

Bau auf! Kreislaufgerechte Architektur in der Lehre

Sandra Böhm, Dirk E. Hebel

(Diplom Designer, Sandra Böhm, KIT Karlsruhe, Nachhaltiges Bauen, Gebäude 11.40, R 21-23, Englerstraße 11, 76131 Karlsruhe)
(Dipl. Arch. ETHZ, Princeton University I AKBW, Professor Dirk E. Hebel, KIT Karlsruhe, Nachhaltiges Bauen, G 11.40, R 21-23, Englerstraße 11, 76131 Karlsruhe)

1 ABSTRACT

Traditionell verwendete Ressourcen im Bauwesen wie Sande, Kiese, Erze, Kupfer oder Zink, werden durch einen nie dagewesenen Raubbau seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert nur noch wenige Jahre in der Erdkruste für Industrien mit vertretbarem Abbauaufwand zur Verfügung stehen. Das Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie stellt bereits 2005 das dramatische Reserven-zu-Produktion-Verhältnis von Basismetallrohstoffen dar.¹

Allein durch einen Paradigmenwechsel im Umgang mit Ressourcen ist ein angemessener und humanitärer Lebensstandard für jeden Menschen unserer stetig wachsenden Erdbevölkerung realisierbar. Nur ein konsequent kreislaufbasiertes System garantiert, dass auch nachfolgende Generationen essentielle Ressourcen weiterhin und unendlich nutzen können.

Die neuen digitalen Technologien bilden die zweite wichtige Säule für eine zukunftsfähige Bauindustrie. Firmen wie WASP drucken Häuser aus Strohlehm und sehen diese Technologie als Chance für weniger entwickelte Regionen der Welt ihre traditionellen Materialien aus der „altmodisch“- Ecke zu holen. So wird die Frage der Modernität nicht mehr am Material festgemacht, sondern an der Frage der Konstruktion und Fertigung.

Auch in westlichen Regionen nimmt die Frage der digitalen Fabrikation an Fahrt auf. DUS Architects hat bereits 2016 eine aus Biokunststoff gedruckte Fassade fertiggestellt.² Barack Obama, ein prominenter Besucher der Baustelle, bezeichnete schon 2013 den 3D-Druck als die Technologie, welche die Art und Weise der Produktion in fast allen Industriezweigen revolutionieren wird.³

Ein sich komplett neu entwickelndes Feld wird die Verwaltung der Daten zu den neu entstehenden Stoffströmen sein. Wir erleben eine Revolution des traditionellen Katasterwesens, in dem vorhandene Materiallager mit den entsprechenden Materialdaten dokumentiert und verwaltet werden müssen.

Architekten und Ingenieure müssen zukünftig für immer mehr Menschen mit weniger und besser eingesetztem Material kreislaufgerecht bauen. Wir, als Lehrende an der Fakultät Architektur des KIT Karlsruhe, haben die Aufgabe unsere Studierenden für die zentralen Themen der Bauindustrie zu sensibilisieren und für deren Anforderungen auszubilden.

Auf den folgenden Seiten liegt der Fokus deshalb nach der Beschreibung der angeführten Problematik und möglicher Lösungsansätze, auf dem Forschungsseminar „Bau auf!“ des Fachgebiets Nachhaltiges Bauen. Durch experimentelle Materialforschung in Verbindung mit dem 3D-Druck soll den Studierenden die noch neue Technologie in höherem Maße zugänglich gemacht werden. Dabei sehen wir uns in der Verantwortung eine materialgerechte Architektur auf Basis nachhaltiger Grundsätze bereits im Studium zu etablieren und entsprechend im Curriculum zu verankern.

Keywords: Architektur aus dem 3D-Drucker, digitale Fabrikation, kreislaufgerechtes Bauen, Lehre und Forschung, experimentelle Materialforschung

¹ Frondel, Dr. Manuel, Peter Grösche, Dirk Huchtemann, Andreas Oberheitmann, Jörg Peters, Colin Vance, Dr. Gerhard Angerer, Dr. Dr. Christian Sartorius, Dr. Peter Buchholz, Dr. Simone Röhling, Dr. Markus Wagner (2005). Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI Essen), Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/angebots-nachfragesituation-mineral-rohstoffe-endber2006.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Seite 17), Zugriff vom 01.12.2018

² Baunetz (2016). Minihaus aus dem Drucker, https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Urban_Cabin_von_DUS_Architects_in_Amsterdam_4814638.html, Zugriff vom 01.12.2018

³ Gartner, Johannes (2013). Obama erwähnt 3D-Drucker in seiner „State of the Union“ Ansprache (Update) und löst Boom in China aus, <https://3druck.com/nachrichten/obama-erwaehnt-3d-drucker-in-seiner-state-of-the-union-ansprache-568751/>, Zugriff vom 03.12.2018

2 PARADIGMENWECHSEL IM BAUWESEN – DIE RESSOURCENFRAGE

Ist die Bauindustrie ohne Ressourcen wie Sande, Kiese, Erze, Kupfer oder Zink vorstellbar? Eine Frage, die sich vor dem Hintergrund, der zeitnah eintreffenden Endlichkeit dieser Ressourcen, immer drängender stellt. Das Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie hat mit der Darstellung des Reserven-zu-Produktion-Verhältnisses der Basismetallrohstoffe im Jahr 2005 die Situation bereits dramatisch dargestellt.⁴ Mit Reserven sind die Vorkommen einer Ressource gemeint, die mit den heute vorhandenen technischen Mitteln wirtschaftlich rentabel gefördert werden können. Demnach war beispielsweise Kupfer im Jahr 2004 noch für 32 Jahre verfügbar, Zinn sogar nur für 23 Jahre. Vom heutigen Standpunkt aus betrachtet, sind die Kupferreserven also in 18 Jahren und die Zinnreserven in neun Jahren aufgebraucht! Dennoch hat sich seit diesen Erkenntnissen nichts verändert, der zum Grossteil extrem umweltbelastende Abbau geht ungebremst weiter, trotz bereits vorhandener alternativer Ansätze und Technologien.

Sand ist heute, nach Wasser, die meist gebrauchte Ressource der Menschheit. So sei Sand „gleich nach Wasser zum weltweit am meisten konsumierten natürlichen Rohstoff mutiert. Denn Sand steckt nicht nur in Häusern, sondern so ziemlich in allem, von Glas über Asphalt bis zu Kosmetika, Zahnpasta, Mikrochips, Smartphone-Bildschirmen, Autos und Flugzeugen.“⁵ Die Menschheit baut doppelt so viel Sand ab, wie durch die Bäche und Flüsse als Erosionsprodukt nachfließt. Die Folgen für unsere Umwelt sind verheerend: Lebensräume werden massiv zerstört, Strände verschwinden weltweit, Lebensgrundlagen werden entzogen. Aus der Zerstörung resultieren Flucht, Migration und politische Verwerfungen.

