

Bundesingenieurkammer (Hrsg.)

Ingenieurbaukunst 2022

Made in Germany

- die besten aktuellen Projekte von Bauingenieur:innen aus Deutschland
- neue Entwicklungen im Bauwesen wie Kreislaufwirtschaft und Bestandsbau
- inspiriert vom Symposium Ingenieurbaukunst – Design for Construction #IngD4C
- inspiriert vom Symposium Ingenieurbaukunst – Design for Construction #IngD4C

Das Buch diskutiert die Zukunft des Planens und Bauens und zeigt wichtige aktuelle Bauwerke von Ingenieur:innen aus Deutschland. Herausgegeben von der Bundesingenieurkammer werden hier die Leistungen des deutschen Bauingenieurwesens dokumentiert.



2021 · 196 Seiten · 130 Abbildungen

Softcover

ISBN 978-3-433-03359-3 € 39,90*

eBundle (Softcover + ePDF)

ISBN 978-3-433-03377-7 € 52,90*

ÜBER DAS BUCH

Die neue Ausgabe des Jahrbuchs „Ingenieurbaukunst“ präsentiert wieder eine Auswahl der wichtigsten aktuellen Bauwerke „Made in Germany“ und diskutiert die Zukunft des Planens und Bauens. Herausgegeben von der Bundesingenieurkammer werden damit die Leistungen des deutschen Bauingenieurwesens dokumentiert. Aktuelle Bauwerke und Diskussionsthemen werden von einem unabhängigen Beirat ausgewählt. Die beteiligten Ingenieur:innen beschreiben die bautechnischen Herausforderungen und erläutern die konkreten Lösungen bei Planung und Ausführung. Das Jahrbuch Ingenieurbaunkunst 2022 ist damit einerseits wieder eine Schau- bühne der Spitzenleistungen des Bauingenieurwesens und andererseits ein Forum für aktuelle Debatten rund um das Planen und Bauen, diesmal insbesondere zu Kreislaufwirtschaft und Bestandsbau, aber auch klima- angepasstes Bauen oder Künstliche Intelligenz.

BESTELLUNG

Anzahl	ISBN /	Titel	Preis
	978-3-433-03359-3	Ingenieurbaukunst 2022 [...]	€ 39,90*
	978-3-433-03377-7	Ingenieurbaukunst 2022 [...] (eBundle)	€ 52,90*

BESTELLEN

+49 (0)30 470 31-236

marketing@ernst-und-sohn.de

www.ernst-und-sohn.de/3359

* Der €-Preis gilt ausschließlich für Deutschland. Inkl. MwSt.

Privat

Geschäftlich

Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:

Tel. +49 (0)30 47031-236

Fax +49 (0)30 47031-240

marketing@ernst-und-sohn.de

108208 Free Shipping

Firma, Abteilung		UST-ID Nr.	
Name, Vorname	Telefon	Fax	
Straße, Nr.			
PLZ/Ort/Land		E-Mail	
Datum/Unterschrift			

www.ernst-und-sohn.de/3359

INHALT

Vorwort

- 8 Die Zukunftsformel heißt Zirkularität
Günther Bachmann

Projekte

- 10 Symbiose von Alt und Neu –
Umbau, Sanierung und Erweiterung des
Jüdischen Museums in Frankfurt am Main
Daniel Mok, Thomas Gehringer, Katrin Lünser
- 18 Geschichte am Haken –
Instandsetzung der historischen König-Ludwig-
Brücke in Kempten
Rainer Böhme, Jörg Schänzlin
- 26 Über den Neubau einer Stadtbahnhaltestelle
im laufenden Betrieb –
Die Stadtbahnhaltestelle Staatsgalerie in Stuttgart
Angelika Schmid, Barbara Ast
- 32 Größtmögliche Transparenz –
Die neuen Fassaden des MoMA in New York
*Niccolo Baldassini, Alexander Freund,
Daniel Pfanner*
- 38 Heimat gewordenes Holz mitten in Berlin –
Walden 48 or Living in the City
*Michael Kühl, Melf Sutter, Reinhard Eberl-Pacan,
Andreas Albrecht, Ingo Andernach*
- 46 Auf neuen Wegen –
Die Stadtbahnbrücke in Stuttgart mit
Carbonnetzwerkbogen
*Andreas Keil, Lorenz Haspel, Philipp Wenger,
Matthias Längle*
- 52 Transparenz, Leichtigkeit und Funktionalität –
Die Glaskuppel des Academy Museum of Motion
Pictures in Los Angeles
Florian Meier, Thorsten Helbig, Roman Schieber
- 58 Pilotprojekt aus Recycling-Beton –
Die neue Umweltstation der Stadt Würzburg
Angelika Mettke, Alexander Hentschel
- 66 Ein Dachtragwerk zum Anfassen –
Die raumgreifende Überdachung des ZOB Leverkusen
*Klaus Fäth, Christian Würfl, Ivan Tavaréz Blanco,
Justin Dägele, Harald Kloft*
- 74 Schatten auf Knopfdruck –
Das wandelbare Innendach des Al Janoub-Stadions
Knut Göppert, Christoph Paech
- 80 Der Spagat zwischen Sicherheit und
Denkmalschutz – Der Weiterbau an der Eisenbahn-
brücke Lange-Feld-Straße in Hannover
*Ludolf Krontal, Sven Kromminga,
Falk Hoffmann-Berling*
- 88 Nachhaltigkeit in Bau und Zweck –
Die neue Mensa des Berufsschulzentrums Nord
in Darmstadt
Martin Stumpf, Max Daub
- 96 Mehr als die Verbindung zweier Standorte –
Die Capricorn-Brücke im Düsseldorfer Medienhafen
*Günter Hartl, Harald Kloft, Florian Mähl,
Viktor Wilhelm (†)*
- 102 Denkmalgerechte Sanierung des Tempels
der klassischen Moderne –
Die Neue Nationalgalerie in Berlin
*Jörg Enseleit, Torsten Glitsch, Michael Freytag,
Michael Pfister, Jochen Schindel, Ingo Weiss*
- 110 Eine Brücke als grafische Skulptur –
Der Piussteg für die Landesgartenschau 2021
in Ingolstadt
Andreas Keil, Sebastian Linden, Christiane Sander

116 REWE Green Farming –
Ein CO₂-neutraler Supermarkt der Zukunft
Jan Mittelstädt, Boris Peter

124 Lückenschluss im Herzen Berlins –
Die Verlängerung der U-Bahnlinie U5
*Michael Weizenegger, Reinhold Theiß,
Paul Erdmann*

132 Wolkenkratzer mit Hüftschwung –
Der Omniturm in Frankfurt am Main
*Simon Ruppert, Alexander Berger,
Susanne Nowak, Matthias Pfeifer,
Ruxandra Wilbert*

138 Röhrenstapel kreuz und quer –
Das neue Nationalparkzentrum Ruhestein
im Schwarzwald
*Michael Werwigk, Susanne Jacob-Freitag,
Karl-Heinz Roth*

