

Simone Salfner, Werner Lang
Christina Dotzler, Philipp Scharf

**Entwicklung und Bewertung eines
Cradle to Cradle® inspirierten
Plusenergiehauses am Beispiel
des Wettbewerbsbeitrages Solar
Decathlon 2015**

F 3046

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-7388-0055-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

FORSCHUNGSINITIATIVE
ZukunftBAU



Entwicklung und
Bewertung eines
Cradle to Cradle®
inspirierten
Plusenergiehauses

Projektzeitraum:

Juni 2015 - September 2016

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.



Impressum

Technische Universität München

Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen (Prof. Dr.-Ing. Werner Lang)

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Simone Salfner, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Werner Lang

Dipl.-Ing. (FH) Christina Dotzler, M.Eng.

Philipp Scharf, B.Sc.

Projektangehängte Masterarbeiten:

Mariano Plata Gröber, B.Sc.

Paul Wissel, B.Sc.

Friederike Well, B.Sc.

Projektbeteiligte Berater:

Honza Zemlicka, Frank Hartmann, Jenny Pfau, Thomas Rühle,

Mitarbeiter des Lehrstuhls für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen (ENPB)

Mitarbeiter des Zentrums für Stadtnatur und Klimaanpassung (ZSK)

Betreuer Zukunftbau:

Dipl.-Ing. Arnd Rose

Langfassung Titel:

Entwicklung und Bewertung eines Cradle to Cradle® inspirierten Plusenergiehauses am Beispiel des Wettbewerbsbeitrages Solar Decathlon 2015.

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Umsetzung eines Cradle to Cradle® inspirierten Plusenergiehauses am Beispiel des Wettbewerbsbeitrages Solar Decathlon 2015 des U.S. Department of Energy der TU München (TUM) in Zusammenarbeit mit der University of Texas at Austin (UTA), School of Architecture.

Inhaltsverzeichnis

Projektbeteiligte Solar Decathlon 2015	8
1 Einleitung	12
1.1 Notwendigkeit	12
1.2 Aufgaben des vorliegenden Forschungsprojektes	13
1.3 Vorgehensweise für die verschiedenen Teilaufgaben	13
2 Grundlagenermittlung	18
2.1 Cradle to Cradle	18
2.1.1 Ökoeffektivität	18
2.1.2 Stoffkreisläufe	19
2.1.3 C2C-Prinzipien	20
2.1.4 Literatur	22
2.1.5 Cradle to Cradle Produktzertifizierung	24
2.1.6 Beispiele	29
2.2 Solar Decathlon Wettbewerb	34
2.2.1 Konzeptidee nexushaus	34
2.2.2 Dokumentation Planung	36
2.2.3 Dokumentation Bauphase	42
2.2.4 Wettbewerbsmonitoring	46
2.2.5 Fragestellungen im Vorfeld	47
3 Planungsparameter	52
3.1 Waste Equals Food	53
3.1.1 Inhaltsstoffe und Gesundheit	54
3.1.2 Materialliste nexushaus	60
3.1.3 Stoffströme nexushaus	66
3.1.4 Lebenszyklusbetrachtung	68
3.1.5 Rückbau und Recyclingpotentiale	80
4 Entwicklung und Bewertung eines Cradle to Cradle® inspirierten Plusenergiehauses	

3.2 Waste Equals Food (Wasser)	104
3.2.1 Standortanalyse	104
3.2.2 Wasserfußabdruck	106
3.2.3 Wasserkreisläufe	109
3.2.4 <i>Wasserqualität und Aufbereitungsmöglichkeiten</i>	113
3.2.5 Innovation	114
3.2.6 Verantwortung	116
3.3 Use Current Solar Income	121
3.3.1 Standortanalyse	122
3.3.2 Planungsgrundlagen und Gebäudetechnik	128
3.3.3 Monitoring Solar Decathlon 2015	131
3.3.4 Photovoltaik	138
3.3.5 Thermische Gebäudesimulation	144
3.3.6 Passive und aktive Maßnahmen zur Nutzung von Umweltenergien	150
3.4 Celebrate Diversity	155
3.4.1 Konzeptionelle Diversität	156
3.4.2 Kulturelle Diversität	158
3.4.3 Technische Diversität	159
3.4.4 Biodiversität	158
3.4.5 Behaglichkeitsanforderungen	164
3.4.6 Nutzersensibilisierung	166
4 Planungsprozess	171
4.1 Planungsprozess nach C2C	172
4.1.1 C2C-Roadmap am Beispiel Wasser	172
4.1.2 Umsetzung im Planungsprozess	173
4.1.3 Planungsprozess Solar Decathlon Wettbewerb	175
4.2 Planungswerkzeuge	176
4.2.1 Building Information Modelling (BIM)	176
4.2.2 Visualisierungen/Renderings	176
4.2.3 Gebäudesimulation	176

