TAE

Herausgegeben von
Irmgard Lochner-Aldinger

1. Fachkongress Konstruktiver Ingenieurbau

Kompetenz-Plattform für die bautechnische Gesamtplanung

Tagungshandbuch 2022

expert

1. Fachkongress
Konstruktiver Ingenieurbau
10. und 11. Mai 2022
Technische Akademie Esslingen

Herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Irmgard Lochner-Aldinger

1. Fachkongress
Konstruktiver Ingenieurbau

Kompetenz-Plattform für die bautechnische Gesamtplanung

Tagungshandbuch 2022

DBZ Deutsche Bauzeitschrift
Ernst & Sohn A Wiley Brand
Deutsches Ingenieurblatt
expert
TAE Technische Akademie Esslingen
Ihr Partner für Weiterbildung

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Das vorliegende Werk wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Fehler können dennoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Weder Verlag noch Autoren oder Herausgeber übernehmen deshalb eine Haftung für die Fehlerfreiheit, Aktualität und Vollständigkeit des Werkes und seiner elektronischen Bestandteile.

© 2022. Alle Rechte vorbehalten.

expert verlag
Ein Unternehmen der
Narr Francke Attempto Verlag GmbH + Co. KG
Dischingerweg 5 · 72070 Tübingen
E-Mail: info@verlag.expert
Internet: www.expertverlag.de

Printed in Germany

ISBN 978-3-8169-3537-7 (Print)
ISBN 978-3-8169-8537-2 (ePDF)

Technische Akademie Esslingen e. V.
An der Akademie 5 · D-73760 Ostfildern
E-Mail: bauwesen@tae.de
Internet: www.tae.de

Vorwort

Der Konstruktive Ingenieurbau als transdisziplinäres, diversifiziertes Berufsfeld steht in der Herausforderung, seine Potenziale verantwortlich in die Zukunft der Gesellschaft einzubringen. Ressourcenverknappung und neue Materialien, moderne Analysemethoden und neue Entwurfswerkzeuge, innovative Fertigungsverfahren und nachhaltiges Planen und Bauen leiten von konkreten Problemstellungen zu zukunftsweisenden Lösungen.

Die Synthese divergierender Disziplinen und spezialisierter Berufsfelder führt zu einem gesamtheitlichen Eigenverständnis und einer verantwortlichen Positionierung in der Gesellschaft. Beteiligte aus Bauingenieurwesen, Architektur, Nachhaltigem Bauen und Bauindustrie arbeiten gemeinsam daran, aus diesem Mosaik ein neues Bild zu erschaffen.

Der erstmals stattfindende Fachkongress „Konstruktiver Ingenieurbau“ bildet dies in einer zweitägigen Veranstaltung ab. Ein hochqualifizierter, bundesweit aktiver Programmausschuss hat hierfür ein vielfältiges Programm zusammengestellt – an dieser Stelle herzlichen Dank für das Engagement aller Mitwirkenden.

Der Fachkongress besteht aus Plenarveranstaltungen in Form von Keynote-Vorträgen und einer Podiumsdiskussion, etwa 40 Fachvorträgen in parallelen Sessions, einer begleitenden Ausstellung und dem informellen, persönlichen Austausch.

Die im Fachkongress abgebildeten Themen lassen sich in folgenden Fachgebieten zusammenfassen:

- Materialien – Beton, Mauerwerk, Lehm, Stahl, Holz, Glas, Hybridbauweise
- Konstruktion – komplexe Geometrien, Fassaden, Neuerungen in Normen
- Bestand und Neubau – Erhaltung, Umbau, Ertüchtigung, Weiterverwertung
- Planung – Digitalisierung, Software, Regelwerke, BIM

Das vorliegende Tagungshandbuch enthält die vorab eingereichten Beiträge zu den Vorträgen und bietet somit in einem gebündelten Format einen Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik sowie neueste Entwicklungen und Ausblicke im Konstruktiven Ingenieurbau und den verwandten Disziplinen.

Weitere Informationen unter: www.tae.de/go/konstruktiv

Inhaltsverzeichnis

0.0	**Plenarvorträge**	
0.1	**Stadiondesign im aktuellen Zeitgeist** Knut Stockhusen	**13**
0.2	**Nachhaltig Bauen – recyclinggerechte und kreislauffähige Konstruktionen** Prof. Dipl.-Ing. Architektin Petra Riegler-Floors	**15**
1.0	**BIM/Digitalisierung**	
1.1	**Digitale Kompetenz im Bauwesen – quo vadis?** Steffen Feirabend	**25**
1.2	**Komplexität berechenbar machen – das parametrische Engineering des Kuwait International Airport** Matteo Brunetti, Prof. Dr.-Ing. M. Arch. Lucio Blandini	**29**
1.3	**Optimierung in der Tragwerksplanung – künstliche Intelligenz für nachhaltigen Nutzen?** Eberhard Möller	**35**
1.4	**DigiPark – BIM-basierte Schadenserfassung und Instandhaltungsplanung am Beispiel eines Parkbaus aus Stahlbeton** Dr.-Ing. Till Büttner, Hendrik Morgenstern M. Sc., Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach	**45**
2.0	**Konstruktion Bestand**	
2.1	**Experimentell gestützter Tragsicherheitsnachweis** Prof. Dr.-Ing. Marc Gutermann, Dipl.-Ing. Werner Malgut	**53**
2.2	**Zustandsentwicklung und Erhaltungsmanagement von Brücken im Zuge von Bundes- und Landesstraßen** Dipl.-Ing. (FH) Klaus Butzke, Dipl.-Ing. Maik Schulz	**63**
2.3	**Neue Möglichkeiten bei der Verstärkung von Bestandsbauteilen mit Carbonbeton – Neue Zulassung ermöglicht wirtschaftliches und einfaches Verstärken** Maximilian May, Sebastian May, Alexander Schumann	**69**
2.4	**Ein Weg zur digitalen Zustandserfassung – Erfahrungsbericht zur Umsetzung einer digitalen Zustandserfassungsplattform** Ralf Schoster	*****
3.0	**Konstruktion Fassade**	
3.1	**Grünfassaden – aktuelle Planungsbeispiele** Florian Starz, Roland Bechmann	**81**
3.2	**Ganzheitliche Raumregelungen mit maschinellem Lernen individuell gedacht** Silas Kalmbach, M. Sc., Dr.-Ing. Walter Haase, Prof. Dr.-Ing. M. Arch. Lucio Blandini	**87**

3.3	**Mehrlagige, pneumatisch stabilisierte ETFE-Fassadensysteme: funktionale und gestalterische Potenziale** Christina Eisenbarth, M. Sc., Dr.-Ing. Walter Haase, Prof. Dr.-Ing. M. Arch. Lucio Blandini, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Werner Sobek	**97**
3.4	**Systemlösungen für Aussenwände in Stahl-Leichtbauweise** Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Sräga	**107**
4.0	**Material Stahl, Glas**	
4.1	**Dünnglas-Polycarbonat-Verbundtafeln im Einfach- und Isolierglas** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thorsten Weimar	**117**
4.2	**Dünnglas-Verbundelemente mit additiv gefertigtem Polymerkern** Dipl.-Ing. Daniel Pfarr, Dr.-Ing. Christiane Kothe, Prof. Dr. ir. Christian Louter	**125**
4.3	**Planung, Ausführung und Überwachung von Korrosionsschutz für Stahlbauten durch Beschichtungssysteme** Andreas Hoyer	*****
4.4	**Innovative hybride Konstruktionen** Dipl.-Ing. (FH) Sascha Schaaf	**133**
5.0	**Konstruktion**	
5.1	**Herausforderungen bei Planung und Realisierung: das Tragwerk des neuen Stuttgarter Hauptbahnhofs** Angelika Schmid, Roland Bechmann	**145**
5.2	**BIM-relevante Schnittstellen in der Tragwerksplanung** Daniel Dlubal, M. Eng.	**157**
5.3	**Sport oben drauf – Neubau einer Sporthalle als auskragende Holzkonstruktion** Falk Hoffmann-Berling	*****
5.4	**Die größte Keramikfassade der Welt – der wasl-Tower in Dubai** Holger Hinz	*****
5.5	**Konstruktive Herausforderungen für Solarüberdachungen über Autobahnen** Alois Vorwagner, Dominik Prammer, Manfred Haider, Christoph Mayr, Markus Fehringer, Tobias Beck, Felix Basler, Florian Balda	**163**
5.6	**Erdbebenbemessung in Deutschland – aktueller Stand und zukünftige Entwicklung** Marius Pinkawa	**171**
6.0	**Material Beton-, Mauerwerks-, Lehmbau**	
6.1	**all in! – Alles unter einem Dach** Dr. Jan Mittelstädt, Boris Peter	**185**
6.2	**Abfallfreie Herstellung leichter Betonbauteile mittels wasserlöslicher Sandschalungen** Dipl.-Arch. Daria Kovaleva, Maximilian Nistler, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Alexander Verl, Prof. Dr.-Ing. M. Arch. Lucio Blandini, Prof. Dr. Dr. E. h. Dr. h. c. Werner Sobek	**193**

6.3	**Die weiterentwickelte Zonenmethode: ein baupraktisches Verfahren zur Heißbemessung von Stahlbetonstützen** David Krybus, Marcus Achenbach, Livia Prifti	**199**
6.4	**Betontechnologie heute – Herausforderung für qualitativ hochwertiges Bauen – Steuerung der Qualität bei wechselnden Ausgangsstoffen und Baustellenbedingungen** Prof. Dr.-Ing. Stefan Linsel	**207**
6.5	**Nachhaltig ressourcenschonender Hoch- und Ingenieurbau** Dr. Matthias Oppe, Stefanie Grün	**209**
6.6	**Überblick zur Durchführung von Versuchen am Bauwerk mit Injektionsankern in Mauerwerk** Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Jürgen H. R. Küenzlen M. A., Dipl.-Ing. (FH) Eckehard Scheller, Dipl.-Ing. Rainer Becker, Dipl.-Ing. Thomas Kuhn	**217**
7.0	**Material Holz, Hybrid**	
7.1	**Disruptive Innovationen im Holzbau** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Graf	**235**
7.2	**Weitgespannte Holz-Beton-Verbundtragwerke** Leonie Strybny, Tilmann Stern, Christian Reinhardt, Andreas Bewer	**243**
7.3	**Punktgestützte Flachdecken im Holzbau** Dipl.-Ing. (FH) Stephan Bertagnolli	**255**
7.4	**Building materials from wood and fungal mycelium for load-bearing structures** Dana Saez M.Sc., Denis Grizmann M.Sc., Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Trautz, Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Anett Werner	**259**
7.5	**Holz als konstruktiver Baustoff der Zukunft?** Helge Kunz	**265**
7.6	**Einfach Holzbau** **REWE20xx – ein Supermarkt für die Zukunft** Dr. Jan Mittelstädt, Boris Peter	**267**
7.7	**Vorbohren für Vollgewindeschrauben mittels Laserstrahlung** Denis Grizmann, M. Sc., Andrija Pranjic, M. Eng., Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Trautz	**275**
7.8	**3-D-Druck mit Beton im Wohnungsbau** Matthias Werzinger cand.ing., Prof. Dr. Martin H. Spitzner	**281**
7.9	**Untersuchungen zum Schwingungsverhalten an weit gespannten Holzdecken am Prüfstand mit ca. 12,5 m x 12,5 m** Prof. Dr.-Ing. Patricia Hamm	**285**
8.0	**Entwurf/Konzeption**	
8.1	**Die dritte Dimension wird essenziell** Prof. Dipl.-Ing. Bernhard Tokarz	**291**
8.2	**Strategien für recyclinggerechte und ressourcenerhaltende Gebäudeplanung** Jörg Finkbeiner	*****