146 Von Grund auf gut geplant –
Das KII in Düsseldorf
*Michael Stahl, Andreas Wuttig, Ralf Tesch,
Florian Starz*

Zukunft des Planens und Bauens

154 Zirkuläre Strukturen –
Ressourcenerhaltende Tragwerksplanung
in Neubau und Bestand
Julian Lienhard, Patrick Teuffel

158 Perspektiven zirkulären Bauens –
Wiederverwendung von tragenden Bauteilen
aus Holz, Stahl und Beton
*Bernhard Hauke, Bo Kasal, Harald Kloft,
Oliver Tessmann*

164 Klimaangepasstes Bauen –
Die Rolle der „fünften Fassade“
Marc-Steffen Fahrion, Moritz Brombacher

168 Digitale Transformation und Künstliche Intelligenz –
Herausforderungen und Lösungsansätze
bei der Kombination von Theorie und Praxis
*Michael A. Kraus, Laura Lammel,
Mathias Obergrießer*

174 Bauen, forschen, Nachwuchs fördern –
Das breite Wirkungsspektrum von Ingenieuren
ohne Grenzen
Jens Völker

178 Vor dem Mond und vor der Zeit –
Der Ingenieur und Wissenschaftsmanager
Jan Wörner
Lamia Messari-Becker, Bernhard Hauke

Anhang

184 Weitere Projekte

186 Autoren

192 Klimaschutz, Ressourceneffizienz und wie weiter?
2. Symposium Ingenieurbaukunst –
Design for Construction

DIE ZUKUNFTSFORMEL HEISST ZIRKULARITÄT

„Wer baute das siebentorige Theben?“, ließ *Bertolt Brecht* seinen lesenden Arbeiter fragen. Bekannt sind nur die Könige, die keinen einzigen Stein angefasst hatten; vergessen sind die vielen Bauarbeiter, Zimmermänner und Ingenieure, die das Kunstwerk vollbrachten.

Wer, eigentlich, baut heute das Anthropozän? Der Begriff steht wie kein anderer dafür, dass die Zivilisation als quasi-geologische Naturgewalt tief in die Natur eingreift. Aber das Anthropozän schreibt sich kein Machthaber zugute, kein Erbauer hat es in seinem Auftragsbuch stehen. Und dennoch ist es Realität und bestimmt immer stärker und krisenhafter das Leben auf der Erde. Die von Menschen verursachte Aufheizung der Erde bricht die Rekorde ihrer naturhistorischen Vorläufer und sie ist gefährlich für die kleine biologische Nische, die der Mensch gesund bewohnen kann. Die Verluste in der Tier- und Pflanzenwelt sind gewaltig, während die Megastädte und die Stoffströme weltweit einfach ungehört weiter wachsen. Die Immobilienmärkte mischen Leerstand und Betongold zu Hyper-Spiralen und sedieren uns mit tradierten Einfamilienhaus-Idyllen. Die Bauförderung verzuckert den Umstand, dass Neubauten allzu homogen wirken. Funktionsbauten bleiben ohne Ausstrahlung. Kreativität wird verzweigt.

Wir bauen gegenwärtig am „Bauwerk Anthropozän“. Das muss man sich bewusst machen. In der ganzen Welt laufen wir noch den Problemen hinterher – allzu linear und nicht zirkulär ist das Wirtschaftsdenken. Aber für Demokratie, wirtschaftliche Nachhaltigkeit und Menschenwürde sehe ich mehr Chancen als je zuvor. Es geht um harte Arbeit an positiven Zukunftsbildern, um Nachhaltigkeit als Prozess und Kultur.

Kreislaufwirtschaft einüben

Bei null fangen wir zwar nicht an, aber „nach oben“ gibt es viel Raum. Unser Interesse muss verstärkt dem gelten, was gehen könnte.

Deutschland hat das, was früher Müll war, seit 1970 zu einem Abfallmanagement modernisiert: In den 1970er Jahren hatten wir in Deutschland noch 50.000 illegale Mülldeponien, heute keine mehr. In den letzten 20 Jahren sind alle Hausmülldeponien geschlossen worden und Hausmüll wird nicht mehr deponiert. Viele kontaminierte Altlasten sind saniert. Giftmüll-Tourismus ist rechtlich unterbunden. Für Glas, Papier, Aluminium und Batterien klappt das Vermeiden, Recyceln und Entsorgen. Die Recyclingquoten liegen im europäischen

Durchschnitt. Gemessen wird allerdings nur die Anlieferung (der Input) in die Recyclinganlagen und nicht das, was tatsächlich gerecycelt wird (der Output). Insofern sind die Zahlen besser als die Wirklichkeit.

Deutschland hat seine Recyclingziele 2019 deutlich erhöht: Kunststoffe sind mindestens zu 90 Prozent einer Verwertung zuzuführen. Davon müssen ab 2022 70 Prozent zu sekundären Rohstoffen werden, d.h. sie dürfen nicht mehr verbrannt werden. Heute bestehen die in Deutschland verarbeiteten Kunststoffe jedoch nur zu 7 Prozent aus Rezyklaten.

Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – die nationale Umsetzung der Agenda 2030 der Vereinten Nationen und der globalen Nachhaltigkeitsziele (SDGs) – steigert die Ressourcenproduktivität durch die Förderung von Forschung und Verbraucheraufklärung. Auch wird der EU Green Deal der Kreislaufwirtschaft einen deutlichen Impuls geben.

Aber die Modernisierung tritt häufig auf der Stelle. Die potenzielle Wertschöpfung einer ganzheitlichen Kreislaufwirtschaft liegt nach Schätzung des weltweit agierenden Beratungsunternehmens *Accenture* bei global 4,5 Trillionen US-Dollar bis 2030. Das ist das Vierfache des heute erreichten Marktvolumens. Und das sind nur abstrakte Zahlen. In diesem Trend verbirgt sich eine Welt von Zukunftsträumen junger Menschen, Berufskarrieren, Erfolgen, Durchbrüchen und Gemeinschaftsgefühlen.

Oft meint man vorgeblich, keine Alternativen zu haben. Dieses Kreativitätskoma ist allgegenwärtig, dummerweise auch im neu aufbrechenden Nachhaltigkeits- und Klimadiskurs (zum Weiterlesen: *Bachmann* 2021). Im Baubereich tritt es zum Beispiel in Form der Energieeinsparverordnung auf, die der Baukunst Hohn spricht. Ein Business as usual ist nicht nur unklug, sondern angesichts des Anthropozäns schlicht reaktionär. Es ist wachstumshemmend und unterfordert Wirtschaft und Gesellschaft. Es liefert nicht den erforderlichen Beitrag zur Klimaneutralität. Deutschland kann mehr.

