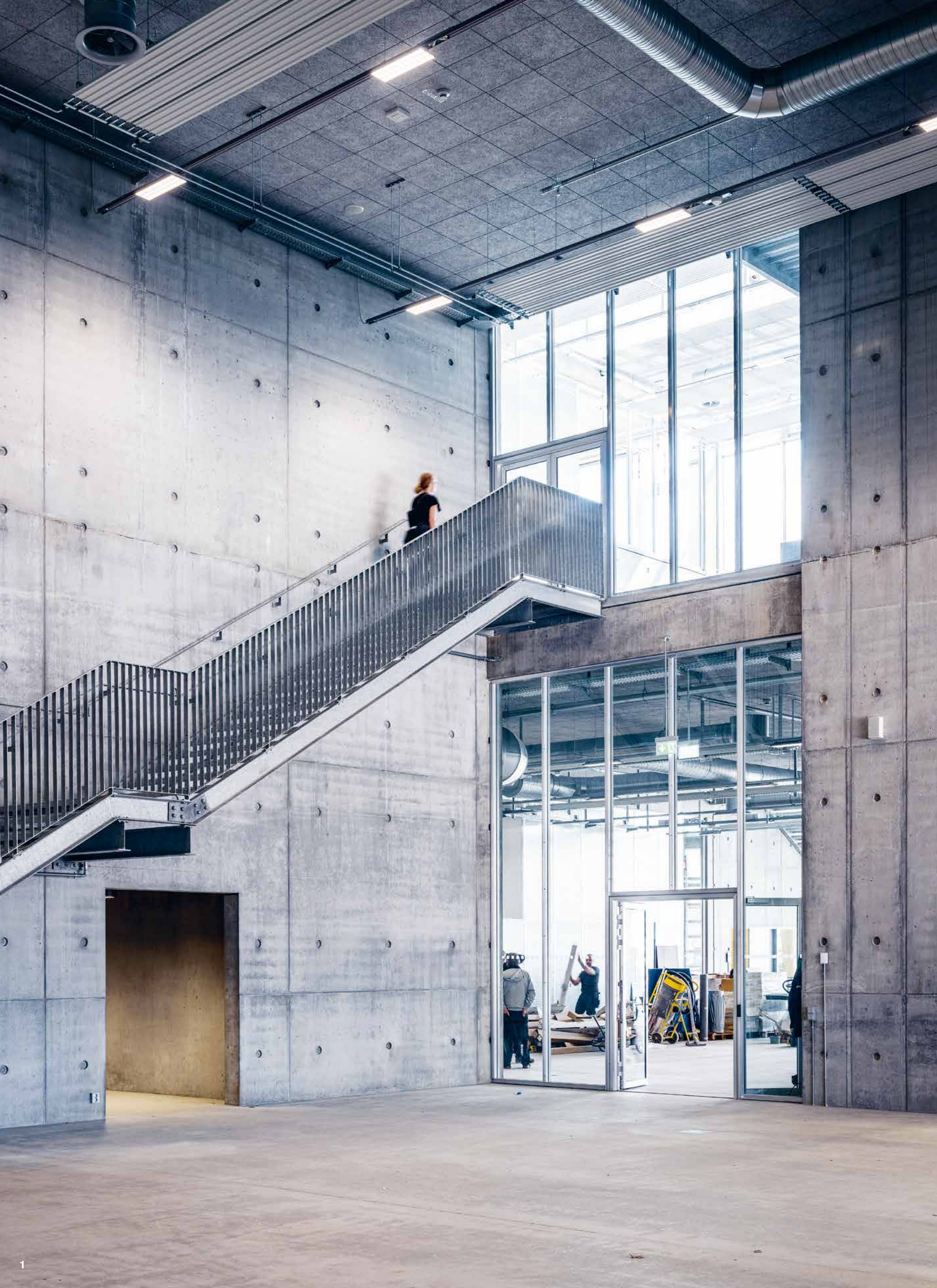


betonprisma

Beiträge zur Architektur 57. Jahrgang Ausgabe 112/2021 4,80 €



DIGITALISIERUNG



Digitalisierung

Einen Blick in die Zukunft werfen ist nicht immer einfach. Als Steve Jobs im Januar 2007 das erste iPhone vorstellte, konnten wir uns noch nicht vorstellen, mit welcher Selbstverständlichkeit wir heute, gerade einmal 14 Jahre später, unsere Smartphones nutzen würden. Und wenn der Chef des koreanischen Elektronikonzerns Samsung, Koh Dong-jin, wie vor einiger Zeit geschehen, in einem Interview eher beiläufig äußert, dass es schon in wenigen Jahren keine Smartphones mehr geben werde, können wir uns das derzeit eigentlich so gar nicht ausmalen. Aber es wird so kommen: Wer möchte, kann schon heute mittels eines Brain-Computer-Interfaces, das unsere neuronalen Aktivitäten in Echtzeit dekodiert, Objekte nur mit seinen Gedanken steuern.

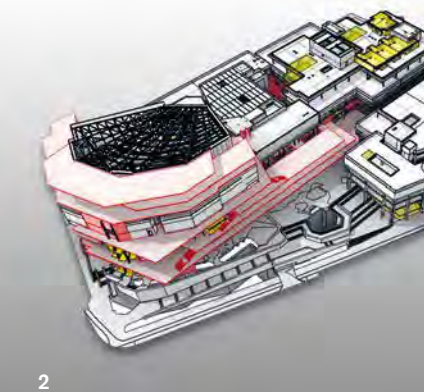
Mit dieser Ausgabe wollen wir einen Blick in die Zukunft des digitalisierten Bauens werfen. Auch so etwas ist nicht unbedingt einfach. Als Walter Gropius 1919 das Bauhaus gründete, war keineswegs absehbar, was das Revolutionäre dieser Bewegung ausmachen würde: die pädagogischen Methoden, die Art des Zusammenfindens, das disziplinübergreifende Denken und Arbeiten, die Kombination aus Kunst, Handwerk und Technik. Die Baubranche ist heute bei weitem noch nicht durchdigitalisiert. Doch wird hier Ähnliches geschehen: Die Digitalisierung wird unsere disziplinübergreifende Zusammenarbeit, das Planen und Entwerfen sowie das Bauen nicht nur verändern, sondern revolutionieren, wird Quantensprünge für die Nachhaltigkeit und die Ressourceneffizienz beim Planen und Bauen mit Beton ermöglichen.

Wie digitalisiert wir schon heute und in naher Zukunft arbeiten und bauen können, lesen Sie in diesem Heft: So zum Beispiel im Gespräch mit Philippe Block, für den es in beispielhafter Weise selbstverständlich ist, dass alle Entwicklungen seiner Block Research Group Open-Source zur Verfügung stehen. Aus der Überzeugung heraus, „dass wir es uns einfach nicht mehr leisten können, unser Fachwissen nicht mit anderen zu teilen.“ Oder im Gespräch mit Thomas von Küstenfeld, der der Ansicht ist, das BIM insofern immer noch unterschätzt wird, als es heute meist nur mit digitalen virtuellen Gebäudemodellen assoziiert, nicht aber als Grundlage für die Zukunftsfähigkeit der gesamten Baubranche gesehen wird. Schließlich auch im Gespräch mit dem Start-up-Gründer Leopold Spenner, der mittels Entwicklung von Algorithmen die Herstellung CO₂-reduzierter Zemente und Betone ermöglicht.

Die Zement- und Betonindustrie stellt übrigens schon heute digitale Produktdaten vorlagen über Betone für BIM-Systeme bereit. Die Nutzung dieser Daten ermöglicht die Planung und den Bau besonders nachhaltiger Bauwerke – wie zum Beispiel der kürzlich eröffneten Aarhus School of Architecture des Kopenhagener Büros Adept, das Sie auf der gegenüberliegenden Seite sehen: Vollständig mit BIM geplant und gebaut, wird das Lehrgebäude in Zukunft für Architekturstudentinnen und -studenten ein Labor für das Bauen der Zukunft – und sicherlich auch für digitale Experimente – sein.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß bei der Lektüre!

Ulrich Nolting



6 GESPRÄCH
 Philippe Block
 Digitalisierung heißt
 neu denken

16 GESPRÄCH
 Jürgen Engel
 Der Computer hat das
 Gespräch verändert

22 GESPRÄCH
 Teresa Fankhänel
 Von der Rechenmaschine
 zur Interaktionsplattform

28 GESPRÄCH
 Daria Kovaleva
 Gradierte Bauteile

32 GESPRÄCH
 Thomas von Küstenfeld
 BIM schafft neue Welten
 in der Kommunikation und
 Kooperation

36 GESPRÄCH
 Stefan Neudecker
 Die Revolution durch
 schalungsfreies Bauen

40 GESPRÄCH
 Ines Fischer
 Es gibt kein Zurück!

44 BERICHT
 Digitale Experimente
 Nachhaltiger produzieren



48 **GESPRÄCH**

Michael Haist
Beton 4.0 für
nachhaltiges Bauen

50 **GESPRÄCH**

Clemens Russ
Digitales Klima-Engineering

54 **BERICHT**

Kathedrale der Mobilität
Wie die Kelchstützen
am Stuttgarter Bahnhof
entstanden

56 **GESPRÄCH**

Angelika Schmid
Neuland betreten

58 **GESPRÄCH**

Leopold Spenner
KI für CO₂-reduzierte
Zemente und Betone

60 **BERICHT**

Die Digitalisierung
des Ortbetons
Großformatiger 3D-Druck
mit Transportbeton

62 **NACHRUF**

Zum Tod von
Gottfried Böhm
Die expressive Kraft
der Architektur

64 **SPEKTRUM**

66 **PROJEKT- UND FOTONACHWEIS**
67 **IMPRESSUM**

GESPRÄCH

Digitalisierung heißt neu denken

PHILIPPE BLOCK

Es geht uns um die Übersetzung historischer Kernprinzipien in das moderne Ingenieurwesen, um diese für künftige Designaufgaben nutzbar zu machen.“



Herr Prof. Block, Sie forschen an der ETH Zürich auf den Gebieten historisches Mauerwerk, computergestützte Formfindungsmethoden und Optimierung von Tragwerken. Sie haben sich während Ihres Studiums am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge, MA, USA, unter anderem mit den gotischen Kathedralen Frankreichs befasst. Sie waren damals, so sagten Sie einmal, „besessen“ von diesen Kathedralen. Worin bestehen die Bezüge und Zusammenhänge zwischen Ihren drei Forschungsgebieten?

Philippe Block: Ich hatte 2003 meinen Master in Brüssel mit einer Arbeit über ein pneumatisch betriebenes, durch Scherengelenke entfaltbares Membrandach abgeschlossen, ein Thema, das eher im Bereich der Hightech-Architektur anzusiedeln ist. Von dieser Art Architektur fasziniert entschloss ich mich, an das MIT zu gehen. John Ochsendorf, mein Professor und heutiger Kollege, überzeugte mich davon, dass es sinnvoll wäre, mich zunächst mit historischen Tragwerken und Steinmetzarbeiten zu beschäftigen. Über die Bewertung der Stabilität und Sicherheit solcher Tragwerke – basierend auf 2D-Berechnungen – habe ich dann meinen Master gemacht.

Im Rahmen meiner Promotion weitete ich diese Bewertungen danach auf räumliche Strukturen – also 3D-Analysen – aus. Es ging nun darum, digitale Werkzeuge zu entwickeln, mittels derer diese hauchdünnen und ausgeklügelten Tragwerke aufgezeigt werden können – wie sie durch ihre gute Form im Gleichgewicht stehen. „Besessen“ war ich insofern, als ich mehr und mehr erkannte, wie elegant die strukturelle Logik beispielsweise der Fächer-Faltungen der gotischen Kathedralen Frankreichs ist. Wenn man erkennt, dass diese Tragwerke – proportional betrachtet – so dünn wie eine Eierschale sind! Man kann

es kaum glauben, dass diese filigranen Bauwerke ganz ohne unser selbstverständliches Wissen von heute errichtet worden sind.

Die Entwicklung dieser digitalen Werkzeuge setzen Sie heute an der ETH Zürich fort?

Richtig. Denn die derzeit gängigen Ingenieurwerkzeuge wurden weitgehend für die Konstruktion von Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen entwickelt. Diese aber sind – um es vereinfacht zu formulieren – nutzlos, wenn es darum geht, historische Tragwerke wirklich zu verstehen. Diese funktionieren nämlich nur deshalb, weil sie über gute Geometrien verfügen und ausbalanciert sind. Der Erfolg unserer Arbeit hier an der ETH beruht auch darauf, dass wir diese Strukturen auf der Basis unserer immer leistungsfähigeren Design-Werkzeuge immer besser verstehen können. Zu erkennen, wie diese historischen Tragwerke funktionieren, verbunden mit der Tatsache, dass das historische Wissen darüber heute nicht mehr vorhanden ist – das ist für uns die Herausforderung: Es geht uns hier um die Übersetzung dieser historischen Kernprinzipien in das moderne Ingenieurwesen, um diese für künftige Designaufgaben nutzbar zu machen.

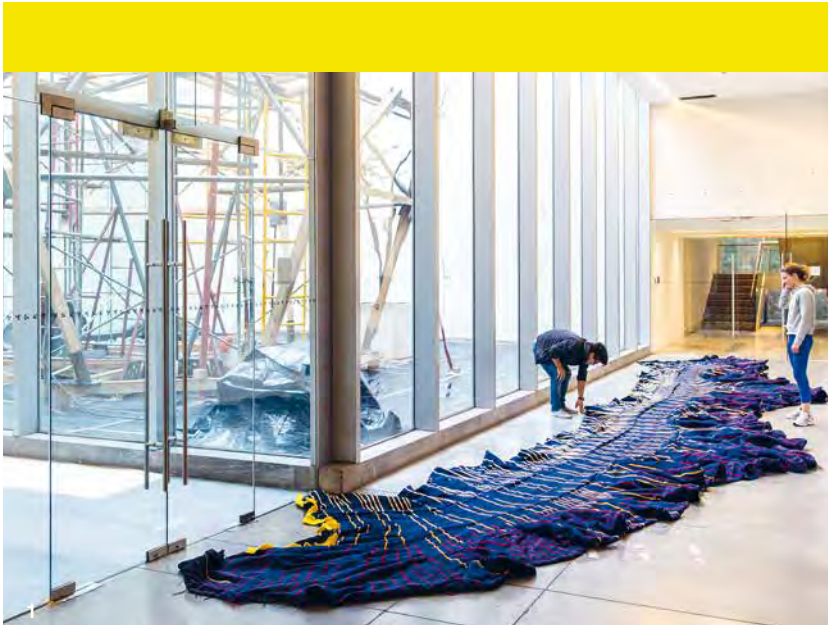
Welche Prinzipien sind das?

Beim historischen Mauerwerk folgt im Grunde genommen die Form der Logik des Materials. Ein Stein verfügt über keine guten Zug- oder Biegeeigenschaften. Auf der Grundlage dieses Wissens wurden die möglichen Formen damals entsprechend entwickelt – sprich der Bogen und das Gewölbe.

Die erste Lehre, die wir aus dem Bereich des historischen Mauerwerks ziehen können, ist die, dass man unter Berücksichtigung solcher materialbedingten

Dr. Philippe Block ist Professor am Institut für Technologie in der Architektur der ETH Zürich, an der er zusammen mit Dr. Tom Van Mele die Block Research Group (BRG) leitet. Er ist Direktor des Schweizerischen Nationalen Forschungsschwerpunkts (NCCR) für digitale Fabrikation und Gründungspartner von Ochsendorf DeJong & Block (ODB Engineering). Block studierte Architektur und Bauingenieurwesen an der Vrije Universiteit Brussel (VUB) in Belgien und am Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, USA, wo er 2009 promovierte. Die Forschung am BRG konzentriert sich auf die rechnergestützte Formfindung, Optimierung und Konstruktion von gekrümmten Flächentragwerken. Im Rahmen des NFS entwickeln die BRG-Forscher innovative, strukturell fundierte, maßgeschneiderte Vorfertigungsstrategien und neuartige Konstruktionsparadigmen unter dem Einsatz digitaler Fabrikation. Mit der BRG und ODB Engineering wendet Block seine Forschung in der Praxis auf die strukturelle Bewertung historischer Denkmäler aus unbewehrtem Mauerwerk sowie den Entwurf und die Konstruktion neuartiger Schalenstrukturen an.

GESPRÄCH



Einschränkungen entwerfen muss. Beim historischen Mauerwerk handelt es sich um eine klar definierte Eingung: Man kann nur unter Berücksichtigung der Druckkräfte bauen. Im Hinblick darauf müssen wir wieder strenge Parameter in den Entwurfsprozess einbringen.

Der zweite Aspekt, den wir aus alledem ableiten können, bezieht sich auf die Kraftflüsse. Wenn wir diese nachverfolgen und in die Planung miteinbeziehen, bedeutet das, dass wir den Materialeinsatz reduzieren können, weil die Kräfte über die intelligente Form statt über hohe Spannungen im Material abgetragen werden können. Wir schaffen also Stärke durch Geometrie.

Mit effektiven Bauformen wie Bögen, Gewölben oder Schalen lässt sich das erforderliche Bauvolumen erheblich reduzieren, indem wir das Material nur dort platzieren, wo es benötigt wird, wir also die Bauformen den Kraftflüssen folgen lassen.

Insbesondere durch die Verwendung von funikulären, also rein auf Druck oder Zug ausgelegten natürlichen Seilformen, kann der Materialeinsatz erheblich verringert werden. Da die resultierenden Spannungen dieser natürlichen Seilformen gering sind, ermöglichen diese darüber hinaus auch eine Verwendung von schwächeren und damit gegebenenfalls nachhaltigeren Materialien.

Der dritte Aspekt schließlich ist jener der trocken zusammengesetzten Bauteile – derjenigen also, die ohne chemische oder zusätzliche mechanische Verbindung, nur über Druckkräfte, in Kontakt stehen. Sie können später wieder auseinandergenommen und an anderer Stelle neu zusammengesetzt, also wiederverwertet werden.

Wie können diese Prinzipien in die Realität übersetzt, also bei konkreten Bauaufgaben angewendet werden?

Die von uns heute weiterentwickelten Design-Werkzeuge sind im Grunde genommen Erweiterungen der Tools, die wir für die Analyse der historischen Bauwerke erarbeitet hatten. Die große Herausforderung bestand darin, die Komplexität dieser Geometrien in einen realen Prozess, und damit auch in die Zusammenarbeit mit Architektinnen und Architekten, einzubinden. Heute sind wir soweit: Wir können auf der Basis dieser drei Prinzipien konstruieren, fertigen und bauen.

Eines Ihrer Projekte war KnitCandela, eine flexibel geformte dünne Betonschale.

2018 sollte im Museo Universitario Arte Contemporáneo in Mexiko-Stadt eine Ausstellung über Felix Candelas Werk stattfinden. Dreieinhalb Monate vor Ausstellungsbeginn erhielten wir eine E-Mail von der Computational Design Group (ZHA|CODE) von Zaha Hadid Architects mit der Anfrage, ob wir dieses Projekt



„Die große Herausforderung bestand darin, die Komplexität dieser Geometrien in einen realen Prozess, und damit auch in die Zusammenarbeit mit Architektinnen und Architekten, einzubinden.“

nicht gemeinsam angehen wollten. Wir dachten damals, dass es eine gute Idee sei, unser Wissen – auch als Hommage an Felix Candela – mit einzubringen, schließlich bewundere ich seine wunderschönen Schalenträgerwerke.

KnitCandela wurde in Zusammenarbeit mit ZHA|CODE und Architecture Extrapolated (R-Ex) entwickelt und nutzt eine gestrickte Schalung, um die komplexe architektonische und strukturelle Geometrie zu realisieren und gleichzeitig Kosten, Gewicht, Zeitaufwand und Umweltbelastungen zu minimieren. Die nicht standardisierte Geometrie – eine doppelt gekrümmte, drei Zentimeter dicke Schale mit in beide Richtungen verlaufenden Aussteifungsrippen von vier Zentimeter Tiefe – hätte bei einer konventionellen Bauweise eine komplexe, kostspielige, zeit- und arbeitsintensive Schalung erfordert, wodurch die Effizienz und die wirtschaftlichen Vorteile einer solchen Form zunichte gemacht worden wären. Die zementbeschichtete Textilschalung mit einer Fläche von 50 Quadratmetern sorgte stattdessen – zusammen mit einem Stahlseilnetz – für die erforderliche Festigkeit und Steifigkeit

beim Gießen des Betons. Als verlorene Schalung verursachte sie während der Bauzeit praktisch keinen Abfall.

Wie lange musste Ihre Maschine stricken?

Das Stricken dauerte nur 36 Stunden auf einer industriellen Strickmaschine, was viel schneller war als die geschätzten 750 Frässtunden, die für eine vergleichbare Kunststoffschalung erforderlich gewesen wären. Außerdem wurden noch die Kohlendioxidemissionen durch den Transport erheblich reduziert, da die komplexen Schalungsteile nicht zur Baustelle befördert werden mussten. Das 25 Kilogramm leichte Gestrück wurde in zwei Koffern nach Mexiko-Stadt geschickt – als normal aufgegebenes Gepäck.

Was wollten Sie mit KnitCandela darüber hinaus zeigen?

Wir wollten zeigen, dass man tatsächlich mit einer gestrickten Schalung – was im wahrsten Sinne des Wortes so funktioniert, als würde man einen Pullover

1 - 4 Das Projekt KnitCandela zeigt, dass effiziente strukturelle Formen mit gestrickten Schalungen gebaut werden können. Die doppelt gekrümmte, drei Zentimeter dicke Schale wurde in Zusammenarbeit mit ZHA|CODE und Architecture Extrapolated entwickelt. Eine zementbeschichtete Textilschalung mit einer Fläche von 50 Quadratmetern sorgte, zusammen mit einem Stahlseilnetz, für die erforderliche Festigkeit und Steifigkeit beim Gießen des Betons.

GESPRÄCH



„Die Herausforderungen, denen wir heute gegenüberstehen, sind so groß, dass wir es uns einfach nicht mehr leisten können, unser Fachwissen nicht mit anderen zu teilen.“

stricken – ein sehr leichtgewichtiges Paket herstellen kann, mit dem sich diese Art von effizienten strukturellen Formen wieder einführen lässt. Außerdem müssen wir dabei nicht mit Robotern zur Baustelle kommen, denn es reicht, nur das mitzubringen, was vor Ort schwer zu beschaffen ist. Ansonsten können wir mit lokalen Arbeitskräften arbeiten. Einer der wesentlichsten Aspekte dieses Projekts ist jedoch – und darüber wird leider so gut wie nie berichtet, weil man meint, dass es zu wenig verstanden wird –, dass wir hier zeigen konnten, was durch digitales Arbeiten und insbesondere digitale Vernetzung möglich wird: dass nämlich Design, Technik und Prototyping zur gleichen Zeit stattfinden können! Und wir konnten mit KnitCandela erfolgreich demonstrieren, dass das Verständnis für die Herstellung von Anfang an in den Entwurf integriert werden kann, die Parameter der Baulogistik von Beginn an darin mitberücksichtigt werden können. Ich bin der festen Überzeugung, dass wir die Art und Weise, wie wir heute – noch – zusammenarbeiten, überdenken müssen, um Ineffizienzen zu beseitigen.

Wie haben Sie bei diesem Projekt digital zusammengearbeitet?

Zunächst einmal glauben wir zu 100 Prozent an Open Source. Alle unsere Entwicklungen stehen auf unserer Plattform COMPAS zur Verfügung, einem Open-Source Computational Framework. Dies ist so, weil wir denken, dass die Herausforderungen, denen wir heute gegenüberstehen, so groß sind, dass wir es uns einfach nicht mehr leisten können, unser Fachwissen nicht mit anderen zu teilen. Eben darin liegt ja auch die große Chance der Digitalisierung: dass wir unser Wissen teilen und es mit dem anderer kombinieren können.

Wir haben zu Beginn dieses wie auch aller anderen Projekte gemeinsam einen Rahmen für das Design definiert, haben COMPAS als zentralen Digital-Hub genutzt und sichergestellt, dass alle erforderlichen Schnittstellen funktionieren. Nur so war es möglich, dass der Entwurf bereits zwei Tage vor Beginn der Strickarbeiten abgeschlossen und diese wiederum zwei Tage vor dem Flug nach Mexiko City von Mariana Popescu, einer damaligen Doktorandin, fertiggestellt wurden.

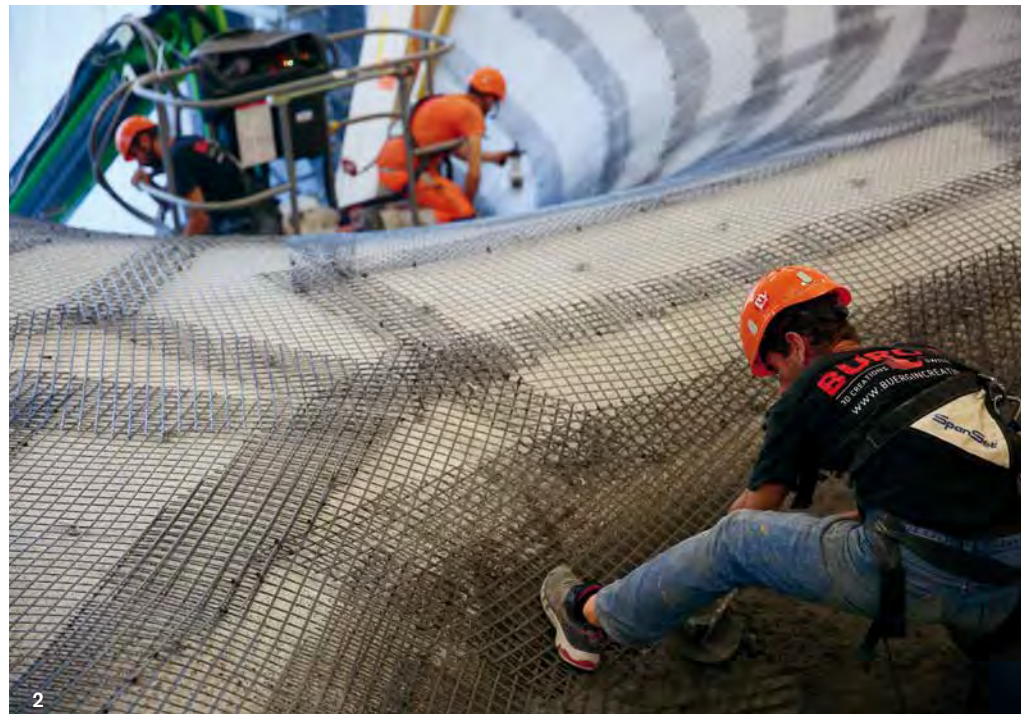
Es gibt vermutlich nicht so viele Architekturbüros, die Sie bei diesem Projekt hätten unterstützen können?

In diesem Falle hatten wir mit ZHA|CODE zusammengearbeitet, der computation and design group von Zaha Hadid Architects. Natürlich machte es die Zusammenarbeit leichter, dass der Leiter dieser Abteilung, Shajay Bhooshan, einer unserer Doktoranden und ein langjähriger Freund ist. Die langfristige Kooperation, das gemeinsame Vertrauen, das Voneinander-Lernen sowie gegenseitiger Respekt und Verständnis sind hier natürlich sehr wichtig.

Doch arbeiten wir auch mit weniger spezialisierten Architekturbüros zusammen, so zum Beispiel derzeit mit einem eher traditionellen Büro zum Thema gewölbte Betondecken. Auch diese Zusammenarbeit funktioniert sehr gut!

Die Forschungs- und Innovationsunit NEST HiLo in Dübendorf demonstriert die Möglichkeiten im Leichtbau – auch mit Beton. Für das zweigeschossige Bauwerk auf der obersten NEST-Plattform kommen neuartige bautechnische Lösungen zum Einsatz. Welche Lösungen sind das?

Unsere erste Präsentation für dieses Projekt fand 2011 statt, also vor mehr als zehn Jahren. KnitCandela wurde ja 2018 realisiert und basierte damit auch schon auf den Erfahrungen von NEST HiLo. Auch hier geht es darum, eine komplexe in Beton gegossene Form für das Dach eines Gebäudes zu schaffen. Wir benötigten diese lange Entwicklungszeit, weil wir zunächst einen 1:1-Prototyp erstellen wollten. Es gelang uns schließlich, unseren Kunden, die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), zu überzeugen und konnten so ein leichtes wiederverwendbares Seilnetz- und Gewebeschalungssystem als Proof-of-Concept-Bau-Prototyp im NEST HiLo-Schalendach testen, das 2017 auf dem Campus der ETH Zürich errichtet wurde.



Die Forschungs- und Innovationsunit NEST HiLo in Dübendorf demonstriert die Möglichkeiten im Leichtbau. **1 + 2** Der 2017 realisierte Prototyp für das doppelt gekrümmte Dach der neuesten NEST-Unit HiLo gewinnt seine Tragfähigkeit aus der Geometrie und seinem zweischaligen Aufbau. Das Dach besteht aus zwei Betonschichten, die durch ein Gitter aus Betonrippen und Stahlanker verbunden sind. Gebaut wurde der Prototyp mit Hilfe einer flexiblen Schalung aus einem gespannten Seilnetz und einer Membran, auf die der Beton aufgespritzt wurde. Im Oktober 2021 wurde die NEST-Unit eröffnet.



1 Der Prototyp für das doppelt gekrümmte Dach der neuesten NEST-Unit HiLo. 2 Für die Zwischenböden der zweistöckigen NEST-Unit HiLo wurde eine Leichtbau-Deckenkonstruktion eingesetzt, die mehr als 70% an Material einspart. Erreicht wird dies durch die intelligente Geometrie der Decken: Das Gewölbe mit Aussteifungsrippen verleiht den dünnen Decken ihre Tragfähigkeit. Die eingesetzten digitalen Fertigungsmethoden ermöglichen es, Lüftung, Kühlung und Niedertemperaturheizung in die gerippte Gewölbedecke zu integrieren und damit weiteres Material und Volumen einzusparen. Unser Bild zeigt die Präsentation eines Prototyps auf der Architekturbiennale 2016 in Venedig.

Anfang Oktober wurde in Dübendorf ein Projekt eingeweiht, das ebenfalls Teil dieses Forschungsprojekts ist.

Hier handelt es sich um die Übersetzung des historischen Bauprinzips auf die Fertigung superdünner Gewölbedecken mit Aussteifungsrippen aus unbewehrtem Beton. Die Gewölbedecke ist hier 70 Prozent leichter als herkömmliche Betondecken, wobei für ihre Herstellung zwei Drittel weniger Beton eingesetzt wurde. Diese Reduktionen sind möglich geworden, weil die Decken nicht flach, sondern gewölbt sind und durch schmale senkrechte Rippen verstärkt werden. Indem wir die Struktur so verändern, dass sie eher einem Mauerwerk entspricht als einer typischen Stahlbetonstruktur, lässt sich tatsächlich auch der Kraftfluss kontrollieren. Das bedeutet auch, dass wir Materialien mit geringerer Festigkeit einsetzen können. So haben wir für die Prototypen bei HiLo über 50 Prozent rezyklierte Zuschlagstoffe verwendet.