8.3	**Circular Economy im Bauwesen: Überblick über die Prozesse, Methoden und Ansätze aus Re-Use-Projekten in Deutschland** Dina Padalkina	**297**
9.0	**Anhang**	
9.1	**Programmausschuss**	**301**
9.1	**Autorenverzeichnis**	**303**

* Manuskript lag bei Redaktionsschluss nicht vor

Plenarvorträge

Stadiondesign im aktuellen Zeitgeist

Knut Stockhusen
schlaich bergermann partner, Stuttgart, Deutschland

Zusammenfassung

Für Stadien, Arenen und Sportstätten stehen die Flexibilität der Nutzung und vor allem der Nachnutzung bislang wenig im Fokus. In Anbetracht der gegenwärtigen Herausforderung unserer Zeit bedürfen aber gerade diese Aspekte einer stärkeren Beachtung. So entwickelte das multidisziplinäre Team um schlaich bergermann partner (sbp) ein innovatives Konzept für ein modulares Stadiondesign, welches leicht demontiert und anschließend flexibel umgewandelt werden kann. Im Folgenden wird das System vorgestellt.

1. Nachhaltige Sportstätten

Die Nachhaltigkeit von Bauwerken wird von vielen Faktoren beeinflusst und nur die ganzheitliche Betrachtung führt zu einer Verbesserung der Bilanz. Ein wichtiger Teilaspekt ist die Flexibilität der Nutzung, die ein Bauwerk bietet. Das gilt insbesondere für moderne Sportstätten, Stadien und Arenen. Bei einem solchen Projekt nun ein modulares Bauwerk zu erschaffen, das mit überschaubarem Aufwand in viele andere, kleinere Gebäude neukonfiguriert werden kann, stellte bei der Realisierung große Herausforderungen an das multidisziplinäre Team um sbp. Die hier gezeigte Umsetzung ist ein Beispiel dafür, wie innovatives Stadiondesign eine flexible und nachhaltige Nachnutzung ermöglicht und demonstriert eine Alternative zu den üblichen Sportstätten für Großveranstaltungen.

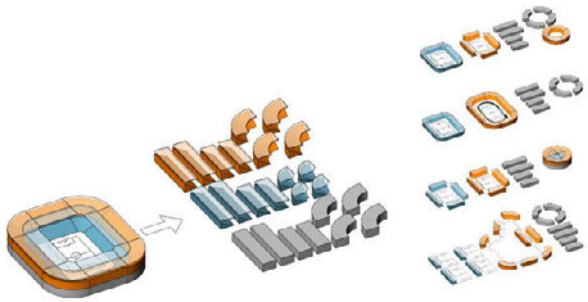


Bild 1: Flexibilität © Knut Stockhusen / sbp schlaich bergermann partner

1.1 Ein Stadion in modularer Bauweise

Die modulare Bauweise hat bereits eine lange Erfolgsgeschichte. Ein komplettes System für einen so komplexen Veranstaltungsort wie eine Fußballspielstätte modular zu entwickeln und zu liefern, die außerdem den hohen Anforderungen des Fußball-Weltverbands FIFA an WM-Stadien entspricht, wurde bisher jedoch nicht für möglich erachtet.
Die Grundlage des von sbp entwickelten und gemeinsam mit Fenwick Iribarren Architects (FIA) aus Madrid ausgearbeiteten innovativen Konzepts einer solchen, demontierbaren Spielstätte besteht in dem sich stark wiederholenden Raster aus identischen, strukturellen Rahmen, Bauteilen, Decken und Modulen, die Container mit allen erforderlichen Funktionen tragen.

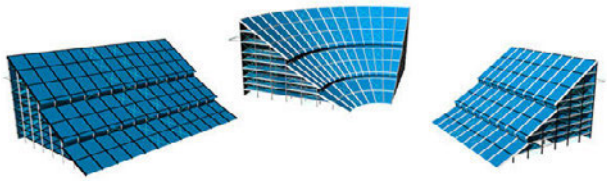


Bild 2: Tribünen © Knut Stockhusen / sbp schlaich bergermann partner

Bild 3: Module und Komponenten© Knut Stockhusen / sbp schlaich bergermann partner

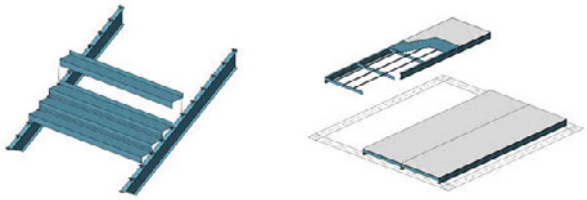


Bild 4: Stufen und Decken © Knut Stockhusen / sbp schlaich bergermann partner

Bild 5: Details © Knut Stockhusen / sbp schlaich bergermann partner

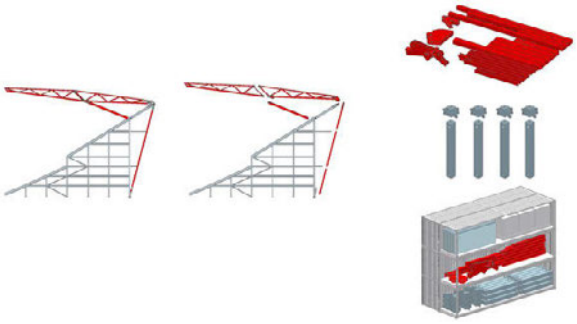


Bild 6: Container © Knut Stockhusen / sbp schlaich bergermann partner

Das Bauwerk kann somit einfach errichtet und anders als übliche Sportstätten nach einer Großveranstaltung leicht demontiert werden. Anschließend lässt es sich sowohl an einem anderen Ort komplett neu installieren oder kann auch in mehrere, kleinere Stadien an verschiedenen Orten umgewandelt werden.
Dabei können alle Einzelelemente demontiert und innerhalb der zertifizierten Transportbehälter zum nächsten Bestimmungsort transportiert werden. Dieses besondere Prinzip führt zu einem reduzierten CO2-Fußabdruck über die gesamte Lebensdauer. Durch die leichte Bauart wird überdies weniger Baumaterial benötigt. Da alle Elemente wiederverwendet werden, entsteht kein Abfall und auf das Ende des Events folgt kein Leerstand. Vor allem die Flexibilität der Nutzung ist hier von Bedeutung, da die Größe des Objekts bei erneutem Einsatz an anderer Stelle wieder den dann geltenden Randbedingungen angepasst werden kann.
Das vorgestellte, modulare System wurde von der FIFA für Großveranstaltungen zugelassen und mittlerweile in Qatar für die Weltmeisterschaft 2022 realisiert.

Nachhaltig Bauen – recyclinggerechte und kreislauffähige Konstruktionen

Prof. Dipl.-Ing. Architektin Petra Riegler-Floors
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Trier, Deutschland

Zusammenfassung

Der enorme Verbrauch unserer Rohstoffreserven, die immense Abfallproduktion – in Deutschland jeweils zu über 50 % durch den Bausektor verursacht – sowie die hohen CO_2-Emissionen – zu fast 40 % durch die Baubranche induziert – generieren für uns Planer*innen eine besondere Verantwortung, aber auch einen wirksamen Hebel, mit einer nachhaltigen Bauweise der Rohstoff- und Klimakrise zu begegnen. Dazu können drei Strategien des Nachhaltigen Bauens in hierarchischer Reihenfolge definiert werden: die „Nicht-Bau-Lösung“ zur Vermeidung von Rohstoff- und Energieverbrauch, das „Urban Mining“ zur Nutzung unserer anthropogenen Lagerstätten im Gebäudebestand und zuletzt für nicht vermeidbare Neubauplanungen das recyclinggerechte Konstruieren. Hier geht es um die Bewertung von Pre-Use (z.B. Verfügbarkeiten) und Post-Use (z.B. Nachnutzungspotenziale und Verwertungswege) der unterschiedlichen Baustoffe sowie die Lösbarkeit von Verbindungen und Konstruktionen als Voraussetzung für eine sortenreine Trennung, die für ein hochwertiges Recycling notwendig ist.

1. Einleitung

Der Bausektor in Deutschland zeichnet zum einen für einen enormen Verbrauch unserer Rohstoffreserven verantwortlich – ca. 50 % aller unserer geförderten Werkstoffe und unseres Energieverbrauchs, sowie etwa ein Drittel unseres Wasserverbrauchs entfallen auf den Bau und die Nutzung von Gebäuden [1] – gleichzeitig aber auch für die immense Abfallproduktion: 53,4 % des Abfallaufkommens in Deutschland sind Bau- und Abbruchabfälle [2].
Zugleich sind 38 % der CO_2-Emissionen durch die Baubranche induziert [3]. Diese Fakten generieren für uns Planer*innen eine besondere Verantwortung: Es ist offensichtlich, dass in der Planung und Umsetzung von Gebäuden ein Paradigmenwechsel vollzogen werden muss und unsere Rohstoffe nicht mehr „verbraucht“ und weggeworfen werden dürfen, sondern im Kreislauf geführt werden müssen. Dafür muss ein Umdenken stattfinden: Bereits in der Planung gilt es, den Rückbau mitzudenken. Eine konsequent nachhaltige Planung im Sinne der Begriffsprägung von Carl von Carlowitz aus dem Jahr 1713 ist notwendig: „Nachhaltige Entwicklung ist Entwicklung, welche die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation deckt, ohne die Fähigkeit zukünftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu decken.“ [4]
Im Sinne des Nachhaltigen Bauens können dazu – jeweils auf der Entwurfs- und auf der Konstruktionsebene – drei Strategien verfolgt werden:

2. Nicht Bauen

Was zunächst banal klingt, ist für uns Planer*innen eine Herausforderung, die sowohl auf der Entwurfs- als auch auf der Konstruktionsebene höchste Sorgfalt und intelligente Planungsstrategien erfordert.
Im Entwurf gilt es, Flächenverbrauch auf ein Minimum zu reduzieren, um Rebound-Effekte zu vermeiden. Die Wohnfläche pro Person hat sich in den vergangen 60 Jahren mehr als verdoppelt – energetische und stoffliche Einsparungsergebnisse werden dadurch zunichte gemacht. Hier sind Entwurfskonzepte gefragt, die gleichwertige Raumqualitäten und Nutzungsszenarien bei reduziertem Raumverbrauch generieren.