Wissen, Zahlen und Fakten sind für informierte Entscheidungen unverzichtbar. Doch selten liefern sie Einsichten, die Einstellungen und Verhalten verändern, und nie passiert das automatisch. Hier sind Kunst und Kultur gefragt. Sie können Gegenentwürfe und Alternativen erkennbar machen. Kreislaufwirtschaft wäre so ein Gegenentwurf. Sie kombiniert ökologische Vorsorge mit ökonomischem Handeln.

Es gilt, natürliche Ressourcen zu schonen, Input zu reduzieren, absolut weniger zu verbrauchen und die eingesetzten Ressourcen länger zu nutzen. Zirkularität denkt Kultur und Geschäftsmodell auf neue Art. Kultur, weil es um die Besinnung auf Werte und auf den gemeinsamen Nutzen der Suffizienz (Genügsamkeit) und der Schönheit geht. Geschäftsmodelle, weil zirkuläre Produkte anders funktionieren, andere Lieferketten aufbauen und ein querschnittsorientiertes Management brauchen. So müssen die interne Rechnungslegung und das externe Reporting auch jene ökologischen und sozialen Aspekte berücksichtigen, deren Großteil bisher ignoriert (das beschwichtigende Fachwort ist „externalisiert“) wird, gerade weil diese ökonomisch relevant sind.

Zirkuläres Bauhaus

Zirkularität fängt da an, wo man sie noch gar nicht vermutet. Beim Nichtstun. Konkret: Bei der gezielten und bewussten Unterlassung. Das gilt in ganz besonderem Maße für den Wohnungsbau auf der sogenannten grünen Wiese in Verbindung mit dem „Bedürfnis“ nach immer mehr Pro-Kopf-Wohnfläche. Unterlassen und Vermindern mag wie eine krasse Minderheitenmeinung erscheinen. Aber post-pandemisch gibt es einen Impuls für den Städtebau, der die Grüne-Wiese-Option alt aussehen lässt. Hierfür stehen Home-Office, E-Mobilität und Online-Wirtschaft, aber auch die Anpassung an den Klimawandel und die aufkommende Wasserknappheit und der drastische Umbau der Bau-Ressourcen. Das sind Anfragen an die Ingenieurbaukunst. Zu ihrem Thema wird auch die ästhetische und funktionale Einbindung von urbaner Agrarökologie (auch mit neuen Formen der Produktion von Protein und Gemüse) und von sogenannten Netto-Emissionsminderungs-Techniken. Beton muss hochwertig recycelt werden; nur so wird Klimabeton daraus. Rigips darf nicht im Bauschutt verschwinden, sondern muss wiederaufbereitet werden – zumal der Gips aus der Rauchgasentschwefelung ohnehin bald der fossilen Vergangenheit angehört.

Diese Materialien im baulichen Kreislauf zu führen, erfordert Substitutionsquoten und Pflichtvorgaben zum Einsatz von Rezyklat.

Es ist eine Anfrage an die Baukunst, staatliche Regulation mit der Nachfrage der Verbraucherinnen und Verbraucher und dem unternehmerischen Pioniergeist gemeinschaftlich voranzubringen. Ein Circular Car, ein voll recyclingfähiges Auto, ist zwar irgendwo am Horizont in Sicht, aber noch lange nicht praktisch vorhan-



den. Kann ein Circular Building – auch hier gibt es ja Beispiele und Entwicklungsprojekte – schneller Realität werden? Derzeit sind nur 6 Prozent der Kunststoffteile im Auto aus Rezyklat, im Haushalt und bei Sport und Freizeit sind das gar nur 2 Prozent. Im Schnitt über alle Branchen kommen wir nur auf 14 Prozent. Die Kreislauf-Infrastruktur muss daher standardisiert und skaliert werden, einschließlich der Rückverfolgbarkeit und Produzentenhaftung. Und sie muss Raum für Kreativität schaffen respektive fordern.

Das Neue Europäische Bauhaus will die Stadt zu einer kulturellen, positiv auf den Menschen zentrierten Erfahrung machen. Dafür stellt der europäische Green Deal viel Geld zur Verfügung. Die Bezugnahme auf das historische Bauhaus zeigt: Baukunst muss Handlungsspielräume aufzeigen und Denken verändern.

Funktionale Infrastrukturbauten – wenn sie die Kreislaufidee beispielhaft verkörpern – können Landmarken des klimaneutralen Deutschlands sein.

Kunst und Kultur sind ein Mittel gegen das Kreativitätskoma, wenn sie diesen Auftrag annehmen: Als politische Kultur, als Lebenskunst, als Baukunst, als baukulturelle Gegenoffensive. Als Kultur der Erinnerung und als eine Kultur, die die Zukunft nicht zum Objekt, sondern zur Mitwelt macht. Und schließlich: Als Kunst, in Kreisläufen zu denken und auch so zu handeln.

Keine Frage – Kunst kann mehr als nur gefallen. Aber das „Mehr“ muss nun auch bewusst und gekonnt gestaltet werden.

