Deren aussteifende Verstrebung erfolgte mit 80 mm dicken BSP-Platten an Wänden und Dach, montiert mit Voll- und Teilgewindestrauben. Dabei wurden 125 m<sup>3</sup> BSH und 1800 m<sup>2</sup> BSP-Platten aus PEFC-zertifiziertem Fichtenholz verbaut, einschließlich der BSP-Verschalung des Stahlrahmens zum Veranstaltungsraum.

Innerhalb der Schwimmhalle erfährt die ohnehin ausdrucksstarke Dachgeometrie durch die reihenweise verschobenen BSH-Portalrahmen eine zusätzliche Dynamik. Dadurch verläuft der First diagonal zum Schwimmbecken, sodass das belebende Element Wasser im Sinne des Wortes bis unter das Hallendach reicht. Da kein Rahmen identisch ist, galt es differenzierte statische Betrachtungen und individuelle Berechnungen der jeweils versetzten Grade anzustellen, mit der Folge, dass sich der Planungsaufwand für eine wirtschaftliche Bemessung signifikant erhöhte.

Das Ergebnis offenbart einen gleichermaßen ruhigen wie dynamischen Raum in Massivholzbauweise, der das Mehr an Detailkalkulation und Rechenzeit mehr als rechtfertigt. Dem komplexen Entwurf der Architekten folgend durften weder die Aussteifungen noch die stählernen Verbindungsmitte der BSH-Elemente final sichtbar sein. Auch war eine Aufweitung des Querschnitts am biegesteifen Rahmeneck nicht gestattet, lediglich Schattenfugen von bis zu 10 mm wurden geduldet. Das unikate, geometrische Design des Freemen's Schulschwimmbads wurde mit 3-D-BIM-Werkzeugen zur Modellierung der Formen in enger Abstimmung mit dem Konstruktionsteam umgesetzt.

## Luftdichte Gebäudehülle mit Dämmung aus Schaumglas

Das statische System beruht auf einem 2-Gelenk-Rahmen mit gelenkigen Fußpunkten und biegesteifen Ecken und Firstpunkten. Die als Wandscheiben ausgeführten BSP-Elemente übernehmen die Aussteifung der Konstruktion und den Abtrag der Verbandskräfte, während die gleichermaßen ausgeführte BSP-Dachscheibe für die Stabilisierungslasten der Rahmen sowie der Windlasten auf den Giebel verantwortlich zeichnet. Da die Wandscheiben nicht bis zum Boden reichen, mussten die Verbandskräfte der letzten 3,30 m über Querbiegungen der Rahmenstützen abgetragen werden. Im Gegensatz zum Holz galt es sämtliche Stahlbauteile nicht nur zu verzinken, sondern aufgrund der starken Korrosionsbelastung durch die chloridhaltige Raumluft zusätzlich mit einer C-4-Lasur auf Acryl-Polyurethanbasis zu beschichten.

Die kompakte Gebäudehülle wurde mit stoß- und druckfesten Schaumglasplatten mit einem Altglas-Recyclinganteil von 60 % isoliert: die Außenwände mit 2 × 100 mm, das Dach mit 2 × 120 mm dicken Platten. Diese robuste Dämmvariante aus aufgeschäumtem Glas bzw. Quarzsand wurde gewählt, da die Platten wasser- und dampfdicht sind und so gut wie kein Wasser aufnehmen. Um unerwünschten

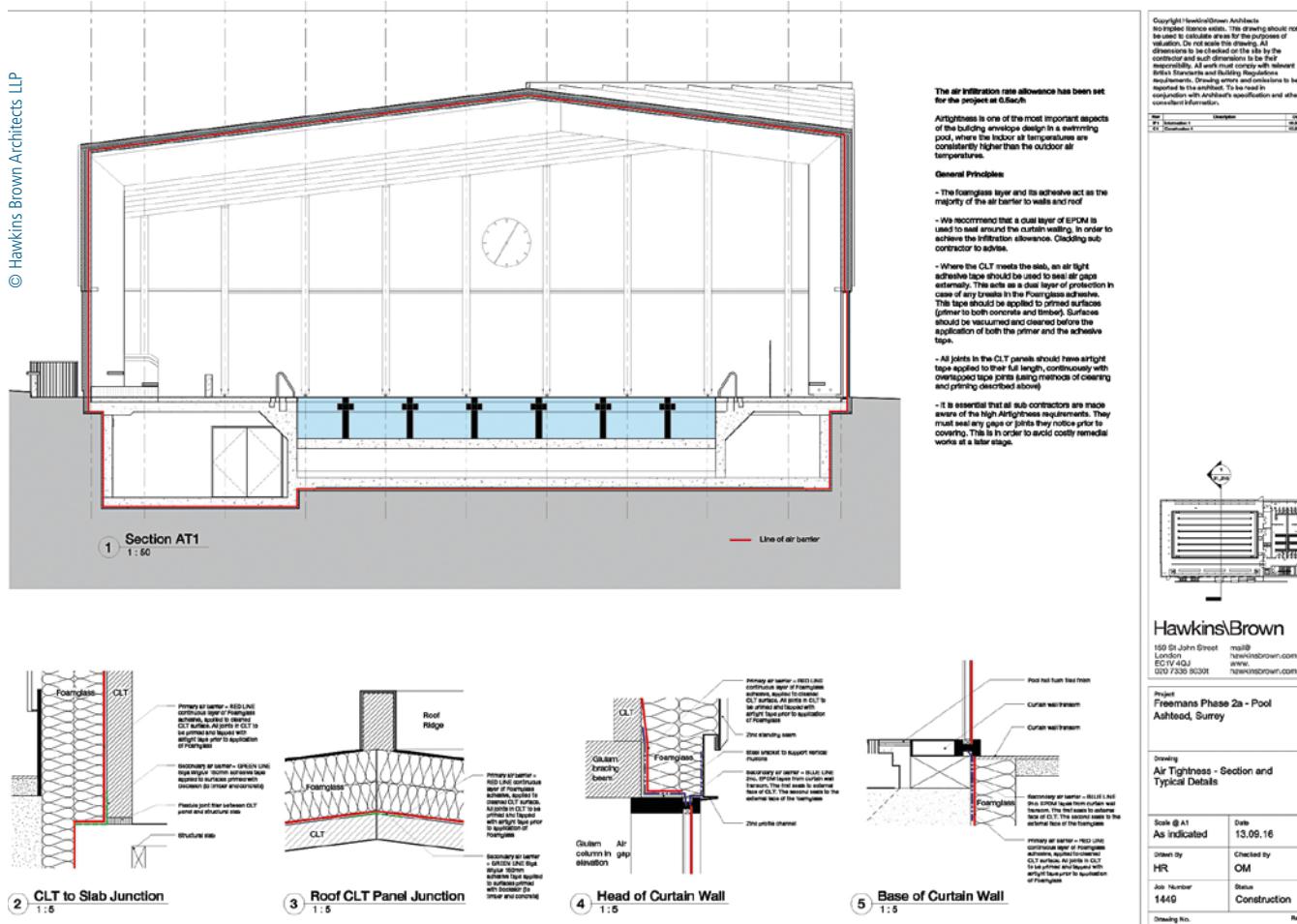


Abb. 7: Luftdichtheitsabschnitt und Details

Kondensationen dauerhaft sicher vorzubeugen, brachte man zusätzlich eine Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk-(EPDM)-Abdichtung auf, die an den Nähten verschweißt wurde. Der sogenannte Blower-Door-Test zur Messung der Gesamtluftdichtigkeit der Schwimmhalle ergab den  $n_{50}$ -Wert mit 1,92  $h^{-1}$ .

Die Fassade mit der dunklen Stehfalzverzinkung, welche mit vertikalen Rippen gegliedert ist, kontrastiert den massiven Holzbau unaufgeregt in der Außenansicht. Zudem nimmt sie Bezug zur traditionellen Bauweise des denkmalgeschützten Haupthauses auf.

## DER AUTOR

### Marc Wilhelm Lennartz

Der Fachjournalist und Buchautor hat in Bonn u.a. Städtebau, Siedlungswesen und Verkehrspolitik studiert.

Aus seinem Interesse für nationale wie internationale Siedlungssysteme und Raumordnung resultierte eine frühe Berührung mit dem Holzbau, dem er sich bis heute in seinen Publikationen vertieft widmet. Seit 2000 ist er freiberuflich tätig.

Köhlerstraße 29  
56751 Polch-Ruitsch  
kontakt@mwl-sapere-aude.com  
www.mwl-sapere-aude.com

## Ein Pool wie ein Gedicht

Ihre Vervollständigung erfährt die neue Schwimmhalle der Freemen's School durch die umlaufende, bodentiefe Verglasung auf zwei Seiten. Sie gewährt den Sportlern einen freien Blick aus dem Wasser in den Wald und vermittelt ein Gefühl, zwischen den Bäumen zu schwimmen. Diese einfachen, gleichwohl mit Bedacht inszenierten Proportionen erzeugen eine fast anmutige Eleganz und Gelassenheit im Raum, wie man sie gemeinhin nur aus Konzertsälen und Museen gewohnt ist.

Die komplette Gebäudetechnik inkl. der Wasseraufbereitungsanlagen und der Umweltkontrollsysteme befindet sich unterhalb des Schwimmbeckens. Die Belüftung des Hallenbads erfolgt über diskrete Schlitze im Boden unter der Verglasung, wodurch das Risiko von Kondensation und Verdunstungswärmeverlust aus dem Becken reduziert wird. Eine Photovoltaik-Anlage auf dem Dach komplettiert das energetische Versorgungskonzept.

Das Bauvorhaben wurde im In- und Ausland mit mehreren Architektur-, Holzbau- und Nachhaltigkeitspreisen ausgezeichnet.

Susanne Jacob-Freitag

# Flatiron von Leipzig

## Massivholzbau mit auskragender Gebäudespitze löst Kniffliges

Das »Z8« ist Sachsens erstes fünfgeschossiges Wohn- und Geschäftshaus in Holzmassivbauweise. Das Brandschutzkonzept ermöglichte es, die Holzbauteile sichtbar zu belassen. Herausgekommen ist ein architektonisches Schmuckstück – innen wie außen.



Abb. 1: Das fünfgeschossige Z8 in Leipzig vereint Gewerbe und Wohnen in einem außergewöhnlich geformten Holzbau. Die Fassade mit ihren horizontalen Bändern aus Fenstern, Schiebeläden und der vorvergrauten Lärchenholzbekleidung prägt den Charakter des Gebäudes.

Leipzig hat seit Anfang 2018 einen schicken Fünfgeschosser aus Holz. Eine private Baugemeinschaft hat das Wohn- und Geschäftshaus im Stadtteil Lindenau errichtet. Es passt sich entsprechend der Form des spitz zulaufenden Eckgrundstücks wie ein Tortenstück darauf ein und bietet mit seiner außergewöhnlichen Erscheinung einen Blickfang (Abb. 1). Das Z8 – so der Name des Mehrgeschossers, der sich aus der Adresse »Zschochersche Straße 8« ableitet – erinnert in seiner Keilform ein wenig an das Flatiron-Gebäude in Manhattan (New York City, USA), das seinen Namen der Ähnlichkeit mit einem »flachen Bügeleisen« (Flatiron) zu verdanken hat.

### KERNAUSSAGEN

- Eine Holz-Skelettkonstruktion sowie BSP-Platten und -Scheiben bilden das Haupttragwerk.
- Die Lasten der auskragenden Gebäudespitze werden über T-förmige Auflagerböcke zurückgehängt und ins Stahlbeton-Joch abgeleitet.
- Das Brandschutzkonzept ermöglichte es, die Holzbauteile sichtbar zu belassen.

Lindenau war zu Zeiten der DDR Wohn- und Industriegebiet. Heute gilt er als aufstrebender und lebendiger Stadtteil westlich des Leipziger Zentrums. Hier entstehen nicht nur Kultureinrichtungen in vielen ehemaligen Fabriken, hier wechseln sich auch gründerzeitliche Mehrfamilienhäuser mit neu errichteten Wohnbauten ab und geben dem Stadtteil seine besondere Note. Das Z8 ist Teil dieser Entwicklung. Und es ist Sachsens erstes fünfgeschossiges Wohn- und Geschäftshaus in Holzmassivbauweise.

### Möglichst wenige Stützen für möglichst flexible Grundrisse

Die Baugemeinschaft hat das Gebäude zur Eigennutzung errichtet. Der Entwurf von Architekt Dirk Stenzel, der selber auch Mitglied der Baugemeinschaft ist, reizt das Grundstück maximal aus und passt den Bau formgenau darin ein. In den oberen drei Geschossen des fünfstöckigen Gebäudes sind vier Wohnungen untergebracht, während das komplette Erd- und erste Obergeschoss (EG und 1. OG) samt der zweigeschossigen »Verlängerung« im hinteren Gebäudeteil ein Geschäft für ergonomische Büro- und Wohnmöbel beherbergt (Abb. 2 und 3).

Um im ganzen Haus für jeden Zweck und Bedarf eine individuelle Grundrissgestaltung zu ermöglichen, galt es, ein Tragwerk mit möglichst wenig Stützen zu entwickeln. Obendrein wünschte die Bauherrschaft ein nachhaltiges und ökologisches Haus. Dirk Stenzel, der sich mit seinem Büro bzw. Atelier auf strategische und nachhaltige Architektur (ASUNA) spezialisiert hat, schlug einen Holzmassivbau vor, dem die Bauherrschaft einmütig zustimmte, und holte für die Beratung und Tragwerksplanung Holzbau-Ingenieur Ansgar Hüls ins Boot.

### Holz-Skelettkonstruktion mit Stahlbetonturm ohne Unterkellerung

Die Grundrissmaße des dreiecksförmigen, rund 17,20 m hohen Wohngebäudes betragen etwa 37,10 m in der Länge (Außenwandlänge an der Zschocherschen Straße) und 19,30 m an der breitesten Stelle, etwa in Grundrissmitte.

Als Tragwerk wählten die Ingenieure eine Skelettkonstruktion aus Brettschicht(BS)-Holz-Stützen und -Trägern in Kombination mit aussteifenden Brettsperr-



Abb. 2: 3-D-Isometrie des Holzskelettbau mit BSP-Decken und -Wänden sowie Gebäudeteilen aus Stahlbeton

holz(BSP)-Wand- und Decken-Elementen. Diese Wahl bot weitere Vorteile für Planung und Budget: Werkseitig vorgefertigte Bauteile (via IFC-Schnittstelle von Hüls Ingenieure erstellt) sorgten für Passgenauigkeit und Planungssicherheit, ihre Vor-Ort-Montage für eine kurze Bauzeit. Auch Anlieferung und Montage gestalteten sich einfacher angesichts der Platzverhältnisse rund um das Gebäude. LKW und Mobilkräne konnten die vorgefertigten Elemente fast an jede Stelle bringen, wo sie gebraucht wurden – und zwar sauber und lärmarm.

Die Gründung bilden Streifenfundamente aus Stahlbeton und eine 1 cm dicke stahlfaserbewehrte Bodenplatte – ein Kellergeschoß gibt es nicht. Aus Brandschutzgründen wurde auch der Erschließungsturm mit Treppenhaus und Aufzug in Stahlbeton ausgeführt (Abb. 4). Dies, nämlich die Ausführung des ersten Rettungswegs in vollständiger Konformität mit der Sächsischen Bauordnung (SächsBO), war Voraussetzung, um das Gebäude mit seinen übrigen bauordnungsrechtlichen Abweichungen in Sachen Brandschutz realisieren zu können.