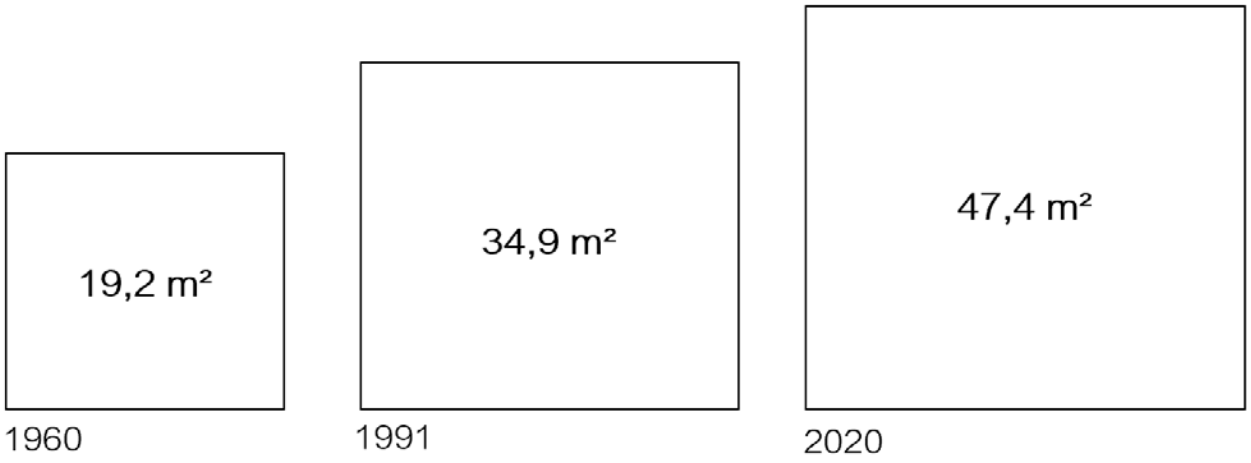


Abb.1: Durchschnittliche Wohnfläche pro Person in Deutschland, Entwicklung seit 1960. Eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt [5]

In der Konstruktion gilt das gleiche Prinzip: Dem Suffizienz-Gedanken folgend sind die besten Baustoffe diejenigen, die nicht benötigt werden – zum Beispiel eine Massivholz-Wandkonstruktion, die innenseitig mit einer Sichtoberflächenqualität ausgeführt keine weitere Verkleidung erfordert.

3. Urban Mining

Für unseren immensen, bereits vorhandenen Baubestand muss ein Umdenken stattfinden: statt in immer kürzeren Nutzungszyklen – in innerstädtischen Lagen mit hohem Bodendruck inzwischen häufig weit geringer als die üblicherweise kalkulierten 50 Jahre [6] – Gebäudesubstanz aus Primärrohstoffen zu bauen, rückzubauen, wegzuwerfen und aus weiteren Primärrohstoffen wieder neu zu bauen, gilt es, den Gebäudebestand soweit als möglich zu nutzen.
Vor jeder Rück- und Neubauplanung muss gewissenhaft geprüft werden, ob die Projektaufgabe nicht im Gebäudebestand realisiert werden kann. Die Weiternutzung vorhandener Gebäudestrukturen und damit der darin gebundenen Rohstoffe und Grauen Energie muss absoluten Vorrang vor dem Neubau haben. Wir müssen unseren Gebäudebestand als Rohstofflager verstehen.
Das inhaltliche begrüßenswerte Vorhaben der Bundesregierung, jährlich 400.000 Wohnungen zu schaffen, ist als reine Neubauplanung ohne Bestandstransformationen schwer vorstellbar.
Eine gewisse Demut erfordert es von uns Planer*innen, in der Neubauplanung bereits die nachfolgende Umnutzung oder Transformation des von uns entworfenen Gebäudes mitzudenken. Nutzungsflexible und Typologie-neutrale Tragwerk-Raster und Geschosshöhen, Erweiterungsmöglichkeiten durch Kalkulation von Lastreserven in der Tragwerksplanung sowie eingeplante Varianz in den Erschließungssystemen oder in der Bildung von Nutzungseinheiten vereinfachen zukünftige Nutzungstransformationen unserer Entwürfe.
Auch in der Konstruktion gilt es, die Gebäudesubstanz als anthropogene Rohstofflager zu verstehen und zu nutzen. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die größte Abfallfraktion – die mineralischen Baustoffe – dar, deren Nachnutzungspotenziale sich derzeit (noch) im Wesentlichen auf Downcycling und Deponierung beschränken. Doch auch hier zeigen Beispiele, dass es verfahrenstechnisch bereits möglich ist, z.B. Backsteine mit einem Sekundärrohstoffanteil von immerhin mind. 60 % herzustellen [7] oder sogar Fliesen, die durch Ausnutzung von Altglas als Bindemittel für mineralisches Rückbaumaterial sogar zu 100 % aus Altmaterial bestehen können [8].

4. Recyclinggerecht Konstruieren

Ist eine Neubauplanung unvermeidbar, ist die Konstruktion konsequent kreislauffähig zu denken. Die Konstruktion wird bestimmt durch das verwendete Material und die gewählte Fügung.
Auf der Materialebene werden nur noch Baustoffe zur Anwendung kommen dürfen, die auf einer hohen Qualitätsstufe recyclingfähig sind, sprich wiederverwendet (re-use), wiederverwertet (recycling) oder weiterverwendet (further use) können – sog. „Closed-loop-Materialien“ [9].

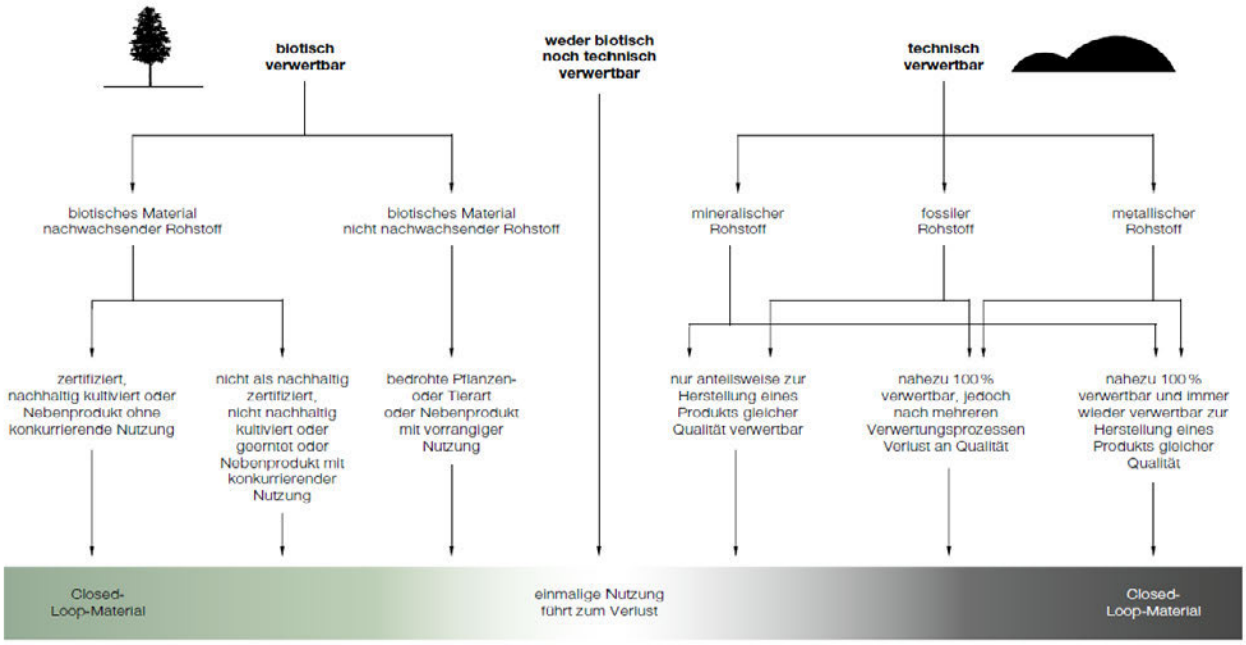


Abb. 2: Recyclingpotenziale verschiedener Materialgruppen [10]

Weiterverwertung (downcling) darf nur noch die Ausnahme bilden, Beseitigung (Deponierung und energetische Verwertung) sollte ausgeschlossen werden. Hierzu ist eine präzise Kenntnis von Materialeigenschaften, aber auch des Pre-Use, wie der Verfügbarkeiten (Reserven), und des Post-Use, also der Nachnutzungspotenziale und Verwertungswege der Baustoffe, notwendig. Zur Bewertung des Recyclingpotenzials eines Baustoffes kann sein Material Cycle Status herangezogen werden.

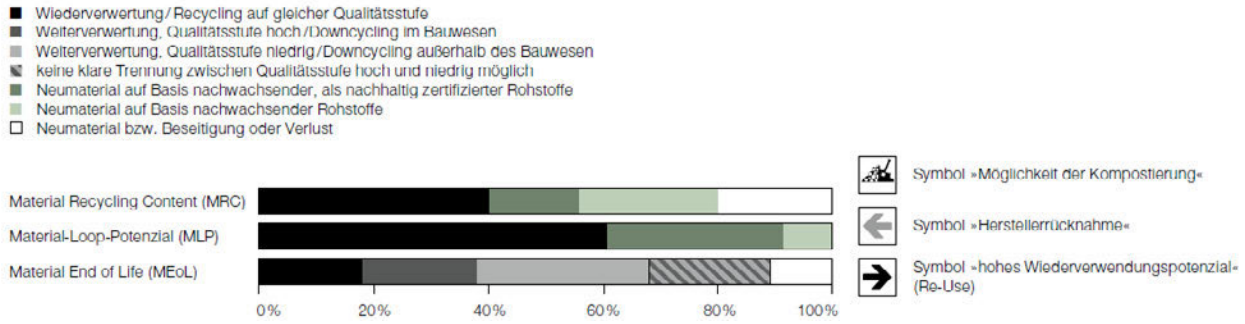


Abb. 3: Material Cycle Status [11]