Wollen wir jedem Menschen unserer stetig wachsenden Erdbevölkerung einen angemessenen und humanitären Lebensstandard garantieren, müssen wir einen Paradigmenwechsel im Umgang mit Ressourcen einleiten, weg vom Abbau und hin zu einem kreislaufbasierten System in dem Wiederverwenden, Wiederverwerten, Weiterverwerten aber auch Anbau, Kultivieren und Kompostieren die einzig akzeptierten Methoden sind.

2.1 Kreislaufgerechtes Bauen

Baustoffe nach dem Prinzip des kreislaufgerechten Bauens einzusetzen ist demnach Teil eines solchen Umdenkens. Es ist eine ökologische Notwendigkeit und durch neuartige ökonomische Modelle, die nicht mehr den Besitz einer Ressource, sondern deren Nutzen in den Vordergrund stellen, auch wirtschaftlich attraktiv. Die kreislaufgerechte Produktion und Verarbeitung von Materialien mit Konstruktionsmethoden, die eine sortenreine Wiedergewinnung der Ressourcen zum Ziel haben, garantiert, dass auch nachfolgende Generationen diese Ressourcen und deren stoffliche Unversehrtheit weiterhin nutzen können. Indem wir heute so planen, dass alle verbauten Materialien auch für folgende Generationen wieder in einem neuen Kontext nutzbar werden, sorgen wir dafür, dass unser Handeln auf Nachhaltigkeit ausgerichtet ist. Ein kreislauffähiges Leben ist gefragt, das gilt für ein Leben in städtischen und ländlichen Strukturen.

Dem Prinzip des kreislaufgerechten Bauens liegt das von Michael Braungart und William McDonough, entwickelte Konzept des „Cradle-to-Cradle“ (C2C) zugrunde. C2C beschreibt die Vision von einer Partnerschaft mit der Natur: „Wir können Fabriken bauen, deren Produkte und Nebenprodukte das Ökosystem mit verrottendem Material nähren und technische Materialien recyceln, statt sie zu verklappen, zu verbrennen oder zu vergraben.“⁶ Diese Vision sieht einen Ressourceneinsatz vor, der ohne Umweltzerstörung auskommt und dadurch auch einen gleichwertigen Lebensstandard für alle Menschen ermöglichen könnte.

⁴ Frondel, Dr. Manuel, Peter Grösche, Dirk Huchtemann, Andreas Oberheitmann, Jörg Peters, Colin Vance, Dr. Gerhard Angerer, Dr. Dr. Christian Sartorius, Dr. Peter Buchholz, Dr. Simone Röhling, Dr. Markus Wagner (2005). Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI Essen), Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/angebotsnachfragesituation-mineral-rohstoffe-endber2006.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Seite 17), Zugriff vom 01.12.2018

⁵ DPA, Die Welt, Wissenschaft (2018). https://www.welt.de/newsticker/dpa_nt/infoline_nt/wissenschaft_nt/article180340220/Der-Erde-geht-der-Sand-aus.html, Zugriff vom 30.11.2018

⁶ Braungart, Michael, William McDonough (2014). Cradle to Cradle : Einfach intelligent produzieren. München, Berlin: Piper Verlag GmbH. S.193

Den Kern des C2C-Prinzips bilden der technische und der biologische Kreislauf, in denen natürliche und künstlich hergestellte Materialien ohne Qualitätsverlust zirkulieren, also stets für ein gleichwertiges Produkt wiederverwendet werden können. Diese Kreisläufe funktionieren jedoch nur, wenn alle Materialien sortenrein verarbeitet werden, also keine unlösbaren Verbundmaterialien mehr benutzt werden und alle Konstruktionsmethoden sich diesem Grundsatz anpassen. Ein Kriterium, mit dem auch die Studierenden in den Lehrveranstaltungen unseres Fachgebiets arbeiten müssen.

Neben solchen Wegen des Produkt- und Materialrecyclings beschäftigen wir uns auch mit neuen innovativen Produktionsmethoden, die zu einer besseren Rohstoffverwertung führen können.

2.2 Digitale Technologien am Beispiel des 3D-Drucks

Sicherlich spielen hierbei digitale Werkzeuge eine entscheidende Rolle. Technologien wie die computerbasierte Planung und robotergestützte Fertigung führen schon heute zu einem extrem effizienten Materialeinsatz und zu neuen Nutzungsmöglichkeiten verschiedenster Rohstoffe, wie z.B. Abfallmaterialien. Der 3D-Druck ermöglicht eine dezentrale Produktion komplexer Geometrien in unterschiedlichsten Maßstäben. Architektur aus dem 3D-Drucker ist schon seit einigen Jahren in der Entwicklung. So drucken beispielsweise Firmen wie WASP Häuser aus Strohlehm⁷ – eine Chance für weniger entwickelte Regionen der Welt, ihre traditionellen Materialien aus der „altmodisch“-Ecke zu holen. So wird die Frage der Modernität nicht mehr, wie heute üblich, am Material festgemacht (in Entwicklungsländern gilt Beton und Glas als „modern“, wobei traditionelle Materialien wie Stroh, Gras, Lehm, Holz, Bambus oder Stein als zurückgeblieben gesehen werden) sondern an der Frage der Konstruktion und Fertigung.

Aber auch in westlichen Regionen nimmt die Frage der digitalen Fabrikation immer mehr an Fahrt auf. Bestes Beispiel ist die Holzverarbeitung. Die digitale Fabrikation hat hier einen traditionellen Werkstoff aus der Nische geholt und zu neuen Höhenflügen verholfen. Vor allem in den Alpenländern sind die Entwicklungsstufen enorm. Diese Entwicklung kann auch auf andere gewachsene und dadurch erneuerbare Werkstoffe übergreifen. DUS Architects hat bereits 2016 eine aus Biokunststoff gedruckte Fassade fertiggestellt.⁸ Barack Obama war ein prominenter Besucher der Baustelle. Er bezeichnete schon 2013 den 3D-Druck als die Technologie, welche die Art und Weise der Produktion in fast allen Industriezweigen revolutionieren wird.⁹

2013 beschreibt Obama in seiner „State of the Union“ Rede ehrgeizige Ziele bezüglich der Generierung von Arbeitsplätzen für die Mittelklasse der USA. Den 3D-Druck sah er bereits damals als Chance, Amerika im produzierenden Gewerbe wieder eine einflussreiche Position zu verschaffen und wertvolle Arbeitsplätze zu generieren: „Our first priority is making America a magnet for new jobs and manufacturing. ... Last year, we created our first manufacturing innovation institute in Youngstown, Ohio. A once-shuttered warehouse is now a state-of-the art lab where new workers are mastering the 3D printing that has the potential to revolutionize the way we make almost everything. There's no reason this can't happen in other towns. So tonight, I'm announcing the launch of three more of these manufacturing hubs, where businesses will partner with the Departments of Defense and Energy to turn regions left behind by globalization into global centers of high-tech jobs.”¹⁰