Dieser erste Einsatz der Gewölbedecke im Forschungsgebäude NEST in Dübendorf im Rahmen des Projekts HiLo ist für uns insofern ein Meilenstein, als wir hier einige Prototypen hergestellt und sie immer wieder Belastungstests unterzogen haben. Es hat eine Weile gedauert, bis wir einen Bauherrn davon überzeugen konnten, dieses Deckensystem nun auch bei einem Hochbauprojekt einzusetzen. Heute sind wir mit diesem Produkt so weit, dass wir eine Industriepartnerschaft eingehen können. Das Deckensystem wird, so hoffen wir, in spätestens zwei Jahren auf dem Markt erhältlich sein. Derzeit führe ich Gespräche mit Architekturbüros, Projektentwicklern und Bauherren, die von ihm gehört haben. Zu seinen weiteren Vorteilen gehört, dass es vollständig

trocken montiert werden kann. Es werden keine Klebstoffe benötigt, die es später erschweren würden, die Elemente der Gewölbedecke auseinanderzunehmen, um sie wiederzuverwenden oder sortenrein zu recyceln. Die Herstellung erfolgt im Betonfertigteilwerk.

In den Giardini della Marinaressa in Venedig haben Sie kürzlich gemeinsam mit ZHA|CODE einen 12 mal 16 Meter großen gewölbten Fußgängersteg aus Beton gebaut, der ganz ohne Armierungen auskommt. Was wollten Sie mit diesem Projekt unter Beweis stellen?

Dass es nur mit einem richtigen Verständnis von sowohl Geometrie als auch der Funktion und Herstellung von Materialien gelingt, innovative Bauverfahren zu entwickeln: Das haben wir bereits beim 3D-Stricken gezeigt. Bei der Brücke mit dem Namen „Striatus“ demonstrieren wir dies am Beispiel des 3D-Drucks. Der Steg besteht aus additiv gefertigten Betonbausteinen, die sich wie bei alten Steinbrücken zu Bögen ergänzen. Die Kräfte wirken dadurch in reinem Druck und die Bausteine stabilisieren sich durch die Geometrie des Bauwerkes selbst.

Neu ist die Art des Beton-3D-Drucks, wie wir ihn gemeinsam mit der Firma Incremental3D entwickelt haben: Der Beton wird hier nicht wie üblich horizontal, sondern in spezifischen Winkeln aufgetragen, das heißt genau rechtwinklig zu den Druckkräften. Das bewirkt, dass sich die gedruckten Betonschichten in den Bausteinen selbst stabilisieren. Mit dieser präzisen Form von Beton-3D-Druck können wir die Prinzipien des traditionellen Gewölbebaus mit dem digitalen Betonbau verbinden und das Material ausschließlich dort einsetzen, wo es strukturell notwendig ist. Weil das Bauwerk ohne Mörtel

„Der erste Einsatz der Gewölbedecke im Forschungsgebäude NEST in Dübendorf im Rahmen des Projekts HiLo ist für uns ein Meilenstein.“



„Wir müssen auch schöne Dinge schaffen. Denn Ästhetik und Schönheit sind ganz wesentliche Aspekte, wenn es um Akzeptanz und Langlebigkeit und damit eben auch um Nachhaltigkeit geht.“



auskommt, ist es möglich, die Bausteine auch wieder voneinander zu trennen. Die Brücke lässt sich so an einem anderen Ort neu aufbauen; sollte sie ausgedient haben, können die Materialien einfach recycelt werden.

Wie schätzen Sie die Potenziale des 3D-Drucks mit Beton ein?

Ich denke, dass im Bereich des 3D-Drucks viel geforscht wird, aber bisher ohne ihn wirklich dafür zu nutzen, wofür er gut ist. Wenn 3D-gedruckte Betonschichten nicht orthogonal zum Kraftfluss gedruckt werden, muss eine Vorspannung (mit nachträglichem Verbund) hinzugefügt werden. So wird bei vielen Projekten die Außenhaut im 3D-Druckverfahren hergestellt, das eigentliche Tragwerk aber gegossen. Anders formuliert: Es ist notwendig, besser zu verstehen, worin die Beschränkungen und Potenziale des 3D-Drucks bestehen. So ist er stark, wenn er perfekt orthogonal zum Druckkraftverlauf erfolgt, in anderen Ausrichtungen hingegen aber schwach. Diese Einschränkung gilt es, in einen Entwurf einzubinden. Nur dann kann das Material ohne Stahl und auch unter Verzicht auf hochfeste Betone eingesetzt werden. Das ist im Grunde die Botschaft, die wir mit diesem Projekt verbunden haben.

Eine weitere Motivation, es anzugehen, lag darin, dass wir in unserer Gruppe auf die 3D-Equilibrium-Modellierung von unbewehrtem Mauerwerk spezialisiert sind und heute einen Forschungsstatus erreicht haben, der es uns ermöglicht, die Analyse historischer Strukturen mit der Zukunft des Bauens, nämlich dem 3D-Druck, zusammenzubringen. An diesem Projekt wurde alles mit COMPAS erarbeitet – alle Schnittstellen, das gesamte Engineering, die Formfindung und -optimierung.

Welche Auswirkungen hat die Digitalisierung des Planens und Bauens auf unsere Arbeits- und Denkprozesse, auf unsere Kreativität? Stichwort „digitale Kreativprozesse“? Sie sagten einmal, dass sich das „computational design“ zu oft auf dem Niveau der Faszination, der Ästhetik, der Spielerei bewege ...

Für mich ist das Digitale zuallererst ein Werkzeug, mit dem man ein Team zusammenbringen kann, um eine Menge komplizierter Aufgaben und Herausforderungen aus verschiedenen Blickwinkeln zu meistern, um wirklich etwas zu bewirken und effektiv besser zu werden – um alle Bedingungen der Herstellung von Baustoffen und Bauwerken berücksichtigen zu können.



In der Vergangenheit hatten wir viele geniale Baumeister und Architekten – oftmals in einer Person. Ich denke, dass wir künftig eher über den „digitalen Baumeister“ sprechen werden. Dieser Baumeister wird aber nicht mehr ein einzelner Mensch, das individuelle Genie, sein. Es wird die Zusammenarbeit von Experten sein, die wir mit dem Begriff beschreiben werden, von Experten, die von Anfang an darauf achten, ein Projekt auf kohärente und respektvolle Art und Weise zu entwickeln. Das ist für mich die Stärke der Digitalisierung. Es geht also um viel mehr als BIM. BIM ist hauptsächlich dazu da, Mengen zu überprüfen und eine Nummer davor setzen zu können. Das ist sicher hilfreich – aber nicht dann, wenn es darum geht, absolut alles neu zu überdenken, allen Beteiligten wirklich von Anfang an zuzuhören.

Alles neu überdenken?

Wir haben über die Optimierung von Tragwerken gesprochen. Hier läuft alles zusammen. Mein Ziel ist es, die hiermit verbundene Optimierungs-Idee zu erweitern. Ich möchte Untersuchungen darüber anstellen, wie die Menge des benötigten Materials reduziert werden kann. Die Bestrebungen in Richtung eines immer leichteren Bauens und natürlich die Arbeit von Frei Otto waren und

sind auch für mich ein Antrieb. Doch sind in der Realität die Dinge noch viel differenzierter. Es reicht nicht aus, nur leicht zu bauen. Wir müssen auch mit besseren Materialien bauen – im Sinne von geringeren Umwelteinwirkungen, weniger Umweltverschmutzung und CO₂-Emissionen. In Zukunft wird es nicht allein darum gehen, das Materialvolumen zu reduzieren, eine wichtige Frage wird vielmehr sein, welche Materialien in welchem Kontext eingesetzt werden können – auch die lokale Verfügbarkeit wird dabei eine Rolle spielen. Das Ziel der Nachhaltigkeit muss in all diese Überlegungen verstärkt miteinbezogen werden. Und schließlich – und das ist für mich sehr wichtig – müssen wir auch schöne Dinge schaffen. Denn Ästhetik und Schönheit sind ganz wesentliche Aspekte, wenn es um Akzeptanz und Langlebigkeit und damit eben auch um Nachhaltigkeit geht. Die Menschen wollen keine technisch optimierten Systeme, die ihren ästhetischen Ansprüchen nicht genügen. Sie wollen keine billig aussehenden, unattraktiven Kisten, die uns alle nur traurig machen.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

www.block.arch.ethz.ch/brg/

1 Bei dem in den Giardini della Marinaressa in Venedig errichteten Fußgängersteg „Striatius“ werden die Prinzipien des traditionellen Gewölbebaus mit dem digitalen Betonbau verbunden. Das Bauwerk besteht aus 3D-gedruckten Bausteinen aus Beton, die sich wie bei alten Steinbrücken zu Bögen ergänzen. Die Kräfte wirken dadurch in reiner Kompression genau auf die im Boden miteinander verstreuten Stützen. Die Bausteine stabilisieren sich durch die Geometrie des Bauwerks selbst.

Der Computer hat das Gespräch verändert

JÜRGEN ENGEL

Herr Engel, Sie sammeln Ihre Notizen und Skizzen in Notizbüchern. So auch die für die Große Moschee von Algier. Erste Entwurfsideen entwickeln Sie – ganz klassisch und gar nicht digital – mit Bleistift und Papier?

Jürgen Engel: Es gibt drei Gründe, warum ich nach wie vor mit Bleistift und Papier arbeite. Erstens: Weil ich es sehr gerne mache! Und weil für mich das Künstlerische als Grundsatz für die Entwicklung und Gestaltung von Architekturen extrem wichtig ist. Nur durch das kreative Zeichnen gelingt es, wirklich gute Ideen zu entwickeln.

Der zweite Grund ist, dass ich all die Wartezeiten – ob an Flughäfen oder anderswo – dazu nutze, Gedanken und Ideen in meinen Skizzenbüchern aufzuzeichnen. Das ist für mich zum einen ein guter Zeitvertreib, zum anderen aber auch insofern ein Genuss, als ich eben nicht irgendetwas präsentieren muss, sondern ganz bei mir sein kann.



Jürgen Engel studierte Architektur an der Technischen Universität Braunschweig, der ETH Zürich, der RWTH Aachen und dem Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, USA. 1982–1986 war er bei Schneider-Wessling Architekten in Köln tätig, 1986–1989 bei O. M. Ungers in Frankfurt als Büroleiter. 1990 machte er sich in Partnerschaft selbstständig. Sein Architekturbüro KSP Engel führt er als geschäftsführender Gesellschafter mit Partnern.

„Ich bin davon überzeugt, dass die Zeichnung die schnellste Entwurfsmethode ist.“

Ein dritter – und ganz wesentlicher – Grund ist: Ich bin davon überzeugt, dass die Zeichnung die schnellste Entwurfsmethode ist. Denn wenn man einen Gedanken fasst, sich diesen räumlich vorstellt und es vermag, ihn sofort auf Papier zu bringen – ohne Umwege! –, dann ist das die direkteste Art und Weise, um einen kreativen Entwurfsprozess einzuleiten. Und diesen auch weiterzuführen! Denn hat man eine Zeichnung vorliegen und erkennt, dass ein Detail vielleicht nicht stimmig ist, kann man unmittelbar eingreifen, weiter skizzieren und ihn synchron weiterentwickeln.

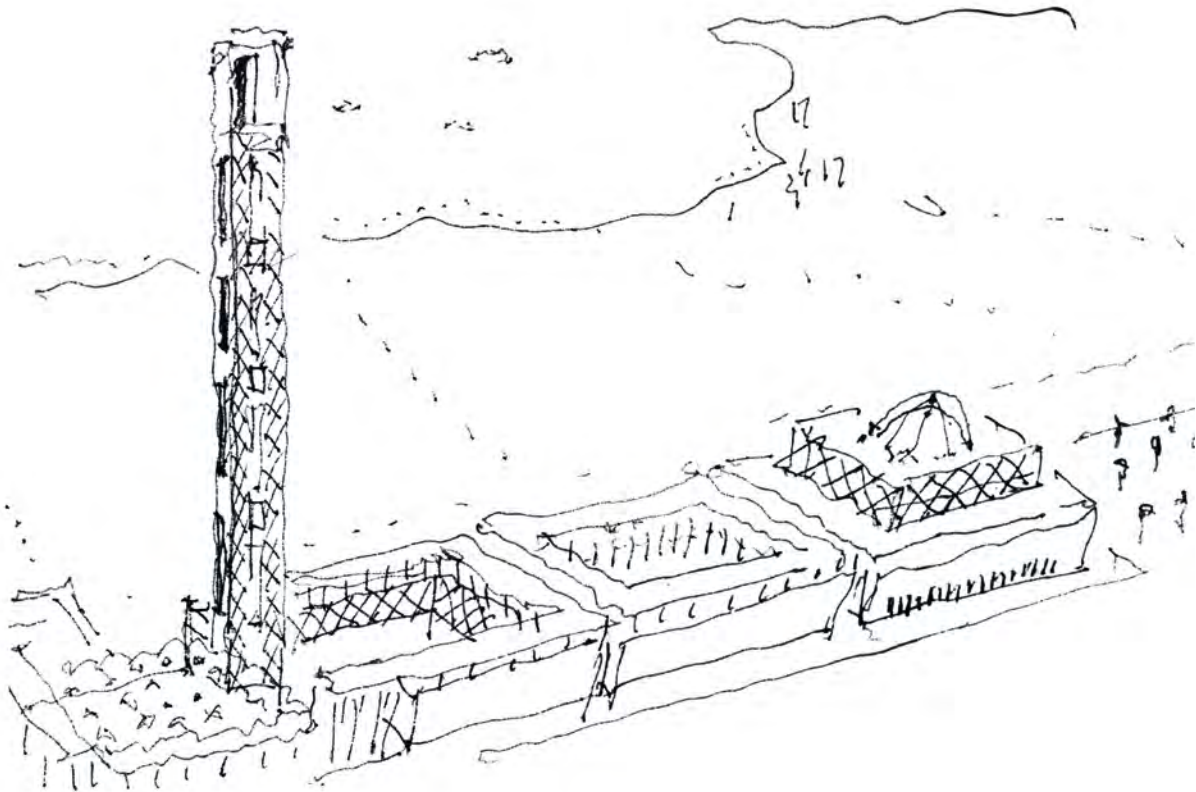
Haben wir das Zeichnen nicht längst verlernt?

Ich empfinde es schon als Mangel, dass das Zeichnen heute nur noch wenig gelehrt wird. Denn das hat auch Auswirkungen auf die räumliche Vorstellungskraft der Menschen. Mit dem Computer können wir heute alles Mögliche entwerfen. Aber einen Gedanken entwickeln, selbst für ein kompliziertes Raumprogramm eine einfache und ästhetisch einwandfreie Form finden, diese in die Landschaft einbetten, zu überlegen, was ein Gebäude können muss, welche Botschaft es transportieren soll – das kann ich verhältnismäßig zügig mit dem Strich machen, kann die Idee erklären und vermitteln. Diese Unmittelbarkeit bietet die Arbeit mit dem Computer nicht.

Natürlich sehe ich auch, dass sich die Welt verändert, dass wir heute und in Zukunft durch die zunehmende Digitalisierung ganz andere Entscheidungsprozesse haben. Das akzeptiere ich selbstverständlich. Meine jüngeren Kolleginnen und Kollegen, meine Kinder denken und arbeiten anders als ich – gehen anders an die Welt heran. Ich arbeite gerne noch analog von Hand.

Ihre Skizzen geben Sie dann für die weitere Entwicklung an Ihre Mitarbeiter weiter?

So direkt ist es nicht. Ich gebe die Idee weiter, die Vision. Mit dieser arbeitet dann das Team und schaut, ob das alles zusammenzubringen ist, ob ich richtig liege. Erst wenn wirklich klar ist, was wir wollen, erst wenn wir damit beginnen, das Ganze zu ordnen, fragen wir uns: Welche Architektur, welche Aussage wollen wir machen? Das macht man ja im Kopf, nicht mit dem Computer. Erst danach wird der Entwurf mit Computerprogrammen weiter ausgeformt.



1 Entwurfsskizze der Großen Moschee in Algier von Jürgen Engel. **2** Zum Baukomplex der Großen Moschee gehören neben dem Gebetsaal zwei großzügige Vorhöfe und ein 265 Meter hohes Minarett. Als höchstes Bauwerk Afrikas stellt sich die Moschee als eine beeindruckende Stadt- und Landmarke dar. Innerhalb des Komplexes befinden sich – ähnlich wie in einem Stadtzentrum – Geschäfte, Restaurants, Museen und ein Kino. Ein weitläufiger Park verbindet den nach Mekka gerichteten, 600 Meter langen Bau mit einem südlich gelegenen Kongresszentrum, einer Bibliothek und einer theologischen Hochschule. **Seiten 18/19** Blick vom Vorhof (Court) auf den Gebetsaal (mit Kuppel). Mit der Großen Moschee von Algier interpretierte KSP Engel den im Maghreb weit verbreiteten Bautypus der Säulenhalle neu. Als Zitat der lokalen Palmvegetation ist das gestalterische Leitmotiv eine florale Säule aus Beton, die alle Bereiche des Gebäude-Ensembles miteinander verbindet.







Ich halte den Weg der Ideenentwicklung mittels handgefertigter Skizzen insofern für unglaublich wichtig, als er auch der interessanteste und spannendste ist. Es ist ja gerade der schnelle Gedankenaustausch, das unmittelbare Gespräch, bei dem das eine zum anderen kommt – bis einer plötzlich sagt: Das ist es! Eben dieses Gespräch hat sich durch den Einsatz des Computers verändert. Dieser liefert viele ausgearbeitete Ansätze. Und man spricht dann über genau diese schon detaillierteren Entwürfe – aber nicht mehr über die eigentliche, ursprüngliche Vision. Man denkt nicht mehr quer, fragt nicht mehr, welche weiteren Potenziale sich ergeben könnten. Wir gehen allerdings nicht immer gleich vor: Bei komplexen Geometrien und Figuren nehmen wir den Computer zu Hilfe. Die Teams entwickeln ihre Entwürfe dann mit ihm und die Modelle werden anschließend mit dem 3D-Drucker erstellt. Wir haben verschiedene Entwurfsteams in unseren Büros, die sich regelmäßig einmal im Monat zu einem Jour Fixe treffen, sich gegenseitig ihre Entwürfe vorstellen. Wir diskutieren anschließend gemeinsam über die beste Lösung. Nicht jeder Entwurf beginnt mit einer Handskizze.

Auch wenn Sie gerne handwerklich arbeiten – Ihr Büro war eines der ersten in Deutschland, das CAD eingeführt hat ...

Das ist richtig. Ende der 1980er Jahre haben wir mit einer damals erheblichen Summe in die Digitalisierung unseres Büros investiert und begonnen, mit CAD zu

arbeiten. Viele haben uns damals gesagt, dass diese Investition und Arbeitsweise Unsinn sei. Mit CAD zu arbeiten war damals noch unüblich und eher verpönt. Einfache alphanumerische Aufgaben hatten wir natürlich schon vorher mit dem Computer bewerkstelligt. Heute bin ich froh darüber, dass wir mit diesen Dingen so früh begonnen haben und wir auch sehr früh damit angefangen haben, mit BIM zu arbeiten – worin wir natürlich auch eine Zukunftslösung sehen. Wir werden aber lernen müssen, BIM noch virtuoser zu nutzen.

Sie haben 2011 – nach dem Wettbewerbsgewinn für die Moschee – in Ihrem Büro BIM eingeführt. Wie sind Sie diesen Prozess angegangen? Mit welchen Meilensteinen, welchen Zielen?

Wir waren uns damals einig, dass wir, um große Projekte in kurzer Zeit realisieren zu können, die Initiative ergreifen und digitale Standards entwickeln müssen. Dem entsprechend hatten wir bereits vor der Planung der Großen Moschee in Algier begonnen, uns mit BIM auseinanderzusetzen. Wir hatten zu der Zeit jedoch noch kein größeres Augenmerk auf den Aspekt des in BIM implizierten „Modelings“ geworfen. Es ging uns – so wie heute auch – eher um ein „Building Information Management“, also darum, Daten richtig zu strukturieren und zu kommunizieren, eine einheitliche digitale Sprache und entsprechende Standards für alle Projektbeteiligten zu entwickeln. Das hat damals auch gut funktioniert.

1 Den großen Gebetsaal mit zentraler Kuppel, in dem bis zu 35.000 Gläubige Platz finden, prägt ein „Wald“ aus eng gestaffelten, jeweils 45 Meter hohen Säulen. **2** Rund 600 vorgefertigte Schleuderbetonstützen wurden in Deutschland produziert und per Bahn und Schiff nach Algier transportiert. Form und Proportion sind inspiriert von der in Afrika heimischen Calla-Pflanze (*Zantedeschia*). Die florale Säule erfüllt neben ihrer primär statischen Funktion weitere Aufgaben: Der Hohlraum im Stützeninneren kann zur Dachentwässerung, Belüftung und für Elektroinstallationen genutzt werden. In Innenräumen sorgt die Säule für eine bessere Raumakustik. Je nach Funktion und Anforderung sind Säulen in unterschiedlichen Höhen und Ausführungen verbaut.

Diese ersten Erfahrungen mit unserem Building Information Management haben wir später um den Bereich des „Modelings“ erweitert. Dies zunächst allerdings ohne definierte Standards – nach dem Motto: Wir sehen einmal, wie es klappt. Letztlich mussten wir aber feststellen, dass es ohne bürointerne Standards nicht geht. Auf diese Weise haben wir auch gelernt, wie man es nicht machen sollte – und welche Richtlinien wirklich wichtig sind. Erst daran anschließend haben wir die ehemaligen CAD-Administratoren an den einzelnen Standorten zu BIM-Administratoren geschult und BIM in allen Büros eingeführt. Seither ist gewährleistet, dass alle Mitarbeiter nach denselben Standards arbeiten. Die Weiterentwicklung des Systems erfolgt in enger Absprache mit den Standorten und wird von Frankfurt aus gesteuert.

Die Große Moschee gehört mit zu Ihren größten Projekten und wurde im November 2020 eröffnet. Das architektonische Leitmotiv sind schlanke, floral anmutende Säulen aus Beton mit prägnantem Kapitell. Wie hat sich diese Idee entwickelt?

Natürlich haben wir die Entwurfsidee zunächst einmal aus der spezifischen Situation des Ortes und der Funktion heraus entwickelt. Ich war einige Jahre zuvor in Cordoba gewesen und hatte mir die dortige Kathedralmoschee angeschaut, von der ich sehr begeistert war, weil es sich hier um einen demokratischer Bau handelt. Damit meine ich, dass ihre Pfeilerhalle, entwickelt in der Spätgotik, also zu einer Zeit, in der sich erste bürgerschaftlich-demokratische Ideen durchsetzten, auch insofern bemerkenswert ist, dass es hier keine Hierarchien gibt. Der Prediger steht vorne, ich als Andächtiger stehe hinten – und zwischen unseren Plätzen gibt es keinen Unterschied. Diese Idee findet man auch im Islam. Nachdem ich mir weitere Moscheen angeschaut hatte, entschieden wir uns dazu, eine Pfeilerhallen-Lösung zu wählen, einen Bautypus also, der auch für den Maghreb typisch ist.

Darüber hinaus war uns die Auseinandersetzung mit den lokal verfügbaren Materialien und der vorherrschenden Flora und Fauna wichtig. Der Standort der Moschee befindet sich in einer zwischen Meer und grünem Gebirge gelegenen Ebene und ist von der beige Farbe des Sandes und Sandsteins geprägt. Daher entschieden wir uns für die Verwendung von Travertin, einem ebenfalls tektonisch lesbaren Material. Die Vegetation Algeriens haben wir mit der floralen Stütze interpretiert, die mit ihren kelchförmigen ‚Calla‘-Kapitellen als verbindendes Element den gesamten Komplex prägt.

Die Idee, die Säulen der Moschee in Beton zu realisieren, war insofern naheliegend, als wir sehr schlanke dünnwandige Stützen mit Höhen von bis zu 45 Metern benötigten. Für eine solche Lösung boten sich Stützen aus Schleuderbeton an, bei dem der Beton in Schalungen verdichtet wird, die um die eigene Achse rotieren. Die Vorteile dieses Herstellungsverfahrens bestehen im geringen Materialverbrauch, dem entsprechend geringen Gewicht und letztlich in der Stabilität des Betonrohrs. Diese mussten wir gewährleisten, weil sich der Standort in einem

erdbebengefährdeten Gebiet befindet. Darüber hinaus konnte die Farbe des Betons exakt an die des Travertins angepasst werden.

Mit der Moschee haben Sie einen neuen Ort der Begegnung geschaffen. Welche Auswirkungen hat die zunehmende Digitalisierung auf unseren Städtebau?

Zunächst einmal: Ein architektonisches Objekt wird sicherlich irgendwann auch gedruckt werden oder in einer Fabrik, so wie in der Automobilindustrie, in Einzelteilen gefertigt und anschließend errichtet werden. Bei all dem dürfen wir aber nicht vergessen, dass unsere Gebäude auch in Zukunft das wirklich Schöne, die Poesie also, bewahren müssen. Dazu taugt das einfache mechanische Bauwerk nicht. Es wird also in Zukunft umso mehr auf den guten Entwurf ankommen. Für den Städtebau heißt das: Erstens: Unsere künftigen Städte dürfen nicht wie Trabantenstädte aussehen, wir müssen vielmehr lernen, sie so zu gestalten, dass auch in Zukunft Altes und Neues miteinander harmonieren kann. Zweitens: Trotz zunehmender Digitalisierung werden die Menschen auch in Zukunft in die Innenstädte gehen. Sie werden es tun, weil sie etwas erleben wollen: Leute treffen, einkaufen, ins Café, ins Konzert oder ins Museum gehen oder einfach nur auf den Straßen und Plätzen flanieren. Die Innenstadt ist die Bühne für unser öffentliches Leben, vergleichbar der Agora der Griechen oder dem Forum der Römer. Wir werden diese Bühne auch in Zukunft für unser gesellschaftliches Zusammenleben brauchen.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

www.ksp-engel.com



Von der Rechenmaschine zur Interaktionsplattform

TERESA FANKHÄNEL

„Ausgangspunkt der Ausstellung war für mich eine bislang weitestgehend ausgebliebene Auseinandersetzung mit dem Digitalen in der Architektur.“

Bis Mitte dieses Jahres wurde im Architekturmuseum der TU München die Ausstellung „Die Architekturmaschine. Die Rolle des Computers in der Architektur“ gezeigt. Über zwei Jahre lang hat sich die Kuratorin Teresa Fankhänel mit ihrem Team mit der Entwicklung des Digitalen in der Architektur beschäftigt. Über 250 Exponate und Fallstudien aus Europa, Asien und Nordamerika sollten Antworten finden auf die Frage: Hat der Computer die Architektur verändert? Und wenn ja, wie?

Frau Fankhänel, warum gerade jetzt das Thema „Die Rolle des Computers in der Architektur“?

Teresa Fankhänel: Der Ausgangspunkt der Ausstellung war für mich eine bislang weitestgehend ausgebliebene Auseinandersetzung mit dem Digitalen in der Architektur, vor allem was eine zusammenhängende Geschichte der bisherigen Entwicklung anbetrifft. Zwar gab und gibt es durchaus viel Material zu einzelnen Architektinnen, Architekten und Büros, doch sind die Zusammenhänge und das, was das Digitale schlussendlich relevant oder innovativ macht, bislang nur in Ausschnitten betrachtet worden. Zudem sind viele der Pioniere mittlerweile im Ruhestand. Es ist an der Zeit, nicht nur ihr Lebenswerk zu würdigen, sondern dieses auch langfristig zu bewahren und einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Ferner herrscht eine große Dringlichkeit, jetzt zu handeln, bevor Datenträger verfallen und Daten verloren gehen.



Teresa Fankhänel ist Kuratorin am Architekturmuseum der TUM und wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Architekturgeschichte und kuratorische Praxis. Hier kuratierte sie unter anderen die Ausstellung „Die Architekturmaschine. Die Rolle des Computers in der Architektur“ im Architekturmuseum in München.

Was hat Sie an dem Rückblick so fasziniert?

Die Faszination für dieses Thema ist ganz sicher nicht nur historischer Natur. Die aktuellen Themen wie künstliche Intelligenz oder die relativ neuen Darstellungstechnologien wie Augmented und Virtual Reality sind ebenfalls hochspannend: Sie wecken Hoffnungen, aber auch Ängste – nicht nur unter Architektinnen und Architekten, sondern gleichermaßen in der breiten Bevölkerung. Unser Ansatz war, diesen Versprechungen auf den Zahn zu fühlen und zu zeigen, was Computer tatsächlich können. In welchen Bereichen ihre Stärken und Schwächen liegen – mit dem Ziel, sich an der heißen Debatte um die Sinnhaftigkeit der Digitalisierung der Architektur beteiligen zu können.

Sie haben die Ausstellung in vier Kapitel unterteilt: Der Computer als Rechenmaschine, als Entwurfswerkzeug, als Medium des Geschichtenerzählens, als Plattform für Interaktion ...

Die vier Kapitel sind zunächst als Leitfaden durch die komplexe Geschichte des Digitalen gedacht. Sie stellen einige der wichtigsten Innovationen dar, die der Computer in die Architektur gebracht hat. Oft zeigen die Projekte in diesen Kapiteln jedoch nicht nur die Vorteile, sondern auch die Grenzen der jeweiligen Möglichkeiten zum Zeitpunkt ihrer Erfindung. Viele der Innovationen betreffen darüber hinaus umfassende Aspekte wie die Kommunikation von räumlichen Ideen oder eine neue Demokratisierung und Interaktivität, die nicht nur in Entscheidungs-, sondern auch in Entwurfsprozessen einem weiten Teil der Gesellschaft Zugang zur Planung erlauben sollen.

Werden Architektinnen und Architekten somit immer mehr zu universell Beratenden?

Sicherlich bleibt eine Veränderung des Berufes aufgrund der umfangreichen Innovationen nicht aus: Es gibt heute wesentlich mehr am Bau Beteiligte, welche die gleichen digitalen Werkzeuge benutzen wie Architekturbüros – und die somit Kontrolle und Einfluss auf die gebaute Umwelt haben.

Die diesen Beitrag illustrierenden Fotos finden Sie bitte aus rechtlichen Gründen nur in der Printausgabe.

1

Das „Handwerkszeug“ des Architekten – das Zeichnen – verschwindet dabei immer mehr. Hat der Computer zum Verlust des Handzeichnens geführt?