Das Gebäudeaster orientiert sich an der Gebäudespitze. Von hier halbiert eine gedachte Achse das »Tortenstück« in Längsrichtung. Senkrecht dazu ist das Querraster mit einem Achsmaß von 4,52 m angelegt (Abb. 3). Entsprechend sind die Stützen im Raum sowie in den Außenwandebenen auf diesen Achsen angeordnet. Lediglich für den etwa 9,80 m weit über das EG hinausgeführten, spitz zulaufenden Gebäudeteil, der im EG durch ein Stahlbeton-Joch unterfangen wird, ändert sich das Achsmaß: Es beträgt 4,88 m für das Feld und noch mal so viel für die auskragende »runde Spitze«.

Je weiter sich die Außenwände von der Spitze über den Grundrissverlauf aufspreizen, desto größer wurden die Spannweiten für die BS-Holz-Träger bzw. -Unterzüge in den Querachsen. Der bündig mit der rückseitigen Außenwand stehende Treppenhausturm bot hier zusätzliche Auflagermöglichkeiten. Und wo es aufgrund der zu überbrückenden Spannweiten erforderlich war, wurden in Querrichtung weitere Stützen in individuellen Abständen ergänzt. So etwa in der vorletzten Querachse vor dem zweigeschossigen Gebäudeteil eine Eckstütze für das interne Treppenhaus vom EG ins 1. OG (Abb. 5 und 6) und in der letzten Achse vor der auskragenden Gebäude spitze (Abb. 7).

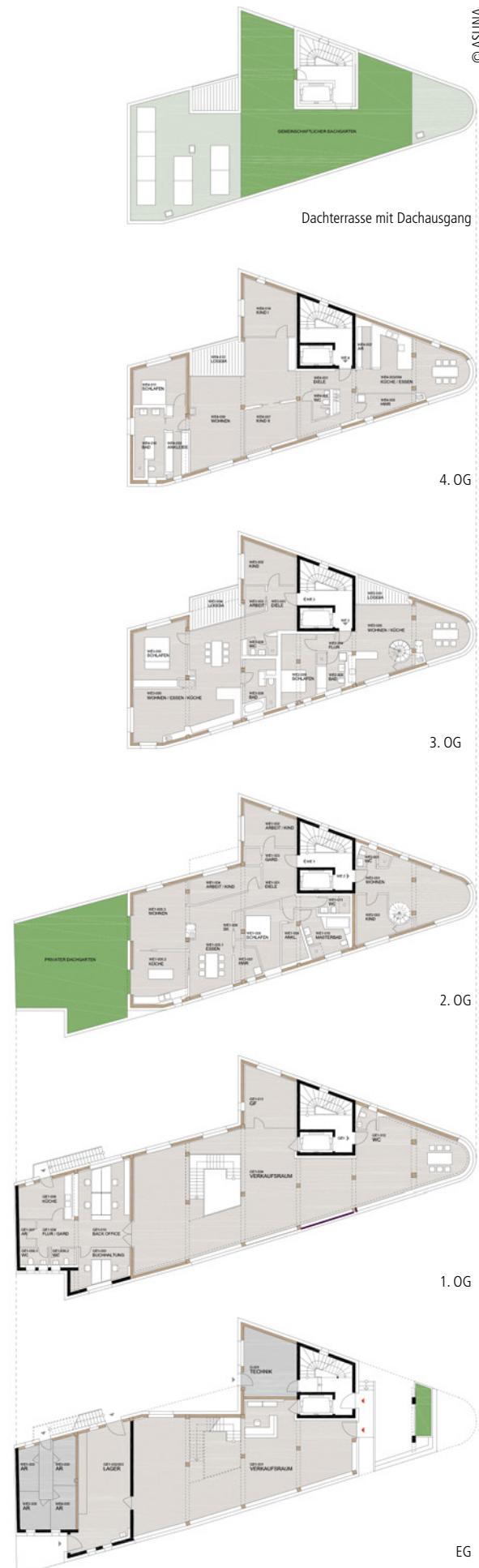


Abb. 3: Grundrisse

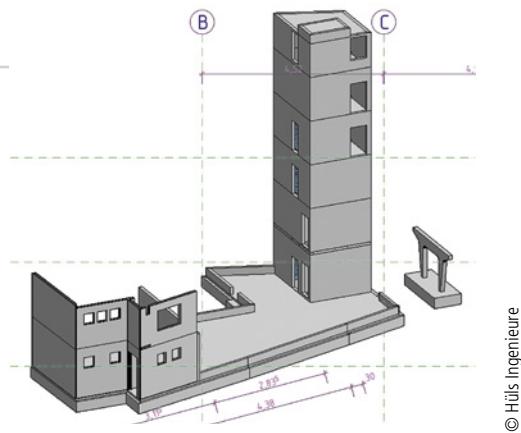


Abb. 4: Der Erschließungsturm und die Wände des zweigeschossigen Gebäudeteils – beides in Stahlbeton – sind Teil des Aussteifungskonzepts

### Träger zwischen Stützen und Deckenelemente zwischen Träger gehängt

Die quadratischen BS-Holz-Stützen (GL32 h) wurden mit 30 cm dimensioniert und in lichter Geschossgröße von 3,20 m gefertigt, bzw. mit 3,58 m Höhe im EG und 3,1 m im Dachgeschoss (DG). Bei der Dimensionierung der BS-Holz-Träger bzw. Unterzüge (GL24c und GL32c) ergab der ungünstigste Lastfall bei einer stützenbündigen Breite von 30 cm eine Höhe von 60 cm. Die Träger bzw. Unterzüge wurden jeweils über spezielle Stahl-Verbinder (Sherpa) zwischen den Stützen eingehängt.

Stützenabmessungen und Trägerhöhe bleiben im gesamten Gebäude konstant, mit Ausnahme des über das EG hinaus geführten Teils. Hier messen die quadratischen Stützen je nach Geschoss 34 cm oder 40 cm und sind nur 2,60 m hoch, respektive 2,54 m im DG, entsprechend breit sind die Träger, die hier jedoch beidseitig auskragend auf die Stützen aufgelegt wurden, sodass eine Art T-förmiger Auflagerbock entstand (Abb. 7). An die Trägerenden ließen sich dann auch die Randunterzüge der Außenwände zur Aufhängung der auskragenden Deckenscheiben anschließen (Abb. 8 und 9). Weitere Ausnahmen bilden die Stützen rund um die interne Treppe vom EG ins 1. OG: Sie reichen wegen der Deckenaussparung über zwei Geschosse (Abb. 5 und 6).

Die 16 cm dicken, bis zu 2,80 m breiten und bis zu 4,58 m langen BSP-Deckenelemente – als Dachelemente sind sie wegen der Nutzung des Dachs als Dachterrasse 22 cm dick – spannen als Einfeldträger von Unterzug zu Unterzug, werden dabei aber nicht auf die Träger aufgelegt,

sondern ebenfalls zwischen sie eingefügt und durch Diagonal-Verschraubungen kraftschlüssig verbunden (Abb. 10). Dieses Fügeprinzip ermöglicht es, die Vertikalkräfte von Stütze zu Stütze an den Decken vorbei in die Fundamente einzuleiten. Es steht Hirnholz auf Hirnholz, was auch die Gesamtverformungen minimal hält. Dadurch wird außerdem eine Querpressung der Decken durch aufstehende Stützen vermieden.

Wo die Deckenelemente statt auf Unterzüge auf die Stahlbetonwände des Erschließungskerns oder andere aussteifende Wandscheiben treffen, dienen aufgeschraubte Balken als Auflagerkonsole.

### Gesamtaussteifung als Kombination aus Stahlbeton- und Holzelementen

In die Randausfrässungen an den Längsstößen der BSP-Elemente eingenagelte – zum Teil auch eingeschraubte – Stoßdeckbretter ( $b/h = 15 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$ ) sowie Diagonalverschraubungen verbinden die Elemente zu Deckenscheiben. Diese leiten die Horizontallasten aus den Geschossen über die Unterzüge und die geschossweise übereinander stehenden Stützen in die Fundamente weiter. Zur horizontalen Aussteifung des Gebäudes sind die Decken über zusätzliche Stahlanschlussteile an den massiven Treppenhausturm, der als aussteifender Kern fungiert, angeschlossen und leiten die Horizontalkräfte in diesen ein.

Neben dem Treppenhausturm dienen auch die zweigeschossigen Stahlbeton-Brandwände des hinteren Gebäudeabschnitts der Horizontalaussteifung (Abb. 4). Sie waren erforderlich, da in den unteren Geschossen in Achse der Außenwände nur wenige aussteifende Wandscheiben vorhanden sind. So nehmen die Brandwände u. a. die auf die Fassade wirkenden Windkräfte über die an sie anschließenden Deckenscheiben auf. In den oberen Geschossen dagegen übernehmen tragende 20 cm und 24 cm dicke BSP-Wände quer zur Gebäudespitze zusammen mit den BSP-Außenwänden die Aussteifung. Genauer gesagt: Die Außenwände wurden als lastabtragende gelochte Wandscheiben (Abb. 11 und 12) sowohl für horizontale Aussteifungslasten als auch für den vertikalen Lastabtrag berechnet. Die Wandscheiben wurden überwiegend zwischen den Stützen eingehängt und über Vollgewindeschrauben mit ihnen verbunden.



Abb. 5: Das Holzskelett aus BS-Holzstützen und dazwischen gehängten Trägern ist einfach ablesbar. Sowohl im 1. OG ...



Abb. 6: ... als auch im EG. BSP-Decken und -Wände bilden aussteifende Scheiben, die wie in Rahmen jeweils zwischen die Träger und geschosshohen Stützen eingefügt sind. Nur die Stützen um das interne Treppenhaus zwischen EG und 1. OG sind zweigeschossig ausgeführt.

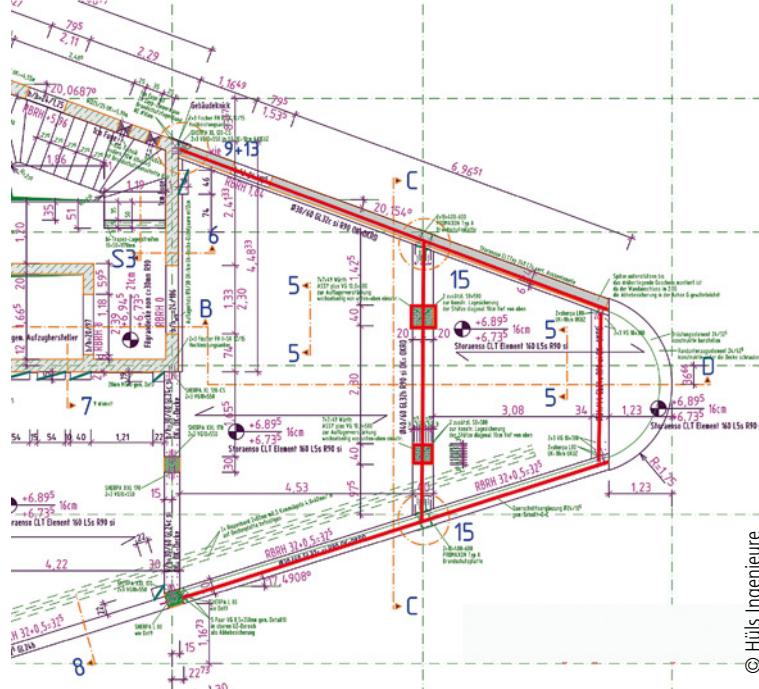


Abb. 8: Prinzip des Lastabtrags der auskragenden BSP-Holzdecken: Die Deckenscheiben sind an den auskragenden Randträgern aufgehängt ...

Joch aus Stahlbeton trägt die »runde Spitze«

Im Bereich der Gebäude spitze trägt ein Joch aus Stahlbeton den viergeschossigen Gebäudeteil über dem EG (Abb. 13 und 14). Diese Überbauung bzw. das Zurücknehmen des EGs an dieser Ecke war sinnvoll, um den Gehweg und die vielen darin verbauten Medien nicht aufwendig umlegen zu müssen.

Um den auf dem Stahlbeton-Joch ruhenden Holzbau zu realisieren, wurden die auskragenden BSP-Decken-Elemente jeweils an den auskragenden Randunterzügen der Außenwände aufgehängt. Diese wurden – wie schon erwähnt – seitlich über spezielle Stahleinbauteile an die auskragenden Enden der T-förmigen Auflagerböcke eingehängt (Abb. 7 und 9). Mithilfe dieser Konstruktion war es möglich, die Lasten der auskragenden Gebäudespitze zurückzuhängen und über die BS-Holzstützen nach unten ins Stahlbeton-Joch abzuleiten (Abb. 8).

Brandschutzkonzept ermöglicht sichtbare Holzoberflächen

Mit einer (Attika-)Höhe von etwa 17,20 m entspricht das ZE nach SächsBO der Gebäudeklasse (GK) 5, denn mit 13,62 m



Abb. 7: Im Bereich der Gebäudespitze dient ein (beidseitig auskragender) Träger auf zwei Stützen als Deckenauflager. An den Trägerenden schließen die Randunterzüge der Außenwände an.

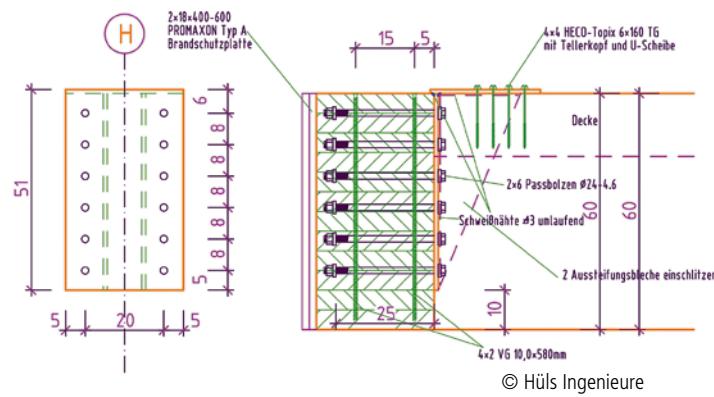


Abb. 9: ..., die ihrerseits an dem beidseitig auskragenden Unterzug auf zwei Stützen angeschlossen sind.

liegt die Oberkante des obersten Geschossfußbodens über 13 m Höhe, aber unter der Hochhausgrenze von 22 m.

GK 5 nach SächsBO bedeutet: Tragende und aussteifende Bauteile müssen einen Brandwiderstand von 90 min erreichen und aus nicht brennbarem Material bestehen. Da dies bei einem Holzbau nicht der Fall ist, musste ein Brandschutzkonzept mit Kompensationsmaßnahmen erstellt werden. Es forderte für alle Bauteile eine Feuerwiderstandsklasse von F90-B (feuerbeständig). Das ließ sich für die Holzbauteile über eine Heißbemessung bewerkstelligen und bei den erwähnten Brandschutzwänden des zweigeschossigen Gebäudeteils mit der Ausführung in Stahlbeton sicherstellen. Letzteres, um im Brandfall zu verhindern, dass Feuer auf das Nachbarhaus übergreift.

Maßgebend bei der Dimensionierung der Decken und Unterzugsquerschnitte war allerdings nicht der Abbrand



Abb. 10: Die BSP-Deckenelemente wurden zwischen die BS-Holzträger eingefügt und an den Längsstößen zu Scheiben verbunden.