Günther Bachmann

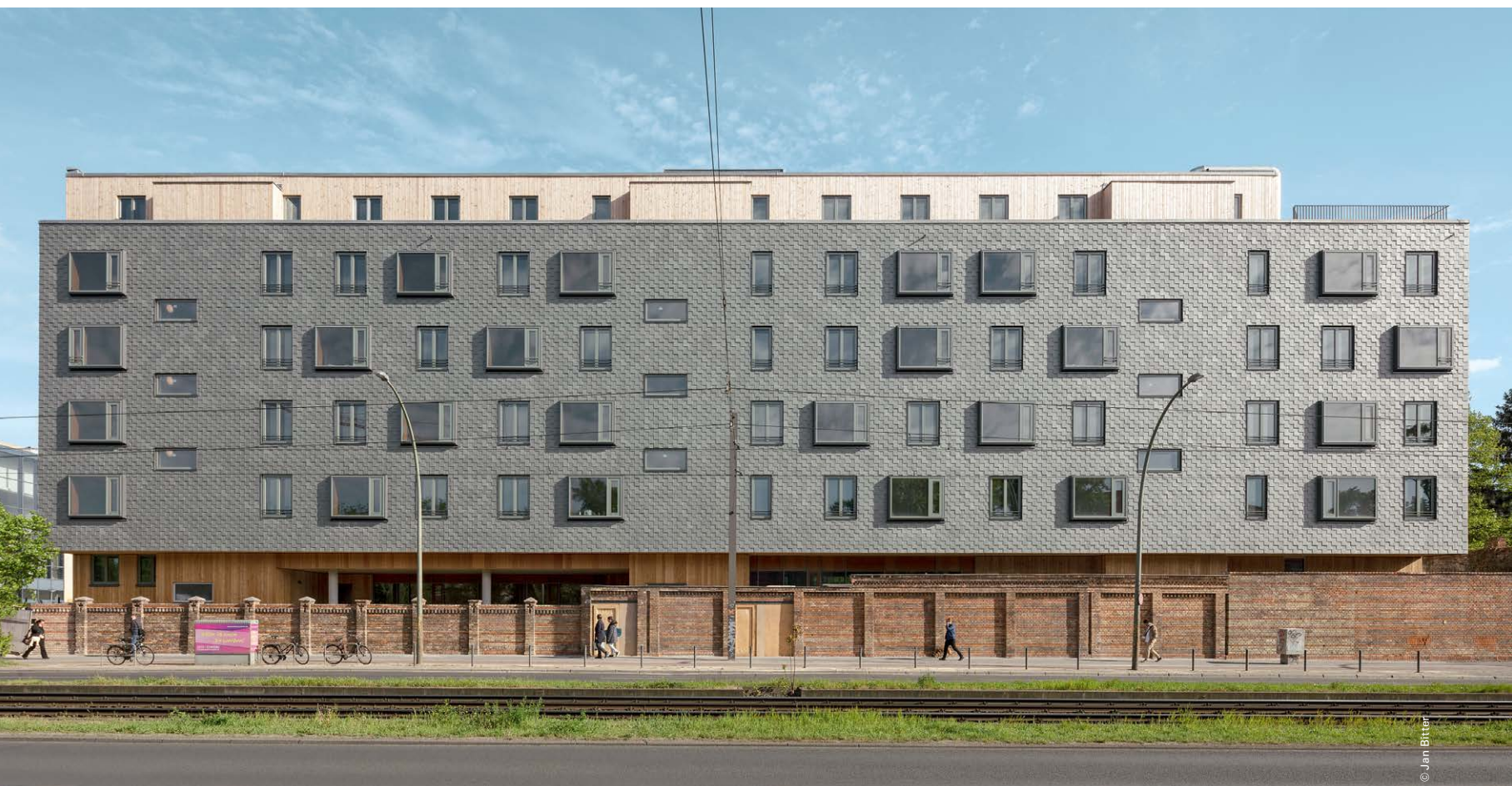
Literatur

Bachmann, G. (2020) *Die Stunde der Politik. Essay über Nachhaltigkeit, Utopie und Gestaltungsspielräume*. München: Oekom.

HEIMAT GEWORDENES HOLZ MITTEN IN BERLIN Walden 48 or Living in the City







© Jan Bitter

1

Henry David Thoreau veröffentlichte 1854 seinen Roman „Walden; or, Life in the Woods“. Der Aussteiger lebte zwei Jahre in einer einfachen Holzhütte am Walden Ponds in den Wäldern Massachusetts’ und ist Namenspatron dieses Holzbaus einer Baugruppe in Berlin.

Konzept und Idee

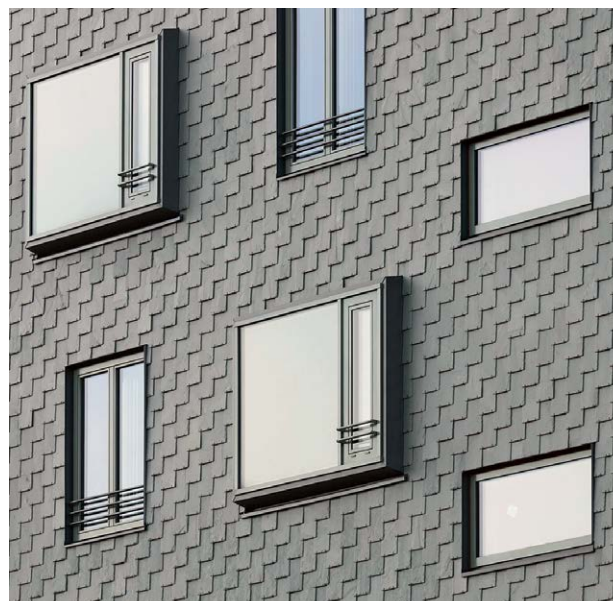
Das Baufeld dieses Neubaus liegt im Gegensatz zu *Thoreaus* Blockhaus in einem kontrastreichen Umfeld: Auf der Nordseite befindet sich die vierspurige Verkehrsachse Landsberger Allee mit der Straßenbahntrasse und der Rettungszentrale des Klinikums Friedrichshain vis-à-vis, an der Grundstücksgrenze zur Straße verblieb die Friedhofsmauer, die in der Planungsphase zum Denkmal erhoben wurde. Straßenseitig springt daher der zweigeschossige Sockel hinter die historische Friedhofsmauer zurück, während der Wohnriegel mit der robusten Schieferfassade darüber zu schweben scheint (Bild 1).

Zum Süden hin liegt ein parkähnliches Friedhofsgelände mit altem Baumbestand und weitem unverbauten Blick. Hier öffnet sich das Haus mit tiefen Loggien und raumhohen Verglasungen. Die Gartenfassade und das Staffelgeschoss sind mit einer naturbelassenen Lärchenschalung versehen. Der Entwurf und die Fassadengestaltung vermitteln zwischen dem Schutzbedürfnis

vor einer lärmintensiven Umgebung und einer parkähnlichen grünen und ruhigen Oase. Es wurden 43 Wohneinheiten realisiert mit im Erdgeschoss und auf dem Dach großzügigen Gemeinschaftsflächen – wie sie für Baugruppen typisch sind. Maisonette-Wohnungen verbinden zudem das Erdgeschoss und das 1. Obergeschoss. Das Gebäude ist großflächig teilunterkellert. Auf Wunsch der Bewohner wurde im Kellergeschoss ein Fahrradparkhaus eingerichtet, das über eine Rampe komfortabel erschlossen wird. Neben dem Wunsch

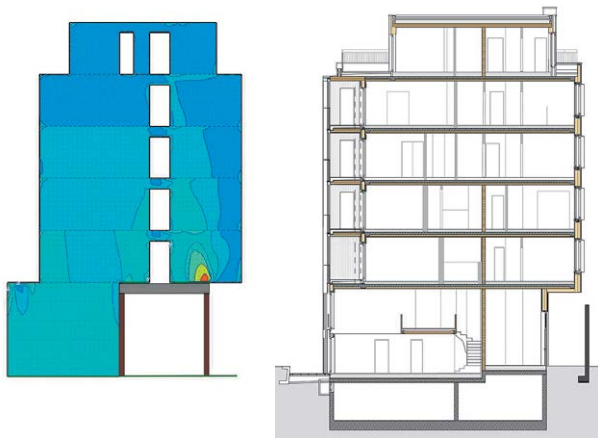
Seiten 38/39:
Gartenfassade

1 Straßenfassade
2 Schuppenpanzer Detail
Straßenfassade



© Jan Bitter

2



© ifb/ARGE Scharabi | Raupach

3

nach gemeinschaftlichem Wohnen ist das Thema der Nachhaltigkeit für die Bauherrenschaft von großer Bedeutung. So war frühzeitig klar, dass Holz als primärer Baustoff gesetzt ist und auch im Innenraum ablesbar sein sollte.