Die vier Materialgruppen unterscheiden sich deutlich in ihren Verfügbarkeiten und ihren Nachnutzungspotenzialen:
Die metallischen Materialien sind nur begrenzt verfügbar. Ihre Gewinnung geht mit einer erheblichen Landschaftszerstörung durch die Förderung der Metall-Erze und einem hohen Primärenergie-Aufwand bei der Verhüttung der Erze einher. In der Nachnutzung sind die meisten Metalle zu nahezu 100 % wiederverwertbar. Recyclingstahl benötigt lediglich ein Viertel der ursprünglich erforderlichen Primärenergie [12]. In Deutschland sind die Recyclingwege für alle gängigen Metalle eingespielt.
Auch die fossilen Materialien stehen ebenfalls nur begrenzt zur Verfügung, auch hier überschreiten die Reproduktionszyklen die auf die menschliche Nutzung bezogenen und im Bauwesen relevanten Zeithorizonte bei Weitem (z.B. Kunststoff auf Erdölbasis). Die Gruppe der Thermoplasten kann einige Male im Kreislauf geführt werden, jedoch nur in einer begrenzten Anzahl von Wiederholungen. Am Lebensende steht dann wie bei den meisten fossilen Materialien die energetische Verwertung.
Die mit Abstand im größten Umfang im Bauwesen genutzte Materialgruppe sind die mineralischen Baustoffe. Neben der Schwierigkeiten der begrenzten Verfügbarkeiten im Pre-Use – die sich stetig verschärfende Knapp-

heit von Sand [13] und Kies [14] ist inzwischen vielfach publiziert – und der hohen Treibhausgasemissionen, z.B. von Zement – 8 % der weltweiten CO_2-Emissionen wird durch die Zementindustrie verursacht, das ist mehr als bei Flugverkehr und Serverleistungen zusammen – sehen wir uns im Post-Use mit den Herausforderungen in der Nachnutzung konfrontiert. Der Einsatz als Sekundärrohstoff ist in der Regel verfahrenstechnisch z.Zt. auf einen Anteil von 40–60 % beschränkt. Übliche Verwertungswege sind das Downcycling, z.B. als Straßenunterbau oder die Deponierung. Die Deponiekapazitäten sind begrenzt und werden voraussichtlich zumindest in den bevölkerungsreichen Bundesländern wie NRW, Bayern und Rheinland-Pfalz noch in diesem Jahrzehnt erschöpft sein [15].

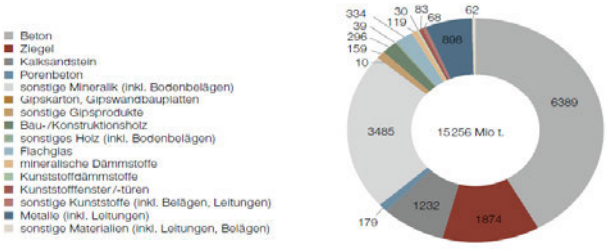


Abb. 4: Materiallager des Gebäudebestands in Deutschland 2010 in Mio. t nach Materialgruppen [16]

Die biotischen Materialien stehen – da nachwachsend – zumindest in der Theorie unbegrenzt zur Verfügung. Durch den in Deutschland herrschenden Flächendruck und die Konkurrenz in der Flächennutzung durch Siedlungen, Infrastruktur, Landwirtschaft und Schutzgebiete steht Kultivierungsraum nicht uneingeschränkt zur Verfügung. Nichtsdestotrotz gehören die nachwachsenden Rohstoffe auf Grund ihrer Fähigkeit der CO_2-Bindung zu den wichtigsten Werkzeugen bei der Einhaltung des 1,5°-Zieles in der Klimakrise.

Die Holzproduktion und der Holzhandel sind derzeit starken Schwankungen unterworfen, teils auf Grund von wirtschaftlichen und politischen Verwerfungen, insbesondere aber durch die Folgen der Klimakrise. Derzeit liegt der Anteil der gegenüber Dürre und Borkenkäferbefall wenig resistenten Fichtenplantagen bei 25,4 % der deutschen Waldfläche [17]. Die zur Zeit erfolgende Umstrukturierung der Wirtschaftswälder in Richtung Mischwälder mit höherem Anteil an dem Klimawandel gegenüber resilienteren – da tiefer wurzelnden – Laubbaumarten erfordert auf Grund der divergierenden Materialeigenschaften des Laubholzes im Vergleich zum Nadelholz auch Anpassungen in der holzverarbeitenden Industrie und in der Planung. [18]

Die Umtriebszeit der meisten wirtschaftlich genutzten Baumarten liegt – vergleichbar mit den menschlichen Lebensalter – bei durchschnittlich etwa 80 Jahren. In der nachhaltigen Forstwirtschaft, sprich der geerntete Baum wird nachgepflanzt, wurde nach diesem Zeitraum wieder die entsprechende Menge CO_2 gebunden. Im Sinne der Klimaneutralität kann dann der erste Baum energetisch verwertet werden, also die Menge an CO_2, die im neuen Baum gebunden ist, freigesetzt werden – jedoch erst dann!

Da dieser Zeitraum den üblichen Nutzungszyklus unseres Gebäudebestandes von 50 Jahren übersteigt, ist es i.d.R. notwendig, das Holz in mehreren Stufen seiner Nutzungskaskade zu führen. Die in Deutschland praktizierte Rohholzverwendung, bei der knapp ein Drittel der Ernte direkt als Brennholz genutzt wird, steht dem entgegen.

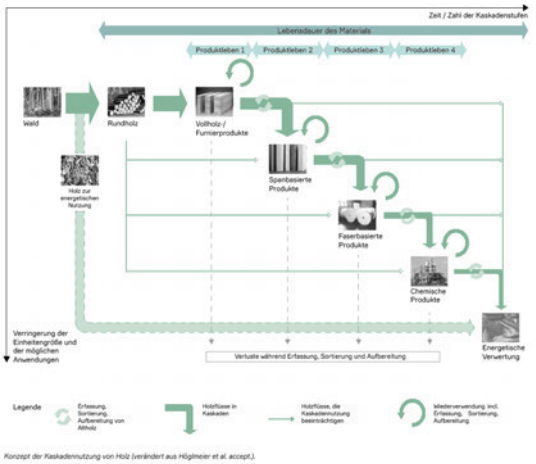


Abb. 5: Konzept der Kaskadennutzung von Holz [19]

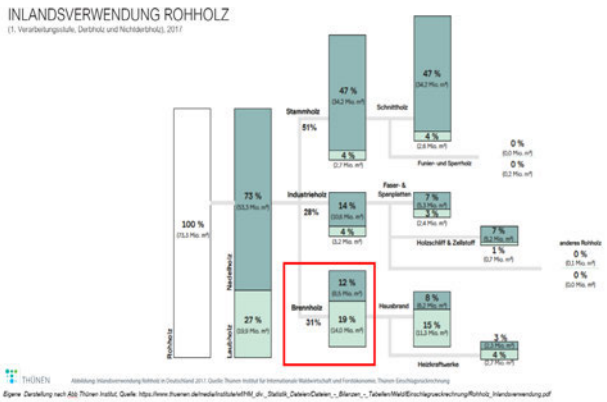


Abb. 6: Inlandsverwendung Rohholz in Deutschland 2017 [20]

Voraussetzung für eine höherwertige stoffliche Verwertung innerhalb der Kaskade ist die Einordnung Altholzkategorie I oder II, also unbehandeltes oder ohne Holzschutzmittel behandeltes Holz. Um eine Behandlung des Holzes zu vermeiden ist es zielführend, die eine Holzart der passenden Dauerhaftigkeitsklasse für die der Einbausituation entsprechende Gebrauchsklasse zu wählen. Damit ist beispielhaft gezeigt, wie wichtig es ist, in der Planungsphase die Nachnutzung mitzudenken.

Altholzkategorien nach Altholzverordnung AltholzV 2020

Altholzkategorie	höherwertige, stoffliche Verwertung zu Holzwerkstoffprodukten
Altholzkategorie A I naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde	ja
Altholzkategorie A II verleimtes und behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel	ja
Altholzkategorie A III Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel	eingeschränkt Verwertung nur möglich, wenn die Beschichtungen vor oder im Arbeitsprozess weitgehend entfernt werden können, wird aufgrund des Aufwands als nicht weiter zu betrachtende Ausnahme angesehen

Tabelle: Atlas Recycling, Hillebrandt, Riegler-Floors, Rosen, Saggewiss, Edition DETAIL, München, 2018

Altholzkategorie A IV – mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I bis A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz.

PCB-haltiges Altholz. Dies ist Altholz, das polychlorierte Biphenyle im Sinne der PCB/PCT-Abfallverordnung enthält und nach deren Vorschriften zu entsorgen ist. Dabei handelt es sich insbesondere um Dämm- und Schallschutzplatten, die mit Mitteln behandelt wurden, die polychlorierte Biphenyle enthalten -> **PCB/PCT-Abfallverordnung**

Abb. 7: Altholzkategorien nach Altholzverordnung [21]

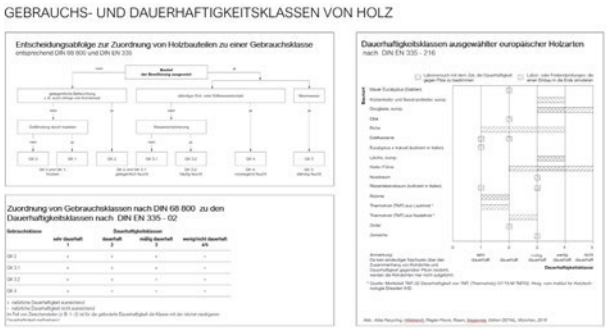


Abb. 8: Gebrauchs- und Dauerhaftigkeitsklassen von Holz [22]

Neben dem Holz bieten weitere nachwachsende Rohstoffe Potenziale für eine breitere Anwendung. Insbesondere Stroh und Hanf sind dabei interessant auf Grund ihrer kurzen Umtriebszeiten als einjährige Pflanzen sowie auf ihrer annähernd globalen Verfügbarkeit. Neben der bekannten Verwendung als Dämmungen wird die Nutzung als Bauplatte künftig beachtenswert werden. Mit dem Kohleausstieg, der zur Eindämmung der Klimakrise früher als zum derzeit festgelegten Datum 2038 kommen muss, wird auch der Gips aus den Rauchgasentschwefelungsanlagen – derzeit wenig kostenintensives Abfallprodukt, das momentan rd. 60 % der Gipsreserven bereitstellt – nicht mehr zur Verfügung stehen [23]. Das Recycling von Baustoffen auf Gipsbasis ist zum jetzigen Zeitpunkt noch weit davon entfernt, den Bedarf decken zu können [24]. Bauplatten aus Stroh [25] und Hanf [26], gebunden über das Stroh-eigene Lignin oder pflanzliche Proteine können hier eine Alternative zu den derzeit üblicherweise verwendeten Gipskartonplatten darstellen.
Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, die in Feuchtgebieten kultiviert werden, wie Schilfrohr oder Typha (Rohrkolben) stellen derzeit eher Nischenprodukte dar. Jedoch ist hier ein Ausbau der Nachfrage und damit der Kapazitäten wünschenswert – Feuchtgebiete speichern die größte Menge Kohlenstoff in Tonnen pro m³ Boden (vgl. Abb.9). In Feuchtgebieten fallen Pflanzenreste ins flache, leicht saure Wasser. Statt von Bakterien zersetzt zu werden – wobei CO_2 entsteht – bildet sich dank Luftabschluss Torf.
In diesem Fall sorgt eine Erhöhung des Verbrauchs von Baustoffen, die in Mooren und Sümpfen kultiviert werden – sofern sie zu einer Ausweitung dieser Feuchtgebiete führt – für eine Reduktion von Treibhausgasen in der Atmosphäre.