Ob und inwieweit der Computer zu einem Verschwinden des Zeichnens geführt hat, wie immer wieder behauptet wird, ist aus meiner Sicht schwer einzuschätzen. Es stimmt, dass heute wesentlich mehr mit 3D-Modellen gearbeitet wird, doch hat der Computer gleichzeitig auch eine ganz neue Art der Darstellung durch Renderings und andere Visualisierungen ermöglicht. Hier liegt ein enormes Potenzial für Kreativität und Innovation, das nicht zu unterschätzen ist. Es ist nur eben eine andere Art des Zeichnens.

Bereits zwei Jahrzehnte bevor in den 1980er Jahren der Computer Einzug hielt, untersuchten Forscher sein Potenzial für die Architektur.

Leon Groisser und Nicholas Negroponte gründeten 1967 die Architecture Machine Group an der School of Architecture und Planning am MIT in Cambridge, Massachusetts. Welche Überlegungen haben dieses Forschungsprojekt zu einem der berühmtesten gemacht?

Die Architecture Machine Group, auf die der Titel unserer Ausstellung anspielt, hat viele der aktuellen Entwicklungen vorhergesehen und in frühen Projekten unter anderem versucht, künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen umzusetzen. Sie war jedoch nicht nur an Techno-

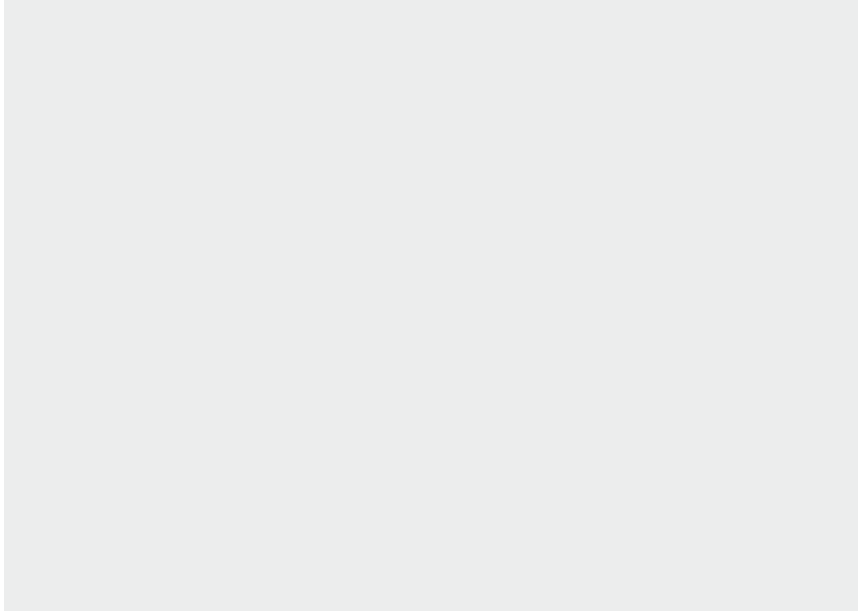
logie interessiert, sondern auch an einer neuen Art von „Humanismus durch intelligente Maschinen“, wie Nicholas Negroponte schrieb. Es ging hier also um eine sinnvolle Erweiterung der menschlichen Intelligenz und um den Computer als einen intelligenten Partner im Entwurf. Viele der Projekte der Gruppe befassten sich mit der Suche nach einem passenden Mensch-Maschine-Interface oder, auf Deutsch, einer intuitiven Benutzeroberfläche: von Touchscreens über Spracheingaben bis hin zu multisensorischen Apparaturen. Viele dieser Ideen der Architecture Machine Group sind erst heute in ihrer Gänze durch höhere Rechenleistungen möglich geworden.

Welche Entwicklungen stehen heute im Fokus, wenn Sie in andere Länder schauen?

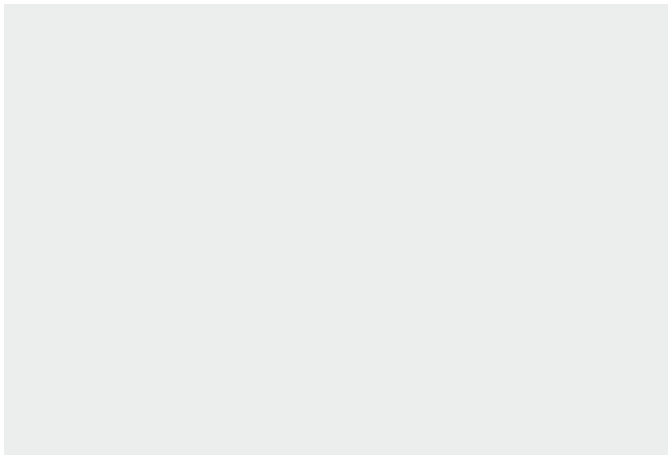
Während unserer Recherche sind wir unter anderem auf die Arbeit im Studio des Londoner Büros You+Pea an der Bartlett School of Architecture gestoßen. Sie beschäftigen sich mit der Verwendung von Computerspiel-Plattformen zum Erstellen von digitalen Welten und der Nutzung öffentlich zugänglicher Spiele wie „Minecraft“. Diese Plattformen ermöglichen ein einfaches Entwerfen mit digitalen Bauklötzchen, ohne dass die Nutzer selbst Vorkenntnisse mitbringen müssen. Hier gibt es ein großes Potenzial für eine Diskussion auf Augenhöhe von Planerinnen und Planern mit Bauherren und den betroffenen

1 You+Pea, London Developers Toolkit, 2020. Das Londoner Büro You+Pea beschäftigt sich mit der Verwendung von Computerspiel-Plattformen zum Erstellen von digitalen Welten und der Nutzung öffentlich zugänglicher Spiele wie „Minecraft“. Diese Plattformen ermöglichen ein einfaches Entwerfen mit digitalen Bauklötzchen, ohne dass die Nutzer selbst Vorkenntnisse mitbringen müssen.

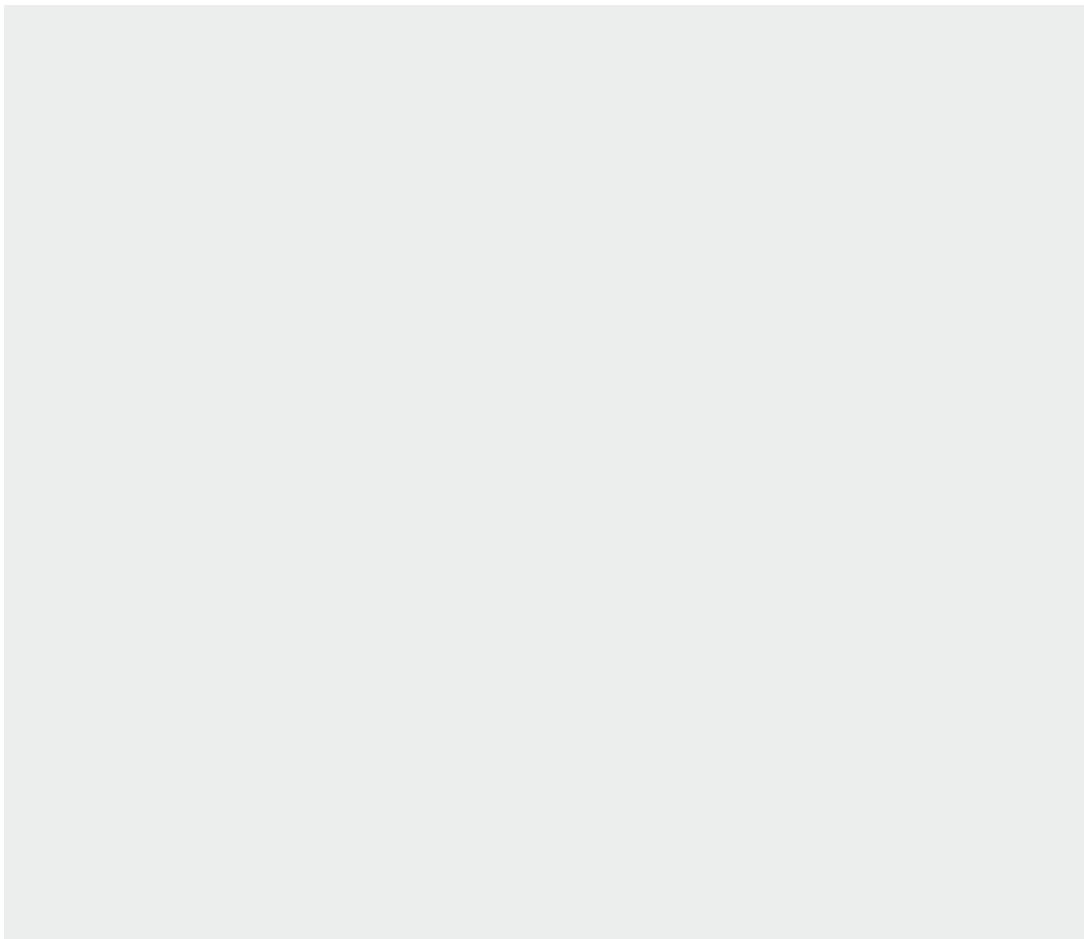
GESPRÄCH



1



2



3

Bewohnern, um besser auf individuelle Bedürfnisse eingehen zu können und ihnen Möglichkeiten zur Mitwirkung zu geben.

Und in Deutschland?

Building Information Modeling ist außerhalb der Forschung aktuell sicherlich einer der wichtigsten Trends. In manchen asiatischen Ländern wie zum Beispiel in China ist BIM bereits zur Pflicht geworden. Hier gibt es die Möglichkeit, viel von den gesammelten Erfahrungen im Ausland zu lernen.

Lassen Sie uns einen Blick auf die Archivierung von Architektur blicken.

Was wurde bisher archiviert und wo stehen wir heute?

Aus der Anfangszeit des Digitalen in der Architektur – den 1960er bis 1980er Jahren – ist fast nichts digital erhalten. Der Großteil des Materials, auf das wir während unserer Recherchen gestoßen sind, sind Drucke, Fotografien, analoge Filme oder wiederhergestelltes Material, also neuprogrammierte Kopien. Dies liegt vor allem an den vergleichsweise unterentwickelten Speicher- und Darstellungsmedien, mit denen damals gearbeitet wurde. Mittlerweile gibt es hierfür Lösungen, aber auch heute gibt es bislang weltweit nur ein Archiv, das Canadian Centre for Architecture in Montreal, das eine größere Sammlung digitalen Ursprungs unterhält. Grund dafür sind noch immer viele offene Fragen, die mit dem Digitalen verknüpft sind.

1 John Frazer, Reptile Flexible Enclosure System, 1970. **2** Otto Beckmann, Imaginäre Architektur, Fotomontage, 1977-1980. **3** John Frazer, Julia Frazer, John Potter, The Walter Segal Model, 1982. **4** Richard Junge, Diassammlung des Lehrstuhls für Architekturinformatik des Architekturmuseums der TU München (TUM).

Die diesen Beitrag illustrierenden Fotos finden Sie bitte aus rechtlichen Gründen nur in der Printausgabe.

4

„Es hilft, von Anfang an klare Strukturen dafür zu schaffen, wie man mit den anfallenden Datenmengen umgeht.“

Welchen Stellenwert wird das architektonische Erbe in Zukunft haben?

Worauf ist zu achten?

Das Sammeln und Aufbewahren von digital erstellter Architektur ist ein Thema, das unter Architekturmuseen und -archiven seit einigen Jahren diskutiert wird. Hier geht es um die langfristige Sicherung von kurzlebigen Datenträgern und alternden Dateiformaten. Gleichzeitig geht es um die zukünftige Zugänglichkeit, um Fragen nach dem Original und nach der Sortierung und Verschlagwortung immer größer werdender Datenmengen. Vor allem kommerzielle Software und ihre Hersteller bereiten den Sammlungen Kopfzerbrechen, denn mit jedem Update und jeder neuen Version einer Software besteht die Gefahr, dass ältere Dateien nicht mehr ohne Verluste geöffnet werden können. Hier gibt es mittlerweile Projekte, die auf internationaler Ebene nach Lösungen suchen, um sicherzustellen, dass die aktuelle digitale Architektur für die Nachwelt erhalten bleibt.

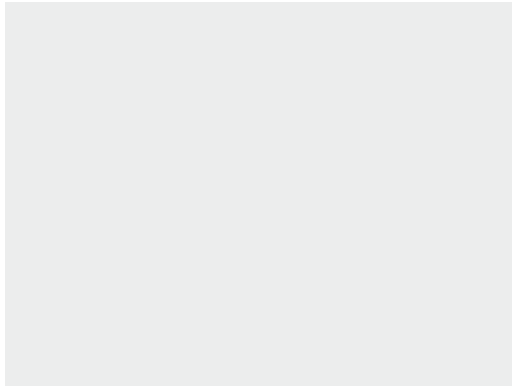
Es scheint, dass die Relevanz der Archivierung in den Architekturbüros noch keine so große Bedeutung hat. Welche Aufgaben kommen auf Architekturbüros noch zu?

Die interne Sortierung, Sicherung und langfristige Zugänglichkeit sind für einige Büros noch immer Neuland. Meine Erfahrung ist, dass die Ansätze in der Praxis enorm unterschiedlich sind und oft von der Größe des Büros und vom internen Stellenwert des digitalen Teils der jeweiligen Arbeitsweise abhängen. Generell kann man feststellen, dass der Zeitaufwand des Ordnen und Verwaltens zugenommen hat. Hier hilft es, von Anfang an klare Strukturen dafür zu schaffen, wie man mit den anfallenden Datenmengen umgeht. Gerade wenn ein Archiv irgendwann einmal an eine Sammlung gehen soll, ist dies nicht unbedeutend. Denn je größer die zeitliche Distanz wird, desto schwieriger wird es, relevante Dateien ausfindig zu machen. Und sobald die Schöpfer nicht mehr für Fragen zur Verfügung stehen, werden diese Dateipfade schnell zu einem undurchsichtigen Labyrinth.

Es wird weiterhin viele Umbrüche durch neue Technologien geben und KI wird weiter Auswirkungen auf die gesamte Baubranche haben. Wird KI zum Rivalen des Architekten?

Die Angst vor KI und Maschinenlernen ist verständlich. Bereits in der Frühzeit des Computers in der Architektur gab es diese Vorbehalte und ein gewisses

GESPRÄCH



1

Unbehagen in einer Generation von Architektinnen und Architekten, die Angst vor dem Kontroll- und Bedeutungsverlust, vor einer verringerten Autorenschaft hatten. Daran hat sich in den letzten Jahrzehnten wenig geändert und selbst von Studierenden hört man diese Argumente immer wieder.

Architektinnen und Architekten waren und sind auch heute noch häufig keine Programmierer und haben oft wenig Einblick in und Einfluss auf die Werkzeuge, mit denen sie tagtäglich arbeiten. Dies war einer der Gründe, warum wir mit unserem Projekt nicht nur herausragende Fallstudien betrachtet haben, sondern die Geschichte der wichtigsten Architekturprogramme nachzeichneten. Denn wir glauben, dass viele Ängste zumindest teilweise aus einem Unverständnis der Technik herrühren. Je mehr man versteht, was KI und andere Technologien tatsächlich können und wo ihre Grenzen liegen, desto besser kann man erkennen, wo das kreative Potenzial liegt. Aktuell kann KI bereits automatisch Grundrisse und weitere Formen generieren, doch liegt die Auswahl im Kontext eines jeweiligen Projekts weiterhin bei den menschlichen Partnern, und daran wird sich auch in naher Zukunft nichts ändern.

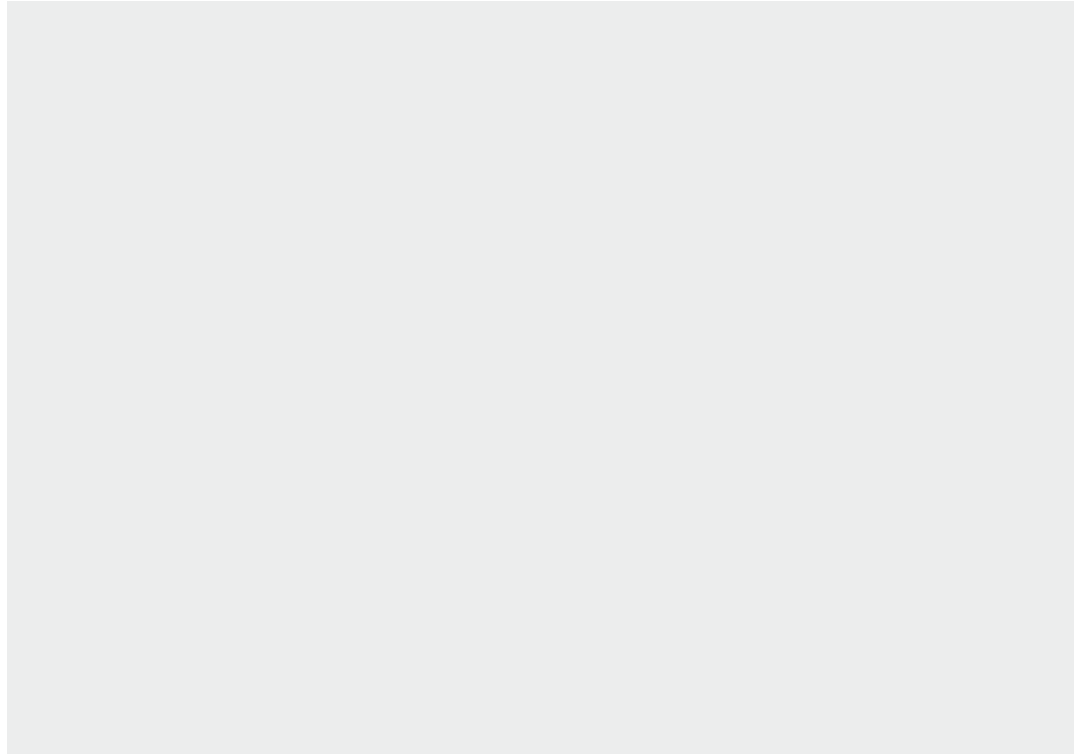
Wie sehen die Architekturbüros der Zukunft aus? Was wird sich verändern?

20 oder 30 Jahre in die Zukunft des Digitalen zu schauen, umfasst vor dem Hintergrund der rapiden Entwicklung einen enormen Entwicklungsschritt. Aktuelle Forschungsprojekte zielen unter anderem auf Automatisie-

2

**Die diesen Beitrag illustrierenden Fotos
finden Sie bitte aus rechtlichen Gründen
nur in der Printausgabe.**

3



4

zung und stärkere Vernetzung ab. Robotik im Bauwesen und der Entwurf mit standardisierten oder parametrisierten Bauteilen wie Voxeln sind weitere Forschungsfelder, auf denen viel passiert und die ohne das Digitale nicht denkbar wären. Virtual und Augmented Reality spielen vor allem im Hinblick auf das Marketing zunehmend eine Rolle.

In den 1990er Jahren war die Hoffnung groß, dass es zukünftig ein papierloses Architekturbüro geben werde. Dies hat sich nicht bewahrheitet. Unsere heutige Hoffnung, dass mehr Technik die durch existierende Technik hervorgerufenen Probleme bewältigen werde, könnte sich ebenfalls als ein solcher Wunschtraum entpuppen.

Welche Themen beschäftigen Sie weiterhin?

Viel wichtiger als die technischen Innovationen erscheinen mir die größeren und wesentlich komplexeren gesellschaftlichen Fragen, die unweigerlich auf uns zukommen werden und die sowohl das Entwerfen als auch die Baupraxis betreffen: Wie verringern wir den CO₂-Ausstoß der Bauwirtschaft? Wieviel Neubau ist verantwortbar? Wieviel Energie wenden wir auf, um unsere exponentiell wachsenden Datenmengen zu verarbeiten und zu speichern? Und schließlich muss man daran sicher noch die Frage nach einer zukunftsfähigen Architekturausbildung anknüpfen. Macht es Sinn, die Nebenfächer immer weiter zu schwächen? Wo führen School-Bildungen an Universitäten hin? Und brauchen wir tatsächlich die vielen Entwerferinnen und Entwerfer, die wir jedes Jahr ausbilden und die irgendwann ja auch einmal bauen wollen?

Herzlichen Dank für das Gespräch!

Das Gespräch führte Elena Berkenkemper.
Sie ist Architektin und Autorin
und lebt und arbeitet in Düsseldorf.

- 1 Bernhard Franken, BMW Bubble, 1991-1999.
- 2 SHoP Architects, Dunescape, 2000.
- 3 Keiichi Matsuda, Hyper-Reality, 2016.
- 4 Jana Čulek, Hilma af Klint Museum. A Temple for the Pictures, 2017.

Die Architekturmaschine

Die Rolle des Computers in der Architektur

Die Ausstellung zeigte mehr als vierzig internationale Fallstudien und Projekte, von denen viele zum ersten Mal in einer solchen Übersicht gezeigt wurden. Neben bekannten Pionieren wie Greg Lynn FORM (USA), John und Julia Frazer (UK), Reiser + Umemoto (USA), Itsuko Hasegawa (JPN) oder Asymptote Architecture (USA) umfasst die Schau mehrere neue Archivalien, darunter das erste mit Hilfe eines Computers entworfene Gebäude in Deutschland, den Siemens-Pavillon in Hannover von Ludwig Rase und Georg Nees (DE, 1970), und den Beitrag zum Wettbewerb für die Bauten des Bundes in Bonn von Oswald Mathias Ungers und Werner Goehner (DE/USA, 1971–1972). Ein weiteres neu entdecktes Exponat ist der erste großformatige gerenderte Durchflug eines städtischen Raumes, Donald Greenbergs Animation Cornell in Perspective (USA, 1969–1972), das eigens für die Ausstellung aus dem originalen 16-mm-Film digitalisiert wurde. Die Ausstellung zeigt auch mehrere Beiträge zu dem ersten Architekturwettbewerb, für den eine Animation als Teil des Entwurfsauftrags gefordert wurde: das ungebaute Eyebeam Center (2001).

Ästhetik und Effizienz gradierter Bauteile

DARIA KOVALEVA

„Gradientenbeton ist nicht als reines Material zu verstehen; vielmehr handelt es sich um eine Technologie, die der Optimierung der inneren Struktur von Betonbauteilen dient.“

Frau Kovaleva, Sie entwickeln weitreichende Technologien, die den Betonbau, wie wir ihn seit 100 Jahren kennen, nachhaltig verändern. Was motiviert Sie als Architektin, die Lücke zwischen Entwurf und Produktion zu schließen?

Daria Kovaleva: Eine der Grundvoraussetzungen für Nachhaltigkeit im Bauwesen ist Ressourceneffizienz. Gerade Architektinnen und Architekten sowie Ingenieurinnen und Ingenieure sind hier in der Pflicht, weil über den ökologischen Fußabdruck eines Bauwerks bereits in der Entwurfsphase entschieden wird. Mithilfe der Digitalisierung lassen sich heute neuartige Strukturen herstellen. Wir beherrschen das 3D-Drucken, das Sprühen oder das CNC-Fräsen. Sprich: Wir können ‚digital‘. Aber wir sollten nicht nur filigran und leichter, sondern im Hinblick auf den Klimawandel auch effizienter und effektiver werden. Es geht darum, mit viel weniger Material, Emissionen und Abfall als heute eine gleiche oder höhere Bauleistung zu erreichen.

Lastabtragende Gewebe aus der Natur sind Vorbild für die Struktur Ihres Pavillons, den Sie für eine Ausstellung im Naturkundemuseum Schloss Rosenstein konzipierten. Was ließ sich auf diese Weise erreichen?

Als Architektin möchte ich gestalten und umweltverträglich bauen. Problematisch ist, dass wir viel mehr Material verwenden, als eigentlich notwendig wäre. In der lebenden Natur gilt das Prinzip, dass sich Strukturen dynamisch an äußere Anforderungen anpassen. Man kann das gut am Beispiel des inneren Aufbaus eines Knochens

beobachten. Wenn man dieses Prinzip auf das Bauwesen anwenden will, darf man Form, Struktur und Material eines Bauwerks nicht getrennt voneinander betrachten. Man kann (und sollte) Material dort wegnehmen, wo es funktional nicht benötigt wird. Dies ist das Prinzip der funktionalen Gradierung. Beim Rosenstein-Pavillon wollten wir es erstmals in einen architektonischen Maßstab bringen. Unser Ziel war es, die von uns entwickelten Konstruktionsprinzipien auf einen Experimentalbau zu übertragen, der durch eine lastabhängige Materialverteilung deutlich weniger Ressourcen verbraucht. Mein Schwerpunkt lag dabei auf dem Entwurf und der Planung. Ich habe eng mit Ingenieuren und Wissenschaftlern aus anderen Disziplinen zusammengearbeitet, um die strukturellen und materiellen Aspekte der Gradierung in den Entwurf zu integrieren. So entwickelten wir den Pavillon gemeinsam als Teil eines integrierten Planungsprozesses, der alle diese Bereiche bereits in einer frühen Entwurfsphase berücksichtigte.

Der Pavillon ist eine funktional gradierte Schale aus verschiedenen Betonfertigteilen. Was konkret ist ein „funktional gradiertes Betonbauteil“?

Das Prinzip des Gradientenbetons wurde von Prof. Werner Sobek entwickelt und seit 2010 von mehreren Forschern intensiv weiter ausgearbeitet. Darüber hinaus sind inzwischen weitere Technologien erforscht und angewendet worden. Denn Gradientenbeton ist nicht als reines Material zu verstehen; vielmehr handelt es sich um eine Technologie, die der Optimierung der inneren Struktur von Betonbauteilen dient. Durch die Gradierung ermöglicht



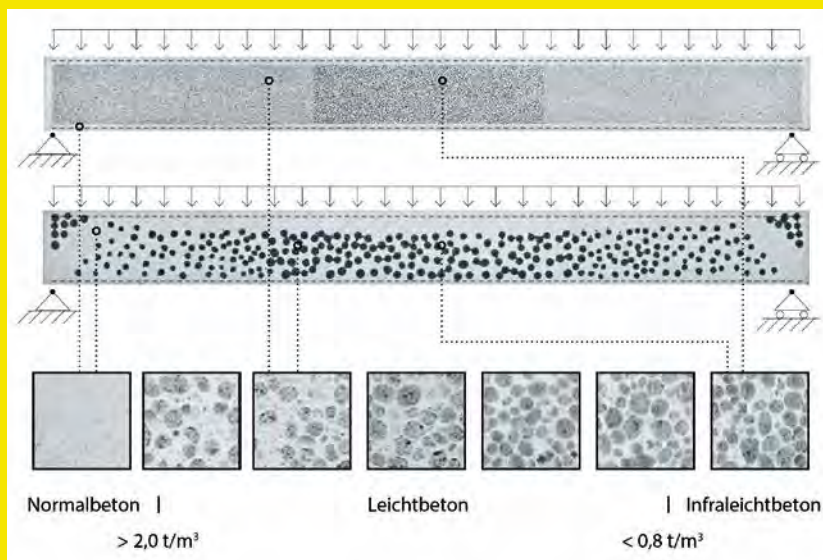
Daria Kovaleva, 1986 in Moskau geboren, studierte Architektur am Moskauer Architektur-Institut. Seit 2013 arbeitet sie am Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) der Universität Stuttgart. Hier realisierte sie gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen den Rosenstein-Pavillon. Im Rahmen des Schwerpunktprogramms SPP 2187 befasst sie sich heute mit der Entwicklung eines „Adaptierbaren Fertigungsverfahrens für modulare leichte Betonbauteile mittels voll rezyklierbarer Schalungssysteme“.



sie eine deutliche Gewichtsreduktion. Eine Ausformung dieser Technologie ist die sogenannte Mikrogradierung. Hierbei werden die Bestandteile Sand und Kies durch mineralische Leichtzuschläge wie Blähglas oder Blähton ersetzt, wodurch die mechanischen Eigenschaften wie Festigkeit, Dichte, Steifigkeit oder Wärmeleitfähigkeit je nach statischer Anforderung gezielt variiert werden können. In mikrogradierten Bauteilen werden deshalb je nach Beanspruchungsprofil verschiedene Mischungen aus dem Normal- bis Leichtbetonbereich eingesetzt. Die Herstellung solcher Bauteile erfordert ein spezielles automatisiertes Spritzverfahren, bei dem die Zuschläge in Größen von 4 bis 8 Millimetern mithilfe des Sprühdruks im Bauteilinneren positioniert werden.

Sie nannten verschiedene Technologien, die dazu beitragen, Material im Betonbauteil zu reduzieren. Welche weiteren Technologien stehen derzeit vor dem Sprung von der Forschung in die Praxis?

Seit etwa 2015 wird die Technologie der Meso-gradierung entwickelt. Dabei handelt es sich um eine Hohlkörperbauweise, bei der luftgefüllte Hohlkörper gezielt in das Betonbauteil eingebracht werden. Diese Hohlkörper haben Durchmesser von 10 Millimetern bis 30 Zentimetern und Wandstärken von wenigen Millimetern; sie werden ohne Zusatz anderer Stoffe ausschließlich aus Beton hergestellt, da das Bauteil voll rezyklierbar sein soll. Dazu werden zweiteilige Schalungen verwendet, die mit Beton befüllt und danach in einer Zentrifuge geschleudert werden. Auf diese Weise verteilt sich der Beton gleichmäßig;

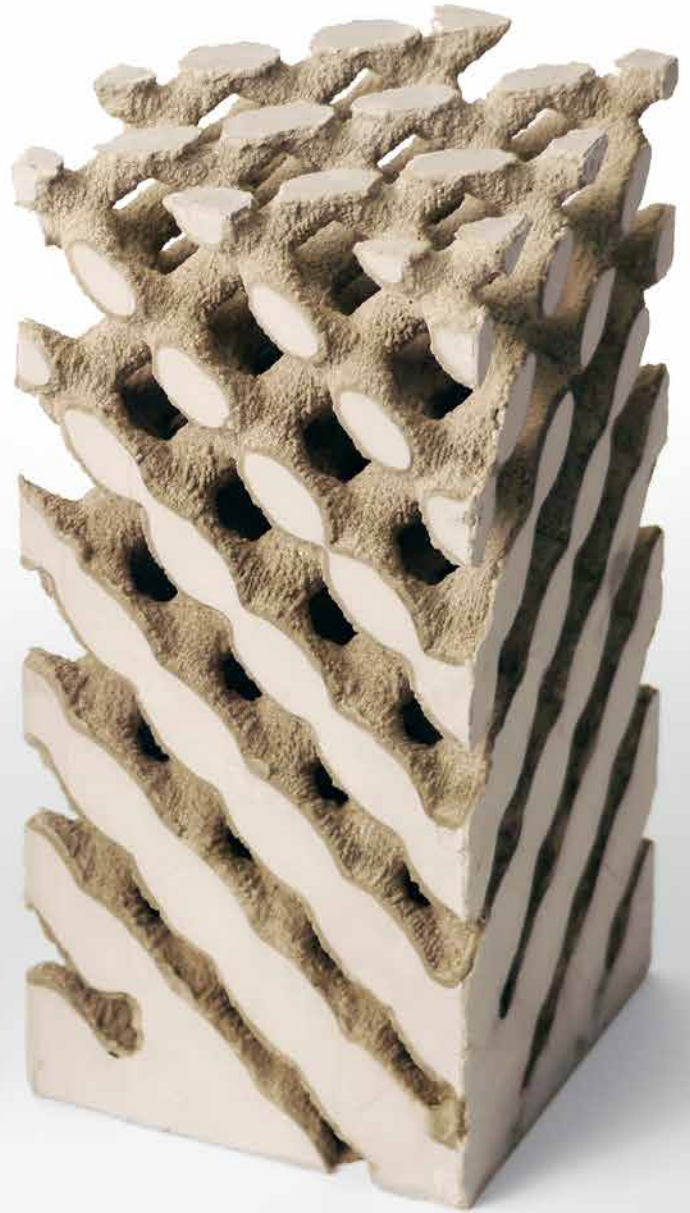


2



3

1 Der Rosenstein-Pavillon. Der Experimentalbau aus gradierten Betonelementen zeigt, wie interdisziplinäre Forschung die Architektur beflügelt und neue Bautechnologien forciert. Bei gradierten Bauteilen werden je nach Anforderung Rohdichte, Steifigkeit und innere Struktur des Betons variiert. **2 + 3** Mikrogradierung eines Einfeldträgers mittels Blähglas und Blähton.