Um alle Vorteile des Holzbaus voll auszureizen, wurde der Gedanke der Vorfertigung großflächiger Wand- und Fassadenelemente bereits in jeder Planungsphase mitgedacht, was zu einer deutlichen Bauzeitverkürzung gegenüber einer konventionellen Bauweise führte.

Anforderungen an Brand- und Schallschutz

Für den leichten Holzbau ist der Schallschutz im Segment des hochwertigen Wohneigentums ein zentrales Thema. Vereinbart und realisiert wurde die Schallschutzstufe II gemäß VDI-Richtlinie 4100 (2007). Gemäß der Bauordnung Berlin ist das Gebäude in die Gebäudeklasse 5 eingestuft. Der demnach geforderte Nachweis der Feuerbeständigkeit wird über eine Abweichung erfüllt. Entgegen den im Holz-Geschossbau üblichen Kapselungen, also der Bekleidung des Holzbaus mit Gipsplatten, beruht der Brandschutz dieses Gebäudes auf sichtbaren und auf Abbrand bemessenen Holzkonstruktionen. So ist es möglich, die positiven Eigenschaften des Holzes erlebbar zu machen und Kosten zu reduzieren.

Tragwerk und Bauphysik

Das Gebäude ist als Schottenbau konzipiert. Die über 7,20 Meter spannenden Decken- und Dachkonstruktionen spannen einachsig über die Schotten in Gebäudelängsrichtung. Die Wandschotten sind über alle Geschosse als fünf- und siebenlagiges Brettsperrholz (BSPH) mit Dicken von 20 und 24 Zentimetern ausgeführt. Die stärkere Ausführung kommt aufgrund der Knicklänge von 5,4 Metern im Maisonette-Geschoss und bei den Wandschotten innerhalb einer Wohneinheit zum Einsatz, da hier von einer zweiseitigen Brandbeanspruchung ausgegangen werden muss. Bei den Wohnungstrennwänden wird eine lediglich einseitige



© ARGE Scharabi | Raupach

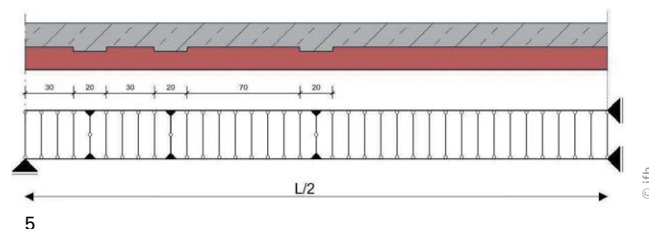
4

Brandbeanspruchung angesetzt. Im Bereich der auskragenden Obergeschosse sind die BSPH-Schotten als „wandartige Träger“ ausgebildet. Diese bisher dem Stahlbetonbau vorbehaltene Bauart ist durch das kreuzweise verleimte Brettsperrholz auch im Holzbau einsetzbar.

Mit den 20 Zentimeter dicken Holzschotten sind lediglich Schalldämm-Maße von $R'_w \approx 41$ dB möglich. Die Anforderung von $R'_w \geq 56$ dB wird mit einer einseitigen Vorsatzschale erreicht. Das ursprüngliche Konzept der beidseitigen Holz sichtbarkeit ist nur mit einer Doppelwand realisierbar und wurde aus Ressourcen- und Kostengründen verworfen.

Die Geschossdecken sind als Holz-Beton-Verbund-Konstruktion (HBV) mit einer Dicke von 29 Zentimetern ausgeführt. Die 15 Zentimeter dicke Stahlbetonplatte wird mit 14 Zentimeter starken Brettstapelelementen kombiniert und der Verbund wird über ins Holz eingefräste Schubkerven und als Abhebesicherung über oberseitig eingedrehte Tellerkopfschrauben hergestellt. Das übli-

- 3 Spannungsausnutzung der auskragenden BSPH-Wandschotte
- 4 Grundriss 3. Obergeschoss
- 5 Berechnungsmodell der HBV-Decke mit Schubkerven
- 6 Brettstapeldecke mit Schubkerven



© ifb

5



© ifb

6

VON GRUND AUF GUT GEPLANT

Das KII in Düsseldorf







1 Intensive innerstädtische Nachbarbebauung und Infrastruktur

1

In Düsseldorf ist Europas größte Grünfassade entstanden. Doch wie konnte ein solch imposantes Bauwerk in enger innerstädtischer Bebauung in nur knapp drei Jahren Bauzeit fertiggestellt werden? Neben der Fassade lohnt auch ein Blick unter die Geländeoberkante.

Den Städten öffentlichen Raum und Grün zurückzugeben, wird für Planer immer wichtiger. Mit dem *K11* getauften zweiten Kö-Bogen wurde die städtebauliche Chance genutzt, die sich durch die Verlagerung des bis 2015 oberirdisch geleiteten Verkehrs in einen Tunnel ergab: eine dynamische Verbindung des Stadtraums zwischen Joachim-Erwin-Platz und Gustaf-Gründgens-Platz mit hoher Aufenthaltsqualität. Acht Kilometer Hecken mit über 30.000 Hainbuchen schmücken die Fassade des trapezförmigen, sechsgeschossigen Büro- und Geschäftsgebäudes *K11*. Der gegenüberliegende, im Grundriss dreieckige Food-Court zeichnet sich durch ein begrüntes Pultdach aus, welches bis auf den Boden reicht: Diese begrünten, zueinander abgeschrägten Fassaden lassen den neuen Gebäudekomplex in einer bewussten Unbestimmtheit zwischen Stadt und Hofgarten changieren.

Nicht direkt sichtbar, aber wichtiger Teil der Entwicklungsmaßnahme sind die Untergeschosse des Gebäudes und die Tiefgarage, die jeweils circa 17 Meter tief in den Baugrund einbinden. Ein Unterfangen, das Feingefühl und Know-how erforderte, denn: In direkter Nach-

barschaft befinden sich sowohl die Architekturikonen *Dreischeibenhaus* und *Schauspielhaus* als auch komplexe Infrastrukturbauwerke wie die Wehrhahn-Linie (U-Bahn) und der Kö-Bogen-Tunnel samt Spindelbauwerk mit dazugehöriger Anbindung an das *K11* und die Tiefgarage des *Dreischeibenhauses*. Das Baufeld befand sich somit inmitten von denkmalgeschütztem Bestand und dichter Nachbarbebauung.

Grundlegend für die wirtschaftliche Realisierung des Gesamtprojekts: die frühzeitige geotechnische Untersuchung des Baugrunds

Um das Baugrundrisiko auf ein Minimum zu reduzieren, wurden umfangreiche Baugrunderkundungen und Recherchen zur bestehenden Bausubstanz durchgeführt. Genaue Informationen über den Baugrund sind essenziell für die Kalkulation der Gesamtprojektkosten. Die wirtschaftliche Bemessung von Gründungen setzt genaue Kenntnisse über den Aufbau des Baugrunds und eventuell erforderliche Verbaukonstruktionen voraus. In der Gründungsberatung verschmelzen deshalb Baugrundbeurteilung, Bodenmechanik und Tragwerksplanung sowie das Wissen von Geotechnik- und Bauingenieur*innen. Die frühzeitige Analyse der geotechnischen Verhältnisse war zudem Grundlage für die gleichzeitige Ausführung von Hoch- und Tiefbau – eine bautechnologische Höchstleistung.

