

Kapitel VI | Forschungstransfer der Theoriebildungen

Die von der Autorin gewählte Methodik der Verknüpfung prozessualer und konstruktiver Betrachtungen zeigt im nun folgenden Forschungstransfer seinen Mehrwert dadurch, dass die Arbeit umfassende und breite Ansätze zur Übertragbarkeit bietet. Im Forschungsdesign wurde erläutert, dass die Dissertation stets allgemeingültige Kriterien aufstellt, die dann anhand des Betonsektors überprüft werden. Diese Herangehensweise erlaubt einen Transfer in eben diesen zwei Betrachtungsebenen. Zum einen wird eine Übertragbarkeit der Theorien auf anderen Bauweisen und Materialien möglich ([→6.1 Übertragung der Leittheorie auf andere Bauweisen und Materialien](#)). So wird zum einen anhand des aktuell laufenden Forschungsprojektes MZD die Übertragung auf hybride Konstruktionen geleistet. Zum anderen wird eine Übertragbarkeit der ausgemachten Potenziale von Betonkonstruktionen auf den Umgang mit Bestandsstrukturen aufgezeigt ([→6.2 Übertragung der Leittheorie auf den Anwendungsfall Bestandsstrukturen](#)). So wird anhand des Forschungskonzeptes ReActivate die Individualisierte Standardisierung in eine Sanierungsstrategie überführt.

6.1 Übertragung der Leittheorie auf andere Bauweisen und Materialien

Die eingangs vorgenommene Eingrenzung der Untersuchungsebenen auf monolithische Betonkonstruktionen (→1.2.3 Eingrenzung monolithische Betonbauweisen) kann ohne weiteres nochmals erweitert werden, indem die Arbeitsthese in andere Bauweisen beziehungsweise Materialien übersetzt wird. Um dem Klimanotstand entgegenzuwirken, muss die Forschungslandschaft breit aufgestellt sein und der Transfer in die Praxis erleichtert werden. Die zwischenzeitliche Rohstoffknappheit und schwankende Preise für den Rohstoff Holz machen bewusst, dass es mit Blick auf unvorhersehbare Entwicklungen sinnvoll ist, in Alternativen zu denken und eine Unabhängigkeit der Märkte zu schaffen. Die oft gegeneinander ausgespielten Baustoffe Holz und Beton werden nach Einschätzung der Autorin im Bausektor zukünftig beide ihre Daseinsberechtigung haben.

Naheliegender ist im ersten Schritt eine Übertragung auf den natürlichen Werkstoff Lehm, der aufgrund seiner ähnlich fließfähigen Materialeigenschaften Parallelen zu Betonwerkstoffen hinsichtlich seiner damit einhergehenden Formbarkeit und Verarbeitbarkeit, aber auch seiner Massivität bietet. Es böte sich daher an, in einem weiteren Schritt Lehmwerkstoffe entsprechend der synchronen Umsetzung der drei Leitfaktoren zu untersuchen und dadurch Nachhaltigkeitspotenziale zu erschließen.

Mit Blick auf andere für das Bauwesen wichtige Baustoffe, wie beispielsweise Holz, soll im Folgenden deutlich gemacht werden, inwiefern sich in Abhängigkeit des Werkstoffs die materialtypischen Prozesse ändern. Da Holz, anders als Beton, kein fließfähiger Werkstoff ist, stehen im Holzbau andere Fertigungsverfahren zur Verfügung. Dennoch können die aufgestellten Anforderungen an eine komplementäre Fertigungsstrategie (→2.2.4), die Umsetzung adaptiver Systeme (→2.3.4) sowie die Einbindung assoziativer Planungswerkzeuge (→2.4.4) auch für diese Bauweisen zielführend sein.

Anhand des nachfolgend dargestellten Forschungsprojekts „Modular – Zirkulär – Digital (MZD)“, welches auf die Stärkung der hybriden Bauweise abzielt, werden weitere Übertragungsmöglichkeiten reflektiert. Die Ausführungen beschreiben, was dieses Projekt zur Umsetzung des Ansatzes beitragen kann.