5	Leitfaden	180
5.1	Bedarfsanalyse	180
5.1.1	Nutzeranforderung	180
5.1.2	Definition von Planungszielen und Meilensteinen	180
5.2	Standortanalyse	181
5.2.1	Klimaanalyse des nexushauses	181
5.2.2	Flora und Fauna	182
5.2.3	Wohnumfeld	183
5.2.4	Bedarfs- und Standortanalyse - Bezug zum Planungsprozess	183
5.3	C2C-Prinzipien	184
5.3.1	Waste equals Food	184
5.3.2	Waste equals Food - Bezug zum Planungsprozess	185
5.3.3	Use Current Solar Income	186
5.3.4	Use Current Solar Income - Bezug zum Planungsprozess	187
5.3.5	Celebrate Diversity	188
5.3.6	Celebrate Diversity - Bezug zum Planungsprozess	188
5.4	Schlusswort	189
5.5	Ausblick Mehrfamilienhaus	191
5.6	Weiterführung	192
5.6.1	Nutzen aus dem vorliegenden Forschungsbericht	192
5.6.2	Forschungsbedarf	192
6	Anhang	201
6.1	Glossar	202
6.2	Abkürzungsverzeichnis	205
6.3	Literatur- und Internetverzeichnis	206
6.4	Abbildungsverzeichnis	217

Solar Decathlon 2015

Informationen und Materialgrundlagen des vorliegenden Forschungsberichtes wurden zum Teil aus den Wettbewerbsabgabe des Solar Decathlon 2015 entnommen. Das Wettbewerbsgebäude „nexushaus“ diente als Grundlage für die Bewertung und Umsetzung eines Plusenergiehauses nach der Cradle to Cradle Philosophie.

Studierende, Assistenten und Professoren der University of Texas at Austin und der Technischen Universität München haben in der zweijährigen Wettbewerbsphase gemeinsam an der Umsetzung des nexushauses gearbeitet und sollen nicht unerwähnt bleiben.