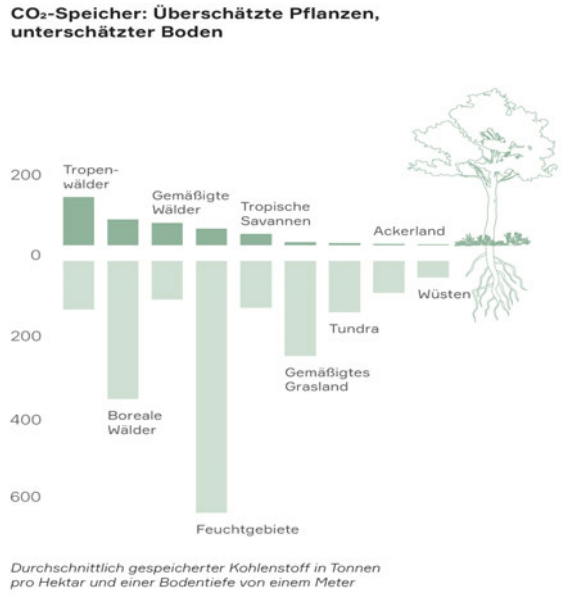


Abb. 9: Durchschnittlich gespeicherter Kohlenstoff in Tonnen pro Hektar und einer Bodentiefe von einem Meter [27]

5. Lösbare Verbindungen und Konstruktionen

Um die Baustoffe einer hochwertigen Nachnutzung zuführen zu können, müssen sie in der Regel – sofern es sich nicht um Monomaterialsysteme handelt – sortenrein getrennt werden. Voraussetzung dafür sind lösbare Verbindungen und Konstruktionen, sofern es sich nicht um Monomaterialsysteme handelt. Auf Grund der Einstofflichkeit ist hier eine Trennung nicht notwendig.
Die Bauindustrie bringt seit geraumer Zeit eine Vielzahl von Verbundstoffen auf den Markt, die schwierig in der Nachnutzung sind, aber auch die Entsorger vor große Herausforderungen stellen. Den bauphysikalischen Herausforderungen, insbesondere im Feuchteschutz kann aber die Anwendung erprobter baukonstruktiver Prinzipien wie Überschuppung, Fugenüberdeckung, Dachüberstände etc. begegnet werden; eine Anwendung dieser Verbundstoffe wird dadurch obsolet.
Grundsätzlich ist im Sinne der Recyclinggerechtigkeit eine Funktionstrennung der einzelnen Bauteilschichten zu bevorzugen.
Die Normung kennt eine Vielzahl von lösbaren Fügetechniken (vgl. Abb.10).

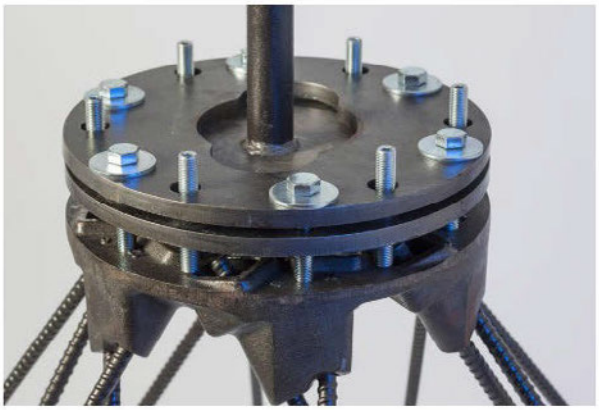
Übersicht von Fügetechniken nach DIN 8580 und DIN 8593

Zusammensetzen **DIN 8593-1**		Fügen, bei dem der Zusammenhalt der Fügeteile durch Schwerkraft (Reibung), Formschluss, Federkraft oder eine Kombination davon bewirkt wird.
Auflegen Aufsetzen Schichten		Fügen zusammenpassender Teile unter Nutzung der Schwerkraft, im Allgemeinen in Verbindung mit Formschluss, z. B. Dachziegel
Einlegen Einsetzen		Fügen, bei dem das eine Fügeteil in ein Formelement des anderen Fügeteils eingelegt wird, z. B. Einlegen von Dämmmatten in eine Dachkonstruktion
Ineinanderschieben		Fügen, bei dem das eine Fügeteil in das andere oder über das andere geschoben wird, z. B. Einschieben eines Verbindungsbolzens
Einhängen		Fügen, bei dem das eine Fügeteil in das andere eingehängt wird, wobei die Fügeverbindung durch eine Zugkraft (Federkraft, Schwerkraft) gesichert wird, z. B. Einhängen einer Zugfeder
Einrenken		Fügen durch Ineinanderschieben zweier Fügeteile, wobei die Fügeverbindung durch eine Druckkraft gesichert wird, z. B. Glühlampe in Swanfassung oder Bajonettvorschluss bei Druckluftleitung
federnd Einspreizen		Fügen durch vorheriges elastisches Verformen, damit das Fügeteil nach dem Einlegen oder Aufschieben und anschließendem Rückfedern durch Formschluss gehalten wird, z. B. Federring einspreizen oder Schnappverbindung
Füllen **DIN 8593-2**		Eine Sammelbenennung für das Einbringen von gas- oder dampfförmigen, flüssigen, breiigen oder pastenförmigen Stoffen, ferner von pulverigen oder körnigen Stoffen oder kleinen Körpern in hohle oder poröse Körper
Einfüllen		Einbringen von gas- bzw. dampfförmigem, flüssigem oder festem Stoff in hohle Körper, z. B. Schüttungen, Einblasdämmungen
An- und Einpressen **DIN 8593-3**		Eine Sammelbenennung für die Verfahren, bei denen beim Fügen die Fügeteile sowie etwaige Hilfsfügeteile im Wesentlichen nur elastisch verformt werden und ungewolltes Lösen durch Kraftschluss verhindert wird.
Schrauben (An-, Ein-, Ver-, Festschrauben)		Fügen durch Anpressen mittels selbsthemmenden Gewindes
Klemmen		Fügen durch Anpressen mittels Hilfsteilen (Klemmen), wobei die Fügeteile elastisch oder plastisch verformt werden, während die Hilfsteile starr sind, z. B. Los-Fest-Flansch
Klammern		Fügen mittels federnder Hilfsteile (Klammern), die die überwiegend starren Fügeteile aneinanderpressen
Fügen durch Presspassung		Fügen des Innenteils mit einem Außenteil, wobei zwischen beiden ein Übermaß besteht: Fügen durch Einpressen, Verstiften, Schrumpfen (Aufschrumpfen), Dehnen, z. B. Einschlagen eines Bolzens
Nageln Verstiften Einschlagen		Fügen durch Einschlagen oder Einpressen von Nägeln (Drahtstiften) als Hilfsteile ins volle Material. Hierbei werden mehrere Fügeteile durch Aneinanderpressen miteinander verbunden. Beim Einschlagen ist das eingeschlagene Teil selbst ein Fügeteil, z. B. Einschlagen eines Hakens.
Verkeilen		Das Anpressen zweier Fügeteile mit Hilfe selbsthemmender keilförmiger Hilfsteile z. B. Verklotzung von Fenstern
Verspannen		kraftschlüssiges Fügen einer Nabe mit einer Welle mithilfe eines Konus oder mithilfe ringförmiger, geschlitzter Keile (Spannelemente), wobei die erforderliche Axialkraft über Gewinde aufgebracht wird
Umformen **DIN 8593-5**		Eine Sammelbenennung für die Verfahren, bei denen entweder die Fügeteile oder Hilfsfügeteile örtlich – bisweilen auch ganz – umgeformt werden. Die Umformkräfte können mechanischer, hydraulischer, elektromagnetischer oder anderer Art sein. Die Verbindung ist im Allgemeinen durch Formschluss gegen ungewolltes Lösen gesichert.
Fügen durch Umformen drahtförmiger Körper		Drahtflechten zu flächenhaften oder räumlichen Drahtgeflechten, z. B. Stahlgewebe gemeinsames Verdrehen (Verseilen, Spleißen, Knoten, Wickeln mit Draht, Drahtweben zu Drahtgeweben), z. B. Spannseile
Fügen durch Umformen bei Blech-, Rohr- und Profilteilen		Fügen durch Körnen oder Kerben, gemeinsam Ziehen (Ummanteln), Weiten, Engen, Bördeln, Falzen, Wickeln, Verlappen, z. B. Stehfalzdeckungen

Abb. 10: Übersicht von Fügetechniken nach DIN 8580 und DIN 8593 [28]

In der praktischen Anwendung existieren diverse recyclinggerechte und rückbaubare Alternativen zu den konventionellen Konstruktionen, wie z.B. Schraubfundamente und Spinnanker (statt Betongründungen), lösbare Kellerabdichtungen (statt Beschichtungen), Perimeterdämmungen aus Schaumglasschotter in Gewebesäcken (statt geklebter extrudierter Dämmplatten) oder diverse Fußbodenheizungssysteme, die trocken – nicht in Nassestrich – verlegt werden können. [29]

Schraubfundamente: Erdschrauben aus feuerverzinktem Stahl für bis zu dreigeschossige Gebäude



Spinnanker: Ankerplatte mit 6 oder 12 Gewindestäben (2–6 m Länge), belastbar mit bis zu 200 kN

lose Kellerabdichtung: 3-lagige Abdichtungssystem aus dem Tankstellen- und Deponiebau, Dichtheitsprüfung vor Verfüllung der Baugrube

vertikale Perimeterdämmung: Schaumglasschotter in Gewebesäcken

Abb. 11: Beispiele lösbarer Verbindungen und Konstruktion aus dem Bereich Gründung und Keller [30]

Die meisten dieser Konstruktion wurden nicht aus ökologischen Beweggründen erdacht, sondern um unabhängiger von Witterung oder Trocknungszeiten – also schneller und damit günstiger – montieren zu können.
Die Strategien zum recyclinggerechten Konstruieren sind sowohl auf der Material- als auch auf der Fügungsebene da – sie müssen nur noch in der Breite angewandt werden!