Den 3D-Druck als Chance zu begreifen, durch die Globalisierung entstandene Defizite wieder auszugleichen, ist ein zentraler Aspekt in der Diskussion um neue digitale Technologien. Verwaiste Regionen, ehemals wichtige Industriestandorte, könnten neu belebt werden. Den dort ansässigen Menschen kann durch eine dezentrale Produktion von Gütern eine neue Perspektive geschaffen werden. Regionen, die ins Hintertreffen geraten sind, könnten sich zu Zentren einer hochtechnologisierten Produktion entwickeln. Weiter führt Obama aus, welche große Rolle umfangreiche Investitionen in Forschung, Wissenschaft und

⁷ WASP (2018). Viaggio a Shamballa, <https://www.3dwasp.com/en/viaggio-a-shamballa/>, Zugriff vom 01.12.2018

⁸ Baunetz (2016). Minihaus aus dem Drucker, https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Urban_Cabin_von_DUS_Architects_in_Amsterdam_4814638.html, Zugriff vom 01.12.2018

⁹ , Johannes (2013). Obama erwähnt 3D-Drucker in seiner „State of the Union“ Ansprache (Update) und löst Boom in China aus, <https://3druck.com/nachrichten/obama-erwaehnt-3d-drucker-in-seiner-state-of-the-union-ansprache-568751/>, Zugriff vom 03.12.2018

¹⁰ The Atlantic (2013). Obama's 2013 State of the Union Speech: Full text, <https://www.theatlantic.com/politics/archive/2013/02/obamas-2013-state-of-the-union-speech-full-text/273089/>, Zugriff am 03.12.2018

Weiterentwicklung der bereits vorhandenen Technologien spielen. Ein Aspekt, der auch in Deutschland eine enorme Bedeutung hat. Denn ehemals erarbeitete Vorsprünge in Wirtschaftszweigen, wie beispielsweise der Autoindustrie, werden zukünftig keine Rolle mehr spielen, wenn der Anschluss an die Entwicklung digitaler Technologien verpasst wird.

Das die additive Fertigung aus dem 3D-Drucker die gesamte Weltwirtschaft umkrempeln könnte, berichtet auch das Frankfurter Zukunftsinstitut in dem Artikel „3D-Druck: Die stille Revolution“ vom April 2015. Das Zukunftsinstitut ist ein Unternehmen im Bereich der Trend- und Zukunftsforschung und besteht aus einem Forscher- und Beraterteam, das auf Basis von Trendanalysen und Studien seine Kunden bezüglich der Entwicklung zukunftsweisender Strategien und Innovationen berät.

Wurden laut des Artikels anfangs meist Modelle und Prototypen mit dem 3D-Drucker hergestellt, sei die Entwicklung nun so weit fortgeschritten, dass der 3D-Druck wahrscheinlich schon sehr bald konventionelle Produktionstechnologien, wie Gießen, Fräsen, Schleifen, Drehen oder Bohren ersetzen könne und werde.¹¹ Durch die Möglichkeit hochkomplexe Geometrien in allen erdenklichen Variationen drucken zu können, sind die Grenzen nur durch unsere Phantasie gesetzt. So können auch in der Industrie zukünftig kleine Stückzahlen in einer wirtschaftlichen Art und Weise produziert werden. „Der Prototyper wandelt sich zum Fabrikator“, sagt Andreas Gebhardt, Professor für Hochleistungsverfahren der Fertigungstechnik und Rapid Prototyping an der Fachhochschule Aachen.¹²

Das Marktpotential des 3D-Drucks ist insgesamt enorm, sowohl in der Industrie als auch im Privatgebrauch. Durch immer bessere und kostengünstigere Maschinen könnte das Drucken von Gebrauchsgegenständen in der eigenen Druckwerkstatt Alltag werden. Mehrere Experten sehen durch diese „Demokratisierung der Produktionsverhältnisse“ die „letzte Stunde für Großkonzerne gekommen“.¹³ Natürlich gibt es auch gegenüber dieser Extremposition Gegenstimmen, die sagen, dass wir auch zukünftig die bekannte Massenware konsumieren werden. Nichtsdestotrotz zeigen diese Entwicklungen welches Potential im 3D-Druck steht: Die Rückkehr einer kostengünstigen Produktion an die Orte, wo die Erzeugnisse auch direkt konsumiert werden. Denn die additive Fertigung ermöglicht den „Druck on demand“. Zukunftsforscher Robert Gaßner beschreibt laut dem Zukunftsinstitut mögliche Szenarien, wie Produkte nicht mehr um die halbe Welt transportiert werden müssen und dadurch Zeit, Transport- und Logistikkosten eingespart werden und die Umwelt geschont wird.

Das Online-Magazin www.3d-grenzenlos.de, gegründet und bis heute betrieben von Marcel Thum, berichtet regelmäßig von neuen Entwicklungen im Bereich des 3D-Drucks. Der Artikel „Eine Branche im technologischen Wandel: Wie der 3D-Druck die Wohnungswirtschaft revolutioniert“ vom 14. August 2018 zeigt noch einmal die Bedeutung des 3D-Drucks für die Architektur der Zukunft. Der Autor Jan Zieler schreibt von der Möglichkeit mit Hilfe des 3D-Drucks „günstigen Wohnraum für eine wachsende Weltbevölkerung zu schaffen“ und, dass „lebensverändernde technologische Durchbrüche in einer noch nie dagewesenen Geschwindigkeit durch digitale Innovationen“¹⁴ erst ermöglicht werden.

Dieser Artikel schildert eindrucksvoll die enorme Schnelligkeit mit der 3D-gedruckter Wohnraum entstehen kann, ein großer Vorteil gegenüber der derzeit üblichen, monatelangen Bauzeiten. Es wird beispielsweise der 3D-Druck eines ganzen Hauses in nur 24 Stunden beschrieben, realisiert im März 2017 von 3D-Druckspezialisten aus Russland und San Francisco. Ein Jahr zuvor hat ein Unternehmen aus China, ein zweistöckiges Haus in anderthalb Monaten gedruckt, was damals bereits als Rekord galt.¹⁵ Diese rasante Entwicklung der digitalen Technologien kommt der Tatsache entgegen, dass die Weltbevölkerung immer schneller wächst und immer mehr Menschen in Armut leben, für die günstiger und lebenswerter Wohnraum benötigt wird. Es gilt deshalb die Potentiale dieser Technologien zu nutzen, aber neben der Schnelligkeit nicht die Qualität und Nachhaltigkeit solcher Entwicklungen aus den Augen zu verlieren.

¹¹ Zukunftsinstitut (2015). 3D Druck: die stille Revolution, <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/technologie/3d-druck-die-stille-revolution/>, Zugriff am 03.12.2018

¹² ebda.

¹³ ebda.

¹⁴ Zieler, Jan (2018). Wie der 3D-Druck die Wohnungswirtschaft revolutioniert, <https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/zukunft-visionen/wie-der-3d-druck-die-wohnungswirtschaft-revolutioniert-27421423/>, Zugriff am 02.12.2018

¹⁵ ebda.