© Peter Eichler

Abb. 11: Die meisten Wandelemente der oberen drei Geschosse kamen mit ausgefrästen Fensteröffnungen auf die Baustelle und wurden zwischen die Stützen eingehängt.

bzw. die Heißbemessung, sondern deren Gebrauchstauglichkeit (Schwingung und Verformung). Die dafür erforderlichen Querschnittsabmessungen fielen größer aus, als es die Heißbemessung ergeben hätte, sodass diese automatisch miterfüllt war (Heißbemessung bedeutet, dass ein Bauteil so dimensioniert ist, dass auch nach z. B. 90 min Brand noch ein ausreichend tragender Restquerschnitt vorhanden ist). Das ermöglichte es, auf eine aufwendige Brandschutzbekleidung mit Gipsplatten zu verzichten.

Auch die Deckenuntersichten aus BSP sind überwiegend sichtbar geblieben. Sie erhielten, wie die Stützen und Träger, gemäß Brandschutzkonzept einen B1-Anstrich (schwer entflammbar). Das Gebäude wurde zudem mit einer Rauchmeldeanlage ausgestattet.

Die BSP-Außenwände wurden außenseitig mit 14 cm Mineralwolle gedämmt und mit einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade erstellt. Innerhalb der Fassade mussten Brandsperren zur Verhinderung eines geschossweisen Brandüberschlags eingebaut werden. Die Dämmung sorgt für den erhöhten Wärmeschutz nach KfW-55-Standard und erfüllt die Forderungen des Brandschutzkonzepts.



© Peter Eichler

Abb. 12: Ein Teil der Wandscheiben erhielt ausgeklinkte Ecken als Auflager für die Unterzüge.

Über der Dämmung ist eine diffusionsoffene Fassadenbahn verlegt, die für die Winddichtigkeit der Dämmung sorgt. Darüber ist eine Lattung verschraubt, die die Bahn hält und zum Befestigen der Lärchenholzfassade dient.

### Holzbaumontage dauerte nur fünf Wochen

Das Erstellen des Fundaments, der Betonwände und des Treppenhausturms dauerte drei Monate, die Montage des Holzbaus dagegen nur fünf Wochen. Alle Holzbauteile wurden nach Bauzeitenplan per LKW auf die Baustelle geliefert und direkt per Kran montiert.

Die BSP-Außenwände und BS-Holzstützen im EG verschraubten die Zimmerer auf den Betonsockeln. Für die Verbindung von BS-Holzträgern und -stützen nutzten sie »Sherpa«-Verbinder. Sie bestehen aus zwei Teilen, die nach dem Prinzip einer Schwabenschwanzverbindung zusammengefügt werden. Beim Ineinanderschieben entsteht ein kraftschlüssiger, biegesteifer Anschluss.

Nach dem Einheben der BSP-Decken zwischen die Unterzüge, wurden sie mit ihnen von oben im 45°-Winkel verschraubt.

© ASUNA

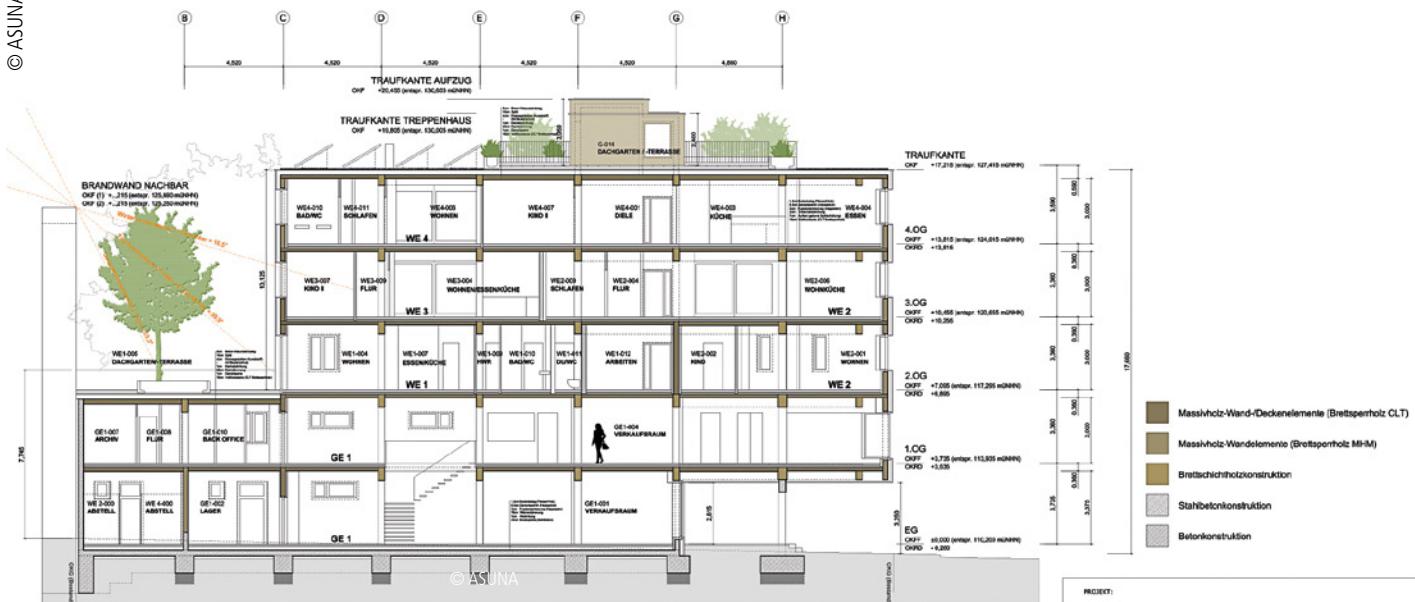


Abb. 13: Längsschnitt

## BAUTAFEL

Bauvorhaben:	Fünfgeschossiges Wohn- und Geschäftshaus Z8, Felsenkellerstraße 1, 04177 Leipzig-Lindenau
Bauweise:	Holzmischbauweise: BS-Holz-Stützen und -Träger mit BSP-Decken und -(Außen-)Wänden
Energiestandard:	Effizienzhaus im KfW 55-Standard
Baujahr (Fertigstellung):	2018
Baukosten:	2,5 Mio. € (2 150 Euro Baukosten/m <sup>2</sup> )
Wohnfläche:	624 m <sup>2</sup> (vier Wohnungen zw. 120 und 19 m <sup>2</sup> im 2. bis 4. OG)
Gewerbefläche:	430 m <sup>2</sup> (im EG und 1. OG)
Bauherr:	Baugemeinschaft Z8 GbR, 04275 Leipzig
Architektur:	ASUNA (Atelier für strategische und nachhaltige Architektur), Dipl.-Ing. (FH) Dirk Stenzel, 04275 Leipzig, www.asuna-leipzig.de
Tragwerksplanung:	Hüls Ingenieure, Tragwerke aus Holz, 15831 Blankenfelde-Mahlow, www.huels-ingenieure.de
Brandschutzkonzept:	BCL Bandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH, 04315 Leipzig, www.bcl-leipzig.de
Wärmeschutz:	Ingenieurbüro für Energieeffizientes Bauen und Wohnen, 04178 Leipzig, www.iebw.de

## Mehrfach ausgezeichnet für vorbildliches Bauen

Das Z8 mit seiner Lärchenholzfassade hebt sich deutlich von den Häusern der Nachbarschaft ab und zieht auch weit über Leipzigs Stadtgrenzen hinaus Aufmerksamkeit auf sich. So wurde der Fünfgeschosser im Frühjahr 2019 beim Architektenpreis des BDA Sachsen mit einer Anerkennung für Ökologie und Nachhaltigkeit ausgezeichnet. Im Mai 2019 folgte mit dem Staatspreis für Baukultur die nächste Prämierung. Zu guter Letzt erhielt das Z8 im Sommer 2019 auch noch den Holzbaupreis Sachsen sowie eine Anerkennung im Rahmen des Deutschen Holzbaupreises 2019.

Mit der Menge des eingesetzten Holzes sind 520 Tonnen CO<sub>2</sub> dauerhaft im Gebäude gebunden. Damit leistet das Z8 auch einen Beitrag zum aktiven Klimaschutz.

## DIE AUTORIN



Dipl.-Ing. (FH) Susanne Jacob-Freitag

Susanne Jacob-Freitag ist Diplom-Bauingenieurin, von 1997 bis 2007 war sie Redakteurin bei einer Holzbaufachzeitschrift und schreibt seit 2007 als freie Journalistin schwerpunktmaßig über Ingenieur-Holzbau und Architektur. Sie ist Inhaberin des Redaktionsbüros manuScriptur in Karlsruhe.

manuScriptur  
Schubertstr. 21  
76185 Karlsruhe  
info@texte-nach-mass.de  
www.texte-nach-mass.de

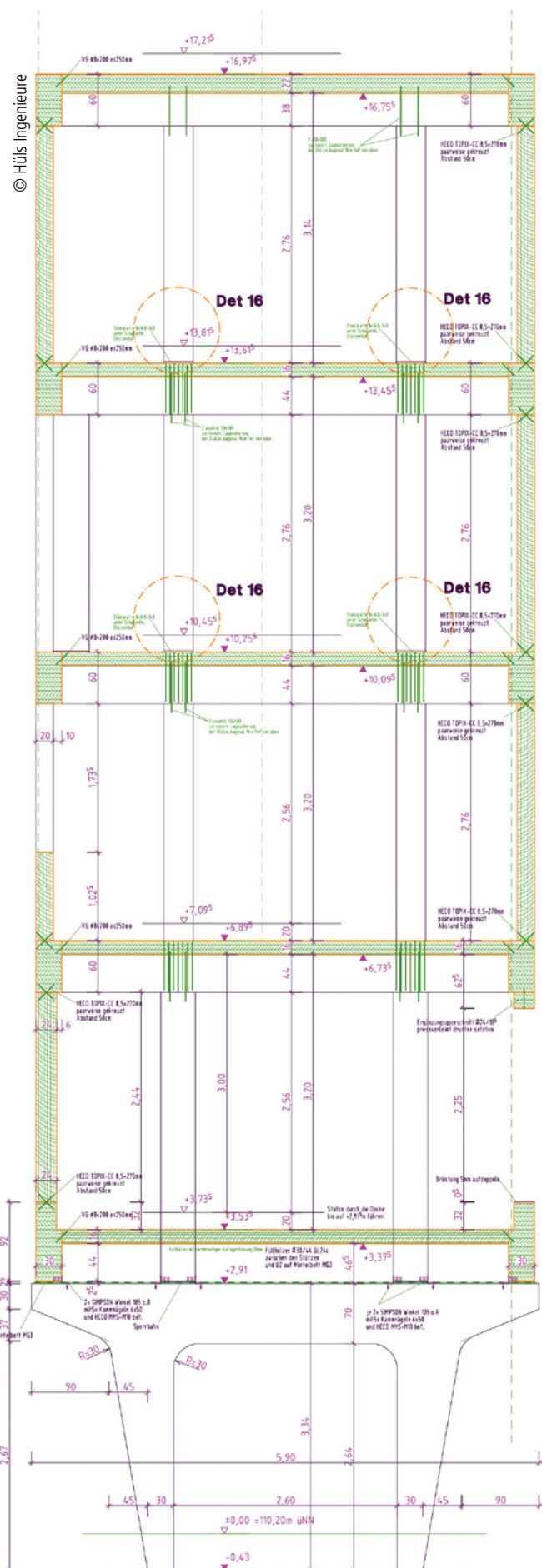


Abb. 14: Querschnitt in Ebene des Stahlbeton-Joches

Marc Wilhelm Lennartz

# Ein Campus aus Holz und Glas

## Neuer Standort für die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

Ein zweigeschossiges Fort- und Weiterbildungszentrum in Bonn offenbart die Symbiose von Architektur und Nutzung. Die Skelettkonstruktion mit vorelementierten Bauteilen setzt ein wirkmächtiges Zeichen für Offenheit und Austausch.



© Thilo Ross Fotografie

Abb. 1: Auf Augenhöhe mit dem Kottenforst präsentiert sich die clusterartige Holzskelettkonstruktion des neuen Campus in Bonn

Die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) operiert weltweit im Auftrag des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung und weiterer Ministerien. Für Auslandseinsätze werden deren Mitarbeiter in der hauseigenen Akademie für Internationale Zusammenarbeit (AIZ) geschult. Diese hat nun in Bonn einen neuen Standort erhalten, in dem die Experten und Berater von Sektor- und Globalprojekten umfänglich auf ihre Einsätze in Schwellen- und Entwicklungsländern vorbereitet werden. Dabei hält der Akademie-Neubau Kapazitäten für jährlich rund 2 000 zu schulende Mitarbeiter der GIZ und weiteren 30, ebenfalls international tätigen Organisationen, bereit, deren Einsätze sie in über 120 Länder führen, häufig in Konflikt- und Krisenregionen.

Infolgedessen zählen neben Kursen zur allgemeinen Landeskunde und etwa 70 Verkehrssprachen auch explizit Sicherheitstrainings zum Ausbildungsprogramm. Damit die Vorbereitungen auf derlei stressbehaftete Auslandseinsätze so entspannt und zugleich effektiv wie möglich organisiert und durchgeführt werden können, galt es diverse Faktoren in den Planungsprozess zu integrieren. Demzufolge wählte man als Bauplatz einen ruhigen und naturnahen Standort unmittelbar am Kottenforst, der die Region Bonn südwestlich umsäumt. Die vom Büro Waechter und Waechter Architekten aus Darmstadt konzipierte, zweigeschossige Lernlandschaft mit Didaktikzentrum setzte dazu passend auf den Baustoff Holz.

### Zentrale Lernwerkstatt

Auf den ersten Blick fällt die wabenartige Struktur der Akademie ins Auge, die mit einer ausdrücklichen ästhetischen Präsenz den umbauten Raum prägt. Das Verständnis von Lernen als Prozess in kleinteiligen, sich untereinander befruchtenden Gruppen findet in der zeitgemäßen Holzbauarchitektur seine Entsprechung. Die Form fungiert hier als Träger von Inhalt und Bedeutung und erst danach als

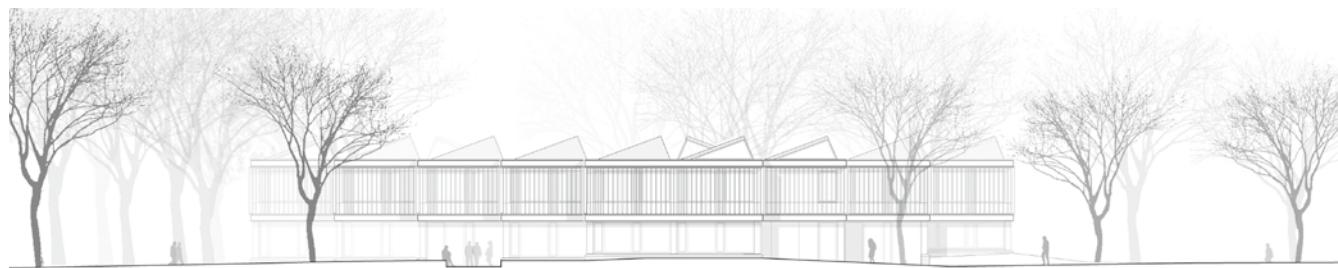
#### KERNAUSSAGEN

- Entwicklung mit Ideen des Strukturalismus in einem integrativen Entwurfsprozess
- Formgebundene Prinzipien gehen Hand-in-Hand mit pragmatischen und humanen Belangen.