1 Eine wasserlösliche Sandschalung und die damit hergestellte Betonprobe mit Strukturgradient.

so entstehen dünnwandige, aber robuste Hohlkörper. Diese werden manuell in die Bauteilschalungen eingelegt und vergossen. Bei einem komplexeren Bauteil-Layout werden die Hohlkörper mithilfe von Robotergreifern automatisiert eingebracht. Diese Technologie könnte beispielsweise bei Decken mit bis zu 10 Meter Spannweite und einem Aufbau vom 35 Zentimetern eingesetzt werden. Decken können auf diese Weise mit viel weniger Ortbeton, also leichter, hergestellt werden. Bei einem Hochhaus könnte man so allein bei ihnen gut die Hälfte an Material einsparen. An der Weiterentwicklung der Fertigungstechnik und der Berechnungsmethode wird derzeit gearbeitet. Erste Strategien zur Anwendung dieser Technologie in der Praxis werden von Werner Sobek entwickelt.

Aktuell entwickeln Sie als Architektin eine Produktionstechnologie für Betonschalungen. Was steckt dahinter?

Im Rahmen des Schwerpunktprogramms SPP 2187 befasse ich mich in einem Teilprojekt mit der Entwicklung eines „Adaptierbaren Fertigungsverfahrens für modulare leichte Betonbauteile mittels voll rezyklierbarer Schalungssysteme“. Das Programm bindet mehrere Uni-

versitäten ein und wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) getragen. Auf der Ebene des Teilprojekts besteht eine enge Zusammenarbeit mit Maschinenbauingenieuren des Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart.

Mit meinem Konzept erforsche und realisiere ich eine Alternative zur konventionellen Schalungsproduktion. Der Vorteil der digitalen Planung und Fertigung von Bauteilen liegt in der Möglichkeit, die Struktur jedes Bauteils an seine funktionalen Anforderungen anzupassen. Wir können heute gradierte, leichtere Betonbauteile herstellen, die weniger Ressourcen verbrauchen. Damit werden aber auch die Schalungsteile immer komplexer, kosten- und abfallintensiver und sind zudem nicht rezyklierbar. Ich habe daher – ausgehend von der Idee der abfallfreien Sandschalung – eine wasserlösliche Schalung entwickelt, die auf der Basis von Sand und organischen Bindemitteln funktioniert. Damit kann ich Schalungselemente von beliebig komplexer Geometrie herstellen, die nach dem Betonieren einfach ausgewaschen werden. Das gesamte Material lässt sich so in den nächsten Produktionszyklus überführen.

„Wenn Ergebnisse aus dieser Forschung demnächst zusammengeführt und in der Praxis eingesetzt werden, bedeutet dies einen Quantensprung für die Nachhaltigkeit und die Ressourceneffizienz beim Planen und Bauen mit Beton.“

Wie entsteht eine solche wasserlösliche Schalung?

Unsere Technologie arbeitet mit Methoden, die in der Metallgussindustrie verwendet werden, und basiert auf dem Pulverbettverfahren. Man kann sich das wie einen 3D-Tintenstrahldruck vorstellen – nur mit Wasser. Auf eine Pulverschicht aus Sand und Maisstärke werden Schicht um Schicht wenige Milliliter Wasser aufgesprüht und mit Infrarotlicht getrocknet. Der additive Fertigungsprozess lässt einen dreidimensionalen Körper entstehen, der – ausgehärtet – eine geometrisch stabile Form ergibt. Für meine Doktorarbeit, die im kommenden Frühjahr abgeschlossen werden wird, habe ich auf diese Weise mehrere 40 x 40 Zentimeter große Schalungen gefertigt und mit diesen ein 120 Zentimeter langes und 10 Zentimeter hohes Betonfertigteile hergestellt.

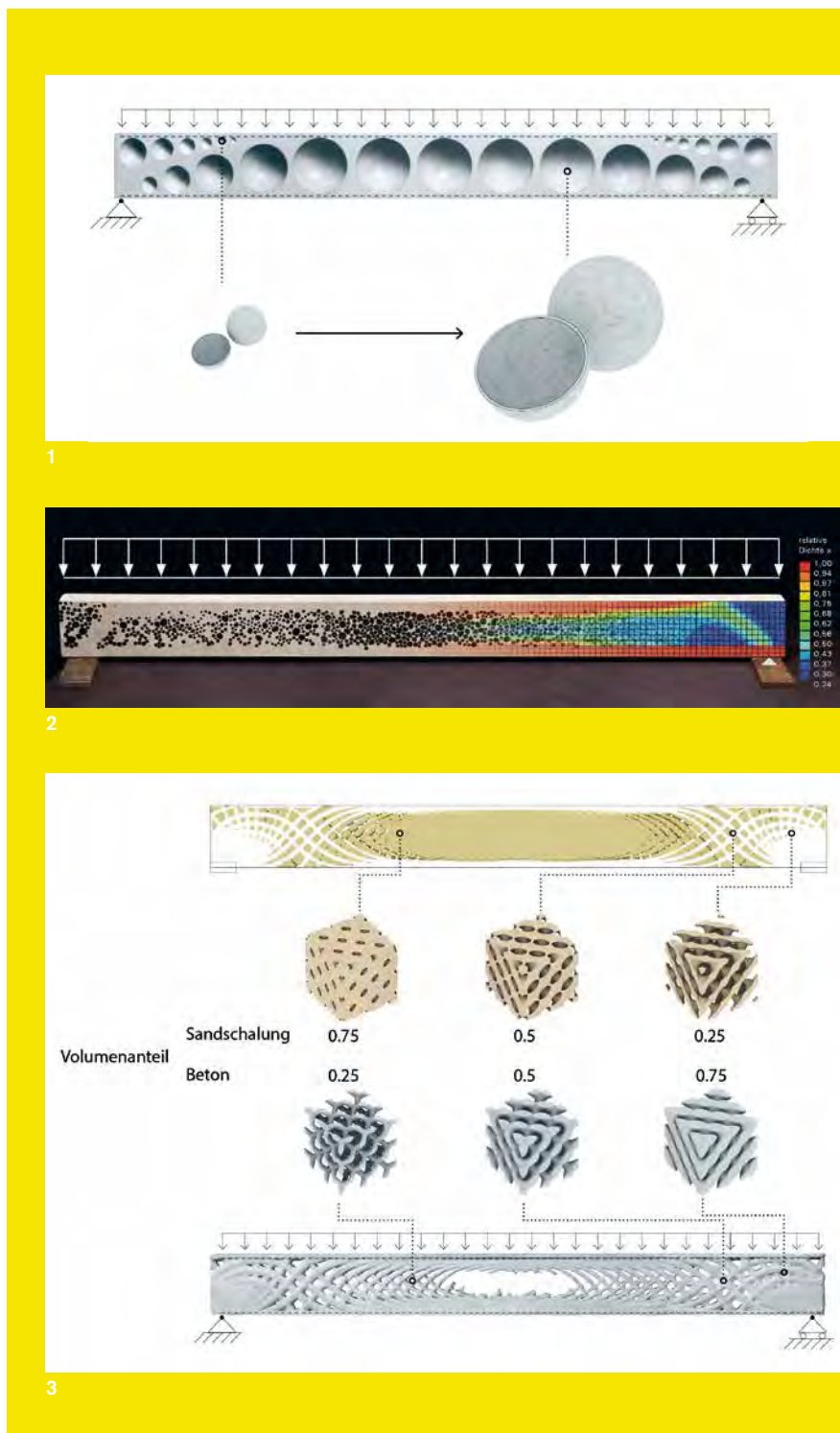
Das ist spannend. Ist das Konzept schon bald praxisreif?

Bei einer Betonfassade, die aus etwa 1.500 verschiedenen Elementen besteht, würden sich mit 100 Kilogramm Sand maßgeschneiderte Sandschalungselemente in den unterschiedlichsten Geometrien und ohne Abfall produzieren lassen. Um solch einem Ziel näherzukommen, gehe ich in meiner Doktorarbeit folgendermaßen vor: Zunächst entwickle ich das Konzept für ein präzises und wiederholbares Herstellungsverfahren. Danach entwerfe ich leichte Betonbauteile, die mit dieser Methode herstellbar sind. Abschließend prüfe ich, ob das Betonfertigteile insgesamt meiner Hypothese der Ressourceneinsparung gerecht wird und ob das Verfahren in toto effizient ist.

Meine Arbeit fügt sich in den breiteren Kontext der Forschung zur digitalen Herstellung von leichten Betonstrukturen ein, die derzeit von verschiedenen Institutionen durchgeführt wird. Wenn Ergebnisse aus dieser Forschung demnächst zusammengeführt und in der Praxis eingesetzt werden, bedeutet dies einen Quantensprung für die Nachhaltigkeit und die Ressourceneffizienz beim Planen und Bauen mit Beton. Die baukulturell tradierte Betonbauweise, wie wir sie heute kennen, wird sich unter diesen Prämissen fundamental verändern.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

Das Gespräch führte Susanne Ehrlinger. Sie ist Fachjournalistin für Architektur und Bauwirtschaft und lebt in Berlin.



1 Mesogradierung eines Einfeldträgers durch das Einsetzen von Betonhohlkugeln. 2 Mesogradierung einer Geschossdecke durch das Einbringen von Betonhohlkugeln. 3 Mesogradierung eines Einfeldträgers mittels wasserloser Sandschalung.

BIM schafft neue Welten in der Kommunikation und Kooperation

THOMAS VON KÜSTENFELD



Thomas von Küstenfeld studierte an der TU München Architektur und arbeitete anschließend als Architekt für verschiedene Bauprojekte in München. Darauf aufbauend und daran anschließend entwickelte sich die Leidenschaft für digitale Planung bei ihm zum Kernthema seiner Arbeit. Seit 2015 ist er bei HENN tätig und leitet das Team Design Systems.

Herr von Küstenfeld, Sie leiten das Team „Design Systems“ bei HENN. Was verbirgt sich hinter diesem Begriff und welche Aufgabe hat das Team?

Thomas von Küstenfeld: Design Systems ist für die Organisation, die Erstellung und Weiterentwicklung der BIM-Standards und -Prozesse verantwortlich. Design Systems stellt außerdem den internen Support für die Projekte zur Verfügung und organisiert die Weiterbildung zu BIM. Das Team umfasst festangestellte Kollegen und Werkstudenten zur Unterstützung an allen Standorten. Design Systems stellt das BIM-Management und übernimmt in größeren Projekten die BIM-Gesamtkoordination.

Welche digitalen Werkzeuge nutzen Sie – und in welcher Reihenfolge?

Wir nutzen eine Vielzahl von Softwareprodukten, die sich um fünf Kernwerkzeuge gruppieren: Rhino, Revit, dRofus, iTWO, Dalux. Eine serielle Reihenfolge gibt es dabei nicht. In der digitalen Planung steht vielmehr im Vordergrund, die verschiedenen Anwendungen und Datentöpfe intelligent zu vernetzen, die Interfaces zwischen den Aufgaben zu gestalten und die zum jeweiligen Zeitpunkt beste Lösung zu verwenden.

Wird die Rolle von BIM gerade überschätzt? Oder unterschätzt?

Sie wird vollkommen unterschätzt, da BIM meist nur mit einem digitalen virtuellen Gebäudemodell assoziiert wird. Dabei ist die Methode die Grundlage für die Zukunftsfähigkeit der gesamten Baubranche. Sie ist Ausgangspunkt und Basis für ein digitales Denken in der Branche, für mehr digitale Kommunikation und Zusammenarbeit, was die Grundpfeiler für die Entwicklung der nächsten Jahrzehnte sein werden.

Was erwarten Sie von BIM in den nächsten Jahren: schnelleres Bauen, besseres Bauen?

Ich befürchte, dass BIM als Methode dem Versprechen „besser und schneller bauen“ aufgrund der technischen Herausforderungen nicht sofort in dem Maße gerecht werden kann, wie das viele erwarten, die jetzt erst auf den Zug aufspringen. In BIM muss man eben auch investieren. Es lässt sich nicht nebenbei von heute auf morgen einführen. Ich erhoffe mir aber, dass sich die BIM-Methode stärker verbreitet und wir mit immer mehr Partnern in Planung und Ausführung digitaler und kooperativer zusammenarbeiten werden. Nur so können wir die Herausforderungen der Zukunft besser meistern.

Fordert BIM nicht ein völlig neues Planen – im Gegensatz etwa zum reinen CAD?

BIM erfordert nicht ein neues Planen – es erfordert eine neue Kultur in der Zusammenarbeit. BIM ist weder CAD 2.0 noch planen 4.0 – es bedeutet, wenn man



„Digitaler Zwilling ist zunächst eher nur ein Schlagwort. Viel wichtiger ist, dass sich alle zusammensetzen, was wir zum Beispiel beim Gasteig schon ganz früh umgesetzt haben.“

es ernst nimmt, einen radikalen Kurswechsel in Kommunikation und Kollaboration. Wir werden weiterhin nicht die Phase 5 vor der Phase 2 machen, wir werden nach wie vor Gebäude auch in Grundrissen beschreiben. Aber wir werden anders miteinander sprechen und uns anders organisieren: gemeinsam am Modell, direkt und unmittelbar die Planungsprobleme diskutieren, angehen und lösen. Die fachliche Trennung wird auch künftig bestehen bleiben – allein schon, weil die Fachkenntnisse immer umfangreicher werden. Wir werden aber mit BIM das Gegenüber besser verstehen lernen, die Anforderungen präziser in alle Richtungen kommunizieren können und die Möglichkeiten der Teamarbeit stärker ausschöpfen.

Es entsteht ein digitaler Zwilling des Gebäudes?

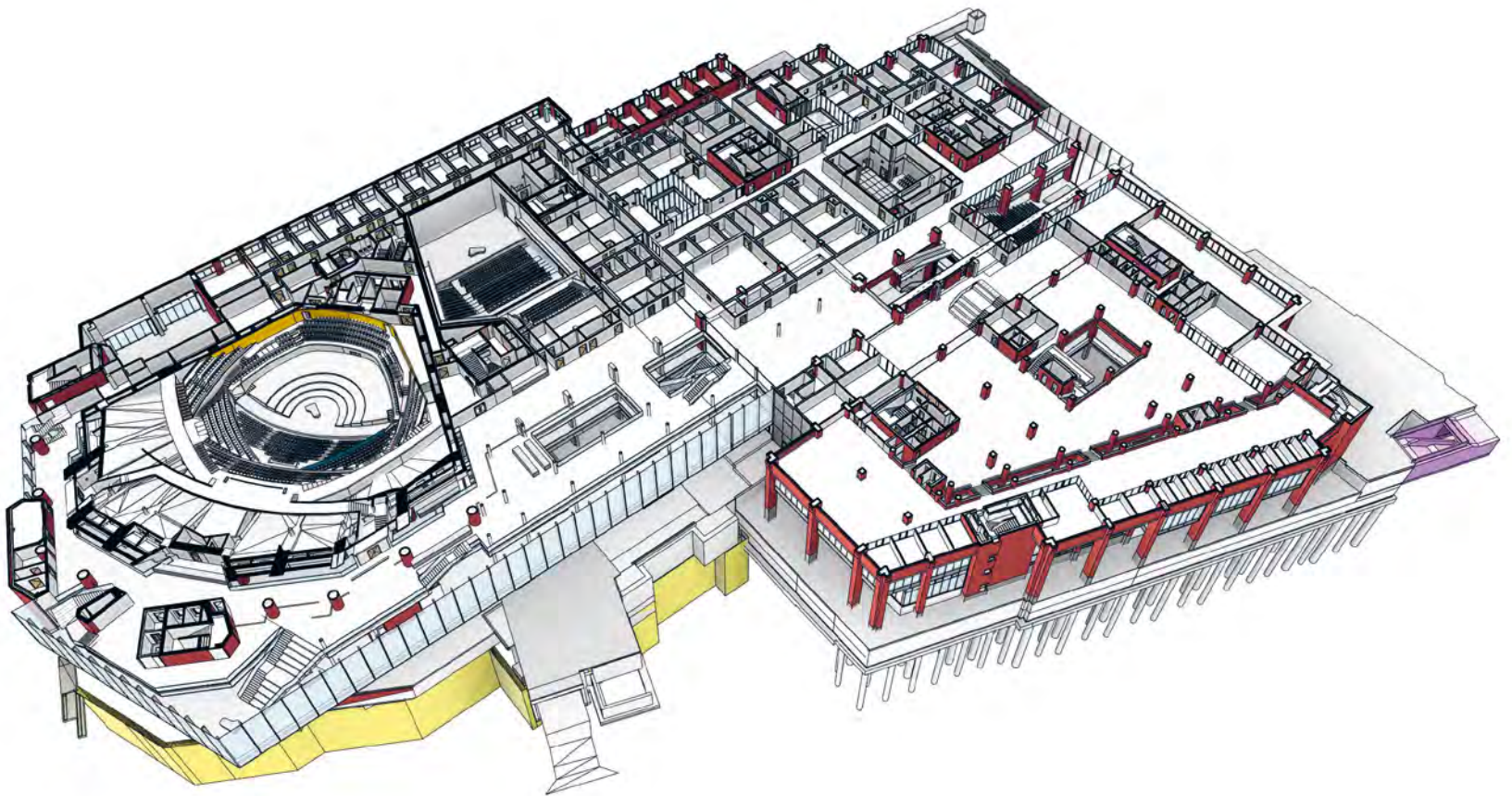
Digitaler Zwilling ist zunächst eher nur ein Schlagwort. Viel wichtiger ist, dass sich alle zusammensetzen, was wir zum Beispiel beim Gasteig schon ganz früh umgesetzt haben. Wir packten dort alle Informationen,

die wir hatten, in ein Modell, setzten uns um den Bildschirm und diskutierten die Lösungen. Danach wussten alle im Team, wovon wir sprachen. Das ist die eigentliche, wichtige digitale Zusammenarbeit – in jeder Planungsphase bis hin zur Umsetzung. Am Ende kann man dieses Ergebnis dann auch als Digitalen Zwilling bezeichnen.

Der 1985 eröffnete Münchner Gasteig in München von Raue, Rollenhagen, Lindemann ist mit seinen fast zwei Millionen Besuchern das größte Kulturzentrum Europas. Wenn es nun nach drei Jahrzehnten saniert und umgebaut wird, steht einiges an. Wie haben Sie bei diesem riesigen Gebäude überhaupt ein digitales Modell erstellt? Daten aus dem Bestand aufgenommen? Mittlerweile gibt es ja auch Scanner, die Sie durch die Räume schieben können.

Es ist vor allem ein wunderschönes Gebäude, bei dem ich inzwischen jede Ecke kenne. Wir hatten den großen Vorteil, dass wir vom Auftraggeber, der Gasteig

1 Ein neues, bauliches Element, das als gläserne Brücke die bestehenden Gebäudeteile verbindet, gibt dem Gasteig eine neue Transparenz. Sie öffnet den Gasteig zur Stadt, gewährt Einblicke in das Geschehen und lädt alle Besucher und Mitarbeiter ein, Teil des kulturellen Lebens der Stadt zu werden. Diese Kulturbühne wird zum Leitbild und zur Identität des neuen Gasteig. Sie steht gestalterisch mit ihrer transparenten, gläsernen und offenen Architektur bewusst in Kontrast zum monolithischen und mineralischen Bestand.



„Transparenz kann man lernen und auch die Offenheit, Herausforderungen nicht zu kaschieren, sondern offenzulegen, bevor Fehler passieren.“

GmbH, bereits ein Rohbau-Modell erhielten, das auf der Basis der vorhandenen Schalpläne und der vor Ort durch Vermessung bestätigten Daten erstellt worden war. Zahlreiche Unterlagen, ob digital oder auf Papier, bildeten dessen Grundlage. Dieses Vorgehen hat sich inzwischen bewährt. Punktwolken eines Lasers sind immer nur die halbe Wahrheit.

Und die ganze Wahrheit?

(lacht) Die entsteht als Mischung aus den Schalplänen, nach denen im Regelfall auch tatsächlich gebaut worden ist. Diese Grundstruktur überlagern wir mit Punktwolken, um das Ganze besser einschätzen zu können, und arbeiten dann auf dieser Basis weiter.

In diesem Modell ...

... haben sich alle Planer zusammengeschlossen und geschaut, wo sie den Hebel ansetzen können. Der Wettbewerb wurde sukzessive in die 3D-Planung über-

führt beziehungsweise war ja teilweise schon in 3D, wurde angepasst und weiter fortgeschrieben, so dass dieses Modell, das zunächst nur den Rohbau abbildete, immer weiter anwuchs – bis in den Ausbau hinein. Parallel haben sich die Fachplanungen eigene Modelle zusammengestellt. Heute gibt es ein vollständiges Datenmodell in der Präzision einer Leistungsphase 2, zum Beispiel mit Lüftungstrassen, der Hauptstromversorgung – bis hin zur Bühnentechnik oder der Buchförderanlage.

Was lässt sich aus den Projekten Berliner Flughafen oder Kölner Oper lernen?

Ich möchte nicht beurteilen, was andere falsch oder richtig gemacht haben. Ich kann nur sagen, was ich aus dem Projekt Gasteig bislang gelernt habe: Es ist wichtig, dass man alle Informationen offen zusammenfügt und alle mit ins Boot holt. Das geht in der digitalen Welt inzwischen wunderbar. Wir müssen alle dazu einladen, sich digital an einem Modell zu beteiligen. Es hilft nicht mehr, zu

verheimlichen, wenn man ein Problem hat, wir müssen vielmehr die Themen früh offen auf den Tisch legen und beispielsweise sagen: Schaut mal, hier kommen wir mit der Trasse einfach nicht durch. Lasst uns die Sache lösen.

Diese Offenheit lässt sich lernen?

Transparenz kann man lernen und auch die Offenheit, Herausforderungen nicht zu kaschieren, sondern offenzulegen, bevor Fehler passieren. Wir müssen einfach alle zusammenholen. Und das interaktiv am Monitor in der 3D-Welt: Je mehr Informationen wir gemeinsam über ein Projekt haben, desto besser läuft es. Beim Gasteig war es wichtig, dass auch der Bauherr oft mit am Tisch saß und wusste, was vorangeht und was nicht. Das ist ein Teil der digitalen Kommunikation. Natürlich hat die Pandemie hier auch dazu beigetragen, die Kommunikation digitaler durchzuführen; so war es für uns sehr einfach, von überall an den Besprechungen teilzunehmen, unabhängig davon, ob wir in Berlin, Stuttgart oder in München waren.

Wie muss man das gemeinsame Modell verstehen? Fachplaner ziehen daraus die benötigten Daten und schaffen daraus ein eigenes Modell?

Nehmen wir die Philharmonie, ein klassischer Weinberg, mit im Foyer viel in Splitlevel-Bauweise. Da hilft ein dreidimensionales Modell. Dazu kommen Fachmodelle für jede Fachdisziplin. Diese werden übereinandergelegt, um Synchronität zu erhalten. Doch gibt es immer jeweils nur

eine Datenquelle. So stellen wir weitgehend sicher, dass nicht fünf verschiedene Datensätze im Umlauf sind. Das war schon in der Vorplanung sehr wichtig.

Ein einziges Modell, in dem alle zugleich arbeiten, wäre noch zu komplex ...

Es wäre zu groß. Dazu kommt, dass jede Disziplin nur die Verantwortung für ihre eigenen Leistungen übernehmen möchte. Das ist der gegenwärtige Stand, was nicht heißt, dass in fünf oder zehn Jahren die Dinge nicht anders umgesetzt werden könnten.

Also hilft BIM vor allem, offen ins Gespräch zu kommen?

Genau. Wir sehen das auf allen Ebenen: In der Baubranche reden wir viel zu viel übereinander und zu wenig miteinander, und wir reden zu wenig problemorientiert. Das 3D-Modell hilft, ein Problem konkret anzusprechen. Jeder hat es visuell vor sich. Dadurch redet man miteinander und über das Problem statt übereinander und vertagt dieses auch nicht auf die nächste Woche.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

Das Gespräch führte Dr. Oliver Herwig.
Er ist Journalist, Autor und Moderator
und lebt in München.

www.henn.com

1 Gasteig, BIM-Modell Schnittperspektive. **2** Die Philharmonie des neuen Gasteig. Wichtigstes Sanierungsziel ist die Schaffung einer optimalen Akustik für philharmonische Konzerte. Diese Verbesserungen werden sowohl den Publikumsbereich als auch den Bühnenbereich betreffen.



Die Revolution durch schalungsfreies Bauen

STEFAN NEUDECKER

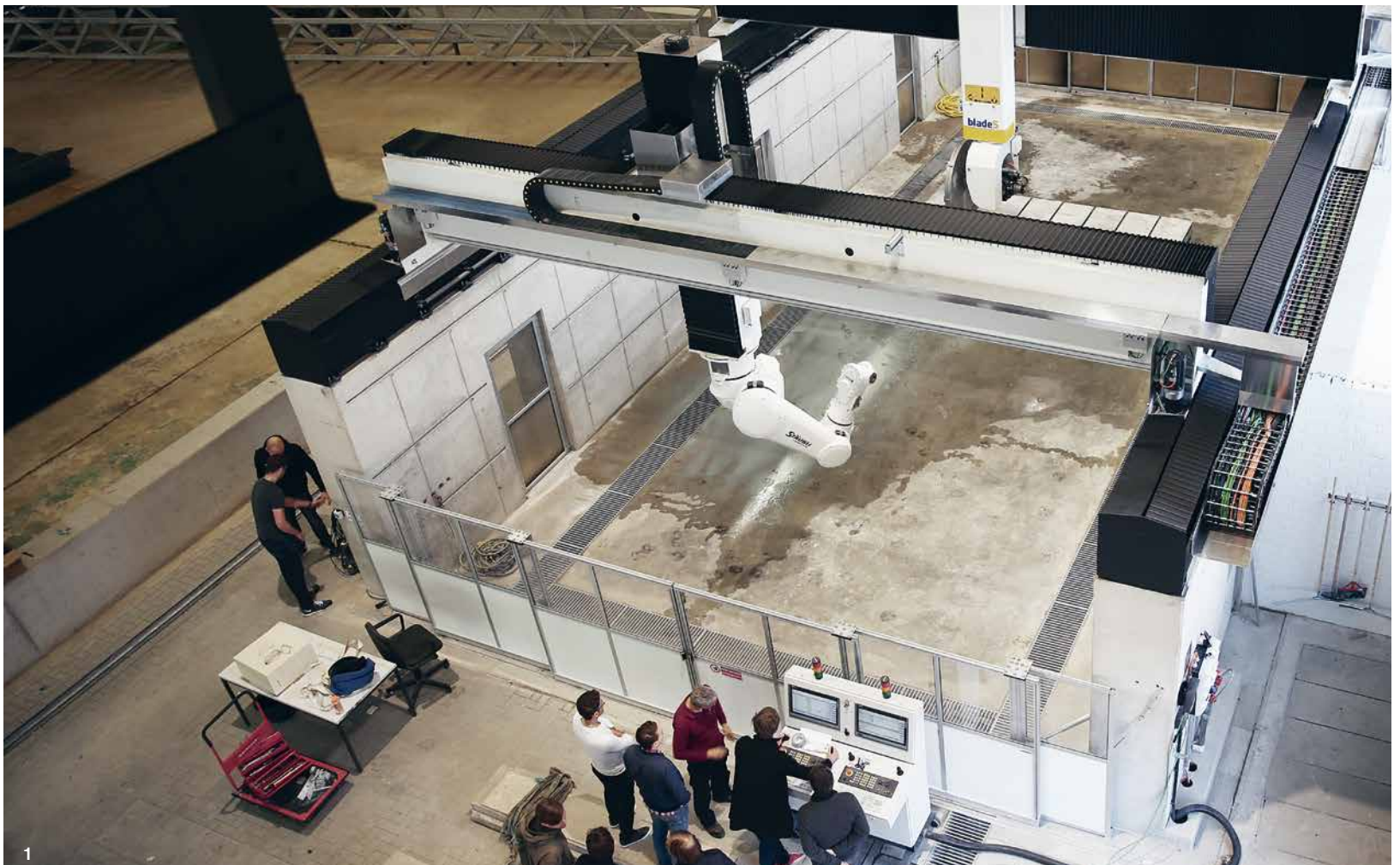
„Die klassische funktionale Trennung, die wir in der modernen Architektur haben, wird obsolet.“

1 16 Meter lang, neun Meter breit und ein Arbeitsraum von 370 Kubikmetern: Das Digital Building Fabrication Laboratory (DBFL) des Instituts für Tragwerksentwurf (ITE) der Technischen Universität Braunschweig. Hier forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zum 3D-Druck mit Beton. Blick von oben auf das DBFL mit zwei Achswegen der beiden Portale für CNC-Fräse und Roboterarm.

Herr Prof. Neudecker, Sie sind Lehrstuhlinhaber an einer Designfakultät. Was genau sind Ihre Forschungsschwerpunkte? Und welche Rolle spielt Betondruck dabei?

Stefan Neudecker: Im Prinzip erforsche ich die gestalterischen Potenziale neuer Technologien, suche Synergien zwischen unterschiedlichen Disziplinen und leite Anwendungsszenarien daraus ab. Generative Fertigungsverfahren stehen neben Technologien der erweiterten Realität und der parametrischen Modellierung aufgrund ihres disruptiven Potenzials schon seit einigen Jahren im Fokus meiner Forschung.