2.3 Die „Smart City“ als Chance

Nicht nur die Nutzung der neuen Technologien sollte verantwortungsbewusst und in Verbindung mit hohen Qualitätsstandards erfolgen, sondern auch der Einsatz der entsprechenden Baumaterialien. Durch die Dokumentation der Nutzungsphase von Materialien und Gütern sowie deren mögliche Weiterverwendung oder -verwertung nach dieser Nutzung, kann der Materialeinsatz geplant und Ressourcen geschont werden. Ein sich komplett neu entwickelndes Feld wird deshalb die Verwaltung der Daten zu den neu entstehenden Stoffströmen sein. Welche Ressource ist wie lange, in welcher Form und wo gebunden? Wir erleben eine Revolution des traditionellen Katasterwesens in dem solche Materialdaten gespeichert und verwaltet werden müssen. Die „Smart City“ weiß in Zukunft um solche Materiallager und kann sie in einem kreislaufbasierten System neuen Nutzern mit neuen Fertigungswerkzeugen zur Verfügung stellen.

„Smart Cities“ sind Städte, die über eine effiziente und technologisch fortschrittliche Infrastruktur verfügen und eine ökologisch wertvolle und sozial inklusive Umwelt für ihre Bürger gestalten. Städte als Orte, die sich selbst mit Rohstoffen versorgen, die keinen Unterschied mehr machen zwischen Ver- und Entsorgung, die emissionsfrei operieren, an denen Menschen und deren Fähigkeiten in kommunale dezentrale Einrichtungen und Versorgungsnetzwerken aktiv miteinbezogen werden.

Im Artikel „Smart Cities: Nachhaltig leben in einer digitalisierten Stadt“ des Online-Magazins reset.org wird eine Stadt als smart bezeichnet, wenn „durch den Einsatz von IKT (Informations- und Kommunikationstechnik) eine nachhaltige Wirtschaftsentwicklung und ein hoher Lebensstandard gefördert, und dabei eine schonende Nutzung natürlicher Ressourcen durch die Regierung angestrebt wird.“¹⁶ Das kann man direkt auf den Einsatz von Datensystemen übertragen, die genutzt werden sollten um die Stoffströme der Stadt zu dokumentieren. Denn nur wenn man weiß welche Ressourcen in der Stadt vorhanden sind, kann man sie auch nachhaltig einsetzen.

Vetreter des Bundes, der Länder, der Kommunen, der kommunalen Spitzenverbände, verschiedener Wissenschaftsorganisationen, Wirtschafts-, Sozial- und Fachverbände haben die „Dialogplattform Smart Cities“¹⁷ gegründet sowie eine „Smart City Charta“¹⁸ erarbeitet. Darin heißt es: „Die Smart City soll im Vergleich zu herkömmlichen Städten effizienter, nachhaltiger und fortschrittlicher sein. Probleme, die aus dem demografischen Wandel, dem Bevölkerungswachstum, der Umweltverschmutzung, dem Klimawandel und der Verknappung von Ressourcen entstehen, geht die Smart City mit innovativen Konzepten und Technologien an.“¹⁹

Die Umwelt- und Ressourcenschonung hat also eine enorme Bedeutung für die Entwicklung der Städte von morgen. Aus diesem Grund muss sich der Bausektor aktiv an diesen Entwicklungen beteiligen und dafür sorgen, dass das Bauen von Gebäuden und deren Nutzung effektiver und ressourcenschonender wird. Die nachhaltige Nutzung erneuerbarer Rohstoffe unter Etablierung einer regionalen Kreislaufwirtschaft wird nicht möglich sein ohne das gemeinsame Betreiben von Datensystemen, die Transparenz über die verbauten Ressourcen der Stadt schaffen.

Auch die ländlichen Regionen sollte man dabei nicht aus den Augen verlieren. Denn diese Gegenden sind nach wie vor stark bewohnt und von vielen, für unsere Wirtschaft wichtigen, mittelständischen Betrieben geprägt. Das Forschungsprojekt „Smart Rural Areas“ („Intelligente ländliche Räume“) des Fraunhofer Instituts IESE in Kaiserslautern²⁰ beschäftigt sich mit den Potentialen digitaler Technologien für das Landleben, wo beispielsweise die Infrastrukturen des Transportwesens und der Medizin immer weiter ausgedünnt werden oder der Ausbau des Breitbandnetzes den Städten weit hinterherhinkt. Das Landleben

¹⁶ Siering, Hanadi (Original übersetzt 2015). RESET. Smart Cities: Nachhaltig leben in einer digitalisierten Stadt, <https://reset.org/knowledge/smart-cities-nachhaltig-leben-einer-digitalisierten-stadt-05022016>, Zugriff vom 31.12.2018

¹⁷ Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Smart Cities: Stadtentwicklung im digitalen Zeitalter, <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/bauen-wohnen/stadt-wohnen/stadtentwicklung/smart-cities/smart-cities-node.html>, Zugriff vom 02.01.2019

¹⁸ ebda.

¹⁹ Tutanch (2016). BigData-Insider. Was ist eine Smart City?, <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-eine-smart-city-a-599409/>, Zugriff vom 31.12.2018

²⁰ Wagner, Rene (2015). Landleben 2.0: Smart Cities und Smart Rural Areas verschmelzen zum Smart Country, <https://intelligente-welt.de/landleben-2-0-smart-cities-und-smart-rural-areas-verschmelzen-zum-smart-country/>, Zugriff vom 03.01.2019

könnte durch die Digitalisierung wieder attraktiver werden, indem es sich stark vernetzt und gleichzeitig durch eine lebenswerte Umwelt punktet. Auch die dezentrale Produktion von Gütern mit dem 3D-Druck, birgt ein großes Potenzial auf dem Land. Mittelständische Betriebe könnten dadurch eine regionale Warenproduktion entwickeln, die sich stets an der aktuellen Nachfrage orientiert.

Die regionale Produktion von Gütern und die Wiederverwertung bereits genutzter Materialien aus der eigenen Umgebung kann dazu führen, dass die Menschen wieder einen größeren Bezug zur Herkunft der Ressourcen erlangen, aus denen die verwendeten Materialien und Gebrauchsgegenstände gefertigt werden. Daraus würde auch ein bewussterer und hoffentlich nachhaltigerer Umgang mit Denselbigen resultieren.

2.4 Smarte Synergie – Traditionelle Materialien und neue Technologien

Mit der Nutzung digitaler Planungsmethoden und Produktionstechnologien sowie durch die Aktivierung der Materiallager unserer gebauten Umwelt muss die Kreislaufwirtschaft im Bausektor weiterentwickelt werden. Auch die Kombination altbewährter Materialien mit den neuen digitalen Technologien setzt bisher unbekanntes Synergien frei und zeigt wie smart eine kreislaufgerechte Bauwirtschaft sein kann.