Literatur

[1] Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, (zum effizienten Ressourceneinsatz im Gebäudesektor), Brüssel 2014

[2] Abfallbilanz des Statistischen Bundesamtes 2019: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Tabellen/liste-abfallbilanz-kurzuebersicht.html

[3] Global Status Report for Buildings and Construction, UNEP (Vereinte Nationen) https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf

[4] Definition aus dem Bericht der Brundtland-Kommission; Ulrich Grober: Hans Carl von Carlowitz. 2010, S. 261

[5] Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch.; https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36495/umfrage/wohnflaeche-je-einwohner-in-deutschland-von-1989-bis-2020/ (Stand 05.03.2022)

[6] z.B. DGNB und BNB https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/de/gebaeude/neubau/kriterien/03_ECO1.1_Gebaeudebezogene-Kosten-im-Lebenszyklus.pdf

[7] https://www.stonecycling.com/

[8] http://www.shardstiles.com/

[9] Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen, Johanna-Katharina Seggewies: Atlas Recycling, München, Edition DETAIL, 2018, S. 64

[10] Annette Hillebrandt, Johanna-Katharina Seggewies, wie Anm. 9, S. 63

[11] Annette Hillebrandt, Johanna-Katharina Seggewies, wie Anm. 9, S. 64

[12] https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/grundstoffe-gs/metalle-gs/stahl-gs.html

[13] 40 - 50.000.000.000 t Sand und Kies: weltweiter Verbrauch / Jahr, Steigerung etwa ca. 5.5% p.a. UN Environmental Programm 2020, https://unepgrid.ch/en/activity/sand

[14] Baurohstoffstudie meldet Versorgungsengpässe in Hamburg, Ruhrgebiet, Großräume Mannheim-Karlsruhe und Berlin/Potsdam, Teilen Niedersachsens und Bayerns, Baurohstoffstudie des BGR, 2020,https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilungen/BGR/bgr-2020-04-20_kies-versorgungsengpaesse-nehmen-zu.html?nn=1544712

[15] 2030 werden auch im optimistischen Szenario die Restvolumina der vorhandenen - inklusive der geplanten und genehmigten - Deponien der Deponieklasse I in Nordrhein- Westfalen, Bayern und Rheinland-Pfalz erschöpft sein.
Prognos AG/Thörner, Hams: Bedarfsanalyse für DK I-Deponien in NRW. Zusammenfassung der Ergebnisse.Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz,Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW,2013; AU Consult GmbH: Bedarfsprognose: Deponien der Klassen 0, I und II in Bayern. Kurzfassung der Studie im Auftrag des Bayrischen Landesamts für Umwelt Augsburg,2015; ifeu Heidelberg; Dehne, Iswing u. a.: Abschätzung des zukünftigen Bedarfs an Deponiekapazitäten in RLP. Kurzfassung der Studie im Auftrag des Landesamtes für Umwelt RLP Berlin/Heidelberg Juni 2016

[16] Anja Rosen, wie Anm 9, S. 23

[17] Bundeswaldinventur / Kohlenstoffinventur 2017; https://bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=1.04%20Baumartengruppe%20(rechnerischer%20Reinbestand)&prRolle=public&prInv=BWI2012&prKapitel=1.04

[18] Anne Niemann, Stefan Torno, Konrad Merz: Bauen mit Laubholz, DETAIL Praxis, München 2020, S.18 ff

[19] eigene Darstellung nach Högelmeier et al., TUM, 2015

[20] eigene Darstellung nach Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie, Thünen-Einschlagsrückrechnung

[21] wie Anm. 9, S. 65

[22] wie Anm. 9, S. 66-67

[23] https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/naturschutz/naturschutz_gips-gutachten.pdf

[24] https://gypsumrecyclinggermany.com/

[25] http://www.istraw.de/strohbauplatte,

[26] https://www.vonhanf.de/hanfverkleidungsplatte-hanfputztraegerplatte/, https://planterial.de/

[27] Eigene Darstellung nach IPCC (Weltklimarat), 2000

[28] wie Anm. 9, S. 44

[29] wie Anm. 9, S. 42-57

[30] wie Anm. 9, S. 46-47

TAE

BIM/ Digitalisierung

Digitale Kompetenz im Bauwesen – quo vadis?

Steffen Feirabend
Hochschule für Technik Stuttgart (HFT) / Werner Sobek AG (WS), Deutschland

Zusammenfassung

Das Erlangen von Kompetenzen für digitale Prozesse und Methoden muss fester Bestandteil der Aus- und Weiterbildung im konstruktiven Ingenieurbau und der Architektur werden. Der bisher nur punktuelle Einsatz digitaler Werkzeuge muss zukünftig einem digital vernetzten Arbeiten weichen. Das Erheben von Daten, deren Aufbereitung und Pflege und das damit einhergehende Teilen ebenso wie das vielfältige Nutzen von Informationen (auch durch Dritte) muss ein wesentlicher Bestandteil der Aus- und Weiterbildung der Ingenieure und Architekten werden.
Die Digitalisierung ermöglicht eine effizientere Nutzung von ökologischen und ökonomischen Ressourcen und damit auch eine grundlegende Veränderung des Bauwesens hin zu mehr Nachhaltigkeit. Erforderlich ist hierfür aber wesentlich mehr als nur die Einführung einzelner Technologien. Es geht um einen breiten Wandel, der gesamtgesellschaftlich mitgetragen werden muss.

1. Einführung

Die Corona-Pandemie hat dazu beigetragen, dass sich auch in der Baubranche eine digitale Arbeitsweise schneller etabliert hat als wir uns dies noch vor kurzem vorstellen konnten. Viele Ingenieure und Architekten haben notgedrungen neue digitale Werkzeuge kennen- und dabei auch deren Vorteile zu schätzen gelernt. Dieser bislang aber meist immer noch nur punktuelle Einsatz digitaler Werkzeuge muss zukünftig einem digital vernetzten Arbeiten weichen.
Das Erfassen von Daten, deren Aufbereitung und Austausch und vielfältigem Nutzen muss zukünftig ein wesentlicher Bestandteil werden. Wenn wir unsere gebaute Umwelt tatsächlich langfristig nachhaltig gestalten und betreiben wollen, muss unser Fokus bei der Nutzung dieser Daten und damit Informationen in Zukunft wesentlich stärker als bisher auf dem gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks liegen.
Digitalisierung steht zudem für mehr Interdisziplinarität. Die seit Jahrzehnten auseinanderstrebenden Disziplinen der Architektur und des Bauingenieurwesens finden über das digital vernetzte Arbeiten zunehmend wieder zusammen. Tradierte Trennungslinien zwischen Planung und Realisierung werden im Zuge der Digitalisierung immer durchlässiger: Grenzen zwischen einzelnen Leistungsbereichen verschieben sich oder lösen sich ganz auf.
Es geht hier um Digitalisierung und Nachhaltigkeit – Schlagworte, die derzeit in keinem Beitrag über die Zukunft des Bauwesens fehlen dürfen. So mancher beklagt mal laut, mal leise den zunehmend inflationären Gebrauch dieser Begrifflichkeiten. Warum also noch einmal über Digitalisierung oder Nachhaltigkeit schreiben? Ganz einfach: Weil es nicht um das „oder“, sondern um das „und“ geht. Digitalisierung und Nachhaltigkeit sind zentrale Themen für die weitere Entwicklung unserer Gesellschaft und unseres Planeten – aber nur im harmonischen Zusammenspiel vieler Ingenieure und Architekten mit den entsprechenden Kompetenzen können sie ihr volles Potenzial zum Wohl der Gemeinschaft entfalten [1].

2. Status Quo

Laut unterschiedlichen Studien war in den Jahren vor der Pandemie bereits ein deutlicher Anstieg des „Digitalisierungsgrads“ in Deutschland zu beobachten. Doch was bedeutet „Digitalisierung“ eigentlich? Die englischen Begriffe „Digitization“ und „Digitalization“ werden beide mit „Digitalisierung“ übersetzt, bedeuten aber etwas grundlegend Unterschiedliches. „Digitization“ bezeichnet die Möglichkeit, analoge Daten und Informationen digital speichern zu können. „Digitization“ ist die Voraussetzung für „Digitalization“. Denn „Digitalization“ ist die neue, kreative Nutzung dieser nun digital vorliegenden Daten und Informationen zur Weiter- oder Neuentwicklung von Geschäftsmodellen und Problemlösungen.
„Digitization“ ist in vielen Bereichen schon weit verbreitet – bezüglich der „Digitalization“ besteht meist aber noch erheblich Handlungsbedarf. Es besteht daher bei der Verwendung des Begriffs „Digitalisierung“ oft die Gefahr des bewussten oder unbewussten „Digitalwashing“. Digitalwashing bezeichnet – wie der bekanntere Begriff „Greenwashing“ – das Verwischen einer Begrifflichkeit und das Erwecken eines nicht gerechtfertigten positiven Eindrucks. Im Folgenden ist mit Digitalisierung deshalb nur die englische „Digitalization“ gemeint.

Im Bauwesen wird Digitalisierung häufig mit Building Information Modeling (BIM) gleichgesetzt (Abb. 1). Laut VDI und Bundesarchitektenkammer bezeichnet BIM eine kooperative Methodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle alle über den Lebenszyklus eines Bauwerks relevanten Daten und damit Informationen erfasst, verwaltet und zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Nutzung übergeben werden.

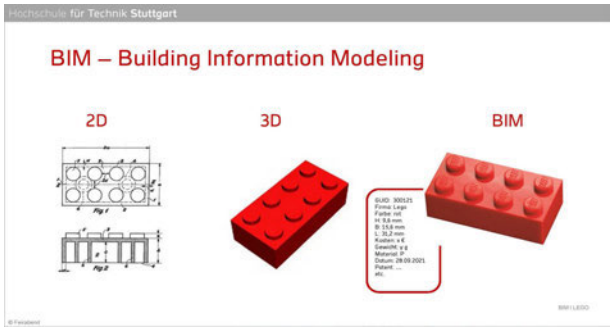


Abb. 1: Unterscheidung: 2-D – 3-D – BIM

Inwiefern kann BIM dazu beitragen, unsere gebaute Umwelt nachhaltiger zu gestalten – und wie erlangen die am Bauschaffen Beteiligten die hierfür erforderlichen Kompetenzen?

3. Quo vadis?

Digital vernetzte Arbeitsweisen und Methoden verbessern die Kommunikation und Qualität durch Transparenz. Damit einher gehen höhere Effizienz sowie die Chance für alle Beteiligte, die Daten über den kompletten Lebenszyklus nachhaltig für unterschiedliche Zwecke nutzen zu können. So ist BIM ja nicht nur eine Planungsmethode, sondern schließt den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks ein, das heißt ausgehend von den ersten Ideen, der Planung, dem Bau, dem Betrieb bis zum Um- und Rückbau - darin liegt die große Chance.