6.1.1 Forschungsprojekt: hybride Systembaukonstruktion „Modular – Zirkulär - Digital (MZD)“

Anhand des Forschungsprojekts „Digital - Modular – Zirkulär (MZD)“⁵⁹⁴, das unter der Leitung von Frau Prof. Dr.-Ing. J. Albus, der Juniorprofessur Ressourceneffizientes Bauen (REB) beziehungsweise nach Berufung an die Hochschule Bochum der Professur Entwerfen und Konstruieren. Nachhaltiges Bauen (EKNB) durchgeführt wird, soll reflektiert werden, dass eine pyramidale, zirkuläre Anwendung der drei Leitfaktoren ebenfalls eine zielführende Handlungsstrategie zur Verbesserung der Nachhaltigkeit hybrider Konstruktionen abbildet. Bei dem Forschungsprojekt handelt es sich um eine kooperative Forschung zwischen dem Unternehmen Design-to-Production als Experten digitaler Planungsmethoden, dem ausführenden Unternehmen Solid.Modulbau GmbH mit Expertise in der Realisierung modularer Gebäude und der TU Dortmund als hochschulgebundene Forschungseinrichtung aus dem Lehrgebiet des ressourceneffizienten Bauens.⁵⁹⁵ Durch den Ruf von Frau Prof. Jutta Albus an die Hochschule Bochum wurde das Forschungsprojekt ab 09/2023 an die HSBO übertragen. Die Mitarbeiterkonstellation konnte konstant bleiben. Bei der Entwicklung der Forschungsergebnisse sind neben Prof. Dr.-Ing. Albus maßgeblich die Autorin sowie Gavin Hope und Nurcan Akca⁵⁹⁶ beteiligt.

Während bei der vorangegangenen Forschung zum Aeroleichtbeton die Leitidee der Individualisierten Standardisierung an einem monolithischen Betonbauteil erprobt wurde, kann anhand der aktuellen Forschung MZD die Übertragung der Strategie auf den Gebäudemaßstab und die Entwicklung einer hybriden Bauweise erfolgen.

Das Ziel, ein zukunftsfähiges Konzept für den individualisierten Systembau zu entwickeln, basiert auf einer ganzheitlichen Optimierung von Planungs- und Ausführungsprozessen, Konstruktions- und Herstellungsweisen sowie des Materialeinsatzes. Auf der Grundlage einer mineralischen Konstruktionsmethode soll innerhalb einer integralen Planung die Ressourceneffizienz des Baustoffs Beton über den gesamten Lebenszyklus dargestellt werden. Dabei wird angestrebt, den Anteil von Beton im Gesamtgefüge maßgeblich zu reduzieren, und nur dort einzusetzen, wo die spezifische Leistungsfähigkeit des Betons gefordert ist. Daher stellt die Forschungsleistung die Entwicklung von vorgefertigten Bauteilen oder Baugruppen in Hybridbauweise in den Fokus. Damit verbunden soll sich eine höhere gestalterische Varianz und konstruktive Flexibilität ergeben. Dies soll zur Verbesserung der nachhaltigen Nutzung von Gebäuden beitragen⁵⁹⁷, indem eine höhere Akzeptanz, eine entsprechend längere Nutzung und flexible Umnutzung

⁵⁹⁴ DBU „Modular – Zirkulär – Digital: Individualisierbare Standardisierung – Ganzheitlicher Modulbaukasten zum Erreichen nachhaltiger Planungskonzepte und hoher planerischer Flexibilität“ (10/2022-09/2024).

Die dargelegten Forschungsergebnisse stellen einen Zwischenstand zum Zeitpunkt des dritten Zwischenberichtes dar.

⁵⁹⁵ Die Inhalte dieses Kapitels basieren zum Teil auf Textbausteinen der Antragstellung des DBU Forschungsprojektes zu welcher die Autorin beigetragen hat, sowie auf der Veröffentlichung zum Beitrag der Konferenz „sustainable built environment (sbe22)“, an welcher die Autorin vorgetragen hat.

⁵⁹⁶ Cengiz Kabalakli war als WHF im Zeitraum von 10/2022-09/2023 ebenfalls an dem Projekt beschäftigt.