Holz, als einer der ältesten Baustoffe überhaupt, wurde bereits als Beispiel genannt. Die computerbasierte Planung sowie die robotergestützte Fertigung kommen in allen Bereichen der Holzindustrie zunehmend zum Einsatz. Bereits bei der Verarbeitung des rohen Baumstammes wird mit Hilfe von Computertomographie-Scans die Beschaffenheit des Holzes exakt untersucht. Dadurch ist ein effizienter Zuschnittsplan möglich, der Fehlstellen im Baumstamm berücksichtigt. Sowohl auf der material- als auch auf der produktionstechnischen Ebene können hier die jeweiligen Potentiale optimal ausgeschöpft werden.

Bei der Arbeit mit altbekannten Materialien kann auf einen großen Wissensschatz zurückgegriffen werden. Bezüglich der neuen Produktionstechniken fehlt diese Erfahrung. Gerade diese Kombination führt zu besonders kreativen und innovativen Ergebnissen. Davon können kleinere mittelständische Betriebe oder gar Manufakturen profitieren. Betriebe, die es durch die wachsende Anzahl von Großkonzernen, im hart umkämpften Markt immer schwieriger hatten zu bestehen.

Die Karlsruher Majolika ist ein Beispiel für solch eine Manufaktur. Ein Traditionsunternehmen, das für sein spezielles Expertenwissen im Bereich der Glasurtechnik bekannt ist. In der Produktion von Kunsthandwerk, keramischen Gebrauchsgegenständen und im Bereich „Kunst am Bau“ steht die Majolika für einen hohen Qualitätsstandard. Eine aufwendige Produktion verbunden mit entsprechend hochpreisigen Produkten ist jedoch oft ein Nachteil gegenüber der preisgünstigeren Produktionsstraßen größerer Hersteller. In Zeiten des Konsums billiger Massenware haben Manufakturen, wie die Majolika immer mit der Konkurrenz der industriellen Betriebe zu kämpfen. Dadurch mussten bereits zahllose Manufakturen schließen, womit auch das Wissen um deren Handwerkskunst verloren geht.

Die Karlsruher Majolika sieht ihre Chance in der Anwendung des 3D-Drucks. Mit Hilfe dieser Technologie möchte sie ihr Produktportfolio erweitern und zeitgemäß gestalten. Dabei wird die Größe einer Manufaktur wieder zum Vorteil. In der Kombination des traditionellen Handwerks, dem Wissen über das Material und der Nutzung digitaler Werkzeuge besteht die smarte Weiterentwicklung dieser letzten Refugien. Die Majolika kann durch ihre Struktur, mit wenigen, aber kompetenten und gut vernetzten Mitarbeitern in wenigen Hierarchiestufen, flexibler auf wechselnde Kundenbedürfnisse reagieren als Großkonzerne. Mit Hilfe des 3D-Drucks jetzt auch zu einem erschwinglichen Preis.

In dieser Situation der Neuorientierung eines Traditionsunternehmens, entstand die Kooperation mit dem Fachgebiet Nachhaltiges Bauen.

3 FORSCHUNGSSEMINARE AM FACHGEBIET NACHHALTIGES BAUEN

Wir verstehen die gebaute Umwelt als neue Mine, das Vorhandene als Potenzial für etwas Neues. Dafür ist eine Auseinandersetzung mit dem gegebenen Kontext unerlässlich. Welche Ressourcen sind dort vorhanden und wie können wir sie intelligent einsetzen? Um die Studierenden für diese Fragen zu sensibilisieren, beschäftigten wir uns in den Seminaren mit verschiedensten Materialien, wie zum Beispiel mit Altglas oder Alt-Kunststoff – Materialien die in jeder Stadt in großen Mengen verfügbar sind. Im Forschungsseminar „Abbau / Anbau / Aufbau“ galt es diese Materialien experimentell zu erforschen und in eine kreislaufgerechte Anwendung zu überführen.

Auf seiner Webseite beschreibt der Cradle to Cradle e.V. sein Ziel, welches sich auch auf die Forschungsseminare des Fachgebiets Nachhaltiges Bauen übertragen lässt: „Der Cradle to Cradle e.V. will verändern wie du über Müll nachdenkst. Oder noch besser das Konzept Müll aus allen Nachschlagewerken löschen und nur noch von Ressourcen sprechen. Die Natur kennt keinen Abfall. Jedes Produkt kann wiederverwertbar sein, vorausgesetzt es wurde auch dafür entworfen.“²¹

Die Forschungsseminare zeigen den Studierenden jedoch nicht nur die bestehende Problematik auf, wie beispielsweise die Ressourcenknappheit, sondern beschäftigen sich auch mit neuen Technologien der Bauindustrie, wie mit dem 3D-Druck im Seminar „Bau auf!“.

3.1 Forschungsorientierte Lehre

Studierende von heute müssen zukünftig für immer mehr Menschen mit weniger und besser eingesetztem Material so bauen, dass die eingesetzten Ressourcen sich in einem steten Kreislauf befinden. Dabei kommt der Nutzung der digitalen Technologien eine besondere Rolle zu. Durch eine forschungsorientierte Lehre möchten wir den Studierenden diese Themen näher bringen und für die Anforderungen ihres Berufs ausbilden.

Durch didaktische Werkzeuge, wie beispielsweise gemeinsam durchgeführte Experimente, die von den Studierenden selbst geplant werden, möchten wir einerseits kooperatives Forschen und andererseits eine selbstständige Arbeitsweise fördern.

Den Ansatz des forschenden Lernens, den wir in unserer Lehre verfolgen, soll hier anhand einiger Erläuterungen aus dem Text „Warum Forschendes Lernen nötig und möglich ist“ von Ludwig Huber²² weiter ausgeführt werden. Ludwig Huber ist Erziehungswissenschaftler und war unter anderem Professor für Hochschuldidaktik an der Universität Hamburg sowie Geschäftsführender Direktor des dortigen Interdisziplinären Zentrums für Hochschuldidaktik (IZHD). Am Fachgebiet Nachhaltiges Bauen wird die Lehre so konzipiert, dass aktuell relevante Themen für die Studierenden aufgearbeitet und durch reale Entwurfsthemen sowie durch praxisorientierte Seminare zugänglich gemacht werden. Das gemeinsame Forschen mit den Studierenden auf Augenhöhe ist ein wichtiges Merkmal der Seminare und spiegelt sich in einer kooperativen Arbeitsweise wider, indem wir uns um das richtige Verhältnis von Anleitung, Unterstützung und Förderung der Selbstständigkeit bemühen. Besonders die Eigenständigkeit der Studierenden kommt in Ludwig Hubers Text zum Tragen. So beruft er sich im vorliegenden Text auf ein Zitat von Friedrich Daniel Ernst Schleiermacher (1768–1834), dass das Ziel unserer Seminare treffend zusammenfasst: „Dass sie (die Studierenden) das Vermögen, selbst zu forschen, zu erfinden und darzustellen, allmählich in sich herausarbeiten, dies ist das Geschäft der Universität.“²³ So möchten wir durch Einblicke in die Forschung des Fachgebiets Nachhaltiges Bauen und durch die Auseinandersetzung mit aktuellen Themen, wie der Entwicklung kreislaufgerechter Materialien in Kombination mit neuen Technologien, die Studierenden dazu ermuntern eigene Forschungsfragen zu entwickeln und zu bearbeiten.