3.1 Vernetzung

Für Ingenieure und Architekten wird die Befähigung zum integralen und digitalen Arbeiten weit über die althergebrachten Disziplinengrenzen immer wichtiger. Nur so lassen sich langfristig erfolgreiche Lösungen finden und Chancen für neue Geschäftsmodelle nutzen. Daher müssen Studierende an den Hochschulen frühzeitig auf diese interdisziplinäre, digital vernetzte Arbeitsweise vorbereitet werden.
Im „BIM+“ Seminar der HFT arbeiten Studierende fakultätsübergreifend in Teams digital vernetzt zusammen (Abb. 2). Diese interdisziplinären Teams bestehen jeweils aus fünf bis sechs Studierenden aus unterschiedlichen Fachdisziplinen. Jedes Team entwickelt modellbasiert mit der BIM-Methodik ein Hochbauprojekt. Die kollaborative Zusammenarbeit der beteiligten Fachdisziplinen führt über mehrere Iterationen zu einer abgestimmten Planung. Die zentralen Lernziele sind hierbei zum einen die Befähigung zum kompetenten Umgang mit allen eingesetzten digitalen Werkzeugen und zum anderen die Kompetenz, diese in einem digital vernetzten Prozess kollaborativ anzuwenden - und damit ein Projekt innerhalb eines interdisziplinäres Teams erfolgreich zum gewünschten Ergebnis zu führen. Darüber hinaus erlangen die Studierenden ein besseres Verständnis für die jeweiligen Sichtweisen aller beteiligten Fachdisziplinen. Sie lernen so, unterschiedliche Perspektiven einzunehmen, über den eigenen Tellerrand hinauszuschauen und das Wissen, Kompetenzen und Lern- und Arbeitseinstellungen zu erweitern.

Abb. 2: BIM+ Seminar an der HFT

Diese Bemühungen, digitale Kompetenzen möglichst früh und möglichst breit aufzubauen, finden auch in der Forschung statt. Hierfür ist das Forschungsprojekt DigitalTWIN mit WS als Partner und der HFT als assoziierter Partner ein gutes Beispiel. Bei DigitalTWIN – **Digital T**ools and **W**orkflow **IN**tegration for Building Lifecycles – steht das Verständnis für systemische Abhängigkeiten und Wechselwirkungen im Vordergrund. Die Forschungspartner kommen deshalb aus sehr unterschiedlichen Branchen. Das Ziel ist die Entwicklung von digitalen Werkzeuge und Techniken, um Dienste, Prozesse und Abläufe entlang der Wertschöpfungskette des Bauwesens zu vernetzen und zu automatisieren (Abb. 3).

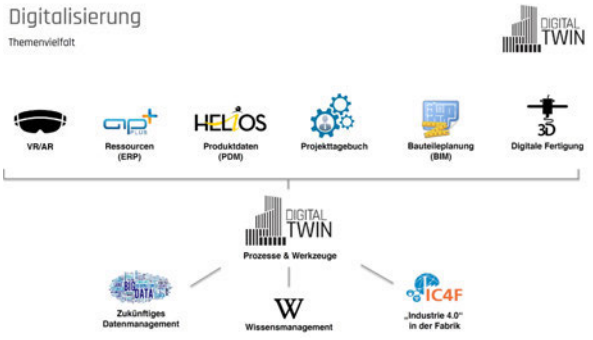


Abb. 3: Themenvielfalt Digitalisierung (© DigitalTWIN)

Besondere Herausforderungen des Bauwesens sind wechselnde Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten über den Lebenszyklus des Bauwerks hinweg, international unterschiedliche Standards sowie ständig wechselnde

Partner bei Planung, Fertigung und Betrieb. Eine offene Plattformarchitektur, weiterentwickelte Breitbandkommunikationstechnologie und Computer Vision Technologien sollen bei DigitalTWIN die Planung, Fertigung und Abstimmung mit der Baustelle vereinfachen und dem Anwender eine vertrauenswürdige und flexibel erweiterbare Kommunikations- und Administrations-Infrastruktur zur Verfügung stellen [2]. Dabei steht der digitale Zwilling des Bauwerks im Mittelpunkt – DigitalTWIN. Das Forschungsvorhaben mündete in einzelne Anwendungsfälle wie z.B. Augmented Reality zur Montageunterstützung am Beispiel einer Gitterschalen, der Qualitätssicherung mit virtueller Schweißprüfung bis hin zum Monitoring im Gebäudebetrieb und Wartungsunterstützung an einer Fassade (Abb. 4).

Abb. 4: Augmented Reality im Gebäudebetrieb (© DigitalTWIN)

3.2 Nachhaltigkeit

Wenn wir unsere gebaute Umwelt tatsächlich langfristig nachhaltig gestalten und betreiben wollen, muss unser Fokus bei der Nutzung von BIM in Zukunft wesentlich stärker als bisher auf dem gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks liegen.

Die Ökobilanzierung eines Bauwerks gibt Aufschluss über dessen Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Die Ökobilanz identifiziert signifikante Umweltwirkungen und zeigt, wo Umweltwirkungen in den verschiedenen Phasen des Lebenszyklus reduziert werden können.

Die Ökobilanzierung findet derzeit meist parallel zur eigentlichen Planung des jeweiligen Bauwerks statt. Eine Integration dieser Bilanzierung als planungsbegleitendes Optimierungswerkzeug ist daher anzustreben. Die Bauwerksdatenmodelle, die im Rahmen einer Planung mit der Methodik „Building Information Modeling“ (BIM) entstehen, sind mit den lebenswegbezogenen Bauproduktdaten anzureichern. Zum Teil wird diese Datenanreicherung bereits heute vollzogen – meist jedoch händisch und somit zeit- und kostenintensiv. Hierfür sind neue Wege der Datenverknüpfung zu finden und zu etablieren, um frühzeitig eine Optimierung der Planung auch auf Basis der Ökobilanz vornehmen zu können. Dabei sollte eine Datenaustauschstrategie mit der OpenBIM Methodik gewählt werden, um eine durchgängige Interkonnektivität der Daten zu erreichen. Zudem sollte auf bereits vorhandene, qualitätsgeprüfte Bauproduktdaten (z.B. ÖKO-BAUDAT) zurückgegriffen werden. Die frühzeitige Ökobilanzierung mit der Methodik BIM fungiert als planungsbegleitendes Optimierungswerkzeug zur Entscheidungsunterstützung in den frühen Planungsphasen. Gleichzeitig erlaubt die BIM Methodik die Simulation des Gebäudebetriebs in der Planung mit zusätzlichem Optimierungspotenzial.

Abb. 5: BIM - Lebenszyklus

Betrieb, Um- und Rückbau eines Bauwerks sind mindestens ebenso wichtig für seine Nachhaltigkeit wie seine Planung und Ausführung. Dies bedingt aber die geordnete und gezielte digitale Übergabe der relevanten Daten aus Planung und Bau in den Betrieb (sprich: in das Facility Management) und deren Pflege über viele Jahrzehnte hinweg, bis hin zum Rückbau. In der Praxis wird dies bislang nur in sehr begrenztem Umfang umgesetzt, nicht zuletzt da fehlende Schnittstellenstandards einen erheblichen Mehraufwand erforderlich machen. Warum mehr tun (und zahlen), wenn schon heute jeder darüber klagt, wie teuer das Bauen geworden ist?

Für den einzelnen Bauherrn ist ein solcher Mehraufwand in der jetzigen Konstellation kaum realisierbar, das ist verständlich. Was aber passiert, wenn wir diese Konstellation nicht ändern und keinen radikalen Wandel einleiten? Die Weltbevölkerung wird im Jahr 2050 von heute rund 7,7 Milliarden Menschen auf 9,7 Milliarden angewachsen sein. Zu diesem Wachstum kommen regionale ebenso wie internationale Wanderungsbewegungen. Weltweit wohnen schon heute mehr Menschen in urbanen Ballungsräumen als auf dem Land. Aller Voraussicht nach werden in 25 Jahren sogar zwei Drittel der Weltbevölkerung in Städten leben. Durch das Bevölkerungswachstum und die Urbanisierung wird die Nachfrage nach gebauter Infrastruktur und damit nach Rohstoffen weiter dramatisch zunehmen. Die Rohstoffvorkommen der Erde sind endlich – und ihr Abbau (ebenso wie ihre Entsorgung) trägt wesentlich zur Zerstörung unserer Um-

welt bei. Wir müssen deshalb dringend neue Wege finden, wie der stetig steigende Bedarf nach mehr gebauter Umwelt nachhaltig gedeckt werden kann. Wie kann uns die Digitalisierung bei der Bewältigung dieser Herausforderungen helfen?
Das digitale Abbild eines Bauwerks bildet die Grundlage für dessen nachhaltigen Betrieb und Rückbau. Nur wenn wir (bzw. kommende Generationen) genau wissen, welche Materialien wie und wo verarbeitet sind, ist eine zielgerichtete Rückführung aller Komponenten in Stoffkreisläufe möglich – und kann eine frühzeitige Planung künftiger Nutzungen dieses Rohstoffpotenzials erfolgen. Das Konzept des Urban Mining – d.h. die Nutzung eines dicht besiedelten urbanen Raums als Rohstofflagerstätte für die Zukunft - lässt sich mit Hilfe der Digitalisierung optimieren bzw. überhaupt erst umsetzen. Dazu muss aber die gebaute Umwelt digital erfasst sein. Erst mit dem Wissen darüber, was wo und wie verbaut wurde, ist ein effektives und effizientes Bewirtschaften der gebauten Welt im Sinne kommender Generationen möglich. Digitale Bauwerksdatenmodelle sollten alle relevanten Angaben zu Material- und Produktzusammensetzung im Bauwerk enthalten, ebenso wie Angaben zur Art der Verbindungen und vorgeplanten Rückbaukonzepten. Digitale Stadtmodelle sollten das urbane Umfeld, unsere Städte, als Ressourcenlager dokumentieren. Aus diesen muss ablesbar werden, wann und wo welche Bauwerke rückgebaut werden und damit Rohstoffe für neue Konstruktionen liefern. BIM gibt uns die Möglichkeit, einen Großteil der erforderlichen Datenmengen zu erfassen. Ihre Speicherung und Pflege sowie die (rechtssichere) Zugänglichmachung in kommenden Jahrzehnten sind aber neue Herausforderungen, für die noch angemessene Lösungen entwickelt werden müssen.

4. Fazit

Ingenieure und Architekten müssen sich ihre Offenheit ebenso bewahren wie den Mut neue Wege zu gehen - das lateinische Wort „ingenium“ steht ja für „sinnreiche Erfindung“ oder „Scharfsinn“. Wir müssen bereit sein, die Komfortzone des Bekannten zu verlassen und uns auf einen sicher nicht immer ganz einfachen Lernprozess einlassen. In der Aus- und Weiterbildung der Ingenieure und Architekten müssen entsprechende Weichenstellung getätigt werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass später im Beruf mit heute noch nicht bekannten bzw. absehbaren Werkzeugen und Methoden sinnvoll und zielgerichtet gearbeitet werden kann. Dazu gehört zukünftig sicherlich auch der Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) im Bauwesen.
Die Digitalisierung ermöglicht eine effizientere Nutzung von ökologischen und ökonomischen Ressourcen und damit auch eine grundlegende Veränderung des Bauwesens hin zu mehr Nachhaltigkeit. Erforderlich ist hierfür aber wesentlich mehr als nur die Einführung einzelner Technologien. Es geht um einen breiten Wandel, der gesamtgesellschaftlich mitgetragen werden muss. Diesen Wandel anzustoßen und vorzubereiten sollte Ziel aller am Bauschaffen Beteiligten sein.