⁵⁹⁷ Albus/Hollmann-Schröter 2022 (wie Anm. 156), S. 5.

ermöglicht werden. Aus einer längeren Nutzungsdauer kann resultieren, dass Baustoffe langfristig gebunden bleiben.

Ausgehend von einem adaptiv-assoziativen Bausystem werden in einer Planungsleistung vorgefertigte, dreidimensionale Raummodule aus Boden und Wand mit Tafелеlementen und linearen Elementen systematisch kombiniert (Abb. 93) und im Hinblick auf eine automatisierte Produktion baukonstruktiv entwickelt. So kann eine große Bandbreite an Lösungsansätzen für mehrgeschossige Gebäudetypologien bereitgestellt werden.⁵⁹⁸

Die Forschung adressiert wie unter Kapitel (→5.1 Potenziale anpassungsfähiger Betonkonstruktionen) erläutert, dass zum einen eine kurzfristige Reduktion von CO₂-Emissionen bei der Bilanzierung relevant ist. Dies soll im Wesentlichen durch die Reduktion des Volumenanteils der Betonbauteile um ungefähr 50 Prozent erreicht werden sowie durch die spezifische Materialentwicklung. Zum anderen soll eine langfristige Reduktion von CO₂-Emissionen durch die Implementierung eines Flexibilisierungsfaktor umgesetzt werden. Dieses Gleichgewicht kann durch die Kombination - Modul und Tafel - erreicht werden.

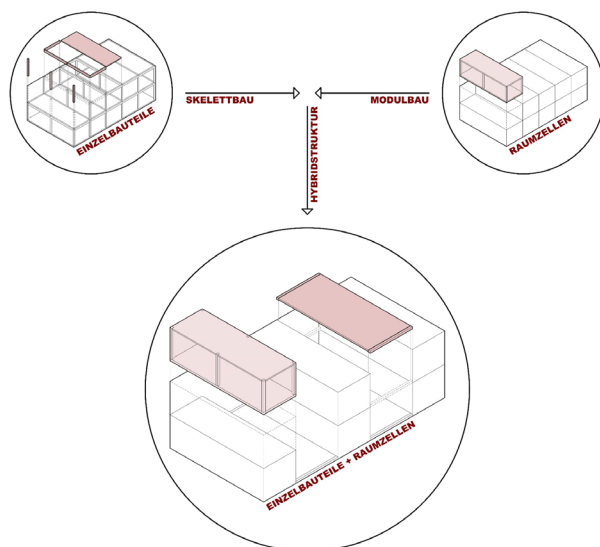


Abb. 93: Kombination von zweidimensionalen Bauteilen und dreidimensionalen Raummodulen © HSBO (Hope)

⁵⁹⁸ Ebd.