Das Erlernen überfachlicher Qualifikationen gehört deshalb genauso zu den Zielen der Seminare, wie die Forschungsergebnisse selbst: Das eigenständige Erarbeiten und Bearbeiten des Forschungsthemas; eine gewisse Wehrhaftigkeit gegenüber Rückschlägen, die zur Weiterentwicklung der Forschung genutzt werden sollten; eine Konsequenz beim Durchführen und Abschließen der Forschung; das Üben von Selbstkritik, um den Fortschritt der eigenen Arbeit immer wieder hinterfragen zu können; Kommunikationsfähigkeit, um den offenen Dialog mit anderen Forschenden führen zu können sowie die Darstellung, Präsentation und das Vertreten der eigenen Forschungsarbeit.

Huber spricht den „Beitrag der Universität zur Persönlichkeitsentwicklung der Studierenden“ an und zitiert noch einmal Schleiermacher: „Für die geistigen Väter der „Idee der Universität“ zu Beginn des 19. Jahrhunderts war klar: Wenn Wissenschaft bildet, dann nur Wissenschaft, die man – als unabgeschlossene – selbst „treibt“, nicht die, die man – als abgeschlossene – vermittelt bekommt.“²⁴ Die selbstständig gemachte Erfahrung aus dem Forschungsprozess, aus dem Bearbeiten und Lösen eines Problems führt zu einer

²¹ Cradle to Cradle e. V. (2019). <https://c2c-ev.de/>, Zugriff vom 07.01.2018

²² Huber, Ludwig, Hellmer, Julia; Schneider, Friederike (2009). *Forschendes Lernen im Studium : aktuelle Konzepte und Erfahrungen. Warum Forschendes Lernen nötig und möglich ist.* Bielefeld: Universitätsverlag Weblar, S. 9-35

²³ ebda.

²⁴ ebda.

Handlungsfähigkeit, welche die Studierenden durch das bloße Aufnehmen von Wissen nicht erlernen könnten. Im Seminar „Bau auf!“ war es deshalb die Aufgabe der Studierenden, das Material Keramik in Verbindung mit dem 3D-Druck selbst zu erforschen, um so ein innovatives Bauprodukt entwickeln zu können.

3.2 „Bau auf!“

Innerhalb der Forschungsseminare am Fachgebiet Nachhaltiges Bauen haben die Studierenden die Möglichkeit experimentelle Materialforschung zu betreiben. Eine Forschung, die sich durch praktisch durchgeführte Versuchsreihen ständig weiterentwickelt und ihren Auswurf in geführten Tagebüchern und Dokumentationen, der Reflektion der eigenen Arbeit sowie in handfesten Resultaten in Form neuer Materialien oder neuen Anwendungsmöglichkeiten erlebt.

Im Forschungsseminar „Bau auf!“ drehte sich alles um das traditionsreiche Baumaterial Keramik. Ein Material, welches durch neue digitale Technologien wie den 3D-Druck, eine Renaissance erfährt. Das Seminar wurde gemeinsam mit der Karlsruher Majolika durchgeführt.

Keramik ist einer der ersten Baustoffe, der aktiv vom Menschen geformt und weiterverarbeitet wurde. Ein Baumaterial, dessen Zusammensetzung natürlichen Ursprungs ist, welches aber dennoch künstlich hergestellt werden muss. Bereits 4000 v. Chr. nutzten die Hochkulturen Ägyptens, Mesopotamiens und Indiens „für die Erstellung von Mauerwerk gebrannte Ziegel, die aufgrund ihrer Wasserbeständigkeit eine höhere Dauerhaftigkeit aufwiesen als ungebrannter Lehm.“²⁵ Der Rohstoff Ton wurde schon damals durch nur einen weiteren Arbeitsschritt in ein völlig neues Material transformiert. Der Begriff Keramik geht auf das altgriechische Wort „keramos“ für „gebrannte Erde“ zurück, welches nochmal auf den Ursprung des Materials verweist – die Verwendung von Lehm als Baumaterial.

Durch die einfache Formbarkeit des plastischen Tons vor dem Brennen und durch die Beständigkeit des gebrannten Materials konnten Architekturen von einer Dauerhaftigkeit und Beständigkeit geschaffen werden, wie es sie bis dahin nur aus Naturstein gab. Eine Bauweise, die abhängig war von Natursteinvorkommen und dem mühsamen Abbau und Transport des Rohstoffs.

Das Brennen von Ton ist demnach untrennbar mit der Entwicklung der menschlichen Zivilisation verbunden. Die Herstellung keramischer Gebrauchsgegenstände und Baumaterialien hat sich über zehntausende von Jahren immer wieder weiterentwickelt. Dennoch haben sich die grundlegenden Bestandteile des Materials sowie die Herstellungsmethoden in ihrem Wesen kaum verändert.

Nachdem Keramik über eine lange Zeit hinweg meist für pragmatische Baulösungen eingesetzt wurde, erlangt es heute durch einige der bereits beschriebenen innovativen Technologien einen neuen Stellenwert innerhalb der Architektur. Diese Neuerungen sind in der Fertigungs-, Werkstoff- als auch in der Befestigungstechnik zu finden. Digitale Fabrikationen, computergesteuerte Brennöfen oder der Einsatz von Robotertechnik in der Konstruktion sorgen darüber hinaus für andersartige Anwendungsfelder und auch Erscheinungsbilder. Statt Massenfertigung, sind nun individuelle Lösungen für einzelne Gebäude möglich. Architekturen aus dem 3D-Drucker, die auf die individuellen Bedürfnisse einer „Smart City“ reagieren können und Material- und Funktionssysteme so verknüpfen, dass neben einer neuen Ästhetik auch die Konstruktion und Funktion über das standardisiert hergestellte Baumaterial hinaus weiterentwickelt werden kann.

Dabei bieten generative Technologien auch bezüglich einer ressourceneffizienten Produktion hohe Potentiale. Denn der schichtweise additive Fertigungsprozess macht Material nur dort notwendig, wo es aufgrund der ästhetischen Kriterien und mechanischen Belastung auch benötigt wird. Das Thema Ressourceneinsparung und digitale Fabrikation von traditionellen Baumaterialien bietet hier ungeahnte Möglichkeiten.

Im Seminar „Bau auf!“ lernten die Studierenden das Material selbst sowie traditionelle Herstellungsmethoden keramischer Werkstoffe kennen. Die Auseinandersetzung mit den neuen, hochtechnologischen Produktionswegen bildete den Startpunkt zur Entwicklung der eigenen Forschungsidee. In der Synthese von Tradition und Innovation bestand die Herausforderung bei der Entwicklung der eigenen

²⁵ Hegger, Manfred, Volker Auch-Schwelk, Matthias Fuchs, Thorsten Rosenkranz (2005). Baustoff-Atlas. München, Deutschland: DETAIL. Seite 48.