Da ich mich seit der Zeit als Projektleiter und konzipierender Entwickler des Design Building Fabrication Laboratory (DBFL) am Institut für Tragwerksentwurf an der TU Braunschweig intensiv mit dem Thema Betondruck auseinandergesetzt habe, spielt er auch in meiner Arbeit in



Essen eine wichtige, wenn auch nicht mehr dominierende Rolle. So untersuchen wir unter anderem, ob hochfeste Betone auch eine Rolle in der industriellen Produktion von Gebrauchsgütern spielen können, oder ob der Betondruck im Möbelbau genutzt werden kann.

Was genau steckt hinter der Bezeichnung „Building Fabrikation Laboratory“?

Das ist ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft mitgefördertes Forschungsgroßgerät der TU Braunschweig, mit dessen Hilfe wir Bauprinzipien und -prozesse der Zukunft untersuchen. Diese Anlage kann klassische Druckprozesse durchführen, aber auch Metall drucken. Man kann mit ihr kooperative Prozesse abbilden.

Damit meinen Sie das, ...

was man vom Handwerk kennt: Wenn der Handwerker mit der Kelle die Oberfläche glattzieht – nur dass es hier ein Roboter ist. Da werden beispielsweise Bauteile im schnellen Druckverfahren hergestellt und direkt nachbearbeitet, um hohe Oberflächengüten zu erreichen. Wir versuchen, die Synergien zwischen diesen Prozessen herauszufinden und daraus industrielle Lösungen abzuleiten.

Bislang kannte ich nur das reine 3D-Drucken.

Das kann aber keine Antwort für den künftigen Bau sein. Der ist von den Materialien und Prozessen her einfach zu komplex. Daher müssen wir auch im Bauwesen neue Wege gehen, es braucht eigene Prozesse und eigene Technologien.

Können Sie auch die Armierung für den Stahlbeton gleich mitausdrucken?

Die Anlage ist in der Lage, Metall zu drucken. Theoretisch könnte sie die Bewehrung komplett drucken. Das ist aber nicht wirtschaftlich. Mit einem Stahlwerk und dessen Materialqualitäten ist man damit noch lange nicht konkurrenzfähig. Mit Robotern ließen sich aber sehr effizient Stangen, Stahlmatten oder Fasern im Druckprozess platzieren.

Was ist die Lösung?

Sie besteht darin, Verfahren zu kombinieren. Wir sind noch im Forschungsstadium. Die Anlage hat enorme Fähigkeiten, die augenblicklich aber noch gar nicht alle genutzt werden können, weil die Herausforderung darin besteht, alle Prozesse in eine Planungskette einzubinden. Man kann dies mit modernen Smartphones vergleichen. Das sind Hightech-Produkte, die technisch sehr viel leisten



Prof. Stefan Neudecker, geb. in München, studierte zunächst Elektrotechnik an der Universität Erlangen und anschließend Architektur an der Technischen Universität Braunschweig. Dort schloss er 2007 mit dem Diplom Architektur ab. Ab 2011 war er am Institut für Tragwerksentwurf an der Technischen Universität Braunschweig als wissenschaftlicher Mitarbeiter beschäftigt und seit 2013 zudem als freiberuflicher Berater und Entwickler bei GMP Architekten in Berlin tätig. 2016 hat er die Professur „Design by Technology“ im Fachbereich Gestaltung an der Folkwang Universität der Künste in Essen übernommen.



„Durch den 3D-Druck öffnen sich ganz andere gestalterische Spielräume.“

können. Das Entscheidende ist aber die Software, um dies alles auch nutzen zu können. Hybride Fertigungsprozesse sind um ein Vielfaches komplexer als einfache Verfahren – wie das Fräsen oder 3D-Drucken. Am Bau kommt alles zusammen.

Sie werden aber eines Tages das Labor verlassen.

Ganz sicher. Die Prozesse entwickeln sich weiter, je mehr an Volumen gedruckt wird. Aber es gibt technologische Grenzen. Im Bauwesen muss man schneller drucken als in der Industrie, die im kleinen Maßstab etwa ein Kniegelenk druckt – und das extrem hoch aufgelöst und mit Gradientenstrukturen. Im Bauwesen geht es um große Volumen, daher muss man Prozesse dort dahin optimieren, dass man möglichst schnell drucken kann.

Stichwort Beton ...

Beton lässt sich auch nicht mit extrem hoher Geschwindigkeit drucken oder sehr langsam, damit die Festigkeit hoch genug ist, dass das frisch gedruckte Gebäude nicht in sich zusammensackt oder die Fertigungsanlage blockiert. Das ist ein Balanceakt.

Sieht aber trotzdem nach einer Revolution am Bau aus.

Eine Revolution ist das schalungsfreie Bauen, das gestalterisch ganz neue Möglichkeiten eröffnet. Bei Einfamilienhäusern wird das Verfahren einen Markt finden,

gerade auch gestalterisch. Man kann damit organische Formen wirtschaftlich drucken. Bei rechteckigen Gebäudeformen spielt es seine Stärken noch nicht aus. Spannender wird hier die Möglichkeit von Gradientenstrukturen innerhalb der Bauteile sein, das heißt, dass innerhalb der Bauteile ihre Eigenschaften lokal differenziert werden.

Können Sie ein Beispiel geben?

Deckenplatten sind eigentlich ganz profane Bauteile, rechteckig mit fester Stärke. Das heißt, dass man viel Beton hat, der eigentlich statisch nicht wirksam ist und für die strukturelle Stabilität gar nicht notwendig wäre. Die Masse an Beton wirkt sich sogar negativ aus, da sie eine zusätzliche Belastung bedeutet. 3D-Drucken kann hier den Ressourcenverbrauch revolutionieren, weil man die Menge und Art des aufgetragenen Materials lokal genau steuern kann.

Und darüber hinaus?

Geht es um die Effizienz von Bauteilen. Die klassische funktionale Trennung, die wir in der modernen Architektur haben, wird obsolet. Man hat den Rohbau und zwiebelartige Schichten wie die äußere Dämmung. Das bedeutet, dass man eine Schicht nach der anderen herstellen muss. Inzwischen kann man durch Modifikation der Fertigungsprozesse beispielsweise porösen Beton herstellen, der eine dämmende Wirkung hat, oder im gleichen Prozess hochfesten Beton herstellen, der statisch extrem wirksam ist.

Das heißt, sie wären zusätzlich noch nachhaltiger, weil sie nur in einem Material bauen.

Es könnten auf jeden Fall sehr viel Material gespart und die Anzahl von unterschiedlichen Werkstoffen reduziert werden. Das gibt es ja auch bereits bei Leichtbetongebäuden. Nur müssen Gebäude architektonisch dafür ganz anders gedacht werden. In Zukunft werden immer mehr Funktionen in weniger Bauteile integriert und wie Leitungsaussparungen einfach mitgedruckt werden können.

Können Sie Zahlen nennen?

Das hängt von jedem Bauwerk ab. Bei konventionellen Bauteilen könnten wir bis zu 50 Prozent des Materialvolumens einsparen. Das wäre jetzt auch mit konventionellen Methoden schon möglich, doch nur mit einem immensen Aufwand. Denken Sie an die gotischen Gewölbe, extrem leistungsfähige Konstruktionen, die mit sehr wenig Materialeinsatz auskommen, aber heutzutage nicht wirtschaftlich abgebildet werden könnten. 50 Prozent sind spekulativ. Doch ließe sich wahrscheinlich sogar noch darüber hinausgehen.

Beginnt eine neue Digital-Gotik?

Ich bin ja an einem Gestaltungslehrstuhl, also durch und durch Gestalter, daher vermute ich mal: Ja. Wir sind mit dem Verbundwerkstoff Beton sogar schon mittendrin, auch wenn die differenzierten inneren Strukturen aus Stahl und Fasern hinter grauen Oberflächen verborgen sind. Durch den 3D-Druck öffnen sich ganz andere gestal-

terische Spielräume. Es ist wie beim Umbruch von Holz zu Stahl. Nachdem man anfangs Prinzipien des Holzbaus direkt auf das neue Material übertrug, hat es einige Zeit gedauert, bis man herausfand, dass man mit dem neuen Werkstoff ganz andere Möglichkeiten hat zu gestalten. Das findet gerade wieder statt – mit offenem Ausgang. Wir müssen erst verstehen lernen, was die gestalterischen Grenzen der neuen Verfahren sind, probieren neue Sachen aus und staunen über die neuen Möglichkeiten.

Was erwarten Sie von BIM in den nächsten Jahren?

Schnelleres und besseres Bauen wäre sehr wünschenswert, ich bin aber skeptisch, dass das kurzfristig erreicht werden kann. Bei vielen Planungsbüros führt BIM aktuell zu mehr Aufwand im Bauprozess, da noch zu viel Kommunikation parallel konventionell geführt werden muss. Ich sehe die mittelfristige Stärke vom BIM eher in der gesamtheitlichen Dokumentation von Projekten, die dazu führen kann, nachhaltiger zu bauen, und in der Möglichkeit, hochintegrierte Planungsketten, die für die generative Fertigung von Architektur notwendig sind, abzubilden.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

Das Gespräch führte Dr. Oliver Herwig

www.folkwang-uni.de

1 Am Institut für Tragwerksentwurf (ITE) der TU Braunschweig wurde im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsvorhabens eine neuartige und innovative Additive Manufacturing-Technologie entwickelt, die die geometrischen Freiheiten der robotergestützten Fertigung nutzt, um Beton schichtweise aufzutragen und großformatige Betonbauteile schalungslos herzustellen. **2** Die sogenannte Shotcrete 3D Printing-Technologie führt die Grundprinzipien der bekannten Spritzbetonverfahren mit den neuen Möglichkeiten der robotergestützten, digitalen Fertigung zusammen.



Es gibt kein Zurück!

INES FISCHER

„Information ist die Währung unserer Zukunft. Das ist auch für die Baubranche relevant.“

Vor rund drei Jahren hat Hamburg die virtuelle Organisation „BIM.Hamburg“ gegründet – mit dem Ziel, die Digitalisierung des Planens, Bauens und Betreibens mit der Methode Building Information Modeling (BIM) aktiv voranzutreiben. Für die BIM-Standardisierung haben sich sechs BIM-Leitstellen zusammengeschlossen, die zentral über das Programm-Management bei der Hamburg Port Authority, Herrn Felix Scholz, gesteuert werden.

Die Sprinkenhof GmbH, die zentrale gewerbliche Immobiliengesellschaft der Freien und Hansestadt Hamburg, ist eine der sechs Leitstellen und bündelt die BIM-Kompetenz im Bereich Hochbau. Im März dieses Jahres hat Frau Ines Fischer die Vertretung der BIM-Leitstelle Hochbau übernommen. Wir sprechen mit ihr über die Skepsis gegenüber BIM, die Auswirkungen auf das Arbeiten mit BIM, auf Architektur und Baukultur sowie über die vielen Potenziale, die im digitalen Wandel liegen.

Frau Fischer, so sehr heutzutage der Terminus „BIM“ geläufig ist, so sehr scheint aber auch zu gelten, dass sich viele Menschen in der Baubranche noch nicht richtig an das Thema herantrauen. Woran liegt das Ihrer Meinung nach?

Ines Fischer: Diese drei Buchstaben – B I M – bieten zunächst viel Raum für Interpretation. Das Wissen über Building Information Modeling und das Verständnis für den Einsatz ist noch sehr uneinheitlich. Das führt automatisch zu Irritationen und Verunsicherung. Hinzu kommt die Skepsis vieler Menschen gegenüber Neuem und der damit einhergehenden Veränderung. Mitunter kommt es auch zu sorgenvollen Gedanken: Wie werden sich meine Funktion und mein Aufgabenbereich wandeln? Werde ich überhaupt noch gebraucht, wenn die Digitalisierung so rasch voranschreitet? Zu erwähnen sind zudem die

Ines Fischer, geboren 1980 in Halle an der Saale, studierte Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar. Sie war anschließend in verschiedenen Architekturbüros in Berlin und Hamburg tätig. Seit 2019 ist sie als BIM- und Lean-Managerin bei der Sprinkenhof GmbH im Bereich Projektrealisierung mit den Schwerpunkten BIM-Implementierung und Entwicklung von BIM-Standards tätig. Seit 2021 ist sie Vertreterin der BIM-Leitstelle Hochbau der FHH und Teamleiterin BIM- und Lean-Management der Sprinkenhof GmbH.





enormen Investitionskosten für IT-Lösungen und Mitarbeiterqualifizierung sowie der zeitliche Mehraufwand in der Implementierungsphase.

Wie würde eine geeignete Vorgehensweise aussehen, um Barrieren abzubauen und BIM voranzutreiben?

Die Verbindlichkeit der Nutzung von BIM – insbesondere im Hochbau – sollte nicht nur politisch bekräftigt werden, sondern in der Implementierungsphase auch aktiv durch die Bereitstellung der entsprechenden finanziellen Mittel gefördert werden.

Es gilt zudem, eine höhere Aufmerksamkeit auf BIM zu richten. Das kann zum Beispiel durch mehr Informationsveranstaltungen und kostengünstigere Weiterbildungen erfolgen. Letztendlich ist allerdings jedes Unternehmen dazu angehalten, seinen eigenen Weg des digitalen Wandels zu gehen, um sich zukunftsfähig aufzustellen. Diese Reise kann einem niemand abnehmen. Mit dem richtigen Verständnis für BIM fängt es an.

Was überzeugt Sie an den Vorteilen, die BIM bietet, am meisten? Wo liegt der größte Mehrwert?

Nach meinem persönlichen Empfinden liegt der größte Mehrwert in der spürbaren Verbesserung der Kommunikation aller Projektbeteiligten. Diese „verordnete“, strukturierte Kommunikation in einem BIM-Projekt sorgt dafür, dass sich die Beteiligten auf der Basis der BIM-Modelle miteinander abstimmen müssen, dass sie ein Ver-

ständnis für die Arbeitsweise des jeweils anderen bekommen und die Arbeitsatmosphäre deutlich früher gewinnbringend und fruchtbar wird. Die transparente Zusammenarbeit trägt natürlich außerdem deutlich zur Risikominimierung bei den Projekten bei. Konflikte werden früher sichtbar und können schneller behoben werden.

Wir sollten uns auch bewusst machen, dass BIM-Modelle Informationsträger sind. Die Information ist die Währung unserer Zukunft. Auch das ist für die Baubranche relevant, wenn man bedenkt, dass die Modelle als die einzige Informationsquelle über den kompletten Lebenszyklus eines Gebäudes genutzt werden können.

Momentan werden bei der Sprinkenhof GmbH sechs Projekte mit BIM realisiert. Dazu zählen unter anderem ein Labor-, ein Büro- und ein Verwaltungsgebäude sowie ein Kulturbau im Bestand. Im Stadtteil Barmbek wird derzeit der nachhaltige Bürokomplex „Wiese 2“ realisiert. Der Neubau soll zum Leuchtturmprojekt unter dem Einsatz von BIM und Lean Management werden. Welche Schwerpunkte haben Sie bei der BIM-Planung gesetzt?

Für die Unterstützung der Planungsphase fokussieren wir uns auf ausgewählte BIM-Anwendungsfälle. Das sind Aufgaben und Anforderungen an die digitalen Lieferleistungen, welche die Umsetzung der gesetzten Projektziele konkretisieren, wie die Koordination der Fachwerke zur fachdisziplinübergreifenden Qualitätssicherung,

1 Hamburg baut digital: Mit BIM.Hamburg hat die Freie und Hansestadt Hamburg eine virtuelle Organisation aus einem Zusammenschluss von sechs BIM-Leitstellen eingerichtet. Schwerpunktthema ist die übergreifende Implementierung von BIM im öffentlichen Sektor der Stadt. Die Sprinkenhof GmbH sorgt im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg für die Verwaltung und Erhaltung der öffentlichen Immobilien Hamburgs.

RUBRIK

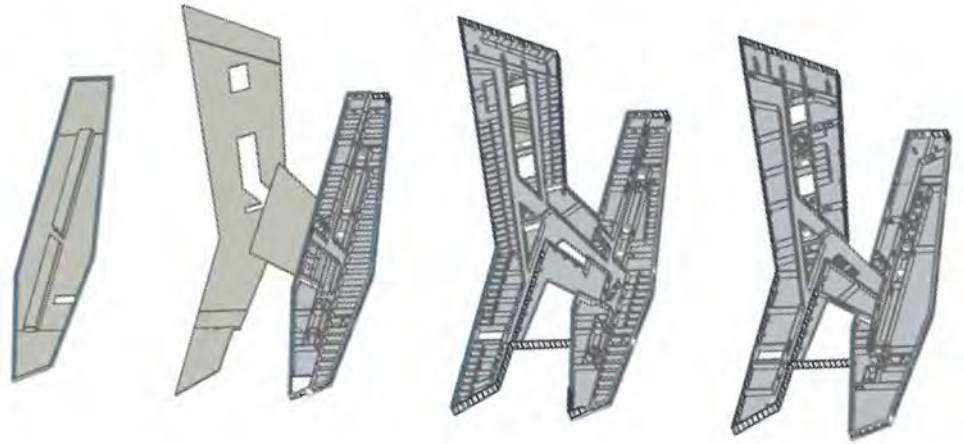
die modellbasierte Mengenerfassung als Grundlage für belastbare Kostenermittlungen und die Planableitung aus den Modellen der unterschiedlichen Leistungsphasen.

Erklären Sie bitte das Zusammenwirken von BIM und Lean Management und seine Bedeutung.

Die Ursprünge von Lean Management liegen in Japan, im Toyota-Produktionssystem. Der amerikanische Begriff „lean“ bedeutet „schlank“. So könnte man sagen, dass es hier um „Schlankes Management“ zur kontinuierlichen Prozessoptimierung geht. Das wird dem Begriff „Lean Management“ allerdings nur ansatzweise gerecht. Lean Management ist eher als eine Philosophie anzusehen und beinhaltet verschiedene Prinzipien, Methoden und Werkzeuge zur strukturierten, verschwendungsarmen Prozessgestaltung mit dem Ergebnis der kontinuierlichen Verbesserung. BIM als digitales Informationsmanagement ist eine Methode des Lean Management.

BIM bietet nicht nur im Neubau Vorteile, sondern auch im Bestand. Schnell könnte hier angemerkt werden, es sei zu zeit- und kostenintensiv, einen Bestand nach BIM-Methoden zu erfassen. Wie kann BIM das Bauen im Bestand doch noch wirtschaftlich gestalten?

Bisher gibt es noch kaum Erfahrungen, wie sich der Einsatz von BIM auf das Bauen im Bestand auswirkt. Das liegt vor allem daran, dass sich BIM aktuell erst in der Planungs- und Ausführungsphase etabliert. Dennoch kann man schon sagen, dass der große Vorteil der Bestandsaufnahme und -modellierung mit der BIM-Methode in der Konsistenz der Informationen liegt. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit kommt es vor allem darauf an, in einem Bestandsmodell nur so viele Informationen in der entspre-

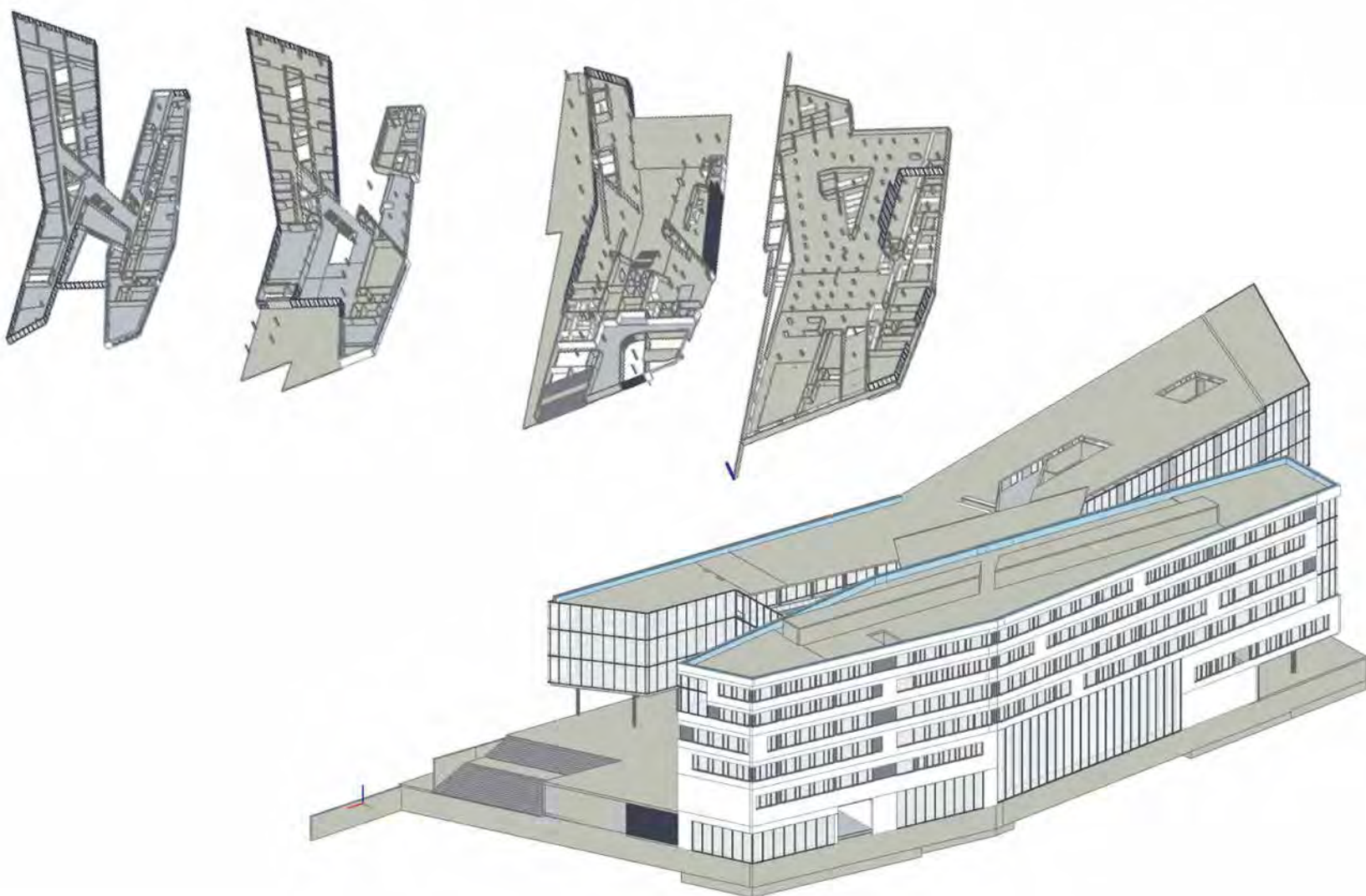


chenden Detailtiefe aufzunehmen, wie auch tatsächlich benötigt werden. Wenn wir einmal diese zeit- und kostenintensive Hürde genommen haben, liefert uns das BIM-Modell als „Single Source of Truth“ alle notwendigen, belastbaren, in sich konsistenten Informationen für das Bauen im Bestand. Und diese einzige Informationsquelle kann über Jahre und Jahrzehnte fortgeschrieben und genutzt werden.

Eine generelle Frage: Öffentliche Gebäude sind häufig auch ein Stück Baukultur, die von Details, Materialien und Raumqualitäten leben. Wie lässt sich das mit dem „technischen“ BIM vereinbaren? Welchen Einfluss hat BIM auf unsere Baukultur?

Aus meiner Sicht haben wir Architektinnen und Architekten oft Angst davor, unser Hoheitsgebiet zu verlieren und von der Technik und der Digitalisierung abgelöst zu werden. Damit geht auch die These einher, dass die Themen Kunst und Kultur in unserem Tätigkeitsfeld verloren gehen würden. Ich sehe das ausdrücklich nicht so. Meiner Meinung nach basieren die Sorgen auf dem Missverständnis, was BIM eigentlich ist. BIM unterstützt uns





durch digitale Arbeitsmodelle in unserer schöpferischen Tätigkeit. Unsere eigentliche Berufung geht damit nicht verlustig, in keiner Weise. Die Anwendung der Arbeitsmethode BIM bedeutet lediglich, dass wir uns der Herausforderung künftig immer komplexer werdender Projekte stellen und zukunftsfähig werden.

Die BIM-Planung bietet gerade bei Öffentlichkeitsbeteiligungen, Planfeststellungsverfahren oder Genehmigungen große Potenziale. Hamburg erstellt ein digitales Abbild der gesamten Stadt, einen „Digitalen Zwilling“ oder „Digital Urban Twin“. Darüber hinaus unterstützt BIM auch die Entwicklung der virtuellen Welt. Nicht nur Experten, sondern auch Bürger können das digitale Stadtmodell nutzen. Wie aufgeschlossen sind die Bürger gegenüber der digitalen Welt?

Spontan würde ich sagen, das ist eine Generationenfrage. Wer offen ist, wird schnell merken: Es lohnt sich. Die Potenziale der digitalen Projektabwicklung liegen im gesamten Lebenszyklus: von der Projektentwicklung über das Planen und Bauen bis zum Betreiben der Immobilie – und sogar im Rückbau. Bei der Bereitstellung und Nutzung digitaler Informationen können wir beispielsweise auf das digitale Stadtmodell zurückgreifen, um ein Bauprojekt im städtebaulichen Kontext zu beurteilen. Ein Forschungsprojekt untersucht zudem aktuell, wie Bauanträge über BIM-Modelle regelbasiert geprüft werden können.

Zeitgemäße Bauprojekte werden in Zukunft ohne BIM nicht mehr auskommen. Wann wird sich BIM durchsetzen?

Es ist schwierig, eine Prognose zu geben. Der Veränderungsprozess ist in vollem Gange, und ich denke, dass wir noch einen weiten Weg vor uns haben. Wir öffentlichen Auftraggeber treiben durch unsere Vorgaben zur Umsetzung und die Entwicklung der BIM-Standards im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg seine Implementierung stetig voran. Und dennoch ist zu sagen, dass der Markt der Planungsbüros, bezogen auf den BIM-Reifegrad, nach wie vor heterogen ist. Die ausführenden Firmen sind im Hochbau meist noch überhaupt nicht in den BIM-Prozess eingebunden. Und auf den Lebenszyklus eines Bauprojekts bezogen kann ich sagen, dass die Nutzung von BIM im Betrieb noch ganz am Anfang steht. Wenn Sie mich nach einer vollumfänglichen Durchsetzung fragen, würde ich zuversichtlich von 7–10 Jahren ausgehen.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

Das Gespräch führte Elena Berkenkemper.

www.bim.hamburg.de

www.sprinkenhof.de

1 Das neue Gebäude der 2006 gegründeten Hafen-City Universität Hamburg – Universität für Baukunst und Metropolenentwicklung (HCU Hamburg) – von CODE UNIQUE Architekten wurde 2014 bezogen. Bei den Planungen der HCU wurde mit LOD Level 300 gearbeitet. **2** Das BIM-Modell der HCU wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Level 5 Indoor Navigation“ der HCU von der CORE Digital Engineering GmbH als LOD 200 erarbeitet, um die Grundlagendaten für die Indoor-Navigation des Universitätsgebäudes zu erstellen. In diesem Fall war der niedrige Detaillierungsgrad als Entwurfsmodell LOD / LOI 200 ausreichend, um die daraus abgeleitete Navigationsumgebung nicht mit zu vielen geometrischen Details zu überfrachten.

Digitale Experimente

MIT WENIGER MATERIALEINSATZ NACHHALTIGER PRODUZIEREN

1 - 3 „Armadillo Vault“, das Gürteltiergewölbe, besteht aus 399 einzeln zugeschnittenen Kalksteinstücken, die ohne Mörtel zusammengefügt wurden. Dank seiner funikularen Geometrie kann es in reinem Druck stehen, während Zugbänder die Form ausbalancieren. Die Form, die vom Projektteam um Philippe Block von der Block Research Group für die Ausstellung „Beyond Bending“ auf der 15. Architekturbiennale 2016 in Venedig entwickelt wurde, entstand auf Grundlage neuartiger Entwurfs- und Optimierungsmethoden.



Dem Computer – und speziell der Künstlichen Intelligenz (KI) – trauen wir inzwischen einiges zu: Algorithmen schlagen Schach- und Go-Großmeister, erkennen Krankheiten auf verwaschenen Röntgenbildern oder fertigen in Sekundenbruchteilen Übersetzungen in (fast) jeder Sprache an, sofern der zugrundeliegende Textkorpus nur umfangreich genug ist. Mustererkennung ist die Stärke dieser Programme.

Nach Medizintechnik und Design gibt es inzwischen auch spannende Ansätze in der Architektur, die sich lange aufgrund ihrer speziellen Herstellungsbedingungen – oft handwerklich organisiert und als Einzelstück vor Ort angelegt – der Rationalisierung widersetzt hatte. Ein Schlüssel kommt dabei der Produktion von Betonfertigteilen zu, die sich mit Computerhilfe schneller herstellen und konfigurieren lassen. An der neuen, digitalisierten Produktion und Konstruktion forschen interdisziplinäre Teams aus Mathematikern, Ingenieuren, Produktionstechnikern und Bauinformatikern.

Ein Leuchtturmprojekt ist das 2020 aufgelegte DFG-Schwerpunktprogramm 2187 „Adaptive Modulbauweisen mit Fließfertigungsmethoden“. Das Team um Prof. Peter Mark, Lehrstuhlinhaber für Massivbau an der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Ruhr-Universität Bochum, beschreitet völlig neue Wege. Wurden bislang Betonfertigteile auf ihre jeweiligen speziellen Anforderungen hin zugeschnitten und in Kleinserien hergestellt, werden nun Konstruktion und Produktion zusammen und Bauabläufe dem genau entsprechend ganz anders gedacht.

Künftig sollte man sich Konstruktionen eher als dreidimensionale Puzzles vorstellen, die unabhängig von bewährten statischen Systemen aus Stützen, Riegeln und Platten funktionieren. Die Idee dahinter: Statt immer wieder Einzelstücke zu fertigen, verschiebt sich so die Produktion hin zu einer Serie aus „hohen Stückzahlen und einfachen, fehlertoleranten Verbindungen“, wie es in einem Fachaufsatz der Arbeitsgruppe um Prof. Peter Mark heißt. „Die Unterteilungen sind also deutlich feinteiliger als nach statischen Systemen. Die Module sind ähnlich – nicht gleich – und in Grundgrößen skalierbar.“ Damit nicht genug: Die einzelnen Betonfertigteile entstehen in hoher Qualität in der Fabrik und müssen auf der Baustelle als dreidimensionales Mosaik „nur noch“ zusammengesetzt werden.