6.2 Übertragung der Leittheorie auf den Anwendungsfall Bestandsstrukturen

In den bisherigen Ausführungen der Dissertation wurde erläutert, wie die Verknüpfung der drei Leitfaktoren in der Strategie der Individualisierten Standardisierung den Rahmen für konkrete Projekte und Fortschritte zur Verbesserung der Nachhaltigkeit im Bauwesen bilden kann. Dabei wurde die Bedeutung des kreislaufgerechten Bauens hervorgehoben und methodisch an die aufeinander aufbauende Pyramidale Zirkularität gekoppelt. All diese Ausführungen beziehen sich bis hierher vorwiegend auf Nebausysteme. Vor dem Hintergrund des zum Großteil unsanierten Gebäudebestands in Deutschland soll der Blick auf Sanierungskonzepte erweitert werden, der einen wesentlichen Faktor zum Erreichen der Klimaziele darstellt. Die Bestandsgebäude befinden sich in einem energetisch schlechten Zustand, laut Statistik betrifft das die Gebäude, die vor 1995 gebaut wurden und das sind ungefähr 80 Prozent der Gebäude in Deutschland.⁵⁹⁹ Im Jahr 2023 wurde eine Sanierungsquote von etwa 1 Prozent erreicht. Um die gesetzten Ziele eines klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 zu erreichen, müsste folgendes eintreten: „Hierfür ist nach gängigen Berechnungen eine Erhöhung der energetischen Sanierungsrate von jährlich etwa 1 % auf 2 bis 3 % erforderlich, um den Bestand einmal komplett in 50 bzw. 40 Jahren zu sanieren.“⁶⁰⁰ Bisher bestehen hier unzulängliche Lösungsansätze, um den eingangs erläuterten Mängeln entgegenzuwirken. Stricker et al. sehen zudem folgende Verschiebung „Die Wertschätzung der Bestandsbauten wird ansteigen: Was bisher als Steckenpferd der Denkmalpflege und des Heimatschutzes abgetan werden konnte, gewinnt künftig an Unterstützung aus sehr rationalen ökologischen und ökonomischen Überlegungen.“⁶⁰¹ Bei einer Bestandsaufnahme wird deutlich, dass bestehende Gebäude- und Infrastrukturen oft nicht anschlussfähig sind, um die geforderte Kreislauffähigkeit von Strukturen zu realisieren. Aktuell erfolgt eher der Abriss, nach dem Prinzip „Downcycling vor Wiederverwendung“. Aufgrund der aktuellen Mangellage an Rohstoffen, Energie und Wohnraum gewinnen Bestandsstrukturen jedoch maßgeblich an Bedeutung. „Nicht unerwartet zeigte sich einmal mehr, dass die effizienteste Form, Bauteile wiederzuverwenden, darin besteht, Bauwerke gar nicht erst abzureißen, sondern umzubauen und neu zu nutzen. Ein Großteil der Grauen Energie von Gebäuden liegt in ihrer Primärstruktur. Dies allein sollte uns dazu bewegen, mit dem Bestand einen sorgsameren Umgang zu pflegen.“⁶⁰² Im Folgenden wird dargelegt, wie die Strategie der Individualisierten Standardisierung auch als geeignete Methode für den Umgang mit Bestandsstrukturen bieten kann.

⁵⁹⁹ Vgl. Statistische Ämter des Bundes und der Länder: Wohngebäude nach Baujahr, Ergebnisse der Gebäude- und Wohnungszählung 2011, <https://www.statistikportal.de/de/wohngebaeude-nach-baujahr> (Zugriff am: 30. Mai. 2023).

⁶⁰⁰ Vgl. Stefan Rein (Hg.), *Datenbasis zum Gebäudebestand. Zur Notwendigkeit eines besseren Informationsstandes über die Wohn- und Nichtwohngebäude in Deutschland*, Bonn 2016 (BBSR-Analysen kompakt 2016,9), S. 5, http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2016/ak-09-2016-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

⁶⁰¹ Sondegger 2021 (wie Anm. 392), S. 287.

⁶⁰² Ebd., S. 286.

6.2.1 Forschungskonzept: Sanierungsverfahren ReActivate

Die projektierte Forschungsleistung ReActivate⁶⁰³ wird herangezogen, um darzulegen wie eine Umsetzung der Strategie der Individualisierten Standardisierung auf ein neuartiges Sanierungsverfahrens übertragen werden kann. Die Innovation steckt in der übergeordneten Herangehensweise, die durch eine Zusammenführung der Leitfaktoren Technik, Konstruktion und Gestaltung signifikant optimierte Betonkonstruktionen zur Anwendung im Sanierungssektor ermöglicht.⁶⁰⁴

Der ganzheitliche Lösungsansatz der Forschungsidee verfolgt die Bereitstellung eines systematisierten Verfahrens für die energetische Sanierung von Bestandsbauten. Die Materialtechnologie in Form einer mineralischen, hochdämmenden Vorsatzschale soll so konzipiert werden, dass sie ohne notwendige Gerüststellung und schalungsfrei bedarfsgerecht appliziert werden kann. Diese lokal verortete Produktion und automatisierte Montage einer maßgeschneiderten mineralischen Dämmschicht schont Ressourcen bei Arbeitskräften, Herstellung, Abfall und Energieverbrauch. Damit kann die projektierte Forschungsleistung eine Verbesserung für den Klimaschutz erzielen. Der projektierte Forschungsansatz soll mittels digitaler Planungswerkzeuge und der Etablierung digitaler Schnittstellen eine neue Dimension für die Bestandssanierung mit erheblicher Breitenwirkung erreichen. Der Begriff des digitalen Materials, wie unter (→3.1.3.3 Schnittstelle Gestaltung – Technik: digitales Material) erläutert, könnte mit diesem Forschungskonzept in die Bauausführung transferiert werden. Die Anlagentechnologie könnte so erstmalig eine standardisierte, aufgrund der Einbindung von Robotik jedoch gleichzeitig individuelle Sanierungsstrategie für den Gebäudebestand liefern.