© Waechter + Waechter Architekten BDA

Abb. 2: Ansicht Nord



© Waechter + Waechter Architekten BDA

Abb. 3: Ansicht Ost



© Waechter + Waechter Architekten BDA

Abb. 4: Schnitt

Gebäudehülle. Über die Grundstruktur des Bauwerks werden Partizipation und Transparenz nicht nur ermöglicht, denn als gebauter Leitsatz definiert, den die Menschen in dem mosaikartig aufgebauten Lerncluster aufgreifen, interpretieren und erweitern können. Das durchgängige Ordnungsprinzip des Bauwerks, das für den einzelnen rasch fassbar ist, vermittelt Halt und Stärke. Darin können die wissbegierigen Blicke der Lernenden weitgehend ungehindert wandern, während die freie und zugleich geordnete Lernlandschaft ihre Gedanken fokussierend unterstützt, um daraus Ideen und Lösungen zu generieren. Dieser geordnete Strukturalismus zeigt den Architekten als Künstler der geometrischen Form, deren natürlicher Ursprung über den nachwachsenden Werkstoff eine konsequente Entsprechung gefunden hat. Der dreigliedrige Holzbau

– mit einem transparenten Erdgeschoss, einem mit außenliegenden Lamellen verschatteten Obergeschoss und einem pyramidenähnlichen Dach – erinnert in seinem organischen Ausdruck an Pfahlbausiedlungen, die sich ebenso wie die Akademie unaufgeregt in ihre natürliche Ursprungslandschaft einfügen. (Abb. 2-4) Dabei werden die insgesamt 44 Schulungs- und Seminarräume von ausgedehnten Holzoberflächen und einem großzügigen Tageslichteinfall, u. a. über ein verglastes Foyer mit Café und Pausenbereich (Abb. 5), sowie durch zahlreiche Lichtgauben im Dach, determiniert. Die einzelnen Lerneinheiten, die allseitig um zwei Innenhöfe gruppiert wurden, gewähren über großflächige Verglasungen vielfältige Ein- und Ausblicke. Dabei wechseln sich variabel teilbare und geschützte Lernräume am Rand mit Freiräumen im Zentrum ab, die von Bücherregalen dezent zu Lerninseln zoniert werden. Im Kontext eines benachbarten, renovierten Gästehauses komplettiert die neue Akademie eine umfassende Campuslösung, die sowohl den Schulungsteilnehmern als auch deren Familien für die Zeit der Ausbildung und Vorbereitung auf den Auslandseinsatz zur temporären Heimstatt wird.

#### FLÄCHEN UND KENNWERTE

Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_p$ : 103,8 kWh/(m<sup>2</sup> × a)

(Der Anforderungswert des Jahres-Primärenergiebedarfs gemäß EnEV 2014 von  $Q_p = 187,4$  kWh/(m<sup>2</sup>·a) wird um rund 45 % unterschritten.)

BRI: 22 120 m<sup>3</sup>

Netto-Grundfläche (NGF): 5 540 m<sup>2</sup>

Brutto-Grundfläche (BGF): 6 240 m<sup>2</sup>

Hauptnutzfläche (HNF): 4 950 m<sup>2</sup>

Bauzeit: 2014–2017

Kosten KG 200–500 (netto): 9,46 Mio. €

#### Fassadenbekleidung mit Dreischichtplatten aus Lärchenholz

Die Gründung in den unterkellerten Bereichen erfolgte über eine mit XPS-Platten gegen das Erdreich gedämmte Stahlbeton-Bodenplatte von 25 cm, während die Tiefgarage auf



Abb. 5: Die allseits offenen Lernlandschaften werden von Holz, Licht und Transparenz determiniert

Einzel- und Streifenfundamenten ruht. Auf diesem mineralischen Sockel inklusive einer Brüstung aus Betonfertigteilen wurde der Holzbau platziert. Die Aussteifung des barrierefreien Gebäudes wird von zwei Erschließungskernen bewerkstelligt, die brandschutzbedingt ebenfalls aus Stahlbeton in F90-A gefertigt wurden und zugleich dessen Vertikallasten abtragen. Darin befinden sich die Treppenhäuser, ein Aufzug, das gebäudetechnische Leitungssystem und die Toiletten. Darüber hinaus existieren noch zwei weitere Fluchttreppenhäuser die das Brandschutzkonzept mit Rauchmeldern vervollständigen, und die Konstruktion mit ihren Stahlbetonwandscheiben aussteifen. Die Außenwände setzen sich aus werkseitig vorgefertigten Holzrahmenbauelementen zusammen. Sie bestehen aus einem 20 cm tiefen KVH-Rahmen der mit Mineralwollbahnen ebensolcher Stärke gedämmt wurde. Nach außen folgen eine 80 mm Holzweichfaserplatte und eine Unterspannbahn als Witterungsschutz. Darauf schraubten die Zimmerer eine 30 mm tiefe Unterkonstruktion für die hinterlüftete Fassadenbekleidung mit 16 mm Dreischichtplatten aus witterungsresistentem

Lärchenholz. Die innenseitige luftdichte Ebene wird von 18 mm, an den Stößen miteinander verklebten OSB-Platten gebildet, die zugleich als Dampfbremse fungieren, finalisiert von Fichtenholz-Dreischichtplatten als abschließende Innenraumoberfläche.

### BSH-Pendelstützen mit kreuzförmigem Querschnitt

Konstruktiv basiert die wabenartige Struktur auf zwei Rastern von 5,25 m × 5,25 m und 3,50 m × 5,25 m, die von der Skelettkonstruktion aus BSH-Stützen und -trägern getragen wird. Über diese systemisierte Bauweise mit hohen Vorfertigungsgraden ist es gelungen, sowohl den Bauprozess als auch die Ausführung zu optimieren und auf definierte Teilgewerke zu beschränken, was sich z. B. in wiederholenden Anschlussdetails und Bauelementen widerspiegelt. Aufgrund der durch die EnEV vorgeschriebenen hohen Dictheit der Gebäudehülle setzte man auf ein BSH-Tragwerk aus Fichtenholz, das ohne Formaldehyd im Klebeverfahren vorproduziert worden war. Die alternative Herstellung basiert auf einem Polyurethan-Klebstoff (PUR), mit dem neben dem BSH-Tragwerk auch die verwendeten Dreischicht- und OSB-Platten gefertigt wurden. Die BSH-Träger von Dach und Decke lagern auf geschosshohen BSH-Pendelstützen mit dem Maximalmaß (L) 40 cm × (B) 40 cm × (H) 310 cm, die einen prägnanten, kreuzförmigen Querschnitt aufweisen. Zusätzlich zur konstruktiven Hauptfunktion erfüllt das BSH-Tragwerk weitere Zwecke: In einen Teil der Stützen wurde die Dachentwässerung mittels Fallrohre integriert, die über zu öffnende Stützenteile gewartet werden können. Ferner dient es obendrein als Anschlusspunkt zur Separation von Seminar- und Lernräumen durch ein mobiles Raumtrennsystem. Letzteres besteht aus nicht tragenden, mineralisch gedämmten Gipskarton-Leichtbauwänden, zusätzlich gedämpft mit einem Akustikvlies und abgeschlossen mit einer hölzernen Vorsatzschale als Innenraumoberfläche.

### Durchdachte Holzbaueffizienz

Die als aussteifende Scheibe ausgeführte Deckenkonstruktion setzt sich aus vorgefertigten Hohlkastenelementen der Maße (L) 525 cm × (B) 175 cm × (H) 30 cm zusammen, deren Einfassung aus 16 mm Fichtenholz-Dreischichtplatten besteht. Die mit 140 mm dicken Mineralwollbahnen gedämmten Hohlkästen wurden in die Achspunkte der BSH-Unterzüge und Träger eingehangen und mit Holzbauschrauben montiert. Im Erdgeschoss hat man die Deckenelemente in ausgestemmte Auflagertaschen der Stahlbetonwände gelegt und mit einem Auflagerwinkel aus Stahl bzw. über einen Anschluss der Horizontallasten mit zusätzlichen Schubwinkeln befestigt, wobei die Einleitung der Lasten teilweise über Schweißgründe erfolgt. In einen Hohlräumboden, oberhalb der Deckenelemente, wurden die technischen Leitungen für Elektro, Heizung und Lüftung verlegt. Unter- bzw. innenseitig erfolgte die Ausführung der Dreischichtplatten, sowohl bei den Decken als auch bei den Wänden, in weiß lasierter Sichtqualität mit definierten Lochungen. Dadurch ist es gelungen, in einen Bauteilprozess sowohl die konstruktiven als auch die raumakustischen und die gestalterischen Aspekte zu integrieren – ein Paradebeispiel für durchdachte Holzbaueffizienz.

#### PROJEKTBETEILIGTE

- Bauherrschaft:** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, D-53113 Bonn ([www.giz.de](http://www.giz.de))
- Architektur, Entwurfsplanung, Bauleitung:** Waechter + Waechter Architekten BDA, D-64283 Darmstadt ([www.waechter-architekten.de](http://www.waechter-architekten.de))
- Holzbau Werkplanung, Vorfertigung, Montage:** Grossmann Bau GmbH & Co. KG, D-83026 Rosenheim ([www.grossmann-bau.de](http://www.grossmann-bau.de))
- Statik, Konstruktion:** merz kley partner ZT GmbH, A-6850 Dornbirn ([www.mkp-ing.com](http://www.mkp-ing.com))
- Bauphysik, Akustik, Wärmeschutznachweis:** Müller-BBM GmbH, D-82152 Planegg/München ([www.muellermbbm.de](http://www.muellermbbm.de))
- Freiflächen, Grünanlagen:** Landschaftsarchitektur und Ökologie Dipl. Ing. Angela Bezenberger, D-64285 Darmstadt ([www.loek.de](http://www.loek.de))
- LP 6-9: Riehl Bauermann + Partner Landschaftsarchitekten, D-34117 Kassel** ([www.rbpplusp.de](http://www.rbpplusp.de))
- Brandschutz:** BPK Fire Safety Consultants GmbH & Co. KG, D-40472 Düsseldorf ([www.bpk-fsc.de](http://www.bpk-fsc.de))
- TGA: HL-Technik Engineering GmbH, D-81546 München** ([www.hl-technik.de](http://www.hl-technik.de))

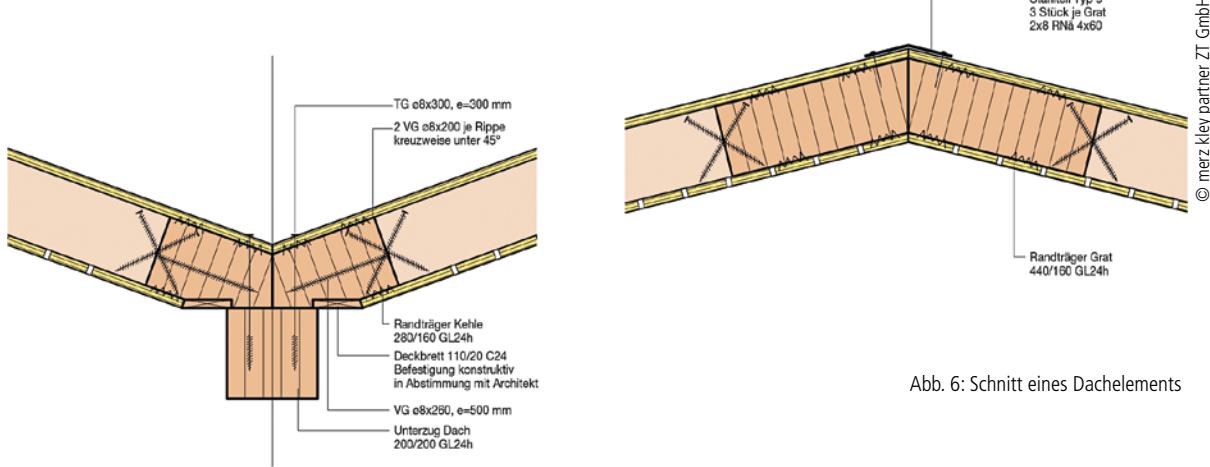


Abb. 6: Schnitt eines Dachelements

## Pyramidenartige Dachkonstruktion

Durch den mit Mineralwolle belegten Deckenhohlkasten in Kombination mit einer schalltechnischen Beschwerung und einem geeigneten Hohlbodensystem wird ein ausreichender Trittschallschutz gewährleistet, unterstützt von weichen Gummipads unterhalb der Stützfüße des Hohlräumbodens. Darauf folgt ein Industriestrich, in den das Leitungssystem der energiesparenden Fußbodenheizung integriert wurde, die, da dual ausgelegt, zugleich auch als sommerliches Kühlaggregat funktioniert. Den Abschluss bildet, als Beispiel für die Langlebigkeit der verbauten Materialien, ein heller und robuster Terrazzo-Betonboden, dessen Speichermasse die Effizienz der Flächenheizung optimiert. Die pyramidenartige Dachkonstruktion setzt sich aus je zwei vorproduzierten, asymmetrischen Hohlkasten-elementen und zwei dreifach-verglasten Dachelementen zusammen. Letztere zeichnen für den großzügigen Tageslicht-einfall in jede einzelne Raumeinheit verantwortlich. Dabei folgen die dreieckigen Elemente den beiden vorgegebenen Rastern, woraus zwei Dachmodultypen resultieren, bei dem das rechteckige Rastermaß von 3,5 m × 5,25 m unterschiedliche Dachneigungen aufweist. Die vier Elemente wurden auf der Baustelle zusammengesetzt und als ein ganzes Dachbauteil eingehoben, am höchsten Punkt abgestützt von einem Stahlrohr mit einem quadratischen Hohlprofil von 6 cm × 6 cm. Als Auflager und Montagepunkte dienen BSH-Unterzüge, die im Bereich der Erschließungskerne direkt auf den Stahlbetonwänden aufliegen, während sie im holzbaulichen Teil auf den BSH-Stützen liegen, die den Rasterachsen folgen.

## Geothermie und BHKW

Aufgrund der hohen Transparenz des Gebäudes mit einer Vielzahl an Glasflächen lag ein Augenmerk bei der TGA-Planung auf der Kühlung der Akademie, bei der passive wie auch aktive Maßnahmen miteinander kombiniert wurden. So stellen vertikale Lärchenholz-Lamellen vor den dreifach Sonnenschutz-Isolierverglasungen die Verschattung sicher, unterstützt von innenliegenden Textilscreens, Blend- und Sonnenschutzhängen sowie ausfahrbaren Rollen der Dachoberlichter. Die passive Kühlung erfolgt über die Speichermasse des Terrazzobodens und das darunter im Estrich befindliche Rohrleitungssystem, welches im Sommer von kaltem Wasser durchströmt wird. Darüber hinaus regelt eine raumlufttechnische Anlage die Abfuhr von Alt- sowie

die Zufuhr von Frischluft. Dabei kann jede Raumeinheit über Quellöffnungen im Hohlboden einzeln mit Zuluft angetrieben und gesteuert werden, während die Abluft zentral geregelt wird. Die Heizenergieversorgung der Akademie erfolgt über zwei geothermisch gespeiste Sole-Wasser-Wärmepumpen mit einem COP-Wert von 4,3 (Leistungszahl der Wärmepumpe) und einer Wärmeleistung von 116 kW, die die Grundlast sicherstellen. Für winterliche Spitzenlasten steht ein gasbetriebenes Blockheizkraftwerk (BHKW) mit einer elektrischen Leistung von 20 kW und einer thermischen Leistung von 45 kW bereit. Beide Versorgungseinheiten arbeiten systemintegriert über Pufferspeicher mit den Volumen 1 500 l (Wärmepumpe) und 2 000 l (BHKW). Die Ausgestaltung der Raumakustik wird zuerst über die großflächig eingebauten und in weiten Teilen mit Akustiklochungen versehenen Dreischichtplatten bewerkstelligt. In Ergänzung dessen wurden akustisch wirksame Absorber in die Wände integriert und die Lerneinheiten mit ebensolchen Stoffvorhängen ausgestattet. Die neue AIZ-Akademie bietet dem prozesshaften Lernen mit ihren offenen Raumstrukturen idealtypische Entwicklungsmöglichkeiten. Die Ausführung in Holz dokumentiert einmal mehr die vielfältigen Qualitäten des zeitlosen Baustoffs, dem keine architektonischen Grenzen gesetzt sind.