Welche Möglichkeiten und aufsehenerregenden Konstruktionen sich aus diesem Ansatz ergeben, führte die BLOCK Research Group (BRG) am Institut für Technologie in der Architektur der ETH Zürich bereits auf der Biennale 2016



Neue, flexiblere Verfahren versprechen schnellere Bauzeiten und wesentlich nachhaltigere Bauwerke.

in Venedig vor Augen: Das Gewölbe Armadillo Vault aus 399 individuell geschnittenen Kalksteinen entstand unbeehrt und ohne Mörtel. Bei einer Schalenstärke von gerade fünf Zentimetern und einer Spannweite von 16 Metern erreicht die komplexe, frei geformte Konstruktion die Proportionen einer Eierschale und spart enorm viel Material. Dass solche Konstruktionen auch mit 3D-gedruckten Betonfertigteilen zu realisieren sind, zeigte die BRG jüngst am Beispiel der Striatus-Brücke in Venedig. Interessant ist, dass die von Philippe Block und Tom Van Mele geleitete BRG die Statik historischer Gebäude untersucht und daraus gewonnene Erkenntnisse mit rechnerischer Formfindung und Forschung an neuen Herstellungs- und Konstruktionstechnologien verbindet.

Der Schritt nach vorne, begleitet durch einen Blick zurück auf das historische Bauen – das ist nichts Ungewöhnliches für eine Technologie im Wandel, die dabei ist, mit weniger Materialeinsatz wesentlich nachhaltiger zu produzieren. Das betont auch das Forscherteam des DFG-Schwerpunktprogramms 2187: Bekanntlich sei „eines der größten Hemmnisse im traditionellen Betonbau die Notwendigkeit, Schalungen für Gussformen herzustellen.“ Es liege deshalb nahe, „Verfahren zu berücksichtigen, die ohne Schalung auskommen, etwa durch selektive Materialablage.“ Die Forscher zielen aber nicht nur auf neue (alte) Konstruktionstechniken, sie denken zugleich auch

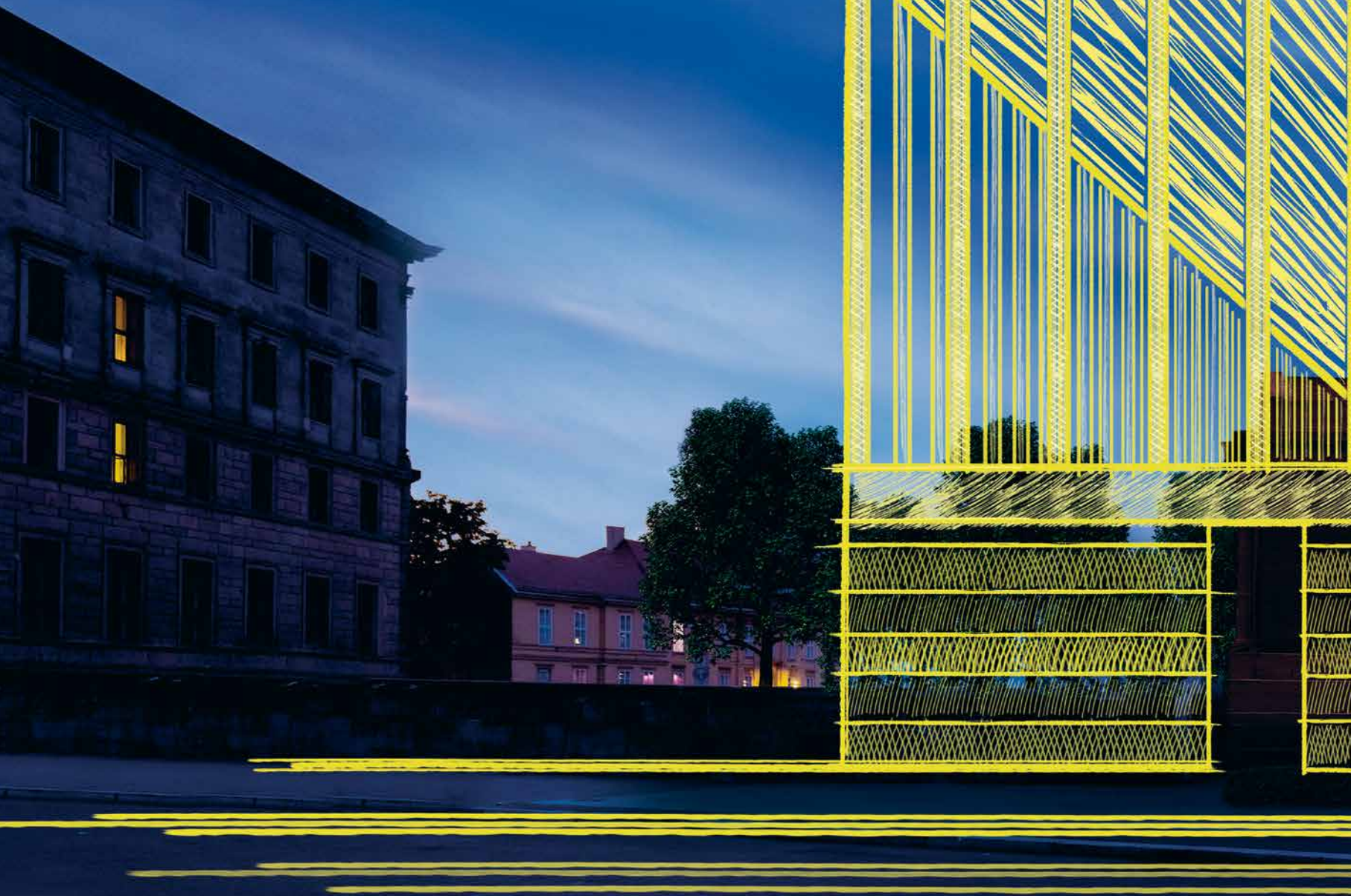
an veränderte Produktionsmodelle, die sie dem Maschinenbau entlehnen. Schlüssel dafür sei „die Zerlegung von Betontragwerken in ähnliche Einzelmodule, die in einer voll digitalisierten Produktion in Serie gefertigt werden.“ Ihre Referenz bildet die Fließbandfertigung, wie sie etwa die Automobilindustrie mit Erfolg anwendet. Dort sind Varianten innerhalb einer Großserie nichts Besonderes mehr – keine zwei Autos rollen identisch vom Band. Und genau das schlägt die Brücke zur Architektur, die eben auch als spezifische Lösung vor Ort entsteht.

Offenbar leben wir in einer Übergangszeit: Das Bauen, das sich Jahrtausende lang handwerklich und kleinteilig entwickelte, wandelt sich: Neue, flexiblere Verfahren versprechen schnellere Bauzeiten und wesentlich nachhaltigere Bauwerke. Möglich machen dies clevere Algorithmen, vor allem aber ein neues Denken. So meinte etwa Clemens Rudloff, Geschäftsführer der Münchner Architekten karl+lund: „Die größte Herausforderung bei der Transformation im Bauwesen hin zu BIM liegt meines Erachtens auf der menschlichen Ebene. Der Wille und Mut zur Veränderung in den Büros und Teams sind für mich das entscheidende Kriterium, und hier erwarte ich den notwendigen Mentalitätswandel.“ Genau das geschieht in der Betonindustrie mit digitalisierten Betonbauteilen.

Dr. Oliver Herwig

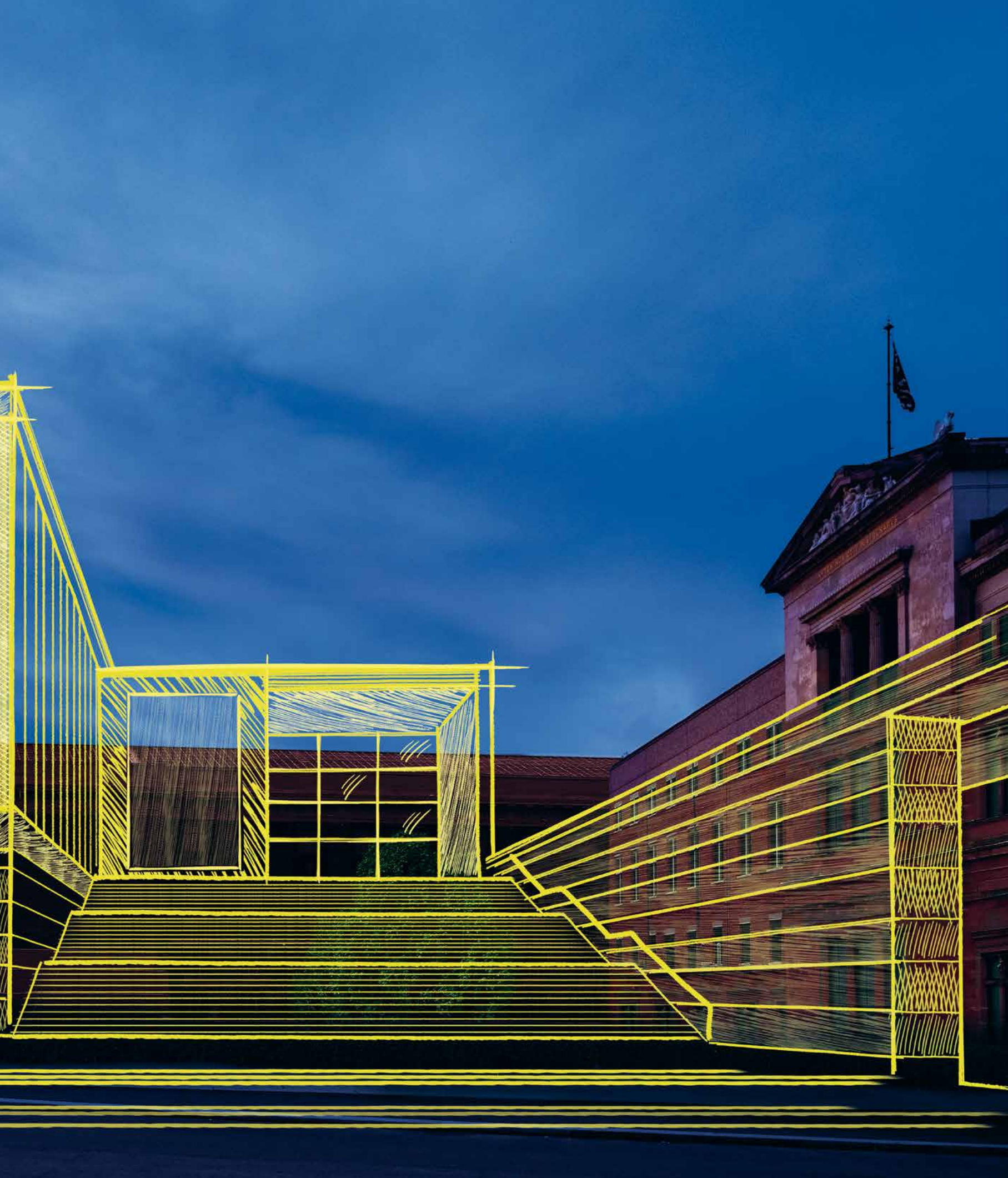
4 - 5 Das Projekt „Droneport Prototyp“, ebenfalls auf der 15. Architekturbiennale gezeigt, wurde u. a. von der Block Research Group und der Norman Foster Foundation entwickelt. Die Schale aus Erdmauerwerk ist ein Prototyp für einen kleinen Flughafen für Drohnen, mit denen Hilfsgüter an entlegene Orte in Afrika geliefert werden sollen. Das Gewölbe besteht aus nur drei Schichten: einer inneren aus traditionellen Tonziegeln und zwei äußeren aus „DuraBric“, einem vom LafargeHolcim-Forschungszentrum entwickelten natürlich gehärteten Baustein aus gepresster Erde und Zement.

Beton. Für große Ideen.



James-Simon-Galerie – Berlin
David Chipperfield Architects

www.beton-fuer-grosse-ideen.de



Beton

Beton 4.0 für nachhaltiges Bauen

MICHAEL HAIST

„Der Ansatz ist, die Industrie-4.0-Techniken auf den Betonbau zu übertragen.“

Herr Prof. Haist, Zement, Wasser, Gesteinskörnung: ein einfaches Rezept für einen bewährten und vielseitigen Baustoff. Müssen wir uns davon komplett verabschieden?

Michael Haist: Die traditionelle Art, Beton zu machen, ist tatsächlich simpel: Drei Schippen Sand und Kies, eine Schippe Zement sowie Wasser nach Bedarf. Aber von diesem ganz einfachen System haben wir uns schon in den 1970er und 1980er Jahren teilweise verabschiedet. Neue Stoffe kamen dazu, etwa Hüttensand und Flugasche sowie Kalksteinmehl. In Anbetracht des Klimawandels und der Notwendigkeit, CO₂ einzusparen, wird der Beton sich weiter verändern müssen. Wir brauchen Bindemittel, die anders komponiert sind, und Betonzusammensetzungen, die sich durch eine höhere Komplexität auszeichnen. Die Hauptbestandteile werden Sand und Kies bleiben, doch kommen dazu rezyklierte Gesteinskörnung und Gesteinsmehl, Zusatzstoffe, ein möglichst klimafreundlicher Zement, Zusatzmittel und Wasser. Aus dem ehemaligen Dreistoffsystem wird ein Sechs-, Acht- oder Zehnstoffsystem, und die Menge an Körnung nimmt bei CO₂-effizienten Betonen zu. Hier schlägt die Stunde der Rheologie des Betons, also der Lehre vom Fließ- und Verformungsverhalten.

Was hat das mit Digitalisierung zu tun?

Bei einem Dreistoffsystem können eventuelle Schwankungen in der Rezeptur beziehungsweise bei den Ausgangsstoffen

noch einfach erkannt und gesteuert werden, doch schon bei einem Fünfstoffsystem lässt sich das nicht mehr ohne weiteres beherrschen. Wenn dann noch die klimafreundlichen Zemente ins Spiel kommen, bei denen der Zementklinker um andere Hauptinhaltsstoffe ergänzt beziehungsweise zum Teil ersetzt wird, ergibt sich eine Fülle von Ausgangsstoffen, die so reguliert werden müssen, dass der Beton auf der Baustelle immer noch das macht, was er machen soll. Hier lässt sich mittels neuartiger Sensorsysteme und Automatisierung ein Höchstmaß an Sicherheit schaffen. Dafür werden im ganzen Herstellungsprozess digitale Daten gesammelt und abgeglichen. Mithilfe von Sensoren schaut man in die Betonmischmaschine hinein und betrachtet gleichzeitig die Sensordaten der Ausgangsstoffe, so etwa die genaue Zusammensetzung der verwendeten Gesteinskörnung. Ein Algorithmus im Hintergrund steuert den Beton dann aus, etwa über Mehrkomponenten-Additivsysteme. So merkt sozusagen schon die Betonmischmaschine, wenn etwas fehlt, und reagiert entsprechend.

Wie weit entfernt sind wir noch von dieser Technologie?

Der Ansatz ist, die Industrie-4.0-Techniken auf den Betonbau zu übertragen, sozusagen Beton 4.0 zu schaffen. Im Moment erfolgt der komplette Prozess vom Ausgangsstoff über die Betonherstellung bis hin zu Lieferung und Einbau noch empirisch, also auf der Basis von Erfahrungswerten. Es gibt bisher keine Gleichung, mit der ich eine

Mischungszusammensetzung anhand der gewünschten Eigenschaften des Betons ausrechnen könnte. Und es gibt auch keine solche, mit der ich simulieren könnte, wie der Beton in eine Schalung hineinfließt. Diese Algorithmen brauchen wir, und sie müssen so ausgelegt sein, dass die Mischmaschine über neuronale Netze – künstliche Intelligenz – lernt, mit Streuungen der Materialeigenschaften umzugehen und diese auszugleichen. Um die Daten zu ermitteln, mit denen diese Algorithmen arbeiten, benötigen wir entsprechende Sensoren. Diese erkennen dann unter anderem die tatsächliche Sieblinie von Gesteinskörnungen. Das lässt wiederum Rückschlüsse auf die Eigenschaften, die Verarbeitbarkeit, des Baustoffs zu. Wie sich solche Betonaussteuerungstechniken bewerkstelligen lassen, erforschen wir im Moment an der Leibniz Universität Hannover zusammen mit zahlreichen Partnern als Projektkonsortium ReCyCONtrol. Im Moment befinden wir uns noch im Forschungs- und Laborstadium, sind aber im Gespräch mit verschiedenen Baufirmen, um die Prozesse dann auch in der Praxis zu erproben.

Ist die Baubranche eine Nachzüglerin, was die Digitalisierung angeht?

Speziell im Betonbau ist es so, dass die Notwendigkeit lange Zeit gefühlt nicht gegeben war, da die Herstellung von Beton als so simpel gilt. Tatsächlich ist das System der Betonherstellung – chemisch betrachtet – aber unendlich komplex und ist während des Erhärtungsprozesses auf der Baustelle vielfältigen Umwelteinflüssen ausgesetzt. Daher arbeitet man bei der Betonherstellung mit Sicherheitspuffern – stellt also Betone her, die deutlich leistungsfähiger sind, als es die Bauaufgabe erfordert. Das bedeutet automatisch, dass mehr Zement zum Einsatz kommt als nötig wäre und damit auch mehr CO₂ produziert wird. Das passiert, weil man nicht genau weiß, was das Material macht, ob irgendwo in der Kette – von den Ausgangsstoffen über die Herstellung bis zu Transport und Einbau – etwas schief gehen wird oder schief gegangen ist. Zur CO₂-Einsparung muss der Sicherheitspuffer schrumpfen, wenn

nicht gar entfallen. Dafür braucht es neue Qualitätssicherungssysteme wie das, was wir im Rahmen des Forschungsprojekts gerade entwickeln.

Die gewünschten Betoneigenschaften werden ja für jedes Bauprojekt individuell festgelegt. Muss für jeden Beton ein eigener Algorithmus entwickelt werden?

Es herrscht ja die weitverbreitete Meinung, dass es im Bauwesen stets darum geht, Unikate zu erstellen, und daher eine Automatisierung keinen Sinn machen würde. Aber auch wenn Architektinnen und Architekten für sich in Anspruch nehmen, einzigartige Werke zu schaffen – die Elemente bleiben doch die gleichen, und sehr oft gehören dazu Betondecken, -wände und -stützen. Und auch wenn weltweit jährlich Milliarden Kubikmeter Beton hergestellt werden, wird doch an vielen Orten der Welt gleichzeitig exakt der gleiche Beton produziert. Selbst wenn man nur ein Betonwerk betrachtet, wäre es hilfreich, die einzelnen Mischungen und ihre Bestandteile genau zu erfassen, um so immer wieder automatisiert darauf zurückgreifen zu können. So lässt sich auch aus Fehlern lernen – etwa, wenn einmal eine Mischung misslingt.

Wenn man über die Zukunft von Beton spricht, muss man dann nicht auch innovative Betonarten und Bauweisen in den Fokus nehmen?

Es gibt ja zwei Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz und Klimaverträglichkeit des Betonbaus: Zum einen lässt es sich deutlich schlanker bauen, indem man Betone mit höherer Festigkeit, alternativen Bewehrungen oder Hybridkonstruktionen einsetzt, also etwa Ultrahochleistungs- oder Textilbeton. Zum anderen kann die Masse, die man für ein Bauteil benötigt, mit entsprechenden Mischungen CO₂-ärmer hergestellt werden. Das ist auch deshalb relevant, weil Masse ja in vielen Fällen von Vorteil ist – etwa beim sommerlichen Wärmeschutz oder wenn das Bauteil als thermischer Speicher funktionieren soll. Die Lösung muss sein, beide Möglichkeiten zu nutzen: dort, wo es möglich ist, weniger

Beton zu verbrauchen, und ansonsten auf die CO₂-Reduktion durch eine geschickte Zusammensetzung und Aussteuerung zu setzen. Auch das sind in gewisser Weise Hochleistungsbetone mit fein abgestimmter Rezeptur.

Neue Betone, wie etwa ultrahochfester Beton oder auch Ökobetone, haben jedoch im Moment noch einen vernachlässigbaren Marktanteil – hier werden Chancen bislang nicht genutzt. Im 3D-Druck gibt es noch viel Potenzial, um klimafreundlicher zu bauen. Fakt ist, dass es sich bei weit über 80 Prozent der Betone, die verbaut werden, um solche mit mittleren Druckfestigkeitsklassen von C20/25 bis C30/37 handelt. Bei der

Erstellung von einem Kubikmeter dieser Allzweck-Betone werden im Moment etwa 200 kg CO₂ freigesetzt. Dieser Beton wird auch weiterhin für viele Bauaufgaben die erste Wahl sein – allein deshalb muss seine Herstellung optimiert, müssen überflüssige CO₂-Emissionen vermieden werden.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

Das Gespräch führte Claudia Hildner.

Sie ist Autorin für Architektur und Bautechnik und lebt und arbeitet in Düsseldorf.

www.baustoff.uni-hannover.de



Prof. Michael Haist studierte Bauingenieurwesen an der Universität Karlsruhe (TH) und war anschließend bis 2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe. 2009–2018 war er Oberingenieur am Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Abt. Baustoffe und Betonbau, des Karlsruher Instituts für Technologie. 2013–2018 leitete er hier die Abteilung Betonbau und Bauphysik der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt. 2016–2017 war er als Forschungsstipendiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft Visiting Scientist am Concrete Sustainability HUB des Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, USA. Seit 2019 ist Michael Haist Universitätsprofessor für Baustoffe an der Leibniz Universität Hannover.

Digitales Klima-Engineering

CLEMENS RUSS

Herr Russ, während des ersten Lockdowns hat Ihr Team von zu Hause aus gearbeitet, aber Sie haben auf digitalem Weg gemeinsam gekocht und gegessen. Wie hat das geklappt?

Clemens Russ: Das hat sehr gut geklappt! Wir haben einmal wöchentlich gemeinsam mit Starkoch Konstantin Filipou eines seiner inspirierenden Rezepte nach seiner persönlichen Anleitung gekocht. Wir haben uns gegenseitig in die Töpfe geschaut und anschließend per Videokonferenz zusammen gegessen. Diese sehr schöne Idee hatten unsere Geschäftsführer.

Sie haben den österreichischen Pavillon für die Expo 2020 in Dubai geplant. Mit einem Jahr Verzögerung findet die Expo nun vom 1. Oktober bis zum 31. März 2022 statt. Was ist das Besondere an diesem Pavillon?

Die Expo stellt unter dem Motto „Connecting Minds, Creating the Future“ die Frage nach Zukunftsvisionen, Konzepten und Technologien zum Zusammenleben in einer zunehmend vernetzten Welt. Im Einklang mit diesem übergeordneten Thema bietet der österreichische

„Erste Prämisse unserer Entwurfsidee war eine kegelförmige Kubatur, die an die historischen Windtürme angelehnt ist.“

Pavillon einen adäquaten Raum, um in den multikulturellen Dialog über Fragen einer nachhaltigen Zukunft zu treten. „Austria makes sense“, lautet die Devise, nach der sich unser Land hier vorstellt.

Den Pavillon haben wir mit 38 ineinander verschnittenen Kegeln divergierender Höhe, gefertigt aus Betonfertigteilen, gestaltet. Gruppirt um drei begrünte Höfe entstehen dabei innen wie außen spannende Raumfolgen von unterschiedlicher Atmosphäre.

Warum haben Sie die Kegelform gewählt?

Bei der Kühlung eines Raumes geht es nicht um die tatsächliche Raumtemperatur, auf die er runtergekühlt werden kann, sondern vor allem um die gefühlte. Daher hat man früher im arabischen Raum, wo es im Sommer sehr heiß ist, beim Bau von Gebäuden auf Windtürme gesetzt. Diese Türme ermöglichen eine Luftzirkulation, durch die sich für den Menschen die Temperatur kühler anfühlt.

Erste Prämisse unserer Entwurfsidee war daher eine kegelförmige Kubatur, die an diese historischen Windtürme angelehnt ist. Diese Entwurfsidee, die auf ein möglichst nachhaltiges Klima-Engineering ausgerichtet war, sollte darüber hinaus auch unserer zweiten Zielsetzung, nämlich einer möglichst nachhaltigen Nutzung und Wiederverwendbarkeit des Pavillons, entsprechen.

Wie haben Sie dann Ihre Materialentscheidung getroffen?

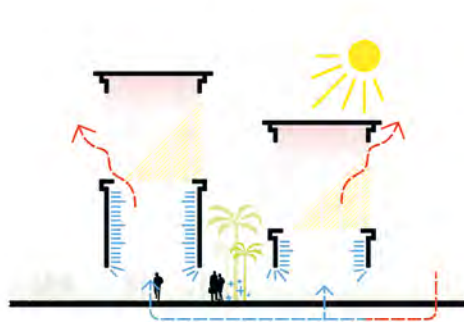
Was die einzusetzenden Baumaterialien betrifft, waren wir zunächst ganz offen und haben verschiedene Materialien für den Bau der Kegel in Erwägung gezogen: Stampflehm, Holz, Stahl, Ortbeton, Betonfertigteile und Beton-3D-Druck. Wir stellten jedoch schon bald fest, dass Stampflehm, das traditionelle lokale Baumaterial, nicht in Frage kam, weil es dafür vor Ort keine Normen gibt. Beton-3D-Druck ließ sich ebenfalls nicht vor Ort realisieren.

Gemeinsam mit dem auf Klima-Engineering spezialisierten Ingenieurbüro P. Jung erarbeiteten wir daraufhin detaillierte lokale Klima-Analysen, die alle Wetterdaten der letzten Jahrzehnte inklusive der jeweiligen Extremwerte mitberücksichtigten. Auf der Basis dieser Daten ermittelten wir dann mithilfe der Computersimulation das ideale Baumaterial, die ideal einzusetzenden Materialstärken sowie die ideale Bauweise.

1 Für den österreichischen Pavillon für die Expo 2020 in Dubai ließen sich querkräft Architekten von den historischen Windtürmen und den klimaregulierenden Eigenschaften der arabischen Lehmarchitektur inspirieren. Die Entwurfsidee, die auf ein möglichst nachhaltiges Klima-Engineering ausgerichtet war, sollte auch einer nachhaltigen Nutzung und Wiederverwendbarkeit des Pavillons entsprechen. Die Bau-traditionen des Gastgeberlandes neu interpretierend bilden 38 ineinander verschnittene Betonkegel unterschiedlicher Höhe die unverwechselbare Gestalt des Pavillons.



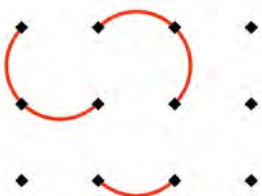
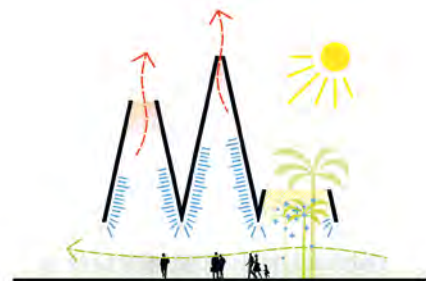
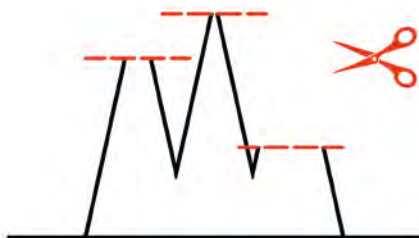
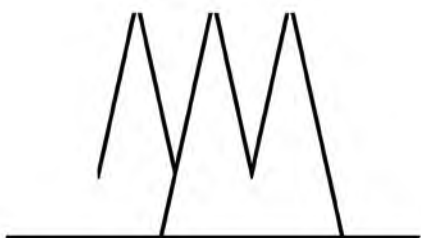
Clemens Russ ist Mitarbeiter des Architekturbüros querkraft Architekten in Wien und Projektleiter des Österreichischen Pavillons auf der Expo 2020 in Dubai.



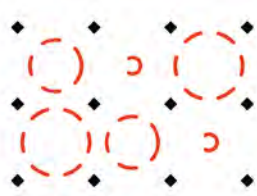
traditional building principles



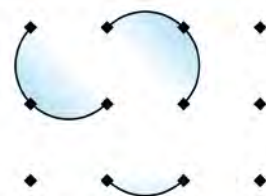
climate engineering concept



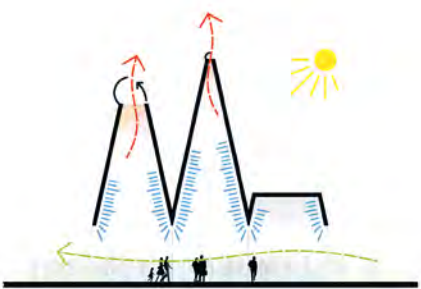
space creation



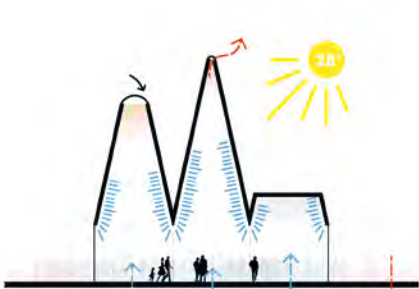
vertical development



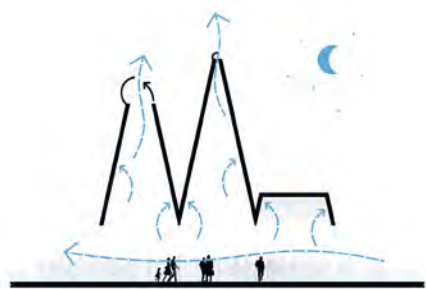
climate engineering



daytime condition 1
outside air temperature under 28°



daytime condition 2
outside air temperature over 28°



nighttime



concourse route

kiosk

emergency exit

vip entrance

services



Was war das Ergebnis der digitalen Analyse?

Die einzelnen Materialien performten gar nicht so unterschiedlich, dennoch stellte sich dabei heraus, dass eine Bauweise in Stahlbeton vor Ort die optimalste wäre. Zum einen wies Beton die besten Werte bei Statik und Brandschutz auf, zum anderen waren sowohl das Material als auch das Know-how vor Ort verfügbar, so dass wir damit bauen konnten. Und schließlich ist es natürlich auch die Speichermasse des Betons, welche die Kühlung des Pavillons maßgeblich mit unterstützt.

Warum haben Sie sich für den Bau mit Betonfertigteilen entschieden?

Die verantwortungsvolle Nachnutzung war uns besonders wichtig. Normalerweise werden die Pavillons einer Expo nur sechs Monate lang genutzt. Wir haben daher die einzelnen Betonfertigteile der jeweiligen Kegel unseres Pavillons wie ein Puzzle konstruiert. Sie können – wie derzeit auf der Expo – als 38 Kegel zusammengesetzt werden, die Einzelteile können aber auch als solche oder in anderer Zusammensetzung an einem anderen Ort wiederverwendet werden. Diese Konzeption lässt sich nur mit Betonfertigteilen realisieren, die übrigens auch vor Ort in Dubai hergestellt wurden. Wir sind derzeit mit der German University of Technology im Oman und der Expo 2020 Dubai im Gespräch, die an der Nachnutzung des Pavillons interessiert sind.