Geohydraulische Verhältnisse als wesentlicher Bestandteil der Planungs- und Genehmigungsphase

Bis in Tiefen von drei bis zehn Metern wurden angeschüttete beziehungsweise umgelagerte Erdstoffe erkundet. Darunter folgen bis in Tiefen von circa 23 bis 26 Meter einheitlich die Sand-, Kiessand- und sandigen Kiesschichten der Rheinterrasse. Diese quartären, stark wasserdurchlässigen Lockergesteine werden im Raum Düsseldorf bis in großer Tiefe von tertiären, gering wasserdurchlässigen Feinsanden unterlagert.

Für die unterhalb des KII geplanten Untergeschosse inklusive Tiefgarage war der Aushub einer bis zu 17 Meter tiefen Baugrube erforderlich. Diese grenzt am südlichen Rand des Baufeldes an einen großvolumigen Strömungskanal. Die Grundwasserverhältnisse im Bereich des KII werden vor allem von dem rund 900 Meter entfernten Grundwasserstrom des Rheins bestimmt, welcher sich innerhalb der wasserdurchlässigen Sande und Kiese des Quartärs bewegt. In Abhängigkeit jahreszeitlich bedingter variierender Rheinwasserstände treten im Baubereich Schwankungen des Grundwasserstands von bis zu sieben Metern auf. Bereits bei mittleren Grundwasserständen tauchen die neuen Bauwerke circa neun Meter in das Grundwasser ein. Die Wirkung des Strömungskanals in Verbindung mit den bereits bestehenden Sperrbauwerken im direkten Einflussbereich des Baufeldes sowie die daraus resultierenden hydraulischen Auswirkungen wurden unter Anwendung von umfangreichen numerischen Simulationen auf Grundlage des städtischen Grundwasserströmungsmodells beurteilt. Die vorherrschenden Baugrund- und Grundwasserverhältnisse in Verbindung mit der exponierten Lage des Baufeldes mit sensibler Nachbarbebauung und Infrastruktureinrichtungen bedingten die Herstellung einer verformungsarmen und technisch wasserdichten Baugrube.

Gründung und Deckelbauweise

Aufgrund der oben beschriebenen Anforderungen wurde eine Trogbaugrube in Schlitzwandbauweise in Verbindung mit innenliegender Restwasserhaltung sowie Einbindung der Lamellen in den tiefliegenden natürlichen Grundwassergeringleiter konzipiert. Die vertikalen Lamellen binden in das gering wasserdurchlässige Tertiär ein, wodurch weniger Wasser durch die Sohle zuströmt. Dadurch kann auf eine kostenintensive Abdichtung der Baugrubensohle verzichtet werden. Die horizontale Sicherung beziehungsweise Aussteifung der Baugrubenumschließung (Schlitzwand) erfolgte über zwei Teildeckel/Volldeckel in Höhe der Decken



2

über dem zweiten und vierten Untergeschoss der neuen Tiefgarage. Die Teildeckel, welche durch Öffnungen für den unterirdischen Abbruch beziehungsweise Aushub und die Einbringung von Baumaterial charakterisiert sind, waren im Bereich der Bestandstiefgarage angeordnet und wurden auf Temporärstützen gegründet. Im Bereich des Büro- und Geschäftshauses wurden auf Primärstützen aufgelagerte Volldeckel realisiert, um Ober- und Untergeschosse parallel herstellen zu können.