⁶⁰³ „Re-Activate - Automatisiert. Adaptiv. Kreislaufgerecht

Serielles Sanierungsverfahren für den Gebäudebestand mit RC-Aeroleichtbeton“ ist eine maßgeblich eigens vorangetriebene Forschungsidee, die als Kooperationsprojekt bei dem Förderprogramm KMU innovativ eingereicht, jedoch abgelehnt wurde. Geplante Kooperationspartner waren die Fa. G.tecz Engineering GmbH, Concrete Robotics GmbH und Surap.

⁶⁰⁴ Die folgenden textlichen und bildlichen Inhalte, zu denen die Autorin maßgeblich selbst beigetragen hat, basieren auf den Inhalten der Antragstellung, die gemeinsam mit Frau Prof. Dr.-Ing. J. Albus entwickelt wurde.

6.3 Ausblick eines ganzheitlichen Szenarios

Mit den Erkenntnissen der Dissertation wagt die Autorin einen Blick auf ein Zukunftsszenario. Eine exemplarische Abbildung des gesamten pyramidalen Settings der kreislauffähigen Erstellung und des Urban Mining gerechten Rückbaus kann abschließend wie folgt zusammengefasst werden:

Um die Anforderungsparameter einer Bauaufgabe in den Planungsprozess zu überführen, miteinander in Beziehung zu setzen, und diese schließlich für die Planerinnen und Planer zugänglich zu machen, wird über ein digitales Entwurfswerkzeug ein Projekt im Sinne eines ganzheitlichen Prozesses vorbereitet ([→digitales Planungswerkzeug](#)). Dieses wird über die einzelnen Leistungsphasen bis hin zur (teil-)automatisierten Fertigung entwickelt. Eine neuartige, digital gestützte Nachhaltigkeit auf Basis digitaler Planungstools führt zu effizienteren Bauweisen, denn auf diese Weise können Konstruktions- und Fügeverfahren prozessual adaptiert und Materialien gezielter eingesetzt und funktionsoptimiert verwendet werden ([→digitales Material](#)). Dies bedingt eine nennenswerte Verbesserung der Ressourceneffizienz von Beginn an.

Neben einer integralen Planungsentwicklung ist der Einsatz von Fertigungsverfahren, die den digitalen Transfer von der Planung in die automatisierte Produktion ermöglichen, eine wichtige Komponente, die eine effiziente Gebäuderealisierung fördert ([→digitales Detail](#)). Neben intelligenten Fertigungsverfahren muss eine ganzheitliche Planung auf den Materialverbrauch und damit auf dessen Funktionalität fokussieren, um den Verbrauch an Rohstoffressourcen zu reduzieren und die Wiederverwertbarkeit zu erleichtern. Daher ist ein Fokus auf Zirkularität im gesamten Ressourcenmanagement und den begleitenden Prozessen erforderlich.

Darüber hinaus muss für eine kreislauffähige Bauwirtschaft der kontinuierliche Übergang zum Rückbau von Beginn an mitgedacht werden. Durch eine reversible Fügeverfahren kann nach der Lebensdauer ein geordneter Rückbau erfolgen ([→digitale Zerlegung](#)). Systematisierte Bauteile können dabei besser in ein Materialkataster zurückfließen und mithilfe digitaler Planungswerkzeuge wieder in neuen Entwurfsprozessen Anwendung finden ([→digitaler Neuentwurf](#)). Die kontinuierliche Anbindung von Prozessen, zuerst die Vermittlung und später der Zugriff zu bestehenden Materialkatalogen ([→digitale Kataster](#)), wird durch eine umgesetzte digitale Nachhaltigkeit unterstützt.