Warum sind die Außenseiten der Kegel weiß gestrichen?

Unsere Simulationsberechnungen hatten ergeben, dass die Reflexionswerte der äußeren Betonoberfläche bei 75 bis 80 Prozent liegen müssen, um maximale Oberflächentemperaturen von 40 Grad Celsius zu erreichen. Ohne den weißen Anstrich hätten die Werte bei ca. 80 Grad Celsius gelegen.

Haben Sie Ihr Ziel, das Zusammenspiel von lokaler Bautradition und intelligentem Climate Engineering, erreicht?

Trotz des heißen Wüstenklimas können wir weitgehend auf konventionelle Klimatechnik verzichten. Für die extrem heißen Monate Oktober und März und Tage mit besonders erhöhten internen Lasten – bedingt durch ausgesprochen hohe Besucherzahlen und den dann verstärkten Einsatz von technischen Küchengeräten – installierten wir jedoch ein zusätzliches, sehr fein abgestimmtes climate engineering, kombiniert mit einer sehr gering dimensionierten Kompressionskälteanlage. So kommen wir im Vergleich mit anderen Pavillons beim österreichischen mit 70 Prozent weniger Energie aus. Wir denken, dass er damit auch einen Beitrag zur Energiedebatte und zu Fragen des klimasensiblen Bauens leistet – nicht zuletzt dank digitaler Simulationen.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

„Die verantwortungsvolle Nachnutzung war uns besonders wichtig.“



1 + 2 Der österreichische Pavillon ist für Besucherinnen und Besucher der Expo ein Ort der Entschleunigung und Ruhe bei angenehmem Raumklima, Tageslicht und Naturbezug. Von Beginn an auf sparsamen Ressourceneinsatz hin konzipiert, besteht die Konstruktion aus lediglich acht unterschiedlichen Betonfertigteiltypen. Nach der Expo werden die Kegel in ihre Einzelteile zerlegt und an anderem Ort im arabischen Raum erneut aufgebaut.

Kathedrale der Mobilität

WIE DIE KELCHSTÜTZEN AM STUTTGARTER BAHNHOF ENTSTANDEN

So ziemlich das Maximum dessen, was Architektinnen und Architekten heute zu leisten imstande sind.

Dieses Projekt hat das Zeug, eine Kathedrale der Digitalmoderne zu werden: Von einer schmalen Basis aus weiten sich 28 Stützen und scheinen ein Lasso aus Beton in die Luft zu werfen, das in der Mitte verglast ist. Die Lichtaugen der innovativen Kelchstützen werden Tageslicht in die 420 Meter lange und 80 Meter breite unterirdische Bahnhofshalle schaufeln.

Entsprechend anspruchsvoll, ja herausfordernd war der Entwicklungs- und Entstehungsprozess. Äußerste Präzision war gefragt. 350 Pläne im Format DIN A0 umfasst allein die Bewehrungsplanung jedes Kelches mit seinen rund 350 Tonnen Bewehrungsstahl. Um das gesamte Schalendach darzustellen, braucht es rund 12.000 Bewehrungspläne. Die 23 Regelstützen, vier Flachkelche und ein weiterer, besonderer, stabil geplanter, durch den eine Rolltreppe zum Ausgang Richtung Kurt-Georg-Kiesinger-Platz führt, bilden die Kräfte der gewaltigen Konstruktion ab; entwickelt wurden sie vom Architekten Christoph Ingenhoven in Zusammenarbeit mit Frei Otto. Die beiden wählten eine Konstruktion, die Frei Ottos weltbekanntes Pavillon von Montreal gewissermaßen auf den Kopf stellt. Aus einer zugbeanspruchten Konstruktion, die in einer Spitze endet, wurde ein Massivbau aus Beton, der unter der Erde liegt und in einem schlanken Säulenfuß ausläuft – so beschreibt dies Projektleiterin Angelika Schmid, die bei der Werner Sobek AG federführend alle Prozesse rund um die Tragwerksplanung koordiniert.

Diese Baustelle hat es in sich, nicht etwa, weil der Wettbewerbsgewinn inzwischen ein Vierteljahrhundert zurückliegt, sondern weil der unterirdische Durchgangsbahnhof „Stuttgart 21“ so ziemlich das Maximum dessen darstellt, was Architektinnen und Architekten, Tragwerksplanerinnen und Tragwerksplaner heute zu leisten imstande sind: Ohne Computerhilfe hätten sie weder die komplexe Geometrie der Kelchstützen in den Griff bekommen noch die gewünschten Qualitäten des Sichtbetons (Sichtbetonklasse SB4) mit seinen CNC-gefrästen Schalungen erreicht. Die Koordination der komplexen Schalung und Bewehrung erfolgte über die cloud-basierte BIM-Plattform Allplan Bimplus, die Berechnung der Kräfte in einem Finite-Elemente-Modell, das den architektonischen Entwurf – ein 3D-Modell in Rhinoceros – mit seinen ständig veränderten Materialdicken sowie synklastisch und antiklastisch gekrümmten Bauteilen aufnahm.

Beim Bau hatte jeder Kelch noch Hilfsstützen, im Endzustand stabilisieren sich die Kelche über das sie verbindende Dach dann untereinander. Auch beim Datentransfer zwischen den Architektinnen und Architekten und den Ingenieurinnen und Ingenieuren war äußerste Präzision gefragt. Daten aus dem Rhino-Modell wurden in das Finite-Elemente-Modell exportiert und mit den maßgebenden Lasten gerechnet. Hierbei wurde schnell klar, wo die Wandstärken dicker oder dünner werden mussten. Ähnliches galt für die Schalungen, die man sich als Puzzle vor-





stellen muss, das mit möglichst wenigen Teilen auskommen sollte. Rund 550 der 600 Schalelemente pro Kelch lassen sich wiederverwenden. Während sich der überwiegende Teil wiederholt, gab es für die unterschiedlich langen Füße Spezialbauteile. Ist dieser Planungsansatz jetzt ein Modell für alle weiteren Großbaustellen? Angelika Schmid meint: „Ich denke ja.“

Im Grunde brauchte es Ingenieure mit dem Verständnis von Bildhauern, um Kurven dritten Grades in ein elegantes Betontragwerk zu übersetzen. Die einzelnen Schalungen wurden daher auch nicht von Hand vor Ort gefertigt, sondern anhand des 3D-Modells aus verleimten Holzblöcken gefräst. Noch sind die Kelchstützen gut von oben zu sehen, wenn Bahnreisende die Großbaustelle auf eigenen Fußgängerbrücken überqueren. Bald jedoch werden sie unter dem Schalendach verschwinden und dann nur noch von unten zu sehen sein. Was dann von der Baustelle bleibt, ist ein gläsernes Auge zum Himmel und ein Landschaftspark über dem neuen Bahnhof.

Das eigentliche Wunderwerk bleibt darunter verborgen: eine 420 Meter lange fugenlose Bahnhofshalle auf einzigartigen Stützen.

Dr. Oliver Herwig



1 - 4 Für das Projekt „Stuttgart 21“ entwarf Christoph Ingenhoven „Lichtaugen“ – tropfenförmige Oberlichtöffnungen, die als herabfließende Geschoss Pfeiler – die sogenannten Kelchstützen – auf den Bahnsteigen ruhen. Die Kelchstützen bilden das architektonische Highlight des neuen Durchgangsbahnhofs und setzen neue Maßstäbe bezüglich Statik und Design. Durch ihre kelchartige, sich nach oben öffnende Form leiten sie das Tageslicht direkt von außen in die Bahnsteighalle.

Neuland betreten

ANGELIKA SCHMID

Frau Schmid, um die Konstruktion zu verstehen: Was hat es mit den Kelchstützen auf sich?

Angelika Schmid: Die 28 Kelchstützen sind das wesentliche funktionale und gestalterische Element des neuen Bahnhofs. Mit ihrer eleganten kelchartigen Form sorgen sie für die natürliche Belichtung und Belüftung des Bahnhofs und sind das wesentliche lastabtragende Element des Schalendaches.

Gab es vergleichbare Konstruktionen, auf die Sie sich beziehen konnten?

Die Formfindung beruht auf dem Prinzip der Seifenhaut- und Hängemodelle. In ähnlicher Form fand dieses beispielsweise Anwendung beim Pavillon für die Expo 1967 in Montreal, der heute an der Universität Stuttgart steht. Hierbei handelt es sich um leichte Flächentragwerke. Durch das Umdrehen der Struktur entwickelten Ingenhoven und Frei Otto ein sehr effizientes Betontragwerk.

Worin lag die besondere Herausforderung?

Diese lag vorrangig in den vielen zu berücksichtigenden Randbedingungen, wie in der komplexen Geometrie (doppelt gekrümmt und variierende Bauteilstärken), der großen fugenlosen Ausdehnung, den Zwängen aus Erdlasten und angrenzenden Bauwerken – also S-Bahntunnel, Stadtbahntunnel, Bonatzbau und mehr – oder dem schwierigen Stuttgarter Baugrund.

Ohne Computermodelle wäre das Projekt wohl undurchführbar?

Sicher hätten Planung und Ausführung ohne Computermodelle um ein Vielfaches länger gedauert und wären wesentlich aufwändiger gewesen. Auch wäre die statische Bemessung grober und damit weniger wirtschaftlich und effizient erfolgt.

Wie haben Sie es rechnerisch gelöst und mit welchen Modellen?

Es gibt viele verschiedene FE-Modelle (Gesamtmodell, Teilmodelle, Bauphasenmodell, Brückenmodell), die den Fokus jeweils auf bestimmte Bereiche bezie-

hungsweise Aspekte legen. Alle Modelle waren auszuwerten und zu berücksichtigen. Neuland betreten wir dabei in vielerlei Hinsicht: Sei es bei der Art der Modellierung, der Auswertung der Ergebnisse über mehrere Modelle hinweg, aber auch bei der Umsetzung in Rohbau und Bewehrungsplanung, die mittels parametrischer Programmierung ebenfalls vollständig in 3D erfolgte.

Auch die Ausführung ist äußerst innovativ ...

Die Sicherstellung einer guten Ausführbarkeit war ein integraler Bestandteil der Planung. So wurden etwa die Kelche mit ihren verschiedenen Gesamthöhen geometrisch so optimiert, dass die Schalungselemente weitestgehend wiederverwendet werden können. Nicht nur die Rohbauplanung erfolgte in 3D, auch die Schalung wurde anhand des 3D-Modells aus verleimten Holzblöcken gefräst. Das ist sicher ein Novum. Ganz zu schweigen von den Herausforderungen bei den Bewehrungsarbeiten mit 1.500 unterschiedlichen Stabpositionen je Kelchstütze und vielen unterschiedlichen Biegeformen.

Was für Überraschungen gab es auf der Baustelle?

Da alles sehr gründlich geplant worden war, gab es tatsächlich nur wenige kleine Überraschungen auf der Baustelle, die alle problemlos ausgeräumt werden konnten. Für den einen oder anderen Skeptiker ist es sicher überraschend zu sehen, wie gut diese komplexe Struktur baubar ist.

Was für Erfahrungen nehmen Sie aus dem Projekt mit?

In jedem Fall die Erkenntnis, dass selbst bei sehr komplexen Bauvorhaben extrem viel möglich ist, wenn innovative 3D-Planung eingesetzt wird und eine frühzeitige Abstimmung mit allen Beteiligten erfolgt.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

Das Gespräch führte Dr. Oliver Herwig



Angelika Schmid, geb. am 18.02.1976 in Hannover, verantwortet als Projektleiterin die Tragwerksplanung für den neuen Stuttgarter Tiefbahnhof. Sie studierte an den Universitäten Stuttgart und Trondheim (Norwegen) Bauingenieurwesen und ist seit ihrem Abschluss bei Werner Sobek tätig. Nach ihrem Einstieg wurde Angelika Schmid schnell Projektleiterin in den Büros in Stuttgart und in New York. Seit 2013 ist sie Prokuristin und Teamleiterin bei der Werner Sobek AG in Stuttgart.

1 Für die Bahnsteighalle werden insgesamt 28 Kelchstützen aus Sichtbeton gebaut. Pro Kelchstütze müssen über 1.000 Quadratmeter Fläche geschalt werden. Für den Kelchfuß werden vier vorgefertigte, dreidimensionale Schalblöcke verspannt. Für den eigentlichen Kelch werden 60, für die aufgesetzte Hutze noch einmal 24 Schalelemente benötigt.



KI zur Aussteuerung CO₂-reduzierter Zemente und Betone

LEOPOLD SPENNER

Herr Spenner, Sie haben 2018 das Start-up alcemy gegründet – mit dem Ziel, mittels KI die Zement- und Betonherstellung zu optimieren. Wie sind Sie auf diese Idee gekommen?

Leopold Spenner: Ich stamme aus einer Familie, die heute in der vierten Generation Zement und Beton herstellt, bin also sozusagen mit dem Baustoff Beton aufgewachsen und habe schon als Schüler in den Ferien Praktika in Zement- und Transportbetonwerken absolviert. Während meines Studiums des Wirtschaftsingenieurwesens am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) habe ich dann unter anderem zum Thema des maschinellen Lernens für die Vorhersage der Mahlfineinheit von Zementmühlen gearbeitet und konnte später beim Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) an einem Forschungsprojekt zum Thema CO₂-Abscheidung (Carbon Capture) mitwirken. Nach einem Praktikum in einer Unternehmensberatung und nachdem ich im Rahmen einer Indienreise mit meiner Hochschulgruppe verschiedene Start-ups kennengelernt hatte, wurde mir klar, dass ich unbedingt selbstständig arbeiten

möchte. Im Rahmen des Start-up-Gründungsprogramms „Entrepreneur First“ in Berlin lernte ich dann meinen Mitgründer Dr. Robert Meyer kennen, der zuvor die dynamische, KI-gestützte Preissteuerung von täglich über 100.000 Bustickets für das Unternehmen FlixBus aufgebaut hatte. Gemeinsam überlegten wir, wie wir mit unseren Fähigkeiten die Branche bei der Bewältigung der Jahrhundertaufgabe Dekarbonisierung unterstützen könnten. So entstand die Idee, eine KI-Software zur prädiktiven Qualitätsaussteuerung bei der Zement- und Betonherstellung zu entwickeln – mit dem Ziel, die Gleichmäßigkeit von Zementen und Betonen zu erhöhen, damit eine fortschreitende Absenkung des Klinkerfaktors und damit CO₂-Fußabdrucks zu ermöglichen und gleichzeitig die Arbeit im Labor und auf dem Leitstand zu vereinfachen – denn je klinkerärmer der Zement, desto höher die Anforderungen an eine gleichmäßige Produktion und Qualität.

Sie nutzen maschinelles Lernen und Regelungstechnik zur Vorhersage und Aussteuerung

der Qualitätseigenschaften von Zement und Beton. Wie kann das zur Dekarbonisierung von Beton beitragen?

Dafür müssen wir den Zementklinker betrachten: Er ist die wichtigste Zutat von Beton, denn er ist für dessen Festigkeit, aber auch fast ausschließlich für seinen hohen CO₂-Fußabdruck verantwortlich. Der effektivste Weg, den Baustoff erheblich zu dekarbonisieren, ist die Substitution von Zementklinker durch CO₂-arme Ersatzstoffe mit ähnlichen Eigenschaften. In der Vergangenheit waren das Hüttensand (ein Nebenprodukt bei der Stahlherstellung) und Flugasche (ein Nebenprodukt bei der Kohleverstromung), doch werden diese heute bereits zu fast 100 Prozent im Baustoff verwendet. Sie kommen daher nicht infrage, um die zementbasierten CO₂-Emissionen von ca. 120 Millionen Tonnen in der EU auf 0 zu bringen – zumal ihre Verfügbarkeit in Zukunft weiter abnehmen wird.

Wie in derzeit allen CO₂-Roadmaps der Zementindustrie zu lesen ist, sind Kalksteinmehl und calcinierte Tone die Klinkersubstitute der Zukunft. Beide bedeuten jedoch eine enorme Herausforderung für die Qualitätssteuerung im Transportbetonwerk: Kalksteinmehl bringt beispielsweise dem Beton deutlich weniger Festigkeit als Hüttensand oder Flugasche. Mit heutigen Betonrezepturen würden Betone mit hohen Kalksteingehalten im Zement also nicht fest genug werden. Deswegen bedient man sich betontechnologischer Maßnahmen, die auch bei hochfesten Betonen zum Einsatz kommen: sehr geringe Wasserzementwerte und optimierte Sieblinien – mit denen man das Maximum an Festigkeit aus den Zutaten herausholen kann. Dies ist in der Transportbetonpraxis aber schwer zu bewerkstelligen, da dabei ein neues Level von Präzision nötig wird: 10 Liter Ungenauigkeit in der Wasserdosierung können im Extremfall den Unterschied machen zwischen einem Beton, der alle Prüfungen besteht, und einem Beton, der durchfällt.

Daher kann man vereinfacht für die Zukunft sagen: je CO₂-ärmer ein Beton, desto höher die Qualitätsanforderungen in der Transportbetonproduktion. Unsere Technologie hilft Betonherstellern, mit ungeahnter

1 Einsatz der Software von alcemy auf dem Leitstand eines Zementwerks.



Präzision zu produzieren und dabei sogar Herstellungskosten einzusparen. Dabei verstetigt unsere Software bereits die Zementherstellung der Zulieferer, denn ein extrem gleichbleibender Zement ist die Basis für hohe Präzision im Transportbetonwerk. Ohne mehr Laboranten und Mischmeister einstellen zu müssen, können Transporthersteller so die CO₂-armen Betone der Zukunft verlässlich produzieren.

Um zu demonstrieren, dass dies nicht bloß leere Worte sind, haben wir selbst einen CO₂-armen Beton entwickelt, der ca. 60 Prozent CO₂-ärmer ist als ein heute bereits als „CO₂-arm“ geltender, standardmäßig verwendeter Transportbeton mit CEM III/A. Dies gelingt, indem 50 Prozent des Zementklinkers durch Kalksteinmehl substituiert werden und die Betonrezeptur Wasserzementwerte von unter 0,35 aufweist. Damit werden, nach aktuellem Stand, Innen- und Außenbauteile (die überwiegende Mehrheit der Bauteile in Deutschland), also XC4 XF1 bis zur Festigkeitsklasse C25/30, vermutlich sogar C30/37 betoniert werden können.

Wie sieht ihre Software in der Praxis aus?

Unsere Software verwendet Daten, die während der Produktion entstehen, und prognostiziert daraus laufend die erwarteten Qualitätseigenschaften. Dies gelingt, da wir unsere Algorithmen mit historischen Daten je Werk trainieren, also mit in der Vergangenheit gemessenen Daten aus der Produktion, und zeitgleich ermittelten Qualitätseigenschaften.

Die stetigen Prognosen können rund um die Uhr – selbst unterwegs und von jeglichem Endgerät – von Mitarbeitern aus Produktion und Qualitätssicherung eingesehen werden. Dies schafft ein neues Level an Transparenz und Information, welches die Grundlage für unseren Ansatz darstellt.

Darüber hinaus nutzen wir die Prognosen, um Abweichungen vorausschauend und automatisiert auszusteuern. Das bedeutet, dass alcemy laufend Rezeptureingriffe berechnet und über eine Schnittstelle automatisch an den Zement-Leitstand oder die Transportbeton-Anlagensteuerung übermittelt, um zum Beispiel von vornherein einen sonst zu früh erstarrenden Zement durch eine verminderte Mahlfeinheit oder einen sonst zu steifen Beton durch mehr Fließmittelzugabe zu verhindern.

Worin bestanden für Sie die größten Herausforderungen bei der Entwicklung und Implementierung Ihres neuen Systems?

Die größte Herausforderung besteht tatsächlich darin, unseren Prognose- und Optimierungs-Algorithmus rund um die Uhr mit qualitativ hochwertigen Daten zu speisen. So muss automatisiert mit Erfassungsfehlern umgegangen werden, die beispielsweise auf vertauschten Proben oder einfachen Tippfehlern beruhen. Noch tückischer sind wegdriftende Daten, die unseren Modellen falsche Zusammenhänge suggerieren – wie zum Beispiel durch Wartungsarbeiten an den Analysegeräten im Labor. Deswegen müssen wir enorme Ressourcen in die Themen Datensäuberung, Monitoring und Alerting investieren. Wenn wir an Digitalisierung oder maschinelles Lernen denken, sprechen wir zunächst stets über Algorithmen, die mit den von uns zur Verfügung gestellten Erfahrungswerten und Daten aus der jeweiligen Praxis gespeist werden. Die große Herausforderung besteht aber darin, dass die Praxis selten perfekt ist – und wir demgemäß auch nicht immer mit perfekten Daten arbeiten können.

Bei welchen Projekten wurden mittels Ihrer Software optimierte Betone bereits eingesetzt?

Wir unterstützen inzwischen über zehn Zement- und Transportbetonhersteller mit unserer Software. Im Rahmen unseres ersten Versuchsobjekts für unseren 60%-CO₂-reduzierten Transportbeton auf der Basis von Kalksteinmehl als Klinkersubstitut wurde

im August 2021 mit unserer Technologie die Bodenplatte einer Garage in Nordrhein-Westfalen in C25/30 XC1 erfolgreich betoniert. Weitere Projekte und Verbesserungen erfolgen laufend. Beim Projekt EDGE Edge East Side Berlin werden ähnlich CO₂-reduzierte Betone im Sommer des nächsten Jahres verbaut werden. Für dieses Vorhaben beantragen wir gemeinsam mit Lowke Schiessl Ingenieure eine Zulassung im Einzelfall.

Mit solchen Projekten versuchen wir, durch Kalksteinmehl und calcinierte Tone CO₂-reduzierten Betonen ihren Weg in den Markt zu ebnet. Wir hoffen, dass viele Projektentwickler, Bauherren, aber auch Hersteller von Zement und Beton darauf aufmerksam werden und derartige Betone bald aktiv nachfragen beziehungsweise sie auch in ihr Portfolio aufnehmen werden.

Wenn Architektinnen und Architekten mit diesen CO₂-reduzierten Betonen planen wollen – könnten sie dann auf diese Zulassung im Einzelfall zurückgreifen?

Unsere Kernkompetenz besteht in der Entwicklung von Software. Aber bei Interesse stehen wir selbstverständlich immer gerne auch für diese Fragen zur Verfügung.

Herzlichen Dank für das Gespräch!



Leopold Spenner, geb. 1992 in Lippstadt, studierte Wirtschaftsingenieurwesen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und ist Mitgründer und Geschäftsführer des 2018 gegründeten Unternehmens alcemy GmbH mit Sitz in Berlin.

Die Digitalisierung des Ortbetons

GROSSFORMATIGER 3D-DRUCK MIT TRANSPORTBETON

Aktuell wird weltweit daran geforscht, wie Transportbeton 3D-gedruckt werden kann, um den Baustoff ressourceneffizienter einsetzen und Arbeitsprozesse auf der Baustelle optimieren zu können.

2004 hat der US-amerikanische Forscher Behrokh Khoshnevis an der University of Southern California in Los Angeles als Erster ein Verfahren entwickelt, um Konstruktionen aus Beton zu drucken. Mit seinem Roboter, den er „Ein-Haus-an-einem-Tag-Maschine“ nannte, ließ er in seinem kleinen Universitätslabor ein Stück Hauswand aus Beton produzieren: 30 Zentimeter hoch und tief, etwa 1,50 Meter lang. Der gebürtige Iraner nannte sein Verfahren „Contour Crafting“. Khoshnevis meinte damals, dass seine Erfindung die gesamte Baubranche revolutionieren würde, denn mit ihr könnten binnen weniger Tage ganze Stadtteile, ja sogar irgendwann Unterkünfte auf anderen Himmelskörpern erstellt werden. 2014 gewann Khoshnevis einen von der US-amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA international ausgeschriebenen Wettbewerb zur Errichtung von Gebäuden mittels 3D-Baudruck auf dem Mond und Mars. Die Idee der Hausbaumaschine ist allerdings bis heute noch immer nicht zum Abschluss gekommen.

Beton aus dem Druckerkopf

Auf der ganzen Welt starteten in den letzten Jahren Entwicklungsprojekte für Contour Crafting. Das Verfahrensprinzip ist dabei stets ähnlich: Ein Gebäude wird am Computer entworfen, die Daten werden anschließend an den Drucker, einen vollautomatischen Portalroboter, der größer als das betreffende Gebäude ist, weitergeleitet. Über Behälter werden schnell härtende Spezial- und normale Betone zugeführt. Zunächst druckt der Roboter mithilfe des Spezialbetons Schicht für Schicht einen Rahmen; anschließend wird dieser mit normalem Beton gefüllt. Bei diesem

Verfahren können beispielsweise fertige Stahlgerüste oder auch Dämmung mit eingebracht werden. Nach diesem Prinzip wurden bereits 2014 in China einfache Häuser und ein sechsgeschossiges Gebäude gedruckt. Es folgten Projekte in Russland und den Niederlanden. In Deutschland entstand kürzlich in Beckum ein Einfamilienhaus und im bayerischen Wallenhausen das größte gedruckte Mehrfamilienhaus Europas: ein Fünffamilienhaus mit drei Stockwerken und ca. 380 Quadratmeter Wohnfläche. Die Wände beider Gebäude wurden dreischalig gedruckt: Der Druckkopf fuhr dabei ständig hin und her und schichtete die gepressten Betonschlangen präzise aufeinander; der entstandene Luftraum wurde mit Dämmmaterial aufgefüllt. In den Vereinigten Arabischen Emiraten soll bis 2025 ein Viertel aller Gebäude mittels 3D-Druck hergestellt werden.

Die bisher gebauten Projekte zeigen, dass die Technik des 3D-Drucks vom Prinzip her mit Ortbeton funktioniert. Die derzeitigen Herausforderungen für die Optimierung dieses Verfahrens bestehen darin, Alternativen für die Druckerportale, die konstruktionsbedingt größer als das zu erstellende Gebäude sein müssen, zu entwickeln und die für den 3D-Druck einzusetzenden Betone weiter zu optimieren.

„CONPrint3D“

Erfolgsversprechende Ansätze zur Bewältigung dieser Herausforderungen wurden seit 2014 an der Technischen Universität Dresden unter der Projektleitung von Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine vom Institut für Baustoffe, Prof. Dr.-Ing. Günther Kunze, Professur für Baumaschinen, und Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach vom

Institut für Baubetriebswesen im Rahmen des Forschungsprojekts „Beton-3D-Druck“ aus dem Förderprogramm „Zukunft Bau“ des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung entwickelt. Sie sind die Grundlagen für die Einführung eines neuen Bauverfahrens mit der Bezeichnung „CONPrint3D“.

Anders als bei den mehr als gebäudehohen Portaldruckern basiert dieses Bauverfahren auf bereits im Markt etablierten Baumaschinen, wie zum Beispiel Autobetonpumpen. Diese lassen sich nach geringen Modifikationen für die neue Technologie nutzen, behalten aber parallel dazu auch ihre ursprüngliche Funktionsweise bei. Die einfache Integration in herkömmliche Bauabläufe ist somit möglich.

Die neuartige Einbautechnologie für Beton wird in den gesamten Bauprozess integriert: Auf Building Information Modeling (BIM) basierende Planungsdaten werden aus einem 3D-Gebäudemodell extrahiert und die Daten anschließend an die modifizierte Betonpumpe übergeben. Damit wird die direkte Umsetzung eines zuvor digital erstellten Betonierplans in eine automatisierte Maschinenbewegung ermöglicht: Der Beton wird durch einen speziell entwickelten Druckkopf, der am Ende des Verteilmastes der Betonpumpe installiert ist, schichtenweise ausgebracht.

Für das neue Verfahren ist ein Transportbeton mit besonderen Frischbetoneigenschaften erforderlich, denn dieser muss während des Pumpvorgangs fließfähig sein und anschließend unmittelbar nach Austritt aus dem Druckkopf erstarren. Zum Einsatz kommen

Betone, wie sie auch sonst im Transportbetonwerk für andere Bauaufgaben hergestellt werden. Eine Eingliederung in den normalen „Produktionsalltag“ ist das Ziel.

In der langfristigen Entwicklung bietet CONPrint3D das Potenzial zum Druck von Betonstrukturen mit Stahlbewehrung und weist signifikante Optimierungspotenziale gegenüber herkömmlichen Bauverfahren auf. So sind mit diesem Verfahren laut der Technischen Universität (TU) Dresden vier bis sechs Mal kürzere Ausführungszeiten im Vergleich zum traditionellen Mauerwerksbau möglich. Für ihre Forschungsarbeiten erhielt das Team der TU 2016 den internationalen bauma-Innovationspreis in der Kategorie Forschung.

CONPrint3D ultralight

Die Forschungstätigkeiten an der TU Dresden wurden in den letzten Jahren mit dem Anschlussvorhaben CONPrint3D ultralight fortgesetzt, bei dem die baustofflichen, maschinentechnischen und baubetrieblichen Voraussetzungen für das schalungsfreie, kontinuierliche Bauen mit sogenanntem Schaumbeton geschaffen wurden. Dieser zeichnet sich durch eine besonders geringe Dichte aus. Im Fokus steht die Entwicklung eines druckfähigen

Schaumbetons und eines geeigneten Druckkopfes. Der Schaumbeton muss pumpbar, nach Austritt am Druckkopf formbeständig und nach Aushärtung ausreichend tragfähig für konstruktive Anwendungen sein; darüber hinaus sollte er eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

Regelwerke für 3D-gedruckten Transportbeton

Viele Arbeiten auf dem Gebiet des 3D-Drucks mit Beton konzentrieren sich auf den Feinbetondruck, der aber als Ersatz für das monolithische Bauen vor Ort ungeeignet ist. Die dabei verwendeten Betone und Mörtel entsprechen nämlich nicht den gültigen Betonnormen und weisen die spezifischen Probleme feinkörniger Gemische auf. Für monolithische Bauweisen sollten normkonforme Betone mit üblichen Ausgangsstoffen als Druckmedium Anwendung finden und im Vollformatdruck aufgetragen werden können. Neben geringeren Materialkosten und einer höheren Produktivität und Umweltverträglichkeit ermöglicht ein solcher Ansatz auch die Herstellung der äußeren Form und des statisch relevanten Querschnitts in einem Arbeitsgang. Das ist ein wesentlicher Vorteil im Vergleich zum Feinbetondruck, bei dem zu-

nächst nur die Konturen gedruckt werden, die dann im zweiten Gang mit „Nomalbeton“ zu füllen sind.