2 Blick aus der Baugrube: gleichzeitige Ausführung von Hoch- und Tiefbau

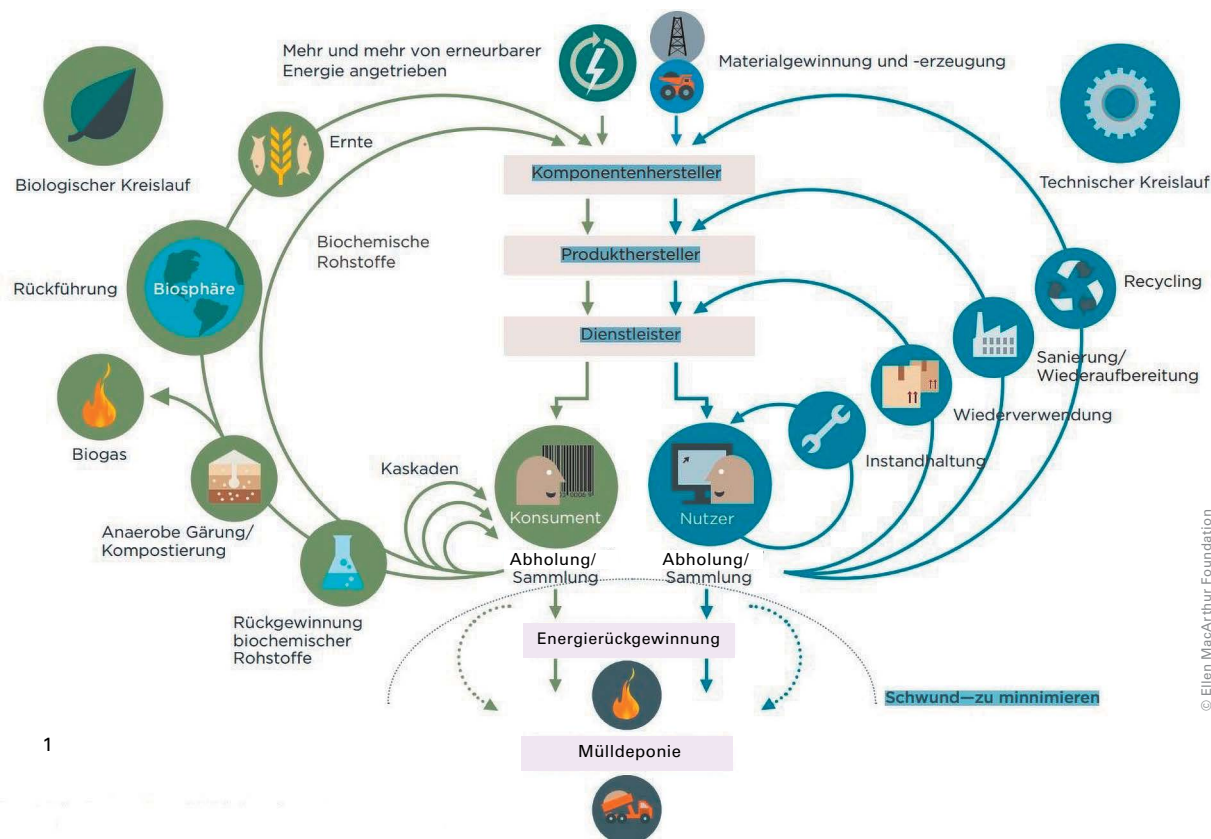
PERSPEKTIVEN ZIRKULÄREN BAUENS

Wiederverwendung von tragenden Bauteilen aus Holz, Stahl und Beton

Wiederverwendung bedeutet, dass tragende Bauteile durch einen kontrollierten Rückbau in vergleichbarer Funktion in anderen (neuen) Bauwerken wieder genutzt werden. Der erforderliche Aufwand für Überprüfung, Anpassung oder Reparatur sollte dabei möglichst gering sein. Neben der Schonung von Ressourcen und Deponieraum sowie der Reduzierung klimaschädlicher CO₂-Emissionen liefert die Wiederverwendung von tragenden Bauteilen einen innovativen Ansatz zum zirkulären Bauen und schafft die Grundlage für eine neue Baukultur: Die Planung von Neubauten beginnt mit dem kontrollierten Rückbau.

Das Bauen ist in Deutschland für etwa 50 Prozent der Rohstoffverwendung und des Abfallaufkommens verantwortlich. Aufgrund der steigenden Weltbevölkerung wird der Bedarf an Hoch- und Infrastrukturbauten weiter zunehmen. Um diese Nachfrage mit den begrenzt

zur Verfügung stehenden Ressourcen in wirtschaftlicher und umweltverträglicher Weise zu decken sowie die klimaschädlichen CO₂-Emissionen bei den Fertigungsprozessen zu minimieren, ist ein Umdenken in Richtung Circular Construction unabdingbar. Das Ziel muss sein, mit möglichst wenig Material möglichst viel zu bauen, dabei Abfall zu vermeiden und das Material im Kreislauf zu behalten (Bild 1). Statt linearer Prozesse aus Rohstoffgewinnung, Baustoffproduktion, Bauausführung, Rückbau und Entsorgung müssen durch zirkuläre Prozesse Bauteile und Materialien wiederverwendet werden. Dabei ist zwischen technischen Kreisläufen für anorganische Materialien wie Metalle oder mineralische Baustoffe und biologischen Kreisläufen für organische Materialien wie Holz zu unterscheiden. Eine praktische Leitlinie für die Qualität eines zirkulären Prozesses ist die Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG):



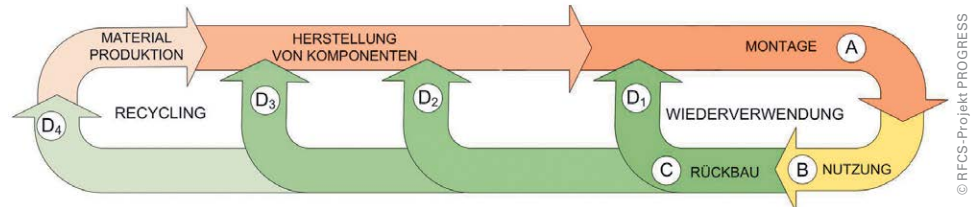
1 Circular Economy ist ein Wirtschaftssystem, das in einem biologischen bzw. in einem technischen Kreislauf für Erhalt und Erneuerbarkeit konzipiert ist. Grafik: Ellen MacArthur Foundation, adaptiert nach dem Cradle-to-Cradle-Design-Protokoll von Braungart & McDonough

© Ellen MacArthur Foundation

- 1 Vermeidung von Materialeinsatz, z. B. durch Leichtbau,
- 2 Wiederverwendung (re-use) bzw. Weiterverwendung (re-conditioning) und Aufarbeitung (re-manufacturing) von Bauelementen oder ganzen Bauwerken,
- 3 Recycling von Baustoffen mit möglichst gleichbleibender oder höherer Qualität,
- 4 Verwertung von Baustoffen zur Energiegewinnung, Verfüllung o. Ä.,
- 5 Beseitigung durch Deponierung.

Suffizienz und Leichtbau werden hier nicht weiter betrachtet. Beim Recycling sind im Sinne des zirkulären Bauens die Sammelrate der eingesetzten Materialien am Lebensende eines Zyklus, die Qualität des recycelten Materials im Vergleich zum Ausgangsmaterial sowie die Recyclingrate als Rezyklatanteil am neuen Material von Bedeutung. Bei Bauholz beträgt die Rückbau-Sammelrate insbesondere für Konstruktionsvollholz oder Brettschichtholz üblicherweise 100 %, Stahlbauprodukte wie Träger oder Grobblech werden wegen ihrer Dimensionen ebenso de facto vollständig eingesammelt, Bewehrungsstahl zu ca. zwei Dritteln. Mineralische Materialien wie Beton, Ziegel oder Kalkstein werden zu 93 % stofflich verwertet. Beim eigentlichen Recyclingprozess wird bei Holzwerkstoffen etwa ein Drittel Altholz genutzt. Stahlprofile oder Bewehrungsstahl werden oft vollständig aus rezykliertem Material immer wieder in den gleichen Güten hergestellt. Mit Mikrolegierungen oder thermomechanischen Verfahren werden im Sinne von Upcycling auch höhere Festigkeiten produziert. Für den bisher wenig verwendeten Recycling-Beton werden rezyklierte Gesteinskörnungen und neue Bindemittel benötigt.

Die Wiederverwendung von einzelnen Bauelementen

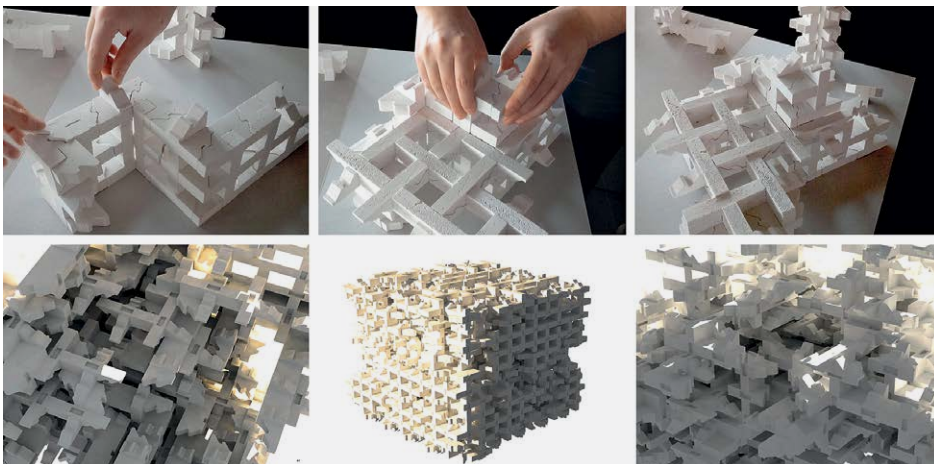


2

bis hin zu ganzen Bauwerken eröffnet neue Möglichkeiten für zirkuläre Prozesse im Bauwesen. Dies gilt insbesondere für die Tragkonstruktionen, da diese für lange Nutzungsdauern ausgelegt und oft durch die Schichten des Ausbaus vor Abnutzung geschützt sind. Außerdem stellt die Tragkonstruktion den größten Anteil der Baustoffmassen eines Bauwerks dar, bei Wohnbauten über 80 %. Zudem korrelieren insbesondere bei massiven Betonkonstruktionen die Bauwerksmassen mit der gebundenen Grauen Energie [1]. Die Wiederverwendung tragender Bauteile kann damit wesentlich zu Ressourceneffizienz und Zirkularität im Bauwesen beitragen, zumal hier nach der Abfallhierarchie des KrWG die erforderlichen Aufwendungen deutlich geringer sind als beim Recycling (Bild 2).