### DER AUTOR

#### Marc Wilhelm Lennartz

Der Fachjournalist und Buchautor Marc Wilhelm Lennartz hat in Bonn u. a. Stadtbau, Siedlungswesen und Verkehrspolitik studiert.

Aus seinem Interesse für nationale wie internationale Siedlungssysteme und Raumordnung resultierte eine frühe Berührung mit dem Holzbau, dem er sich bis heute in seinen Publikationen vertieft widmet. Seit 2000 ist er freiberuflich tätig.

Köhlerstraße 29  
56751 Polch-Ruitsch  
kontakt@mwl-sapere-aude.com  
www.mwl-sapere-aude.com



Susanne Jacob-Freitag

# Spezialverbund im Knotenpunkt

## Verguss-System und FT-Verbinder für wirtschaftlichen Bürobau

Seit rund zwei Jahren hat die FLEXIM Flexible Industriemesstechnik GmbH ein neues Firmengebäude in Berlin-Marzahn. Oder genauer gesagt: Den ersten Teil des zukünftigen Gebäudeensembles des neuen Firmensitzes, bei dem das Unternehmen auf einen Mischbau und andere Spezialitäten setzt.



© ZRS Architekten Ingenieure

Abb. 1: Der erste Teil des zukünftigen Gebäudeensembles des FLEXIM-Firmensitzes in Berlin-Marzahn besteht aus einem drei- und einem viergeschossigen Hybridbau aus Holz und Beton auf einem Stahlbeton Untergeschoss

FLEXIM, ein international führendes Unternehmen auf dem Gebiet der Entwicklung und Herstellung von Ultraschall-Durchflussmessgeräten, expandiert jährlich um etwa 20 %, was einen Erweiterungsbau notwendig machte. Um bei diesem wirtschaftlichen Wachstum auch räumlich mitzuwachsen, sollen die insgesamt sechs Gebäudeteile nicht auf einmal errichtet, sondern in mehreren Bauabschnitten

realisiert werden. Rund 45 000 m<sup>2</sup> Bruttogeschoßfläche wollte die Bauherrschaft zur Verfügung haben. Dabei umfasst das Raumprogramm die Bereiche Produktion, Verwaltung, Forschung und Schulung und folgt den logistischen Prozessen des Produktionsablaufs, bestehend aus Anlieferung, Montage der Komponenten, Verpackung, Lagerung und Auslieferung.

Auf Basis dieser Eckdaten schrieb FLEXIM 2013 ein Auswahlverfahren mit Vorentwurfskonzept aus. Als Sieger ging die Arbeit des Berliner Büros ZRS Architekten Ingenieure mit einem stufenweise erweiterbaren Holz-Beton-Hybridbau hervor. Die Struktur der Gebäudeanordnung basiert laut Planern auf dem Prinzip der historischen Berliner Gewerbehöfe in Geschossbauweise (Abb. 1, 2 und 3 a). D. h., dass nach Fertigstellung aller Bauabschnitte alle sechs Gebäude über Höfe miteinander verbunden sind. Dieses Höfekonzept passte optimal zu den

### KERNAUSSAGEN

- Polymervergussknoten ermöglichen vertikale Lastdurchleitung
- FT-Verbinder sorgen für schubfeste Holz-Beton-Verbund-Decken
- Heißbemessung der Holzbauteile spart Kapselung mit Gipsplatten

abzubildenden Produktions- und Logistikabläufen. Damit konnte ein entsprechendes, den Nutzern angepasstes, technisch hochwertiges Gebäude realisiert werden, in dem auch die gewünschten zahlreichen Gemeinschafts- und Kommunikationszonen ideal unterkommen.

## Realisierung des ersten Bauabschnitts als Gebäudekomplex mit zwei Höfen

Aus dieser Grundidee ergab sich die Anordnung der beiden Baukörper des ersten Teilgebäudes: Ein quadratischer und ein rechteckiger Ring (Gebäude-Außenabmessungen: 38 m × 38 m / 38 m × 55,60 m) sind, wie eine liegende Acht über eine Gebäudeecke miteinander verbunden bzw. überschneiden sich hier und bilden zwei Höfe sowie einen Vorplatz (Abb. 3b). Der Hof des rechteckigen Gebäudes, auch als Hof B bezeichnet, bleibt offen und dient als eine Art Atriumgarten (Abb. 4), der des quadratischen Gebäudes (Hof A) erhielt ein Glasdach und wird zu einem Lichthof innerhalb des Baus (Abb. 5).

Aufgrund der Lage des Grundstückes im Bereich eines ehemaligen Rieselfeldes, einer Anlage zur Reinigung von Abwässern, erfolgte die Gründung durch eine Aufschüttung von etwa 2 m. Um dieses Maß ist das Gebäude in den Baugrund eingelassen. Hier befindet sich die gesamte Gebäudeunterfahrende Lager- und Logistikebene (Abb. 3b und 3c). Das Hochregallager, ebenfalls im UG untergebracht, reicht sogar teilweise ins Erdgeschoss hinein, ist also bereichsweise zweigeschossig. Im Norden befindet sich der Logistikhof für Anlieferung und Warenausgang.

Empfang und Haupteingang sind im quadratischen Gebäudering untergebracht. Dessen Erdgeschoss nimmt



Abb. 2: Das Unter- bzw. Sockelgeschoss tritt bei der Tiefgaragenzufahrt und dort, wo es Böschungen gibt, in Erscheinung

außerdem die Kantine und die Schulungsräume auf. In den ersten Obergeschossen der beiden Baukörper befindet sich in Längsrichtung außerdem der sogenannte Boulevard (Abb. 3b). Er verbindet die Höfe miteinander. Darüber hinaus verbinden die drei Erschließungskerne des Gebäudekomplexes mit Treppenhaus und Aufzug den Boulevard mit allen Ebenen

© ZRS Architekten Ingenieure



Abb. 3 a: Ein quadratischer und ein rechteckiger Ring sind wie eine liegende Acht über eine Gebäudeecke miteinander verbunden und bilden zwei Höfe aus. An den ersten Teil des Gesamtprojekts sollen nach und nach weitere »Hofgebäude« angebaut werden.

Abb. 3b: Schematische Darstellung der übergeordneten Organisation der Gebäudekörper

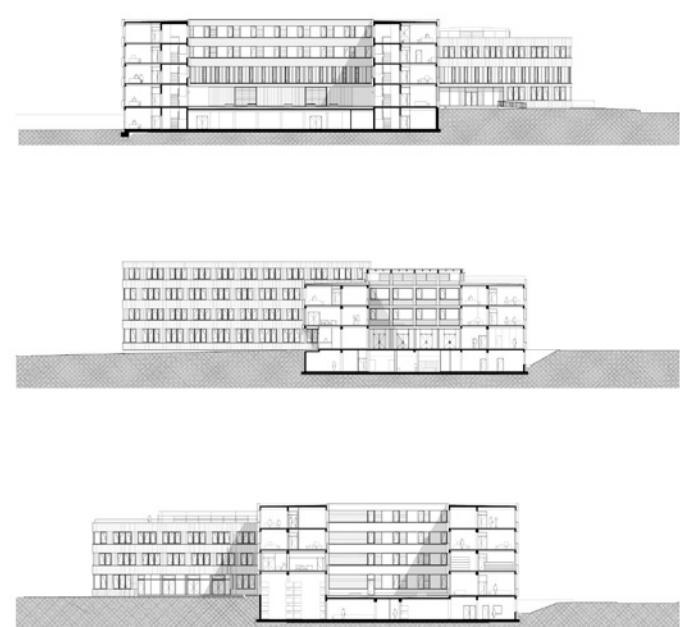


Abb. 3c: Gebäudeabschnitte mit Logistikebene im Untergeschoss und Hochregallager über zwei Geschosse (UG/EG)



Abb. 4: Der Hof des rechteckigen Gebäudes, auch als Hof B bezeichnet, bleibt offen und dient als eine Art Atriumgarten



Abb. 5: Der Hof A des quadratischen Gebäudes erhielt ein Glasdach und wird zu einem Lichthof innerhalb des Baus. Das dem Atrium zugewandte Skelett des quadratischen Gebäudeinges bestehen über alle Geschosse aus BS-Holz-Stützen und -Trägern.

und ermöglichen die zentrale Materialversorgung und Anbindung an das Lager und die Logistik im Souterrain.

### Hybride Skelettbauten mit schubfesten Holz-Beton-Verbund-Decken

Das Tragwerk der beiden Mehrgeschosser bildet ein Holz-Beton-Skelettbau. Das Untergeschoss ist in Stahlbeton (WU Beton) ausgeführt. Es liegt teilweise im Erdreich, teilweise wird es aber auch durch Böschungen, Geländeversprünge oder die Zufahrt in den Logistikbereich im UG sichtbar. Ebenfalls aus Stahlbeton sind die drei aussteifenden Erschließungskerne bis ins abschließende dritte bzw. vierte Geschoss sowie die Innen-Stützen und Träger des Skeletts – diese allerdings nur bis ins zweite bzw. dritte Geschoss – für die Stützen und Träger der obersten Geschosse kam Brettschicht(BS)-Holz zum Zug. Eine Besonderheit stellt außerdem das Tragwerk der Atrium zugewandten Gebäudehülle des quadratischen Baus dar (Abb. 5): Es ist als reines Holzskelett aus BS-Holz-Trägern (b/h = 25 cm × 40 cm) und -Stützen (b/h = 25 cm × 48 cm) mit speziell entwickelten Knotenpunkten zur Lastdurchleitung ausgeführt.

Für die Geschossdecken wählten die Planer eine Holz-Beton-Verbund(HBV)-Konstruktion in Form von Balkendecken aus BS-Holz-Trägern (b/h = 18/22 cm × 24 cm) und einer 24 mm dicken Dreischichtplatte als verlorene Schalung für die statisch mitwirkende 8 cm Ortbetonschicht. Die Decken sind als Einfeldträger mit einer maximalen

Spannweite von 6,50 m ausgeführt. Dabei sind diese BS-Holz-Träger bzw. Deckenbalken im regelmäßigen Abstand von 1,0 m angeordnet und liegen über Konsolen auf den Stahlbetonträgern auf (Abb. 6) bzw. schließen über Stahlanschlussbleche an die BS-Holz-Träger des Holzskeletts an. Quer über die Deckenbalken wurden dann die Dreischichtplatten verlegt, sodass eine Art Plattenbalken entsteht.

Den Verbund dieses Plattenbalkens mit dem Beton stellen sogenannte FT-Verbinder der Fa. SWG/Würth her (FT steht für Fertigteil, wobei der Verbinder hier nicht zusammen mit Fertigteilen verwendet wurde). Diese wurden reihenweise in Achse der Deckenbalken, also ebenfalls im Abstand von 1 m, aufgebracht (Abb. 7). Dabei dient der FT-Verbinder mit seinem geneigten Schraubkanal als Platzhalter und Führungshülse für die Verbindungsmitte. Entsprechend lange Schrauben verspannen die Deckenbalken mit der Holzplatte und verzehnen sich mit dem bewehrten Aufbeton (Abb. 8). Die im Verbinder integrierte Stahlplatte vergrößert die Pressfläche des Schraubenkopfes und verhindert so das Herausziehen, Durchziehen bzw. Durchstanzen der Schraube. Weitere Vorteile führte zur Wahl dieses Verbinders, weshalb die Planer sich schon in der Angebotsphase dafür entschieden haben. Etwa diesen: Die im Vergleich zu herkömmlichen stiftförmigen Verbindungsmitte größeren Schraubendurchmesser und -längen kombiniert mit dem flachen Einschraubwinkel erhöhen die Tragfähigkeit der Einzelverbindung. Dadurch kann die Gesamtzahl der erforderlichen Verbinder im Vergleich zu klassischen



© ZRS Architekten Ingenieure

Abb. 6: BS-Holz-Balken mit aufgelegter Dreischichtplatte bilden die Untersicht der Holz-Beton-Verbund-Decke. Die Deckenbalken liegen auf konsolenartigen Vor- sprüngen der Stahlbeton-Träger des Skelettbau aus.



© ZRS Architekten Ingenieure

Abb. 7: Den Verbund zwischen Deckenbalken, Dreischichtplatte und Beton stellen FT-Verbinder her. Diese wurden reihenweise in Achse der Deckenbalken aufgebracht.

HBV-Decken mit diagonal eingedrehten Schrauben im Nassbetonverguss um bis zu zwei Drittel reduziert werden. Das verkürzte auch die Montagezeiten erheblich.

Zusammen mit den eingespannten Stahlbeton-Stützen, -Wandscheiben und Erschließungskernen sorgen die HBV-Decken für die Aussteifung der beiden Gebäudeteile.

## BAUTAFEL

Bauvorhaben:	Firmengebäude FLEXIM GmbH, Berlin-Marzahn
Bauweise (Dachtragwerk):	Ingenieur-Holz-Beton-Hybridbau
Baujahr:	2017
Auftragssumme (Holzbau):	ZÜBLIN Timber GmbH: 1,57 Mio. Euro
Bruttogeschossfläche (BGF):	13 700 m <sup>2</sup>
Nutzfläche (NF):	9 900 m <sup>2</sup>
Bauherr:	FLEXIM GmbH, 12681 Berlin, <a href="http://www.flexim.com">www.flexim.com</a>
Architektur:	ZRS Ziegert Roswag Seiler Architekten Ingenieure, 10997 Berlin, <a href="http://zrs-berlin.de/de">https://zrs-berlin.de/de</a>
Tragwerksplanung (Holzbau):	ZÜBLIN Timber GmbH, 86551 Aichach, <a href="http://www.zueblin-timber.com">www.zueblin-timber.com</a>
Brandschutz:	Eberl-Pacan Architekten + Ingenieure, 10115 Berlin, <a href="http://brandwende.com">https://brandwende.com</a>
Klimadesign, Simulation, EnEV-Nachweis:	IB Hausladen, 85551 Kirchheim, <a href="http://www.ibhausladen.de">www.ibhausladen.de</a>
TGA-Planung:	ISB Schneider & Bauer GmbH, 10318 Berlin, <a href="http://www.isb-berlin.com">www.isb-berlin.com</a>
Projektsteuerung:	PPM GmbH Planung + Projektmanagement, 10961 Berlin, <a href="http://pp-pm.de">http://pp-pm.de</a> , Büro Jens Schubring, 10711 Berlin
Auszeichnung:	Klimaschutzpartner 2014 (Preisträger der Kategorie »Erfolgreiche und innovative Planungen«)

## Spezielles Verguss-System für Stützen-Träger-Anschluss eingesetzt

Die Träger der BS-Holz-Skelettkonstruktion der dem Atrium zugewandten Seite sind als Durchlaufträger konzipiert, die geschossweise übereinander angeordneten Stützen stehen senkrecht auf ihnen. Bedingt durch die großen Spannweiten, die Anzahl der Geschosse und das Gründach ergeben sich große Punktlasten, die die Stützen in die Träger einleiten. Zur Lastübertragung hat man für diese Kreuzungspunkte spezielle Verbundknoten mit einem Polymerverguss-System gewählt. Hierfür erhielten die BS-Holz-Träger im Bereich der Stützen drei Bohrungen mit Durchmessern von 65 mm. Diese wurden werkseitig ausgefräst und mit einer polymergebundenen, hochdruckfesten Vergussmasse verfüllt (Abb. 9), einem Zwei-Komponenten-Epoxidharz mit mineralischem Zuschlag (Reaktionsharzbeton »Compono 100 S« der Fa. Compono, Zulassungsnummer: Z-10.7-282). Die für die Kopfseite der unteren Stützen erforderliche Stahlplatte diente hierbei als Schalung für den zähflüssigen Polymerverguss. Damit konnte die in Kraftrichtung vollständig schlupffreie Lastdurchleitung realisiert werden. Bereits nach wenigen Stunden erreicht die Vergussmasse die Bemessungsfestigkeit, sodass die Fertigung der Träger nur wenige Stunden dauerte.