*Anthony Abousleiman, Leigh Ann, Moulay Anwar Sounny-Slitine, Yisvi Aroche, Holly Ashford, Zach Bakker, Björn Baudach, Jack Beadle, Charles Beckendorf, Kostas Belnanis, Sara Bensalem, Yvonne Berreiter, Alex Best, Gitanjali Bhattacharjee, Trond Bjarne Pettersen, Anna-Lea Boé, Chiara Bonsignori, Keslie Box, Zachary Brown, Lori Broxton, Ann Cai, Darren Cattle, Kristen Cetin, Aksornchan Chaianong, Yang Chen, Chi-Chih Chen, Kendall Claus, Charys Clay, Alessandro Corso, Cibele de Avila, Bruna De Ranieri Cavani Ferramenta, Julian Debo, Sarah Dielenschneider, Christina Dotzler, Kathleen E Hetrick, Jeff Elliott, Irene Escudé Moreno, Astrid Eyskens, Trey Farmer, Laura Fiala, Steven Flolid, **Michael Garrison**, Coleen Gentles, Luis Gerardo Camfos Alanis, Mira Gloser, Yenny Goss, Simon Gourley, Crystal Govea, Kelley Grabner, Kristina Grondahl, Alex Gross, Kaitlyn Gruener, Tess Haegele, Ariana Hallenbeck, Reese Hartridge, Claire Haupt, Whitney Head, Amanda Heineman, Emily Heitzwebel, Aaron Hobbins, Andrew Horne, Rongbo Hu, Jean-Baptiste Hurstel, Marta Ines Cot, Jessica Janzen, Cheng Jia, Kody Jones, Lauren Jones, Andreas Kacinari, Kelsey Kaiser, Caitlyn Kallus, Samantha Kambo, Ana Kauchi, Lukas Kaufmann, Daniel Kierdorf, Sara Kingman, Heidi Kleveland, Alexandra Krippner, Junji Kubo, Werner Lang, Rachael Laughter, Ben Leiffheidt, **Petra Liedl**, Eneida Lila, Gabriela Lotuffo Oliveira, Rebecca Lynn Garner, David Mahon, Isadora Mansano Francisco, José Maria Arribas López, Jessica Martinez, Caitlin May, Ryan McKeeman, Molly McNamara, Thanos Metaxas, Sean Moore, Loren A Muirhead, Kerri Murphy, Vanessa O'Kelly, Frank Ordia, Ariel Paredilla, Erica Pallo, Julia Park, Rocio Pelaez, Miguel Pérez, Andrew Philpott, Reece Poter, Abhishek Pratapa, **Adam Pyrek**, Daniel Pyrek, Michael Rahmatoullin, David Rausch, Federico Rebecchini, Megan Recher, Elijah Reese, Joshue Rhodes, Bonnie Roberts, Rocio Romero Reolid, Haley Ross, Simone Salfner, Miriam Santambrogio, Travis Schneider, Max Seidl, Luca Sgubbi, Nishanth Shanmugham, Vivek Shastry, Josh Shen, Nari Shen, Alejandro Silveryra, Hayley Smith, Preethi Sreedhara, Kathleen Stanford, Alison Steele, Tyler Stewart, Marcus Strang, Aina Tapias Terre, Nicolo Temperi, Maria Terzano, Coleman Tharpe, Andrea Tosi, Clemente Tudela Perales, Kara Turner, Charles Upshaw, Miren Urena, Paloma Caballo Valverde, Wolfgang Vidal, Mathew Watson, Michael Webber, Henry Wen, Jordan Wennermark, Evyn Williams, Joann Xiao, Jingchen Yin, Honza Zemlicka, Mattia Zucco*

Projektleiter UT Austin, School of Architecture





Abb. 1-0 Gruppenfoto zu Beginn des Solar Decathlon Wettbewerbes

1

Einleitung

1 Einleitung

Plusenergiegebäude treten in letzter Zeit im Bereich des zukunftsorientierten Bauens besonders in den Vordergrund. Es gilt in diesem Kontext nachzuweisen, dass nicht nur CO₂-neutrale Gebäude errichtet werden können, welche ihre benötigte Energie selbst bereitstellen (Nullenergiegebäude), sondern darüber hinaus Energie erzeugt wird, die für die Elektromobilität genutzt werden kann.

Auf den Lebenszyklus hin betrachtet, sollen derartige Gebäude eine positive Energiebilanz aufweisen: Der Anteil der „Grauen Energie“ des verbauten Materials wird dabei durch die Einspeisung von Strom ins öffentliche Netz kompensiert.

Derzeit werden bereits von verschiedenen Einrichtungen Überlegungen angestellt, wie dieses Grundprinzip auf mehrgeschossige Wohngebäude oder sogar auf Stadtquartiere übertragen werden kann.

Um jedoch einen grundsätzlich positiven Umgang mit unserem Ökosystem Erde zu ermöglichen, müssen weitere Aspekte in die Planung und Umsetzung von Gebäuden eingebunden werden. Hierzu gehören u.a. besonders der Material- bzw. Ressourceneinsatz unter Berücksichtigung geschlossener biologischer und technischer Kreisläufe, wobei die Erstellungs- und Betriebskosten zu beachten sind. Des Weiteren müssen beispielsweise gesundheitliche Aspekte, Fragen des generationengerechten Bauens, sowie der nachhaltige Umgang mit Wasser unter Berücksichtigung von Low-tech-Lösungen beachtet werden.

In diesem Zusammenhang stellt das Cradle to Cradle® (C2C) Prinzip das tiefgreifendste und umfassendste Konzept dar, da es den grundlegend positiven Ansatz der Ökoeffektivität verfolgt: der durch das Gebäude verursachte ökologische, ökonomische und soziokulturelle Fußabdruck ist durchwegs positiv. Zum Erreichen dieses Ziels sind die

folgenden, grundlegenden Aspekte von C2C zu beachten: „Waste equals food, use current solar income and celebrate diversity“.