Arbeit, welche den Druck eines keramischen Baumaterials zum Ziel hatte. Die Herstellung mittels 3D-Druck sollte im Aufbau, in der Struktur oder der Materialität begründet sein.

Durch die Zusammenarbeit mit der Majolika erhielten die Studierenden wertvolle Einblicke hinter die Kulissen. Fabian Schmid, Mitarbeiter der Majolika und Verantwortlicher für den 3D-Druck, gab mittels einer Führung durch die Majolika-Werkstätten, durch einen Vortrag und durch die persönliche Betreuung die erforderlichen Informationen über das Material, über die traditionellen Fertigungsmethoden sowie über die Anwendung des keramischen 3D-Drucks an die Seminarteilnehmer weiter. Die Studierenden sollten von der Erfahrung Fabian Schmid profitieren und die Möglichkeiten des 3D-Drucks kennenlernen. Um einen authentischen Materialeinsatz im späteren Projekt zu ermöglichen wurde das Material, die Tonmasse, experimentell erforscht. Der Material-Workshop in der Majolika gab den Studierenden die Möglichkeit verschiedene Zusatzstoffe und Mengenverhältnisse auszuprobieren. Dabei wurden Recyclingmaterialien wie Papier- oder Holzfasern, fein vermahlener Bauschutt oder organisches Material, wie Nussschalen und Knochenmehl, verarbeitet. Diese theoretische und praktische Auseinandersetzung mit dem Material und seinen Eigenschaften sowie mit den Möglichkeiten der Drucktechnologie sollte zu einer optimalen Kombination beider Bereiche führen.

Während der Arbeit in der Majolika konnten die Studierenden von Synergien profitieren, welche die Manufaktur für den Fortbestand der Werkstätten geschaffen hatte – die Kombination eines traditionellen Materials mit dienlichen Eigenschaften, wie freie Formbarkeit und Beständigkeit, mit einer neuen Technologie, dem 3D-Druck, der die Produktion komplexer Geometrien in kleinen Stückzahlen ermöglicht. Diese Synergien nutzt zum einen die Manufaktur, um sich von industriellen Betrieben abheben zu können und beflügelt zum anderen die Studierenden in der Entwicklung innovativer Ideen.

Durch zusätzliche Input-Vorträge am Fachgebiet und Betreuung bezüglich der Produktausgestaltung, Materialzusammensetzung und Umsetzung im 3D-Programm konnten die ersten Forschungsideen in den folgenden Wochen stetig weiterentwickelt werden. Die Projekte beinhalten zahlreiche modulhafte Ideen, wie individuell kombinierbare Verschattungselemente für Fassaden, Pavillonstrukturen für den öffentlichen Bereich oder bepflanzbare Strukturen, die durch Verdunstungskälte den Innenbereich klimatisieren sollen. Die Studierenden gingen mit ihren Ideen auch auf die bereits aktuellen und immer dringender werdenden Bedürfnisse unserer gebauten Umwelt ein und berücksichtigten den Einsatz reversibler Konstruktionsmethoden.

Das Skizzieren der Ideen, anfangs händisch und dann am Computer, hatte im Seminar „Bau auf!“ einen besonderen Stellenwert und führte zu einer detaillierten Ausgestaltung der Anwendungsszenarien. Den Höhepunkt dieser entwerferischen Tätigkeit bildet der 3D-gedruckte Prototyp des entworfenen Bauprodukts.

Nach der Präsentation an der Fakultät werden die Arbeiten auch innerhalb einer Ausstellung in der Majolika einem breiteren Publikum präsentiert. So wird die Forschungsarbeit der Studierenden auf die nächste Ebene gehoben und erfährt eine Relevanz jenseits des Hochschulalltags.

4 REFLEKTION UND AUSBLICK

Wir sind darin bestrebt unsere Lehre stetig weiterzuentwickeln, zu verbessern und durch neue Methoden und weitere Inhalte zu bereichern. Deshalb ist die Reflektion der Seminare ein wichtiger Bestandteil unserer Lehrtätigkeit. Dies geschieht auf Basis durchgeführter Evaluationen, der persönlichen Erfahrung und durch das direkte und persönliche Feedback der Studierenden.

Demnach lagen die Stärken des Seminars durch die Zusammenarbeit mit der Majolika in einem hohen Praxisbezug sowie in einer großen Interdisziplinarität, was durch das Setzen unterschiedlicher Schwerpunkte in den Betreuungszeiten erreicht wurde. Je nach Projektstand fanden die Treffen in der Materialbibliothek statt, gemeinsam mit Kollegen des Fachgebiets und der Majolika, sodass materialtechnische, entwerferische und konstruktive Aspekte des Projekts gleichermaßen beleuchtet werden konnten. Die Seminararbeit wurde ergänzt durch Workshops im 3D-Programm Rhinoceros, womit die Studierenden ihre Ideen am Computer umsetzen konnten. Durch die intensive Auseinandersetzung mit diesem Programm und durch die Realisierung der Bauprodukte mit Hilfe des 3D-Drucks haben die Studierenden diese, für ihren Beruf, essentiellen digitalen Werkzeuge besonders intensiv kennengelernt.

Die freie Themenwahl und die, über die gemeinsame Seminarzeit hinaus, selbstständige Bearbeitung der Projekte fiel bei den Studierenden auf fruchtbaren Boden. Sie nutzten die Gelegenheit eigene Ideen in einem

interdisziplinären Umfeld umsetzen zu können. Dabei stand schnell die konkrete Anwendung des Bauprodukts, also der Entwurf und seine Realisierung im Vordergrund. Im Laufe des Seminars kristallisierte sich jedoch heraus, dass gerade die experimentelle Arbeit mit dem Material und das Ausloten der technologischen Grenzen besonders interessant waren. In einem weiteren Forschungsseminar könnte man deshalb den Fokus stärker auf den Bereich der Materialforschung legen, sodass Materialeigenschaften und die Möglichkeiten der Verarbeitung ohne eine konkrete Anwendung im Vordergrund stehen. So wäre genug Zeit das Materialwissen zu vertiefen und die Versuchsreihen weiter auszubauen, was die Studierenden als Wunsch für künftige Seminare formulierten.