Literatur

[1] Bechmann, Roland; Feirabend, Steffen: *Digitalisierung als Schlüssel zu mehr Nachhaltigkeit*. Editorial in: BIM – Building Information Modeling; S. 1, Ernst & Sohn Special 2019
[2] DigitalTWIN: https://d-twin.eu/ Abrufdatum: 01.08.2021

Komplexität berechenbar machen – das parametrische Engineering des Kuwait International Airport

Matteo Brunetti
Werner Sobek AG, Stuttgart, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. M. Arch. Lucio Blandini
Werner Sobek AG, Stuttgart, Deutschland

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beschreibt den Einsatz digitaler Werkzeuge zur Parametrisierung der Planung des neuen Terminal 2 am Kuwait International Airport. Im Detail werden die Erstellung der Berechnungsmodelle und das Post-Processing für die Berechnung und Bemessung beschrieben.

1. Einleitung

Die Digitalisierung bietet der Baubranche sowohl bei der Planung als auch bei Fertigung eine Vielzahl an neuen Möglichkeiten. Dies gilt insbesondere bei der Realisierung von komplexen Geometrien und Tragwerken, wie sie in der Vergangenheit nur schwer vorstellbar, geschweige denn plan- oder baubar waren. Angesichts dieser neuen Möglichkeiten haben sich in den letzten Jahren in vielen Fällen auch die von Architekten entwickelten Entwürfe verändert. Das Streben nach immer komplexeren Gebäuden wiederum hat fast zwangsläufig dazu geführt, dass sich auch die Rolle der Ingenieure weiterentwickeln musste. Die Entwicklung angepasster digitaler Werkzeuge war unerlässlich, um die Komplexität planerisch beherrschbar zu machen. Ziel der Planung ist nach wie vor eine optimale Materialisierung von Kraftflüssen; die neuen Tragwerke lassen sich nicht einfach auf klassische Systemkomponenten zurückführen. Die Vereinfachung durch standardisierte statische Systeme ist zwar weiterhin wichtig für Plausibilitätskontrollen – sie ist aber bei weitem nicht mehr ausreichend: Die mittlerweile erforderliche Rationalisierung eines Entwurfs in der planerischen Umsetzung ist in vielen Fällen nur durch Parametrisierung möglich. Die Optimierung bezieht sich dabei nicht nur auf den Entwurf selbst, sondern auch auf sämtliche Prozesse in Planung und Ausführung.
Das Büro Werner Sobek beschäftigt sich bereits seit geraumer Zeit mit den Neuerungen, die durch die digitale Revolution erforderlich bzw. möglich werden [1], [2]. Bei einem Teil seiner Projekte wirkt das Büro bereits bei sehr frühen Entwurfsphasen mit. Bei anderen Projekten liegt der Schwerpunkt auf dem Übergang von der Planung hin zur baulichen Umsetzung [3]. Das Unternehmen konnte so sein Wissen entlang der gesamten Prozesskette konsequent ausbauen und weiterentwickeln.

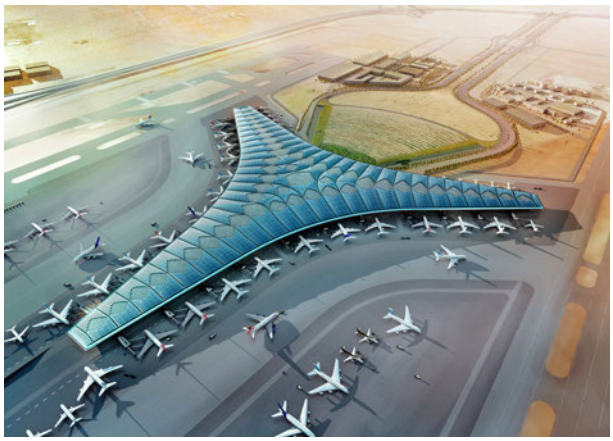


Abbildung 1: Aufsicht auf das neue Terminalgebäude am Kuwait International Airport (Copyright: Foster + Partners, London)

Dies ist wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Beratung des jeweiligen Auftraggebers, unabhängig von der Frage, ob es der entwerfende Architekt, der beauftragende Entwickler oder die ausführende Firma ist. Dieses über viele Jahre aufgebaute Know-how spielte auch eine wichtige Rolle für die Beauftragung mit der Planung von Terminal 2 des Kuwait International Airport. Bei diesem Projekt waren verschiedene parametrische Modelle ebenso wie selbst entwickelte Programme unabdingbar, um die geometrische und konstruktive Komplexität des Tragwerks planerisch zu meistern und realisierbar zu machen. Im Folgenden wird dieser Prozess näher beschrieben.

2. Projektbeschreibung und Tragwerk

Der internationale Flughafen von Kuwait wird in den kommenden Jahren konsequent ausgebaut, um das Emirat zu einem neuen Luftdrehkreuz in der Golfregion zu machen. Um dieses Ziel zu erreichen, wird bis 2022 ein von Foster + Partners entworfenes Terminalgebäude (T2) realisiert [4]. Mit einer Kantenlänge von fast 1,2 km, einer lichten Höhe von bis zu 25 m und einer Dachfläche von rund 320.000 m² ist das Gebäude schon allein aufgrund seiner Größe ein außergewöhnliches Projekt. Die besondere Herausforderung für die Ingenieure lag aber hauptsächlich in dem komplexen Tragwerk aus Stahl und Stahlbeton, das es hier zu planen, zu bemessen und zu realisieren galt. Das Dachtragwerk spannt bis zu 145 m und kragt bis zu 50 m aus. Es bietet so einen natürlich verschatteten Eingangsbereich und einen großzügigen und flexiblen Innenbereich.

Abbildung 2: Die markante Auskragung des Daches sorgt für einen großzügigen sonnengeschützten Eingangsbereich (Copyright: Foster + Partners, London)

Die Tragwerks- und Fassadenplanung für das neue Terminal wurde bis zur Ausschreibung von Arup London erbracht. Nach der Ausschreibung übernahm Werner Sobek die Ausführungsplanung. Der Auftrag von Werner Sobek umfasste dabei sowohl die Berechnung, Bemessung und Weiterentwicklung des Tragwerks auf Grundlage der Ausschreibungsunterlagen als auch die Vorbereitung und Koordination des BIM-Modells bis zu einer Detailgenauigkeit von LOD 400. Außerdem wurden für einige komplexe Bauteile (wie zum Beispiel das Schalentragwerk des Dachs) parametrische 3D-Modelle definiert, die als Grundlage für die Fertigung dienen.
Im Tragwerk des Terminals erkennt man fünf Hauptsysteme: 1) Das Haupttragwerk aus Stahlbeton; 2) das Schalentragwerk aus Stahl und Stahlbeton; 3) die Stahlfachwerkträger; 4) das Sekundärdachtragwerk; 5) die Fassade. Das Haupttragwerk aus Stahlbeton ist durch Elemente gekennzeichnet, die typisch für den Brückenbau sind. Es besteht aus 90 Haupthohlstützen mit einer max. Seitenlänge von 3 bis 9 m und einer Höhe von 25 bis 45 m. Die Ausmaße und die Lasten dieser Stützen sind vergleichbar mit Brückenpfeilern und Gebäudekernen. Zwischen den Stützen spannen rippenartige Bogenträger („Ribs“). Die Querschnittshöhe dieser Träger liegt zwischen 2,2 m für die kleinen Achsen und 5,4 m für die größte Spannweite.
Die Auskragungen im Außenbereich werden ebenso von „Ribs“ unterstützt, die durch ein System von Schrägkabeln kurzgeschlossen sind. Entlang der Außenkante des Gebäudes spannen Längsrippen („Spines“), die auch die Lasten aus der Fassade übernehmen.

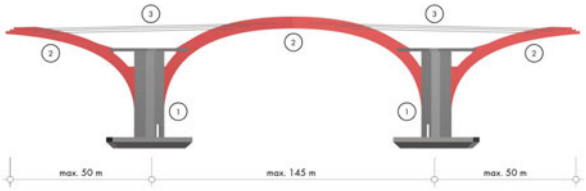


Abbildung 3: Querschnitt durch das Tragwerkssystem des neuen Terminal; 1) Hohlstützen 2) Querrippen („Ribs“) 3) Schrägkabel (Copyright: Werner Sobek, Stuttgart)

Quer- und Längsrippen bestehen aus vorgespannten Stahlbetonfertigteilen; sie unterteilen das Terminalgebäude in insgesamt 136 Felder. Den oberen Abschluss dieser Felder bildet jeweils eine aussteifende doppelt gekrümmte Schale, die aus vorgefertigten Kassetten („Shell Cassettes“) besteht.
Die Kassetten bestehen aus seitlichen ebenen Stahlblechen und aus Stahlbetonpaneelen. Die Höhe der Stahlbleche variiert in Abhängigkeit von der Schalenkrümmung; dadurch sind die Bleche am Rand (wo die Krümmung üblicherweise stärker ist) höher. Dies wirkt sich vorteilhaft auf das Tragverhalten aus. Die Stahlbleche übertragen die Lasten in axialer Richtung und auf Biegung.

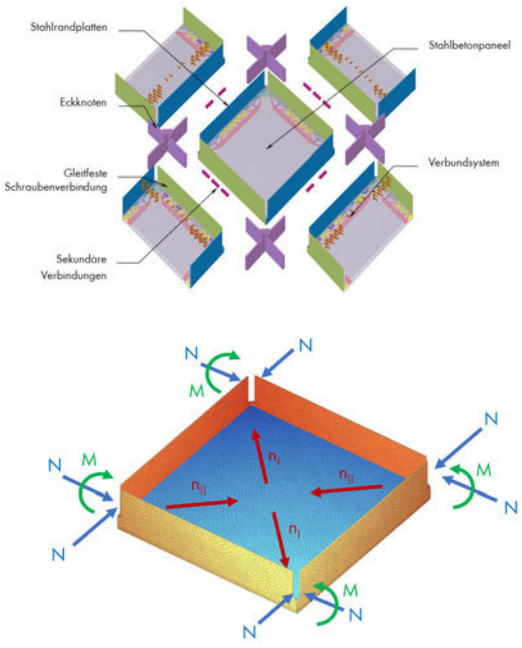


Abbildung 4: Explosionsdarstellung der „Shell Cassettes“ mit entsprechendem Kraftfluss (Copyright: Werner Sobek, Stuttgart)