Bemessen wurden die »Säulen« auf Druckversagen des Polymervergusses. Die im Vergleich zum Holz hohe Festigkeit und Steifigkeit des Vergussmaterials führt zur überwiegenden Konzentration der Vertikallasten in den Polymerstählen, sodass diese den Hauptanteil der im Kontaktbereich eingeleiteten Lasten abtragen. Die Bettung in dem umgebenden Holz bewirkt zudem eine deutliche Tragfähigkeitssteigerung, die in die Bemessung jedoch nicht einbezogen wurde, sodass weitere Tragreserven vorhanden sind. So ermöglichen die Polymervergussknoten die Lastdurchleitung aus den Holzstützen durch die HBV-Decke und die BS-Holz-Träger hindurch, fast ohne sie zu belasten.

Die vollständig in den Holzquerschnitt integrierten Säulen ermöglichen außerdem, dass sowohl der geforderte Brandschutz erfüllt als auch die optische Wirkung nicht



© ZÜBLIN Architekten Ingenieure

Abb. 8: Der Verbindelement mit geneigtem Schraubkanal dient als Platzhalter und Führungshülse für die Verbindungsmitte. Entsprechend lange Schrauben verspannen die Konstruktion und verzehnen sich später mit dem bewehrten Aufbeton.

beeinträchtigt wird. Zum Planungsbeginn 2013 lag für diese Vergussknotenlösung noch keine bauaufsichtliche Zulassung vor. Eine Zustimmung im Einzelfall ermöglichte es zum Planungszeitpunkt aber, sie einzusetzen.

### Holzbauteile über Heißbemessung dimensioniert

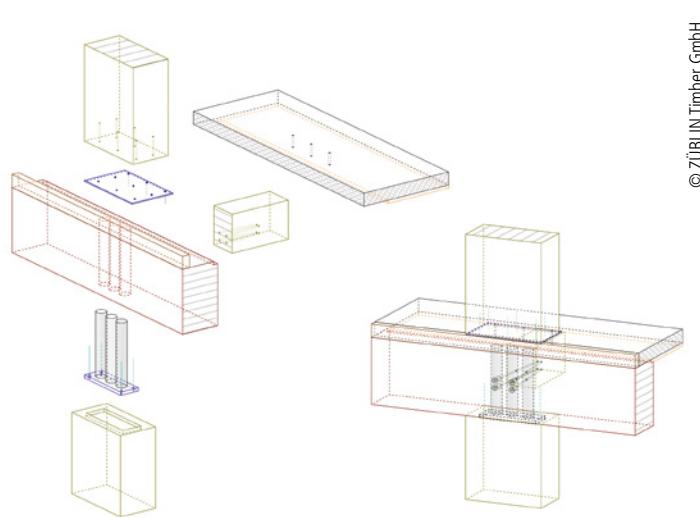
Die Dimensionierung der Holzbauteile erfolgte über den Abbrand (Heißbemessung). D.h. auf die statisch erforderlichen Abmessungen (Kaltbemessung) wurde das Dickenmaß an Holz aufgeschlagen, das entsprechend dem rechnerischen Abbrandverhalten innerhalb von 90 Minuten abbrennt und verkohlt (Abbrandrate). Der Restquerschnitt trägt dann die im Brandfall anzurechnenden Lasten. In Bezug auf die »Kaltbemessung« sind die Stützen und Träger

daher überdimensioniert. Dafür konnte man auf aufwendige Brandschutzbekleidungen mit Gipsplatten verzichten und die Holzoberfläche der Stützen sichtbar lassen. Es galt die Feuerwiderstandsklasse F-90-B zu erfüllen, was durch die entsprechende Dimensionierung der Holzquerschnitte respektive die hier verdeckt im Holz liegenden Anschlüsse sichergestellt werden konnte.

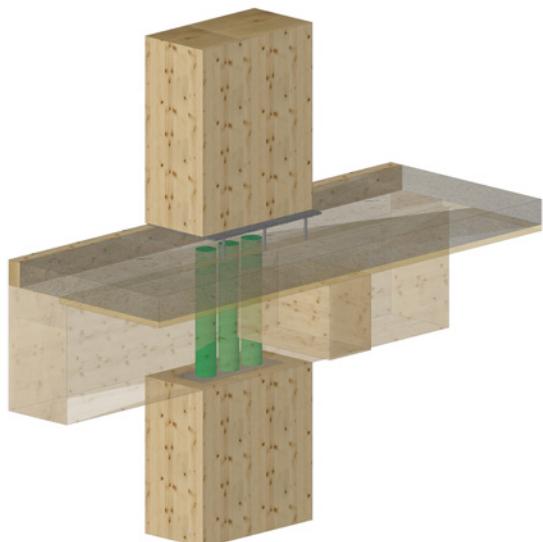
### Skelettbauten erhalten Gebäudehülle aus Holzrahmenbau-Elementen

Den hybriden Skelettbau umhüllen vorgefertigte, hochwärmgedämmte Außenwand-Elemente in Holzrahmenbauweise mit Zellulosedämmung und vorgehängter Lärchenholzfassade – alles weitgehend CO<sub>2</sub>-neutrale Baustoffe, ganz bewusst gewählt. Sie erreichen einen U-Wert von 0,12 W/(m<sup>2</sup>K). Dabei wurden die geschosshohen, selbsttragenden, aber statisch nicht wirksamen Elemente vor den Trägern und Stützen vorbeigeführt und bilden eine geschlossene Gebäudehülle. Die Außenwandkonstruktion ist insgesamt diffusionsoffen ausgeführt.

Die nach außen- sowie hofseitig orientierten Außenwände samt hinterlüfteter Fassade bestehen abweichend von der Bauordnung Berlin (BauO Bln) aus normal entflammabaren Baustoffen. Um die Brandausbreitung über die Holzfassade auf das darüber liegende Geschoss ausreichend lange zu begrenzen, hat man in jedem Geschoss in Höhe der Brüstungen horizontal durchgängige Brandsperren angeordnet. Ebenso wird die Hinterlüftung der Außenwände in jedem Geschoss und zusätzlich vertikal an Treppenraum- und Brandwänden sowie in Gebäude-Innenecken durch horizontale Holzverblockungen oder Schürzen unterbrochen. Damit lässt sich eine geschoß- oder brandabschnittsübergreifende Ausbreitung eines Brandes in der Hinterlüftungsebene verhindern.



© ZÜBLIN Timber GmbH



© ZÜBLIN Timber GmbH

Abb. 9: 3-D- und Explosionszeichnung (links) bzw. transparente Isometrie (rechts) des Lastdurchleitungsknoten mit Polymerverguss, der beim Holzskelett der Atrium umgebenden Konstruktion ausgeführt wurde: Drei »Vergussäulen«, die im BS-Holz-Träger integriert sind, leiten die Vertikallasten in die BS-Holz-Stützen des darunter liegenden Geschosses weiter.



© ZRS Architekten Ingenieure

Abb. 10: Horizontale Bänder aus dunkel gerahmten Fenstern und geschlossenen Holzelementen gliedern die Fassade. Die Profilglasfassade des Souterrains setzt sich von der Lärchenholzfassade ab.

## Fassaden durch horizontale Gliederung gestaltet

Die Fassade ist durch horizontale Bänder gegliedert. Geschlossene Holzelemente wechseln sich mit dunkel gerahmten Fenstern ab und ergeben zusammen mit dem außen liegenden Sonnenschutz eine sich ständig verändernde Fassadenansicht. Das Souterrain mit gedämmter Profilglasfassade dagegen setzt sich von der übrigen Lärchenholzfassade ab (Abb. 10). Auch die hell geputzten Hoffassaden erhielten die markanten Fensterbänder; hier fallen die geschlossenen Holz-Elemente besonders in den Blick.

Als klimaaktive Gebäudehülle konzipiert, ist der Anteil an Glas-, Verschattungs- und Nachtauskühlungselementen so gewählt, dass einerseits das Raumklima im Sommer einen hohen Komfort ermöglicht, andererseits aber der Jahresenergiebedarf gering ausfällt. In Kombination mit regenerativen Energiequellen wie Abwärme aus kommunalem Abwasser, Wärmepumpe, Kollektor und Photovoltaikanlage konnten die Anforderungen der Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV) um 30 % unterschritten werden. Schon in der Planung wurde das Projekt daher als »Klimaschutzpartner 2014« ausgezeichnet (Preisträger der Kategorie »Erfolgreiche und innovative Planungen«).

## Holz prägt das Erscheinungsbild innen und außen

Im 25. Jahr ihres Bestehens konnte die FLEXIM GmbH ihr neues Firmengebäude beziehen. Es zeigt innen und außen viel Holz und setzt sich damit von den umgebenden Gebäuden in dem von Industrie geprägten Bereich nördlich des Zentrums von Berlin-Marzahn ab.

Die HBV-Decken ermöglichen eine großzügige Gestaltung der Nutzflächen bei gleichzeitig hohen Ansprüchen an Optik und Brandschutz. Dabei erlaubten die innovativen Vergussknoten zwischen den Geschossbauteilen eine kostengünstige Umsetzung der notwendigen Lastdurchleitungen. Insgesamt trugen die Materialkombinationen zur Ausbildung einer leistungsfähigen Holz-Hybrid-Konstruktion und damit zur effizienten Lösung der Bauaufgabe bei, die noch auf Fortsetzung wartet.

### DIE AUTORIN

Dipl.-Ing. (FH) Susanne Jacob-Freitag

Susanne Jacob-Freitag ist Diplombauingenieurin, von 1997 bis 2007 war sie Redakteurin bei einer Holzbau-Fachzeitschrift und schreibt seit 2007 als freie Journalistin schwerpunktmäßig über Ingenieur-Holzbau und Architektur. Sie ist Inhaberin des Redaktionsbüros manuScriptur in Karlsruhe.



manuScriptur  
Schubertstr. 21  
76185 Karlsruhe  
info@texte-nach-mass.de  
www.texte-nach-mass.de

Klaus W. König

# Neue Grundsätze der Regenwasserbewirtschaftung

## Zwei Betriebshöfe erfüllen die künftigen Erfordernisse der lokalen Wasserbilanz schon heute

In Zukunft spielt bei der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung neben der Entwässerungssicherheit (Quantitätsaspekt) und der Behandlung des Regenabflusses (Qualitätsaspekt) v. a. die lokale Wasserbilanz eine zentrale Rolle. Das wird nur mit Hilfe begrünter Dächer gelingen. Die zugehörige Regel der Technik, DWA-A 102, ist derzeit in Vorbereitung.



Abb. 1: Zukünftiger Campus Technisches Zentrum Heiterblick, Leipziger Verkehrsbetriebe. Begrünte Dachflächen auf den Neubauten: vorne Abstellhalle, Mitte Hauptwerkstatt (2014 fertiggestellt), hinten Betriebswerkstatt. Grau: denkmalgeschützter Gebäudebestand.

Regenwasser nutzen und versickern ist für die meisten Betriebshöfe der Kommunen, Landkreise und Bundesländer selbstverständlich – insbesondere bei den neu gebauten Betriebsstätten der Straßen- und Flussunterhaltung sowie der Verkehrs- und Entsorgungsbetriebe. Verdunsten war selten gefordert, was sich mit dem Arbeitsblatt DWA-A 102, das als Entwurf vorliegt, ändern soll. Die Bauten, die hier vorgestellt werden, erfüllen die neuen Anforderungen: Ihre begrünten Dachflächen verdunsten entsprechend viel Niederschlag.

### KERNAUSSAGEN

- Das in Betriebshöfen von Oberflächen abfließende Wasser muss behandelt werden.
- Begrünte Dachflächen bringen Vorteile für den Wasserkreislauf und das Mikroklima. Zugleich verringern sie Temperaturschwankungen in der Gebäudekonstruktion.
- Das Nutzen der Grundwasserbrunnen ist beim TZ Heiterblick erst dann zulässig, wenn die Regenwasservorräte aufgebraucht sind.

### Beispiel in Sachsen: Technisches Zentrum Heiterblick

Die Leipziger Verkehrsbetriebe sichern täglich die Mobilität der Menschen in der Stadt selbst sowie der Region. Um einen optimal funktionierenden Nahverkehr sicherzustellen, investieren die Verkehrsbetriebe als Mobilitätsdienstleister nicht nur kontinuierlich in das Liniennetz und die Fahrzeugflotte, sondern auch in die Betriebshöfe und Werkstätten, in denen die Wartung und Instandsetzung des Fuhrparks durchgeführt wird. Die Straßenbahn wird weiterhin der Hauptverkehrsträger im innerstädtischen ÖPNV Leipzigs sein. Somit ist es eine Aufgabe von steigender Bedeutung, die Fahrzeuge betriebsbereit zu erhalten. Unter diesem Aspekt wurde das Gesamtkonzept des Technischen Zentrums (TZ) Heiterblick entwickelt. Zusammen mit den Betriebshöfen Angerbrücke und Döllitz bildet es ein funktionelles Dreieck, das den Anforderungen an moderne und leistungsfähige Straßenbahn-Betriebshöfe entspricht. Insgesamt arbeiten im TZ 580 Mitarbeiter, davon max. 300 gleichzeitig.

Das vom 165 000 m<sup>2</sup> großen Gelände und den Dächern abfließende Regenwasser wird in einem Stauraumkanal mit 3 m Durchmesser und 2700 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen gesammelt und steht der Sprinkleranlage in der neu erstellten



Abb. 2: Technisches Zentrum Heiterblick, Neubauten. Beispiel eines begrünten Retentionsdaches. Mäander-60-Elemente auf Schutz- und Speichervlies, darunter wurzelfeste Dachabdichtung. Später folgt auf die Mäander-Elemente ein Filtervlies, darüber Extensivsubstrat mit Vegetation.

Hauptwerkstatt zur Verfügung. Auch die Bewässerung der Außenanlagen erfolgt mit dem so gespeicherten Niederschlag. Sind diese Vorräte aufgebraucht, dürfen drei Grundwasserbrunnen genutzt werden. Der Stauraumkanal stellt, wie die Dachbegrünung, eine verzögerte Ableitung des Regenwassers dar und entwässert mit max. 10 l/s in den Regenkanal der kommunalen Wasserwerke Leipzig. Um Leichtflüssigkeiten wie Öl und Benzin zurückzuhalten, ist ein Absetzbecken mit Sedimentationsraum und Tauchwand vorgeschaltet.