Im Rahmen ihres Forschungsvorhabens „Digitales Bauen – Großformatiger 3D-Druck mit Transportbeton“ untersucht die Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB) mit den Instituten für Baustoffe und für Mechatronischen Maschinenbau der TU Dresden aktuell, wie ein wissenschaftlich-technischer Rahmen für die Anwendung eines den heutigen Regelwerken entsprechenden Transportbetons für den großformatigen 3D-Druck geschaffen werden kann. Schwerpunkte des Forschungsvorhabens sind die Entwicklung von technologiekonformen Lösungsansätzen zur Herstellung, Förderung und dem Einbau von Betonen für die 3D-Druck-Bauweise, die Erarbeitung praxistauglicher Vorgehensweisen zur Festlegung, Einstellung und Prüfung der Materialeigenschaften von frischem und erhärtendem Beton für den Beton-3D-Druck sowie die Vorbereitung von technologiefördernden normativen Anpassungen. Das Forschungsvorhaben wird 2023 abgeschlossen werden.

Norbert Fiebig



1 + 2 3D-Druckversuche mit Transportbeton an der TU Dresden.



Zum Tod von Gottfried Böhm

DIE EXPRESSIVE KRAFT DER ARCHITEKTUR

„Beton kann Zug- und Druckkräfte gleichermaßen aufnehmen. Und Beton kann man formen, Stein nicht.“ So fasst Gottfried Böhm in seinem letzten Interview, das er anlässlich seines 100. Geburtstags im Jahr 2020 der Süddeutschen Zeitung gibt, prägnant und fast lakonisch die Vorteile des von ihm favorisierten Baustoffs zusammen.

Dem „Formen“ gilt sein besonderes Interesse: 1920 als Sohn des Architekten Dominikus Böhm in Offenbach geboren, beginnt er – nicht zuletzt aus dem anfänglichen Gefühl heraus, im Tätigkeitsfeld seines berühmten Vaters vielleicht nicht bestehen zu können – mit dem Studium der Bildhauerei bei Josef Henselmann in München, wechselt dann aber doch zur Architektur und diplomiert 1945 bei Hans Döllgast.

Zwar setzt das 2006 veröffentlichte, mehr als 460 Bauten und Projekte umfassende chronologische Werkverzeichnis einen im schwäbischen Jettingen für die Eltern 1942 gebauten Hühnerstall an die erste Position, doch wird er eigentlich durch die Sakramentskapelle „Madonna in den Trümmern“ bekannt, die 1947 bis 1950 in den Ruinen der Kölner Kirche St. Kolumba entsteht. Das kleine Werk steht paradigmatisch für den Wiederaufbau, der im Erzbistum Köln, aber natürlich auch darüber hinaus in der unmittelbaren Nachkriegszeit die vorrangige Aufgabe darstellt.

In vielen Projekten arbeitet Gottfried Böhm mit seinem Vater zusammen, realisiert aber auch parallel Arbeiten in Eigenregie. Schon bei der Madonna in den Trümmern kündigt sich ein Thema an, das ihn in den kommenden Jahren kontinuierlich zu Experimenten inspirieren wird: das der Gewebedecke, also zeltartigen, mitunter fast schwebenden Deckenstrukturen aus Beton, die ohne Schalungen erstellt

werden können. Inspirierend wirken hierfür die expressionistischen, in Rabitzkonstruktion umgesetzten Gewölbedecken seines Vaters Dominikus, aber auch seine Gespräche mit dem Ingenieur Fritz Leonhardt. Von der wie hängend wirkenden Gewölbedecke der Dreikönigskirche in Neuss über die zentralisierende, von Strebepfeilern gestützte Dachschale von St. Albert in Saarbrücken (1952–1954) und die mit Stahlseilen segelartig gespannte und in der Vierung durchbrochene Decke der Kirche St. Paulus in Velbert (1953–1955) führt sein variantenreicher Weg hier bis zum zeltartigen Betongebirge der Wallfahrtskirche in Neviges (1964–1968), seinem größten und vielleicht auch wichtigsten Kirchenbauprojekt. Dieses unstrittige Meisterwerk der Architektur des 20. Jahrhunderts ist in den letzten Jahren verstärkt auf Aufmerksamkeit gestoßen – aufgrund der nötigen Betonsanierung sowie einer Ausstellung des Deutschen Architektur-Museums in Frankfurt anlässlich des 100. Geburtstags von Gottfried Böhm. Ganz anders als der Dom von Neviges zeigt sich die nahegelegene Kirche Heilig Geist in Hochdahl-Sandheide (1967–1974), bei der Böhm beweist, dass sich auch aus der strukturalistischen Logik des Mero-Systems sakral wirkende Deckenstrukturen bilden lassen.

Der Kirchenbauboom, der nicht nur durch die Zerstörungen, sondern auch durch die demografischen Verschiebungen in Deutschland, besonders die Zuwanderung von vertriebenen Katholiken aus Schlesien und dem Sudetenland, ausgelöst wurde, ebbt in den 1970er Jahren ab; zunehmend prägen nun andere Bauaufgaben das Schaffen von Gottfried Böhm, wobei dies bereits Ende der 1950er Jahre mit dem Ausbau der Godesburg zu einem Hotel-Restaurant begonnen hat – zum Bergfried und den Mauerresten der Höhenburg im Süden von Bonn treten hier horizontale Sichtbetonstrukturen.



1 Gottfried Böhm mit seinem Sohn Paul bei den Dreharbeiten zu dem Film „Die Böhms – Architektur einer Familie“ von Maurizius Staerke-Drux. Der Film erschien 2015. **2** Gottfried Böhms Mariendom in Neviges.



„Beton kann Zug- und Druckkräfte gleichermaßen aufnehmen. Und Beton kann man formen, Stein nicht.“

Paradigmatisch für das Miteinander von Alt und Neu bei ihm ist die expressive Betonstruktur des Rathauses Bensberg (1962–1972), die sich in die historische Burganlage einfügt und das profane Pendant zur Wallfahrtskirche Neviges darstellt.

Mit kleinteiligen Strukturen in der Satellitenstadt Chorweiler (1966–1974) im Norden Kölns beweist Böhm, dass auch Alternativen zum monotonen Bauwirtschaftsfunktionalismus der Spätmoderne möglich sind.

Räume der Gemeinschaft interessieren Gottfried Böhm zeitlebens. Nach den Sakralbauten setzt der Architekt auch in anderen Bereichen auf große Hallen und Freiräume. Die Züblin-Verwaltung in Stuttgart-Möhringen besteht aus zwei Bürotrakten, zwischen denen sich eine große gläserne Halle aufspannt. Das 1985 fertiggestellte Gebäude fällt in die Blütezeit der Postmoderne in Deutschland und trägt Böhm im Folgejahr den Pritzker-Preis ein, der damit zum ersten Mal an einen deutschen Architekten verliehen wird (der fünf Jahre jüngere Frei Otto sollte ihn erst 2015 postum erhalten).

1989 wird der Mittelbau des Saarbrücker Schlosses fertiggestellt – keine Rekonstruktion des barocken Baukörpers und dennoch eine Nachschöpfung von dessen historischer Silhouette in Stahl und Glas. Zwischen Postmoderne und

Dekonstruktivismus oszillieren die WDR-Arkaden in Köln (1991–1996). Zu den wichtigen Bauten der spätesten Schaffensphase zählen die Glaspyramide der Stadtbibliothek in Ulm (1994) und das Hans-Otto-Theater in Potsdam (1996).

Mitunter arbeitet Gottfried Böhm mit seinen ebenfalls als Architekten tätigen Söhnen Stephan, Peter und Paul zusammen sowie mit Markus, der Maler geworden ist. Ein intimes Porträt der wichtigsten deutschen Architektenfamilie des 20. Jahrhunderts zeichnet der Filmemacher Maurizius Staerkle Drux 2014 in dem Dokumentarfilm „Die Böhms – Architektur einer Familie“ nach.

Gottfried Böhm, den seine Kinder den Boss nennen, ist der unbestrittene Patriarch, dem sich auch seine 2012 verstorbene, ebenfalls als Architektin ausgebildete Frau Elisabeth unterordnet. Dabei darf ihr Wirken im Büro nicht unterschätzt werden – vor allem im Bereich des Grundrissentwurfs und der Innenraumgestaltung. Das kleine und feine Pausenfoyer der Stuttgarter Staatsoper (1981–1984) ist beispielsweise primär ihr zuzuschreiben.

Hubertus Adam
ist Architekturkritiker und -historiker.
Er lebt und arbeitet in Zürich.



Beton web.messe 2022



Beton web.messe

Vom **26. bis 28. Januar 2022** veranstaltet das Informations Zentrum Beton (IZB) die 1. digitale Betonfachmesse mit begleitender Fachausstellung. Teilnehmende der **Beton web.messe** können sich im virtuellen Raum über Neuerungen in der Betontechnologie, Innovationen und Nachhaltigkeitsthemen informieren. Am ersten Tag werden verschiedene Themen der **Betontechnologie** vorgestellt: Betontechnik, Regelwerke, Sichtbeton und Schalungsbilder, die WU-Richtlinie als Grundlage für Planer und Bauausführende sowie Zementestriche. Am zweiten Tag geht es um **Innovationen**, wie 3D-Druck, Infralichtbeton und Carbonbeton. Schwerpunkte des dritten Tages sind Themen der **Nachhaltigkeit**. Hier geht es unter anderem um Recyclingbeton, klimaeffiziente Zemente und die Roadmap zur Dekarbonisierung der Zement- und Betonindustrie. Anmeldung unter www.beton-webmesse.de.

Mit über 300 Fachveranstaltungen und Seminaren jährlich bildet das IZB seit Jahren Architektinnen und Architekten, Ingenieurinnen und Ingenieure sowie Bauausführende weiter. Um das technologische Wissen zeitgemäß zu vermitteln, hat das IZB sein umfangreiches Weiterbildungsprogramm unter **Beton web.akademie** digital aufbereitet. Die Inhalte reichen vom neuesten Stand der Betonbautechnik und Architektur über Hoch-, Tief- und Ingenieurbau bis hin zum Straßenbau und den technischen Regelwerken. Neben der Anmeldung zu künftigen Web-Seminaren ist der Abruf von bereits gehaltenen Web-Seminar-Inhalten möglich. Viele der Seminare bieten Nachweise für die von den Architekten- und Ingenieurkammern verlangten Fortbildungen. Über den **Beton web.campus** können Studierende und Lehrende die digitalen Vorlesungen jederzeit abrufen.

Vom **22. bis 24. Februar 2022** finden die **66. BetonTage** in Ulm statt, dieses Mal wieder in Präsenz und mit Schwerpunkt auf dem persönlichen Austausch. Darüber hinaus werden die Vorträge eines Podiums pro Tag live gestreamt. Das Programm ist unter www.betontage.de/fachprogramm abrufbar.

www.beton-webmesse.de
www.beton-webakademie.de
www.betontage.de

Wettbewerbe

Bereits zum 13. Mal zeichnete das Informationszentrum Beton im Rahmen des Wettbewerbs **Concrete Design Competition** Studierende für herausragende Entwurfsarbeiten mit Beton aus. Nach der Bewertung von insgesamt 49 Einsendungen vergab die Jury Anfang August 2021 drei Preise und eine Anerkennung. Die interdisziplinär besetzte Jury bewertete 49 Forschungs- und Entwurfsarbeiten von Studierenden der Fachrichtungen Architektur, Innenarchitektur, Freiraumplanung, Konstruktiver Ingenieurbau, Produktdesign und Medienkunst. Der erste Platz ging an Studierende der TU Kaiserslautern, Lehrgebiet „Methodik des Entwerfens und Entwerfen“ unter der Leitung von Prof. Dirk Bayer für die Arbeit HB 797, UHPC Pavillon. Der zweite Platz wurde an Alexandros Tsalkitidis verliehen, Studierender an der Universität Stuttgart am ILEK unter der Leitung von Prof. Werner Sobek / Prof. Lucio Blandini. Der dritte Platz ging ebenfalls an Studierende der Universität Stuttgart: Luis Frisch und Leo Ritter von der Fakultät Architektur und Stadtplanung – ITKE Abt. BioMat unter der Leitung von Jun.-Prof. Dr.-Ing. Hanaa Dahn überzeugten mit dem Projekt MK 749, replacement. Der Wettbewerb wird für das kommende **Wintersemester 2021/2022 erneut ausgelobt**. Mit dem Thema Relmagine werden Ideen und Entwürfe gesucht, die den Einsatz von Beton einfallsreich durch wohlüberlegte dauerhafte Konstruktionen, wiederverwendbare Elemente, kluge Verfahren für Gebrauch/Wiederverwendung/Vermeidung von Schalung erkunden und Stellung zu wirtschaftlichen Gelegenheiten, Nachhaltigkeitsanforderungen oder sozialen Anliegen nehmen. Die Anmeldung erfolgt unter www.concretedesigncompetition.de.

Bedingt durch die Covid-19-Pandemie musste die **18. Deutsche Betonkanu-Regatta** verschoben werden. Doch jetzt geht es wieder los! Gepaddelt wird am **10. und 11. Juni 2022** auf dem Beetzsee in Brandenburg an der Havel. Ausschreibung und Anmeldung unter www.beton.org/inspiration/betonkanu-regatta.

www.concretedesigncompetition.de
www.beton.org/inspiration/betonkanu-regatta



Architekturreisen

ReiseArchitektTour richtet sich an Architektinnen und Architekten in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Die InformationsZentrum Beton GmbH führt auch 2022 Fachstudienreisen durch. Reisen Sie mit uns, um zu anderen Blickwinkeln und neuer Inspiration zu gelangen. Inhaltlich wie fachlich sind alle Reisen im Sinne der Fortbildung und beruflichen Weiterbildung so organisiert, dass Sie entspannt genießen können:

Oslo Juni 2022: Eine einzigartige Mischung aus atemberaubenden Landschaften und innovativer Architektur, wie beispielsweise jene der direkt am Fjord gelegenen neuen Oper von Snøhetta! Die neue architektonische Skyline beruht auf großartigen Ideen nordischer und internationaler Architekten. Sie zeigt modernsten Wohnungsbau und wie eine Stadterneuerung aus der Transformation alter Industriegebiete gelingen kann.

Kopenhagen / Bornholm Sommer 2022: Grüne Energie, Abfallwirtschaft und die erste Insel, die zur Welthandwerksregion ernannt wurde – dies sind nur einige der Merkmale, die Bornholm kennzeichnen. Mit der Reise „Bornholm – Vision und Pilotprojekt“ werden Experten aus Architektur und Industrie sowie Gemeinden und Kommunen Einblicke in die Initiativen der Bewohner Bornholms und der Eco-Metropole Kopenhagen geboten sowie Möglichkeiten zu einem gemeinsamen Ideenaustausch.

Leipzig und Dessau Frühjahr 2022: Neue Projekte wie die 251 Betonsäulen der SAB Bank als neuer öffentlicher Stadtraum, zukunftsweisende Mobilitätskonzepte und ein Besuch in der Trinitatis Kirche von Schulz & Schulz Architekten geben Einblicke in die sich rasant entwickelnde Stadt Leipzig. Für Bauhaus-Fans gibt es einen Anschlussstag, der zu den Ikonen der Bauhausarchitektur in Dessau führt.

Architektur, die berührt, zeigen wir 2022 unter anderem auch in Tel Aviv, Luxemburg und der Schweiz sowie traditionell in Blaibach, wo Sie ein unvergessliches gemeinsames Konzerterlebnis erwartet.



Literatur

Das Recycling von Beton führt zu einer Einsparung primärer Rohstoffe. Dabei wird der Betonabbruch aus Bauwerken aufbereitet und erneut der Produktion zugeführt. Zunächst wird er zerkleinert und in einzelne Kornfraktionen getrennt, so dass Betonsplitt entsteht. Dieser wird dann bei der Herstellung von Frischbeton genutzt. Das InformationsZentrum Beton hat kürzlich einen **Sonderdruck „R-Beton in der Praxis“** mit den in den letzten Jahren erschienenen Beiträgen zum Thema Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen aus der Zeitschrift beton zusammengestellt. Der 80-seitige Sonderdruck bietet einen umfassenden Überblick über das Bauen mit R-Beton – so enthält er eine Übersicht zu den Regelwerken in Deutschland und beschreibt die Anforderungen an RC-Gesteinskörnungen im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit, neue R-Beton-Konzepte und die Herstellung von R-Beton im Transportbetonwerk sowie den Status quo und die Zukunft der Aufbereitungstechnik. Darüber hinaus werden mit R-Beton realisierte Projekte in Deutschland und Europa sowie in öffentlichen Neubauten vorgestellt, darunter die Umweltsation in Würzburg und eine Fassade aus R-Beton mit 100 % Typ 2 RC-Gesteinskörnung. Der Sonderdruck „R-Beton in der Praxis“ kann gegen eine Gebühr von 2 Euro im betonshop bestellt werden.

Die 64-seitige **Broschüre Wohnungsbau mit Betonfertigteilen** zeigt, wie zukunftsgerechte Wohngebäude und städtebauliche Architektur mit Betonbauteilen realisiert werden können und führt die Vorteile der Bauweise detailliert aus. Dazu gehören neben der Dauerhaftigkeit in gleicher Weise die statisch-konstruktiven und bauphysikalischen Eigenschaften wie die vielfältigen gestalterischen Möglichkeiten. In insgesamt 17 Kapiteln gehen die Autoren auf unterschiedliche Decken- und Wandsysteme ein und stellen verschiedene Betonfassaden vor. Außerdem werden die Themen Treppen, Aufzugschächte, Balkon- und Loggienplatten behandelt. Die Broschüre wurde von Verbänden und Fachorganisationen der Betonfertigteilbranche erstellt und vom InformationsZentrum Beton herausgegeben. Sie ist kostenfrei als Download im www.betonshop.de erhältlich.

PROJEKT- UND FOTONACHWEIS

Projektnachweis:

Titel: Striatus-Brücke, Venedig, Block Research Group, Zürich / Zaha Hadid Architects Computation and Design Group, London; Seite 2 [1] New Arch Aarhus School of Architecture, Aarhus, DK, ADEPT/ Copenhagen, Kopenhagen; 4 [1] Striatus-Brücke, Venedig; 4 [2] BIM-Modell Gasteig Modernisierung, München, HENN, München; 4 [3] Große Moschee, Algier, KSP Engel, Frankfurt; 4/5 [4] Striatus-Brücke, Venedig; 8 [1] + 8 [2] + 8 [3] + 9 [4] Knit Candela, Mexico City, Block Research Group, Zürich / Zaha Hadid Architects Computation and Design Group, London; 10 [1] + 11 [2] + 12 [1] HiLo - Research & innovation unit for NEST, Dübendorf, CH, Block Research Group, Zürich; 13 [2] Beyond Bending - Venice Architecture Biennale 2016, 3D-printed floor, Block Research Group, Zürich; 14/15 [1] Striatus-Brücke, Venedig; 17 [1] Skizze der Großen Moschee, Algier, KSP Engel, Frankfurt; 17 [2] + 18/19 + 20 [1] + 21 [2] Große Moschee, Algier, KSP Engel, Frankfurt; 23 [1] You+Pea, London Developers Toolkit, 2020; 24 [1] John Frazer, Reptile Flexible Enclosure System, 1970; 24 [2] Otto Beckmann, Imaginäre Architektur, Fotomontage, 1977-1980; 24 [3] John Frazer, Julia Frazer, John Potter, The Walter Segal Model, 1982, © John Frazer, Julia Frazer; 25 [4] Richard Junge, Diasammlung des Lehrstuhls für Architekturinformatik der TUM; 26 [1] Bernhard Franken, BMW Bubble, 1991-1999; 26 [2] SHoP Architects, Dunescape, 2000; 26 [3] Keiichi Matsuda, Hyper-Reality, 2016; 27 [4] Jana Čulek, Hilma af Klint Museum, A Temple for the Pictures, 2017; 29 [1] Rosenstein-Pavillon, Stuttgart; 33 [1] Gasteig Modernisierung, München, Vogelperspektive, HENN, München; 34 [1] BIM-Modell Gasteig Modernisierung, München, Schnittperspektive, HENN, München; 35 [2] Gasteig Modernisierung, München, Philharmonie, HENN, München; 36 [1] + 38 [1] Digital Building Fabrication Laboratory (DBFL) des Instituts für Tragwerksentwurf (ITE) der Technischen Universität Braunschweig; 42 [1] HafenCity Universität Hamburg – Universität für Baukunst und Metropolenentwicklung (HCU Hamburg), CODE UNIQUE Architekten, Dresden; 42/43 [2] "Level 5 Indoor Navigation" der HCU, CORE Digital Engineering GmbH; 44 [1-3] "Armadillo Vault" auf der Ausstellung "Beyond Bending", 15. Architekturbiennale 2016, Venedig, Block Research Group (Prof. Philippe Block und Tom Van Mele); 45 [5-6] "Droneport Prototyp", 15. Architekturbiennale 15. Architekturbiennale 2016, Venedig, Block Research Group / Norman Foster Foundation; 51 [1] Entwurfsidee für den österreichischen Pavillon, Expo 2020, Dubai, querkraft Architekten, Wien; 52 [1] + 53 [2] Österreichischer Pavillon, Expo 2020, Dubai, querkraft Architekten, Wien; 54 [1-2] + 55 [3-4] + 57 [1] Stuttgart 21, ingenhoven architects, Düsseldorf; 63 [2] Mariendom, Neviges, Gottfried Böhm; 65 [1] Neues Opernhaus Oslo, Snøhetta Arkitektur og Landskap A/S, Oslo; 67 New Arch Aarhus School of Architecture, Aarhus, DK, ADEPT/ Copenhagen, Kopenhagen.

Fotonachweis:

Titelfoto: Block Research Group / Zaha Hadid Architects / Studio Naaro; Seite 2 [1] ADEPT/Copenhagen/Rasmus Hjortshøj; 4 [1] Incremental3D; 4 [2] HENN, München; 4 [3] KSP Engel/Schnepp Renou; 4/5 [4] Incremental3D/Tom van Mele; 6 Elisabeth Real; 8 [1] Block Research Group / Zaha Hadid Architects / Lex Reiter; 8 [2-3] Block Research Group / Zaha Hadid Architects / Mariana Popescu; 9 [4] Block Research Group / Zaha Hadid Architects / Mariana Popescu; 10 [1] Block Research Group/Michael Lyrenmann; 11 [2] Block Research Group/Naida Iljazovic; 12 [1] Block Research Group/Juney Lee; 13 [2] Block Research Group/Anna Maragkoudaki; 14/15 [1] Block Research Group / Zaha Hadid Architects / Studio Naaro; 16 KSP Engel; 17 [1] Jürgen Engel, KSP Engel; 17 [2] KSP Engel/Zinedine Zebar; 18/19 + 20 [1] + 21 [2] KSP Engel; 22 Laura Trumpp; 23 [1] You+Pea; 24 [1] John Frazer; 24 [2] Archiv Otto Beckmann; 24 [3] John Frazer; 25 [4] Architekturmuseum der TUM; 26 [1] Franken Architekten; 26 [2] SHoP Architects; 26 [3] Keiichi Matsuda; 27 [4] Jana Čulek/Studio Fabula; 28 [1] privat; 29 [1] + 29 [2+3] + 30 [1] + 31 [1-3] Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren, Universität Stuttgart (ILEK); 32 [1] + 33 [1] + 34 [1] + 35 [2] HENN; 36 [1] Justus Hoven/TU Braunschweig; 37 [1] + 38 [1] + 39 [2] TU Braunschweig; 40 [1] privat; 41 [1] Hamburg Marketing/Jan Brandes; 42 [1] + 42/43 [2] HafenCity GmbH; 44 [1] Block Research Group / Nick Krouwel; 44 [2] Block Research Group/Anna Maragkoudaki; 44 [3] Block Research Group/Iwan-Baan; 45 [5-6] Block Research Group/Nigel Young and The Norman Foster Foundation; 49 [1] Institut für Baustoffe der Leibniz Universität Hannover/Marcel Ben Hassen; 50 privat; 51 [1] querkraft Architekten, Wien; 52 [1] querkraft Architekten/Kieran Fraser Landscape Design; 53 [2] querkraft Architekten/austriandelight.com; 54 [1] ingenhoven architects, Düsseldorf; 54 [2] + 55 [3] ingenhoven architects/HGEsch; 55 [4] ingenhoven architects, Düsseldorf; 56 [1] privat; 57 [1] ingenhoven architects/HGEsch; 58 [1] + 59 [1] alcemy GmbH, Berlin; 61 [1+2] TU Dresden/CONPrint3D; 62 [1] Lichtblick Film GmbH/Raphael Beinder; 63 [2] seier + seier - <https://www.flickr.com/photos/seier/> - (CC BY 2.0); 64 [1-2] InformationsZentrum Beton; 65 [1] ReiseArchitektTour/Henning Nielsen; 65 [2] InformationsZentrum Beton; 67 ADEPT/Copenhagen/Rasmus Hjortshøj.

betonprisma

Beiträge zur Architektur
57. Jahrgang
Ausgabe 112/2021

Herausgeber
InformationsZentrum Beton GmbH
Toulouser Allee 71, 40476 Düsseldorf

Redaktionsleitung
Ulrich Nolting
InformationsZentrum Beton GmbH
Toulouser Allee 71, 40476 Düsseldorf
Telefon: 0211 28048-300
ulrich.nolting@beton.org

Redaktionsbeirat
Michael Buchmann, Holger Kotzan,
Sabine Schädle, Dr. Simeon Stracke, Uwe Tesch

Fachliche Beratung
Dr. Thomas Richter

Idee und Konzeption
Baukultur + Kommunikation,
Düsseldorf / Berlin

Gestaltung
Heidrun Ohlenforst, Düsseldorf

Lektorat
Dr. Sigrid Hauser

Gesamtherstellung
Gotteswinter und Aumaier GmbH, München
Klimaneutral gedruckt, 100 % Recyclingpapier.

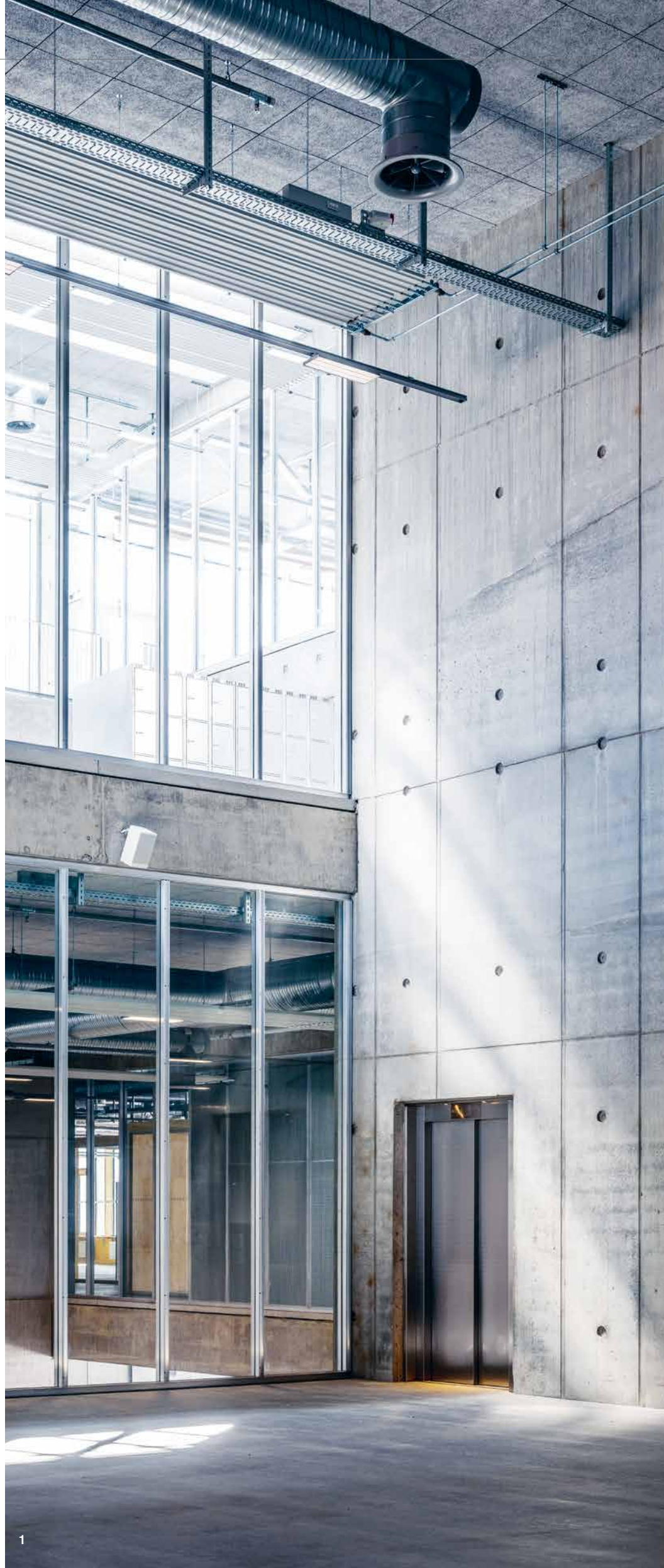
Für unverlangt eingesandte Manuskripte und
Fotos wird keine Haftung übernommen.

Dieses Werk und seine Beiträge sind
urheberrechtlich geschützt. Jede Wiedergabe,
auch auszugsweise, bedarf der Zustimmung
des Herausgebers. Die Beiträge in betonprisma
geben die Meinung der Autoren wieder.
Sie entsprechen nicht notwendigerweise
den Ansichten des Herausgebers.

ISSN-Nr. 0722-8643

betonprisma erscheint zweimal jährlich.
Alle künftigen Hefte können Sie unter
www.betonprisma.de/service abonnieren.

Alle bisherigen Ausgaben
finden Sie unter
www.betonprisma.de



GEMEINSCHAFT

Die Gemeinschaft ist die ursprünglichste Form unseres Zusammenlebens, ist Grundelement unserer Gesellschaft. Mit ihr begann auch das Bauen: Die Urhütte, so schreibt Vitruv in seinen „Zehn Büchern über Architektur“, wurde von ersten Gemeinschaften gebaut.

Wie lebenswichtig Zusammensein und Verbundenheit für uns sind, haben wir in letzter Zeit erfahren. Zurückgezogen können und wollen wir nicht leben. Trotz heute zunehmend individualisierter Lebensformen sehnen wir uns immer auch nach Gemeinschaft. Wir wollen gemeinsam leben und erleben: mit der Familie oder Freunden, den Nachbarn, den Bewohnerinnen und Bewohnern des Dorfes, der Stadt oder Region zusammen. In Communities.

Doch wie wollen wir künftig zusammenleben, wie unsere Plätze, Räume und Gebäude gestalten? Welcher Zusammenschlüsse bedarf es, um neue Orte des Zusammenlebens zu schaffen? Wie können wir in Gemeinschaft bauen? Und was bedeutet das nicht zuletzt für das Bauen mit Beton?

betonprisma „Gemeinschaft“ erscheint **im Mai 2022**.

betonprisma erscheint zweimal jährlich. Alle künftigen Hefte können Sie unter www.betonprisma.de/service abonnieren.