Entscheidend für die Akzeptanz der Wiederverwendung tragender Bauteile wird sein, dass dadurch Bauwerksentwurf und architektonische Gestaltung nicht eingeschränkt werden. Hier können digitale Entwurfs- und Planungswerkzeuge einen wichtigen Beitrag leisten. Bisher dienen parametrische Methoden vornehmlich der architektonischen Freiheit und individualisierten Fertigung einzelner Bauteile. Doch können digitale Entwurfs- und Planungswerkzeuge auch genutzt werden, wiederzuverwendende Bauteile in Entwurfsprozesse zu integrieren. Mit neuen algorithmischen Ansätzen eröffnen sich riesige Lösungsräume für das Kombinieren

- 2 Circular Economy beim Bauen:
- A Produkt- und Bauphase
 - B Nutzung
 - C Rückbau
 - D1 Wiederverwendung (re-use)
 - D2 Weiterverwendung (re-conditioning)
 - D3 Aufarbeitung (re-manufacturing)
 - D4 Recycling, biologischer Abbau
- 3 Physische und digitale Konzeptmodelle trocken gefügter, verzahnter Elemente, die zu unterschiedlichen Konstruktionen gefügt werden können. In digitalen Modellen werden große Lösungsräume algorithmisch durchsucht.
- 4 Holz-Beton-Werkstoff



3



4

von neuen und wiederverwendeten Bauteilen (Bild 3). So können Tragkonstruktionen durch die kombinatorische Fügung neuer und wiederverwendeter tragender Bauteile entstehen, ohne dass Kompromisse beim Entwerfen eingegangen werden müssen. Neben der Entwicklung parametrischer Methoden ist die Erforschung von neuartigen, reversiblen Fügungsprozessen essenziell, um die Bauteile auch zukünftig wiederverwenden und die Entwurfsprozesse wiederholen zu können. LEGO-Bausteine sind ein sehr einfaches Beispiel für solche serielle, reversible Module, die sehr vielfältig kombiniert werden können, ohne auf nur eine einzelne, vordefinierte Struktur reduziert zu sein. Der hier formulierte Ansatz zur Wiederverwendung tragender Bauteile in Entwurfsprozessen unterscheidet sich grundlegend von konventionellen Vorgehensweisen, wo jedem Tragelement bereits eine klar definierte Funktion (Wand, Decke, Stütze) zugewiesen wird, die eine veränderte Nutzung bei Wiederverwendung kaum möglich macht. Nachfolgend werden aktuelle Ansätze für die zirkuläre Nutzung und Wiederverwendung tragender Bauteile aus Holz, Stahl und Stahlbeton vorgestellt.

Zirkuläre Nutzung von Holz

Holzbauteile werden in drei Kategorien zum Bauen eingesetzt: Vollholzprodukte, Holzwerkstoffe (Bild 4) und hybride Holzbauteile (z. B. Holz-Beton-Verbund). Außer Vollholz beinhalten die anderen Kategorien auch weitere, oft synthetische Materialien wie Klebstoffe und Metalle (Stahl). Das bedeutet, dass vor der Weiterverwertung eine Trennung zwischen verschiedenen Werkstoffen (Holz, Stahl, Beton, Kunststoff etc.) stattfinden muss. Für historische Bauten ist die Wiederverwendung auch für lasttragende Holzelemente relativ üblich, bei modernen Bauweisen bisher weniger. Die mögliche Weiterverwertung von Holz bedeutet meist ein „Downcycling“, also die Reduktion der technischen Eigenschaften in Vergleich zum Ausgangsprodukt.

So wird in Deutschland circa ein Fünftel des Altholzes für die Herstellung von Holzwerkstoffen wie z. B. Spanplatten oder OSB-Platten genutzt. Mehr wäre technisch gut möglich, wird aber meist aufgrund der Kosten von Trennung und Logistik nicht umgesetzt. In Italien werden hingegen Spanplatten bereits fast vollständig aus rezykliertem Holz hergestellt. Der überwiegende Teil des Altholzes geht direkt in die thermische Verwertung oder über die Abfalldeponie zum biologischen Abbau. Beide Verfahren sind faktisch eine umgekehrte Photosynthese und emittieren etwa die gleiche Menge an CO₂, wie während des Wachstums gespeichert wurde. Am Ende eines Lebenszyklus ist Holz also klimaneutral.



5a

5a Zirkuläre Holz-Beton-Elementbauweise bei The Cradle in Düsseldorf (HPP Architekten, Knippers Helbig, Transsolar)
5b Reversible Verbindung: Mock-up V-Stützen



5b

Die zukünftigen Chancen für mehr Recycling und Wiederverwendung im Holzbau liegen im gezielten „Design for Deconstruction“ (DfD). Damit kann das Holz wieder als Rohstoff für neue Bauteile und Holzwerkstoffe verwendet und die umgekehrte Photosynthese weiter zeitlich verzögert werden.

Inzwischen gibt es auch erste Holzbauunternehmen, die nach der vom Kunden zu bestimmenden Bauwerkslebensdauer Bauelemente aus Brettschichtholz und Brettsperrholz zurücknehmen und für neue Konstruktionen wiederverwenden wollen. Voraussetzung für die größtmögliche Kreislauffähigkeit durch Demontierbarkeit sind auch hier reversible Verbindungen (Bild 5).

Wiederverwendung von Stahlbauteilen

Stahlkonstruktionen sind wegen der Verwendung standardisierter Bauelemente und Bauteile wie Schweißträger und insbesondere Walzprofile (Bild 6) sowie der üblichen Verbindungen mit standardisierten, löslichen Schrauben gut geeignet für Rückbau und Wiederverwendung. Insbesondere wenn komplette Konstruktionen (z. B. Fachwerkbinder) oder Komponenten (z. B. Stützen) demontiert und wiederverwendet werden, sind Schraubverbindungen wichtig (Bild 7). Werden hingegen einzelne Bauelemente (z. B. Walzprofile) wiederverwendet, sind einfache Brennschnitte an gut zugänglichen Stellen eine ebenbürtige Lösung und erlauben mehr Flexibilität [2].