Ein Gründach bringt Vorteile für den natürlichen Wasserkreislauf sowie das Mikroklima im Umkreis des Gebäudes. Das liegt an der Luftbefeuchtung und Verdunstungskühlung durch die Pflanzen, die das Regenwasser in gasförmigem Zustand zurück in die Luft geben – ebenso an der Staubbindung sowie der Umwandlung von Kohlendioxid in Sauerstoff. Und es bringt dem Betreiber messbare Vorteile. So treten z.B. keine größeren Temperaturschwankungen in der Konstruktion auf, was die Nutzungsdauer der Immobilie und deren finanziellen Wert erhöht. Auch ist der Wohlfühleffekt in den Räumen darunter an sehr heißen Tagen besonders groß, solange die Begrünung nicht ausgetrocknet ist. Um dies ohne Bewässerung zu erreichen, versuchen



Abb. 3: Technisches Zentrum Heiterblick, begrünte Dachflächen auf den Neubauten. Vegetation als Mischung aus Kräutern, Gräsern und Sedum. Hoher Wasserrückhalt und hohe Artenvielfalt bei starker Minderung des Spitzenabflusses auf einem Retentionsdach.

die Hersteller der Gründachsysteme die Verfügbarkeit des Regenwassers für den Bewuchs zu verbessern.

Dachbegrünung nach heutiger Bauart besteht aus mehreren Schichten, mit einer Aufbauhöhe ab 8 cm und mit Verdunstungsraten im Jahresmittel von 30 % bis über 90 % der auftreffenden Regenmenge. »Wir können durch entsprechende Speicherlagen den Rückhalt des Regenwassers im System erhöhen«, erklärt Dr. Gunter Mann, Präsident der Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e. V. (FBB) in Saarbrücken. Eines der Ergebnisse ist das Retentionsdach Typ Mäanderdach 60, wie es auf der neuen Hauptwerkstatt des Technischen Zentrums Heiterblick der Leipziger Verkehrsbetriebe vom Garten- und Landschaftsbaubetrieb Güther im Jahr 2013 eingebaut wurde (Abb. 2 und 3). Inhaber Jürgen Güther nennt als Voraussetzung ein Flachdach mit 0 bis 5° Neigung und ergänzt: »Bei 12 cm Bauhöhe erreicht die Begrünung eine Verringerung des Spitzenabflusses von bis zu 83 %, entsprechend einer Abflusskennzahl  $C=0,17$ «. Mit nur zwei Wartungsintervallen pro Jahr ist der Aufwand für die Pflege der extensiven Vegetation, bestehend aus einer Mischung von Kräutern, Gräsern und Sedum, überschaubar.

## Beispiel in Baden-Württemberg: Flussbaubetriebshof Donaueschingen

Dieses Beispiel zeigt, wie ein Betrieb das Oberflächenwasser direkt einleiten darf – allerdings erst nach Behandlung auf dem eigenen Grundstück und gedrosselt. Neben der Qualität des zugeführten Wassers ist auch dessen Menge ein Kriterium, da in diesem Fall die Breg, ein Zufluss im Quellgebiet der Donau, vor großen Wassermassen geschützt werden muss.

»Brigach und Breg bringen die Donau zu Weg«, lernen die Schüler in Donaueschingen, obwohl sie wissen, dass sich laut Reiseführer die Donauquelle im fürstlichen Schlosspark in der Stadtmitte befindet. Tatsächlich aber trägt deren Abfluss nur noch einen geringen Teil bei. Brigach und Breg führen über 90 % der Wassermenge aus dem nahen Schwarzwald heran. 30 km weiter verliert das Flussbett der Donau schon wieder ein Drittel des Wassers. Es versickert in Richtung Bodensee, tritt als Aachquelle zu Tage und fließt auf Umwegen in den Rhein. Brigach, Breg und das erste Stück

### PROJEKTDATEN REGENWASSERANLAGE

Hauptwerkstatt TZ Heiterblick, Leipziger Verkehrsbetriebe	
–	verdunstet über extensive Dachbegrünung
–	nutzt Vorrat im Stauraumkanal für Brandschutz/Sprinkleranlage
–	leitet den Überlauf verzögert in den öffentlichen Regenkanal ein
Bauherr:	Leipziger Verkehrsbetriebe GmbH
Adresse:	Teslastraße 2, 04347 Leipzig
Entwurfsplanung	
Entwässerung:	Landschulte + Kloppe Ingenieurgesellschaft, Düsseldorf
Fertigstellung:	2014
Gründach:	6 720 m <sup>2</sup> Retentionsdach Typ Mäanderdach 60
Verarbeiter:	der Optigrün international, Krauchenwies Jürgen Güther Landschafts- und Dachbegrünung, Gerichshain



© König

Abb. 4: Flussbaubetriebshof des Landes Baden-Württemberg in Donaueschingen. Niederschlagswasser vom begrünten Dach wird direkt, von der Hoffläche indirekt über eine Sedimentationsanlage Richtung Donau entwässert. Links Waschplatz mit kombiniertem Benzin- und Koaleszenzabscheider, dessen Abfluss durch einen Probenahmeschacht in die Schmutzwasserkanalisation erfolgt.

der Donau bis zur Versickerung vor Tuttlingen fallen in die Zuständigkeit des Flussbaubetriebshofs Donaueschingen – insgesamt ca. 100 km Gewässer der 1. Ordnung zwischen St. Georgen (Brigach), Hammereisenbach (Breg) und Möhringen (Donauversickerung). Die elf Mitarbeiter am neu gebauten Standort sind angestellt beim »Landesbetrieb Gewässer Baden-Württemberg« und sorgen dafür, dass Flussbett und Ufer der Gewässer sich in einem guten Zustand befinden. Nach der Rückkehr von Bau- und Pflegeeinsätzen werden Maschinen und Geräte gereinigt, bei Bedarf gewaschen und in der Halle abgestellt. Die Entwässerung von Waschplatz und Innenraum der Fahrzeughalle erfolgt über Abläufe und Rohre zum Benzin- und Koaleszenzabscheider (Abb. 5), dann weiter durch einen Probenahmeschacht in die Schmutzwasserkanalisation.

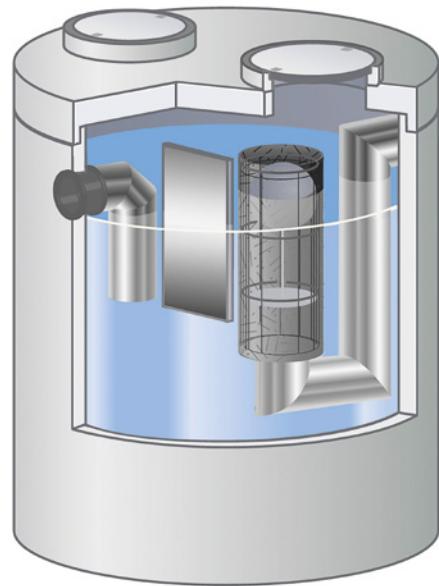
Die Entwässerung des Niederschlagswassers der Hoffläche und der Dachfläche erfolgt über parallel verlaufende Kanalstränge, die jeweils südlich und nördlich der Hofhälfte platziert sind. Der Abfluss vom begrünten Dach wird direkt, d. h. ohne Behandlung, dem öffentlichen Regenwasserkanal zugeführt. Den Abfluss von der Hoffläche nehmen mittig angeordnete Schlitzrinnen auf, die ein integriertes

#### PROJEKTDATEN REGENWASSERANLAGE

##### Flussbaubetriebshof, Donaueschingen

- verdunstet über extensive Dachbegrünung
- behandelt Oberflächenabfluss vor Ableitung in die Vorflut
- leitet den Überlauf verzögert in den öffentlichen Regenkanal ein

Bauherr:	Vermögen und Bau Baden-Württemberg, Amt Konstanz
Adresse:	Bregstr. 24 a, 78166 Donaueschingen
Planung	
Entwässerung:	Rottweiler Ing.- u. Planungsbüro GmbH (RIP), Rottweil
Fertigstellung:	2011
Sedimentationsanlagen:	2 × Mall MSA 2 500
Abscheideanlage:	1 × NeutraPro NS 6-2500, Warnanlage NeutraStop OASA



© Mall

Abb. 5: Benzin- und Koaleszenzabscheider NeutraPro mit integriertem Schlammfang

Innengefälle haben. »Niederschlagswasser von der Hoffläche fließt so in zwei parallel verlaufenden, baugleichen Rinnen- systemen zu jeweils einer Sedimentationsanlage (Abb. 6). Von dort wird es gereinigt dem öffentlichen Regenkanal zugeführt, der in die Breg mündet«, erklärt Tanja Baiker vom Rottweiler Ingenieur- und Planungsbüro.

#### Behandlungsbedarf beim Oberflächenabfluss

Sedimentation ist die einfachste und wirtschaftlichste Methode der Regenwasserbehandlung. Ein Prallblech versetzt den Zulauf und das im Behälter stehende Wasser in Rotation. Die Wasserströmung wird durch das eingebaute Zentralrohr nach unten gelenkt, wobei sich Schwebstoffe zum Behälterboden hin absondern (Sedimentation). Falls weniger Raum zur Verfügung steht als berechnet, kann die wirksame Oberfläche des Beckens mithilfe sogenannter Lamellenpakete vervielfacht werden. Das sind zusätzlich eingebaute, parallel angeordnete, profilierte Platten. Sie verbessern die Absetzwirkung, insbesondere für kleine Partikel. Sowohl Lamellenklärer als auch Sedimentationsanlagen erfüllen die aktuellen Richtlinien der Oberflächenwasserbehandlung, wie zum Beispiel DWA-M 153. Im Fall einer Havarie, die ein geplatzter Kraftstofftank oder eine defekte Ölwanne verursachen könnte, wird der Abfluss von Leichtstoffen oder mineralischen Kohlenwasserstoffen (MKW) durch den in der Sedimentationsanlage zusätzlich vorhandenen Auffangraum verhindert.

Wann besteht Behandlungsbedarf beim Oberflächen-Abfluss? Wie bei allen Abwässern fordert das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) konsequent auch vor der Einleitung in ein Gewässer Verfahren nach dem Stand der Technik. Allerdings gibt es dafür keine physikalischen Parameter im Gegensatz zum Einleiten von Abwasser in den Kanal. Der Grund: Nicht nur die Art der Verschmutzung, sondern auch die Leistungsfähigkeit der Gewässer, in die eingeleitet wird, muss berücksichtigt werden. Zunehmend kristallisieren sich die feinen abfiltrierbaren Stoffe (AFS Fein) als Leitparameter für die Grenzbedingungen heraus. In Baden-Württemberg

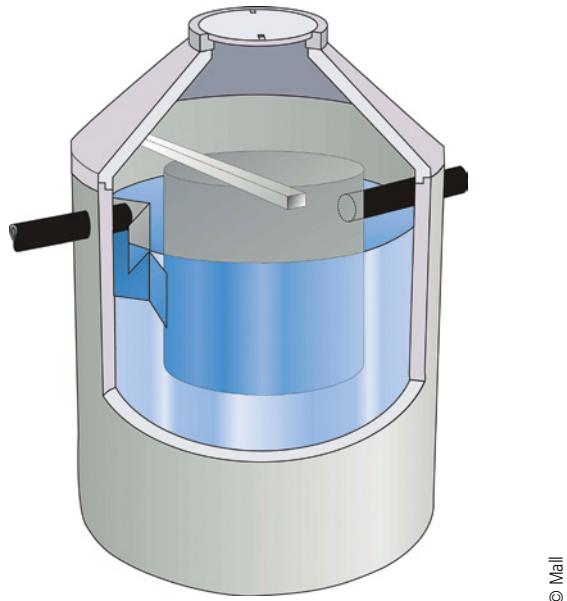


Abb. 6: Sedimentationsanlage aus Betonfertigteilen mit Strömungsverteilern. Zulauf aus Edelstahl, Zentralrohr und Ablaufgarnitur aus Polyäthylen.

und einigen anderen Bundesländern wird der Behandlungsbedarf mithilfe der Arbeitshilfen für den Umgang mit Regenwasser in Siedlungsgebieten oder dem Merkblatt DWA-M 153 aus dem Quotient der ermittelten Punkte von Gewässerart und Belastung des Zulaufs festgestellt, d. h. Niederschlagswassereinleitungen dürfen nur erfolgen in Abhängigkeit von einerseits zumutbarer Verkehrsbelastung bzw. Exposition der Flächen und andererseits ausreichender Selbstreinigungskapazität des Gewässers, in das eingeleitet wird. Der Durchgangswert der jeweiligen Behandlungsanlage gibt den Frachtanteil an, der im Jahresmittel nicht zurückgehalten wird. Dabei gilt die Reinigungsleistung als ausreichend, wenn der Durchgangswert  $D \leq G/B$  ( $B$  = Belastungspunkte,  $G$  = Gewässerpunkte) ist.

## DER AUTOR



### Dipl.-Ing. Klaus W. König

Die Schwerpunkte der Arbeit des Fachjournalisten sowie des von der Industrie- und Handelskammer öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen für Bewirtschaftung und Nutzung von Regenwasser sind Vorträge und Veröffentlichungen zur ökologischen Haustechnik. Er ist Mitglied der Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung »fbr« und Mitarbeiter im DIN-Ausschuss NA 119-05-08 AA »Wasserrecycling/Regenwasser- und Grauwassernutzung« sowie Lehrbeauftragter an der ESB Business School in Reutlingen.

Sachverständigen- und Fachpressebüro  
Dipl.-Ing. Klaus W. König  
Jakob-Kessenring-Str. 38  
88662 Überlingen  
mail@klauswkoenig.com

Ergebnis einer Dimensionierung ist der Durchgangswert  $D$ . Bei Anlagen zur Sedimentation ergibt sich dieser aus der kritischen Wassermenge, die jeweils einer Behandlung unterzogen wird und der Oberflächenbeschickung, dem Quotienten aus der zu behandelnden Wassermenge und der bereitgestellten wirksamen Oberfläche der Behandlungsanlage. Die kritische Wassermenge ( $Q_{krit}$ ) wird aus der angeschlossenen undurchlässigen Fläche ( $A_U$ ) und der kritischen Regenspende ( $r_{krit}$ ) berechnet. Übliche Werte für  $r_{krit}$  sind 15, 30, 45, 60 oder  $r$  (15,1) [ $l/(s \times ha)$ ]. Je größer  $r_{krit}$ , desto kleiner (besser) ist der Durchgangswert. Für die Oberflächenbeschickung ( $q_A$ ) sind die üblichen Werte 18, 10, 9 und 7,5 [m/h]. Je kleiner  $q_A$ , desto kleiner ist der Durchgangswert. »Darüber hinaus ist noch die Betriebsweise der Anlagen entscheidend«, sagt Stephan Klemens von Mall, dem Hersteller der Sedimentationsanlage im Flussbaubetriebshof Donaueschingen (Abb. 6). Positiv wirke sich die Betriebsweise »ohne Dauerstau mit regelmäßiger Entleerung der Becken über die Schmutzwasserkanalisation«, gegenüber der Betriebsweise »mit Dauerstau und regelmäßiger Schlamm entsorgung« aus, so Klemens. Bei der Version Dauerstau lagert der Schlamm bis zur Reinigung am Behälterboden. Die periodisch fällige Wartung wird in der Regel von einem externen Dienstleister durchgeführt. Entscheidend dafür sind die Vorgaben des Herstellers, die für das jeweilige Produkt auf dessen Website abrufbar sind.