Das Seminar „Bau auf!“ war für die Studierenden ein guter Startpunkt in der Auseinandersetzung mit einer noch neuen Technologie. Es konnten Grundlagen geschaffen und ein weiterführendes Interesse geweckt werden. Durch das Feedback der Studierenden fühlen wir uns in unserer Meinung bestätigt, dass solch experimentell angelegte Lehrformate wichtig sind, denn hier können die Studierenden frei arbeiten und viel Neues ausprobieren. Dabei geht jedoch nie der Praxisbezug verloren. Lag der Fokus im Seminar „Abbau / Anbau / Aufbau“ noch auf der kreislaufgerechten Verarbeitung von Recyclingmaterialien, konzentrierte sich das Seminar „Bau auf!“ auf die Wiederbelebung eines traditionsreichen Materials mit Hilfe einer neuen Technologie. Diese Themen möchten wir gerne noch stärker in der Lehre verankern, denn sie werden im zukünftigen Berufsleben der Studierenden eine große Rolle spielen. Deshalb freuen wir uns über die neue Professur „Digital Design and Fabrication“, die in den Bereichen kreislaufgerechtes Bauen, der innovativen Anwendung von Materialien und natürlich im digitalen Entwerfen und Produzieren neue Synthesen an der Fakultät schaffen kann. Wir freuen uns hier ganz besonders auf die Zusammenarbeit und den gegenseitigen Austausch. „Digital Design and Fabrication“ birgt das nötige Rüstzeug für die Fakultät bezüglich drängender Fragen an den Beruf des Architekten rund um die Entwicklung der gebauten Umwelt. In einer interdisziplinären Lehre und Forschung der neuen Professur mit den bereits etablierten Fachgebieten begreifen wir die smarte Weiterentwicklung der Fakultät Architektur am KIT Karlsruhe.

5 DANKSAGUNG

Der Beitrag ist im Rahmen der 2. Förderperiode LehreForschung am KIT unter dem Förderkennzeichen 01PL12004 des BMBFs entstanden.

Herzlichen Dank an die Staatliche Majolika Manufaktur Karlsruhe GmbH, insbesondere an Fabian Schmid, für die gemeinsame Durchführung und Betreuung des Forschungsseminars „Bau auf!“.

Vielen Dank an die Studierenden für ihre Ideen und Ergebnisse der Forschungsseminare „Abbau / Anbau / Aufbau“ und „Bau auf!“ sowie an Herr Kinsch, Mitarbeiter der KIT Materialbibliothek, und an die Kollegen des Fachgebiets Nachhaltiges Bauen für die Unterstützung bei der Seminarbetreuung.

6 REFERENZEN

6.1 Fußnoten

- Frondel, Dr. Manuel, Peter Grösche, Dirk Huchtemann, Andreas Oberheitmann, Jörg Peters, Colin Vance, Dr. Gerhard Angerer, Dr. Dr. Christian Sartorius, Dr. Peter Buchholz, Dr. Simone Röhling, Dr. Markus Wagner (2005). Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI Essen), Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/angebots-nachfragesituation-mineral-rohstoffe-endber2006.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Seite 17), Zugriff vom 01.12.2018
- WASP (2018). *Viaggio a Shamballa*, <https://www.3dwasp.com/en/viaggio-a-shamballa/>, Zugriff vom 01.12.2018
- Baunetz (2016). *Minihaus aus dem Drucker*, https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Urban_Cabin_von_DUS_Architects_in_Amsterdam_4814638.html, Zugriff vom 01.12.2018
- Gartner, Johannes (2013). Obama erwähnt 3D-Drucker in seiner „State of the Union“ Ansprache (Update) und löst Boom in China aus, <https://3druck.com/nachrichten/obama-erwaehnt-3d-drucker-in-seiner-state-of-the-union-ansprache-568751/>, Zugriff vom 03.12.2018
- DPA, Die Welt, Wissenschaft (2018). https://www.welt.de/newsticker/dpa_nt/infoline_nt/wissenschaft_nt/article180340220/Der-Erde-geht-der-Sand-aus.html, Zugriff vom 30.11.2018
- Braungart, Michael, William McDonough (2014). *Cradle to Cradle : Einfach intelligent produzieren*. München, Berlin: Piper Verlag GmbH. S.193
- The Atlantic (2013). *Obama`s 2013 State of the Union Speech: Full text*, <https://www.theatlantic.com/politics/archive/2013/02/obamas-2013-state-of-the-union-speech-full-text/273089/>, Zugriff am 03.12.2018
- Zukunftsinstitut (2015). *3D Druck: die stille Revolution*, <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/technologie/3d-druck-die-stille-revolution/>, Zugriff am 03.12.2018

- Zieler, Jan (2018). Wie der 3D-Druck die Wohnungswirtschaft revolutioniert, <https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/zukunftsvisionen/wie-der-3d-druck-die-wohnungswirtschaft-revolutioniert-27421423/>, Zugriff am 02.12.2018
- Siering, Hanadi (Original übersetzt 2015). RESET. Smart Cities: Nachhaltig leben in einer digitalisierten Stadt, <https://reset.org/knowledge/smart-cities-nachhaltig-leben-einer-digitalisierten-stadt-05022016>, Zugriff vom 31.12.2018
- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Smart Cities: Stadtentwicklung im digitalen Zeitalter, <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/bauen-wohnen/stadt-wohnen/stadtentwicklung/smart-cities/smart-cities-node.html>, Zugriff vom 02.01.2019
- Tutanch (2016). BigData-Insider. Was ist eine Smart City?, <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-eine-smart-city-a-599409/>, Zugriff vom 31.12.2018
- Wagner, Rene (2015). Landleben 2.0: Smart Cities und Smart Rural Areas verschmelzen zum Smart Country, <https://intelligente-welt.de/landleben-2-0-smart-cities-und-smart-rural-areas-verschmelzen-zum-smart-country/>, Zugriff vom 03.01.2019
- Cradle to Cradle e. V. (2019). <https://c2c-ev.de/>, Zugriff vom 07.01.2018
- Huber, Ludwig, Hellmer, Julia; Schneider, Friederike (2009). Forschendes Lernen im Studium : aktuelle Konzepte und Erfahrungen. Warum Forschendes Lernen nötig und möglich ist. Bielefeld: Universitätsverlag Webler, S. 9-35
- Hegger, Manfred, Volker Auch-Schwelk, Matthias Fuchs, Thorsten Rosenkranz (2005). Baustoff-Atlas. München, Deutschland: DETAIL. Seite 48.

6.2 Gesamtkontext

- Hebel, Dirk E. und Felix Heisel (2017). Cultivated Building Materials: Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction. Berlin, Deutschland und Basel, Schweiz: Birkhäuser Verlag GmbH.
- Hebel, Dirk E., Marta H. Wisniewska und Felix Heisel (2014). Building from Waste, Recovered Materials in Architecture and Construction. Berlin, Deutschland und Basel, Schweiz: Birkhäuser Verlag GmbH.
- Papanek, Victor (1985). Design for the Real World – Human Ecology and Social Change. London, Großbritannien: Thames & Hudson Verlag.
- Braungart, Michael, William McDonough (2008). Die nächste industrielle Revolution: Die Cradle to Cradle-Community. Hamburg, Deutschland: CEP Europäische Verlagsanstalt GmbH.
- Leonard, Annie (2010). The Story of Stuff: The Impact of Overconsumption on the Planet, Our Communities, and Our Health - And How We Can Make It Better. New York City, USA: Free Press.
- Hauberg, Jørgen (2011). Research by Design – a research strategy. AE... Revista Lusófona de Arquitectura e Educação, n.5. Architecture & Education Journal.