## Zusammenfassung

Mit Inkrafttreten der künftigen technischen Regel DWA-A 102 in Verbindung mit BWK-A 3 und DWA-A 138 (Versickerung) wird DWA-M 153 eingezogen. Dann spielt bei der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung neben der Entwässerungssicherheit (Quantitätsaspekt) und der Behandlung des Regenabflusses (Qualitätsaspekt) v. a. die lokale Wasserbilanz eine zentrale Rolle. Das bedeutet, dass die Anteile von Verdunstung, Versickerung und Abfluss nach der Bebauung wieder denjenigen entsprechen müssen, die auf den Kultur- bzw. Naturflächen vor der Bebauung gegeben waren. Allerdings wird die zurzeit stattfindende Bearbeitung einer Vielzahl von Einsprüchen noch geraume Zeit dauern, sodass mit Inkrafttreten im Jahr 2020 nicht gerechnet werden muss. Dennoch ist es bei Neubauten, wie dem Technischen Zentrum Heiterblick der Leipziger Verkehrsbetriebe und dem Flussbaubetriebshof in Donaueschingen, schon heute möglich, weitgehend den künftigen Anforderungen an die lokale Regenwasserbilanz zu entsprechen.

## Literatur

- [1] Mall GmbH: Planerhandbuch »Regenwasserbewirtschaftung«. Donaueschingen: Mall GmbH, 2020
- [2] Schmitt, Theo G.: Neue Regeln für Regenwetterabflüsse in Siedlungsgebieten: DWA-A 102 und BWK-A 3. In: Ratgeber Regenwasser. 8. Aufl. Für Kommunen und Planungsbüros. Donaueschingen: Mall GmbH, 2020
- [3] DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 102/BWK-A 3: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Entwurf Oktober 2016
- [4] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL): Dachbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltungen von Dachbegrünungen. Bonn: FLL, 2018

# Stichwortverzeichnis

- A**
- Abluft, natürlich 64
  - Altstadt, historisch 46
  - Anerkannte Regel der Technik 33
  - Anschlussbereich 31
  - Arbeitsblatt DWA-A 102 86
  - Architekturgeschichte 45
  - Architektur, innovativ 20
  - Architektur, minimalistisch, effiziente 27
  - Architektur, ökologisch 62
  - Aufstockung 28
- B**
- Bauausstellung, international 42
  - Bauen, modular 20
  - Bauen, nachhaltig 8
  - Bauordnung 40
  - Bauprozess 61
  - Bauteile, erdberührt 36
  - Bauteile, gebraucht 55, 56
  - Bauteilkatalog 9
  - Bauteilrecycling, historisch 56
  - Bauwerkserkundung 30
  - Bestandsaufnahme 29
  - Bestandsdatenblatt 30
  - Bestandsdecke 31
  - Bestandsgebäude 29
  - Beton, textilbewehrt 21
  - Bewässerung 87
  - BIM 68
  - Bitumendickbeschichtung, Kunststoffmodifiziert 33
  - Blockheizkraftwerk 79
  - Brandausbreitung 31
  - Brandschutz 38, 64, 83
  - Brandschutzbekleidung 74
  - Brandschutzkonzept 41, 70, 73, 78
  - Brandwand 72
  - Brettschichtholz 66
  - Brettsperrholz 66
  - Brettstapeldecke 57
  - BS-Holz-Skelettkonstruktion 83
  - BS-Holz-Stütze 72
  - BS-Holz-Träger 71, 72, 82
  - BSH-Tragwerk 78
  - Bürobau 80
- C**
- Carbonbewehrung 24
  - Carbonfasermatte 26
- D**
- CO<sub>2</sub> 59
  - CO<sub>2</sub>-Steuer 39
  - Co-Working-Space 44
  - Cradle to Cradle 48
- E**
- Energie, grau 47, 54
  - Energiequelle, regenerativ 85
  - Energieverbrauch 12
  - Entwurfs- und Konstruktionsgrundsatz 51
- F**
- Fassadenbekleidung 56
  - Fensterform 19
  - Fensterlüftung 18
  - Flächenheizung 79
  - Flächenverbrauch 47
  - Forschungshaus 18
  - FT-Verbinder 80, 82
- G**
- Gebäudehülle 68, 77, 78
  - Gebäudeklasse 30, 73
  - Gebäudetechnik 69
  - Gebäudetypologie 29
  - Gesellschaft, postindustriell 44
  - Gründung 71, 81
- H**
- Heißbemessung 73, 74, 84
  - Heizwärmebedarf 18
  - Herstellung, ressourcenschonend 22
  - Herstellungsenergie 10, 57
  - Hochhaus 38
  - Hochleistungsbeton 21
  - Hochleistungsbeton, selbstverdichtend 27
  - Höfekonzept 80
  - Holzbau 39, 40
  - Holzbauarchitektur 76
- I**
- IBA'27 42
  - Identität 48
  - Ingenieurtradition 45
- K**
- Know-how, betontechnologisch 20
  - Kreislauf, biologisch 59
  - Kronkorkenmosaik 57
  - Kühlung 79
- L**
- Lebenszyklus 14
  - Lehm 8
  - Lehmbau 51
  - Lehmplatte, vorproduziert 65
  - Lehmmauerwerk 8, 50
  - Lehmplansteinmauerwerk 10
  - Leichtbeton 16
  - Lüftung ohne Filter 62
  - Lüftungsverhalten 18
- M**
- Massivholzbau 70
  - Massivholzbauweise 66, 68
  - Massivholzelement 58
  - Massivholzrohbaum 55
  - Meißen 51
  - Merkblatt DWA-M 153 89
  - Messung, fotogrammetrisch 25, 26
  - Mikroklima 86
  - monolithisch 15
- N**
- Nachhaltigkeit 40, 46, 50
  - Nachkriegsmoderne 49
  - Nachverdichtung 28
  - Next Practice 43
  - Niederschlagswasser 88
  - Nutzer 17
  - Nutzerverhalten 17, 18
  - Nutzungsanpassung 47
- O**
- Oberflächenwasserbehandlung 88
  - OLG Hamm 34

**P**

- Paradigmenwechsel 45
- Passivhaus 65
- Pilotenhaus 51
- Planungshilfe 9
- Planungsleitsatz 11
- PMBC-Abdichtung 33
- Polymervergussknoten 80
- Polymerverguss-System 83
- Polystyrol-Dämmung 25
- Produkteigenschaft 60

**R**

- Raumakustik 79
- Raumklima 15
- Recycling 12, 54
- Recyclingbeton 55, 58
- recyclingfähig 55
- recyclinggerecht 55
- Regenwasser 86
- Regenwasserbewirtschaftung 89
- Retentionssdach 87
- Rettungsweg 71
- Robustheit 14, 16

**S**

- Sandwichelement 23
- Schaumglas 68
- Schaumglasgranulat 58
- Schaumglasschotter 58
- Sedimentationsanlage 88
- Sonnenschutz 17, 79, 85
- Speichermassen 15
- Sprinkleranlage 86
- Stoffkreislauf 54
- Strömungsgeschwindigkeit 63

**T**

- Thermografieaufnahme 30
- Trag- und Verbundverhalten 23
- Transportweg 60
- Trittschallschutz 79

**U**

- Überregulation 45
- Übertemperaturgradstunde 16

**V**

- Verdunstungskühlung 87
- Verglasung 69, 77
- Vorkonditionierung 64

**W**

- Wärmepumpe 79
- Wärmetauscher 63
- Wasserbilanz, lokal 89
- Wasserkreislauf 86
- Wohnheit, monolithisch 26
- Wohnformen 43
- Wohngebäude 19
- Wohnkonzeptidee 22
- Wohnraumschaffung 28
- Wohnungsbau 41

**Z**

- Zeitschicht 49
- Zero-Waste-Baustelle 59
- Ziegelsplitt 60

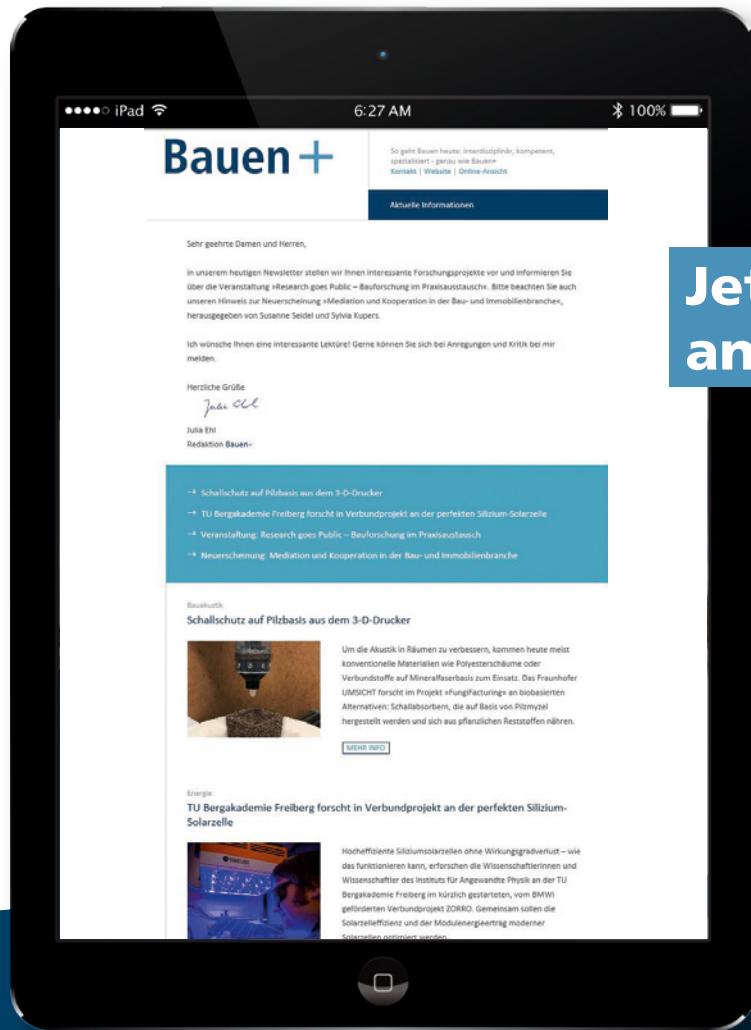
## Baufachwissen für Praxis und Forschung

- Baudatenbanken
- Baufachbücher und -zeitschriften
- Seminare und Fortbildungen

**[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)  
[www.irb.fraunhofer.de](http://www.irb.fraunhofer.de)**

Nobelstraße 12 ■ 70569 Stuttgart ■ [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

# Der Newsletter zur Bauen +



**Jetzt kostenlos anmelden!**

## Direkt aus der Redaktion in Ihr E-Mail-Postfach:

- + Alle zwei Wochen Neuigkeiten rund um die Themen Energie, Brandschutz, Bauakustik und Gebäudetechnik
- + Aktuelle Termine und Buchtipps aus der Redaktion
- + Detaillierte Informationen zum neuesten Heft – noch vor Erscheinen der gedruckten Ausgabe
- + Garantiert kostenlos, die Abmeldung ist jederzeit möglich



**Jetzt kostenlos zum Newsletter von Bauen+ anmelden unter**  
**[www.bauenplus.de/service/bauenplus-newsletter](http://www.bauenplus.de/service/bauenplus-newsletter)**

# Mediation und Kooperation in der Bau- und Immobilienbranche

Hrsg.: Susanne Seidel, Sylvia Kupers



Bestellung:  
Tel. 0711 970-2500 | Fax 0711 970-2508  
irb@irb.fraunhofer.de | www.baufachinformation.de

**Fraunhofer IRB Verlag**  
Der Fachverlag zum Planen und Bauen

## Mediation und Kooperation in der Bau- und Immobilienbranche

Wie gute Zusammenarbeit gelingt

Hrsg.: Susanne Seidel, Sylvia Kupers

2020, 180 Seiten, 40 Abb. u. 2 Tab., Softcover

ISBN 978-3-7388-0432-4 | € 39,-

E-Book: € 39,- | BuchPlus: € 50,70

Die Planung, Errichtung, Bewirtschaftung und Nutzung von Immobilien bergen ein hohes Konfliktpotenzial und der Umgang aller Beteiligten untereinander wird häufig bestimmt von konfrontativem Denken und Handeln. Dies alles findet unter Rahmenbedingungen statt, die von begrenzten finanziellen Spielräumen und nicht selten von hohem Zeitdruck gekennzeichnet sind. Der gemeinsame Erfolg erfordert gute Zusammenarbeit und gute Zusammenarbeit erfordert professionelle Kommunikation. Das wissen alle Beteiligten, aber im Alltag gelingt es ihnen oft nur schwer.

Autorinnen und Autoren aus unterschiedlichen Bereichen der Immobilien- und Baubranche schildern ihre Ansichten und Erfahrungen in der Kooperation und mit der Mediation. Von konkreten Beispielen über die Einbindung in den historischen und juristischen Kontext bis zur Beschreibung einzelner Tools werden Wege zur erfolgreichen Kooperation aufgezeigt. Die Vielfalt der Darstellungen zeigen die beeindruckenden Möglichkeiten, die durch Mediation entstehen und machen Mut, diese bei eigenen Projekten zu nutzen.

# Die App zur Bauen+

Als Abonnent haben Sie Zugang zur Bauen+ App.\*



## Ihre Vorteile:

- + Noch mehr Inhalt: Zusatzmaterialien ergänzend zum Heft
- + Praktische Kommentarfunktion: Lesezeichen und Notizen setzen und direkt mit Kollegen teilen
- + Jederzeit verfügbar: Sowohl am Desktop als auch unterwegs nutzbar



**Erfahren Sie mehr über das eJournal und die App unter**  
<https://www.bauenplus.de/zeitschrift/ejournal>

\*Der Zugang zur App und zum eJournal ist im Premium-Abonnement bereits enthalten.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-7388-0577-2

ISBN (E-Book): 978-3-7388-0578-9

Umschlaggestaltung: Martin Kjer  
Satz, Herstellung: Gabriele Wicker

Druck: Offizin Scheufele Druck und Medien GmbH & Co.KG, Stuttgart

#### **Bauen+**

Energie, Brandschutz, Bauakustik, Gebäudetechnik

ISSN 2363-8125

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2021

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-2500

Telefax +49 711 970-2508

[irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

# Edition Bauen+

Schwerpunkt: Gebäudetechnik

Herausgeber: Reinhart Eberl-Pacan,  
Klaus-Jürgen Edelhäuser und Birger Gigla

## Edition Bauen+

### Ausgewählte Fachartikel und Interviews aus der Bauen+

Der erste Band der Schriftenreihe »Edition Bauen+« stellt wesentliche Beiträge der Fachzeitschrift Bauen+ aus dem Bereich Gebäudetechnik vor. Von einem überwiegend aus recycelten Materialien gebauten Haus, über modernes Lehmmauerwerk bis hin zu ganzheitlichen Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen werden wegweisende Projekte vorgestellt.

Die ausgewählten Beiträge zeigen neueste Entwicklungen und geben vielfältige Anregungen. Ergänzend bieten die Interviews interessante Einblicke und Impulse von der Nachhaltigkeit der Denkmalpflege bis zur Internationalen Bauausstellung 2027 StadtRegion Stuttgart. Zusammengefasst wird gezeigt, wie Bauen heute geht: interdisziplinär, kompetent und spezialisiert.

ISBN 978-3-7388-0577-2



9 783738 805772

Fraunhofer IRB ■ Verlag