Vor diesem Hintergrund hat die Technische Universität München (TUM) gemeinsam mit der University of Texas at Austin (UTA) unter maßgeblicher Mitarbeit ihrer wissenschaftlichen Mitarbeiter und Studierenden ein Cradle to Cradle® inspiriertes Plusenergiehaus, das sogenannte „nexushaus“ (<http://www.nexushaus.com>). Derartige Gebäude sind im deutschsprachigen Raum bislang nicht bekannt.

1.1 Notwendigkeit

Im Zusammenhang mit dem weltweiten Ressourcenverbrauch kommt dem Bauwesen eine tragende Rolle zu. Allein die Energieversorgung von Gebäuden macht rund 1/3 des globalen CO₂-Ausstoßes aus. 60% des weltweiten Stromverbrauchs entfallen auf den Gebäudesektor. Hinzu kommt der Energieaufwand bzw. CO₂-Ausstoß für den Bau, Erhalt und den Rückbau von Gebäuden. Nach Aussage des United Nations Environment Programme ist der Bausektor für rund 1/3 des weltweiten Ressourcenverbrauchs verantwortlich. Dies beinhaltet rund 12% des weltweiten Trinkwasserverbrauchs und rund 40% des weltweit verursachten Abfallaufkommens [1.1].

Das Department of Economics and Social Affairs prognostiziert einen Anstieg der Weltbevölkerung auf 11,213 Mrd. (Stand 2015: 7,349 Mrd.) bis zum Jahr 2100 [1.2]. Mit dem Bevölkerungswachstum steigt der Konsum und die Nachfrage nach Ressourcen.

Um einen nachhaltigen Umgang mit den vorhandenen Ressourcen zur Sicherung unserer Lebensqualität zu gewährleisten, ist im Gebäudesektor ein fundamentales Umdenken im Hinblick auf den Einsatz von Energie, Material, Wasser u.a.m. notwendig. Dazu ist ein gesamtheitlicher, sich über

alle Maßstabsebenen hinweg erstreckender, interdisziplinärer und lebenszyklusbasierter Arbeitsansatz zwingend erforderlich.

Ferner müssen im Zuge des demographischen Wandels und dem steigenden Bedarf an innerstädtischem Wohnraum zukunftsorientierte und barrierefreie Wohnkonzepte entwickelt werden, die die vorhandenen Ressourcen und die Infrastrukturen nicht zusätzlich ausbeuten und belasten. Eine funktionierende Einbindung der Elektromobilität und die energetische Autarkie sind Herausforderungen, denen wir uns langfristig stellen müssen.

Bis heute sind keinerlei gebaute Beispiele bekannt, die einen grundsätzlich positiven ökologischen Fußabdruck besitzen. Dies ist allerdings der einzige Weg, um im Bauwesen einen nachhaltigen Umgang mit unserem Ökosystem zu ermöglichen. Um die Klimaschutzziele erreichen zu können und den immensen Ressourcenverbrauch deutlich zu reduzieren, müssen innovative Bauweisen breite Unterstützung finden. Internationale Wettbewerbe wie der Solar Decathlon 2015 in Irvine/Kalifornien, USA bieten dabei eine hervorragende Möglichkeit, neueste Entwicklungen einer breiten Öffentlichkeit zu präsentieren.

1.2 Aufgabe des vorliegenden Forschungsprojektes

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens soll die Übertrag- und Umsetzbarkeit der Grundprinzipien des Cradle to Cradle® auf das „nexushaus“ geprüft und dargestellt werden. Es soll eine Machbarkeitsstudie durchgeführt werden, die im Idealfall zeigt, dass im Einfamilienhausbau die C2C-Prinzipien bereits heute umgesetzt werden können. Ferner gilt es, einen Leitfaden zu schaffen, der dem Fachplaner Wege zur Umsetzung eines C2C inspirierten Gebäudes übersichtlich darstellt.

1.3 Vorgehensweise für die verschiedenen Teilaufgaben

Als Endziel des vorliegenden Forschungsprojekts gilt es nachzuweisen, dass die Grundprinzipien des Cradle to Cradle® Konzepts bereits heute auf Gebäude im Einfamilienhausbereich übertragen werden können. Dies soll anhand der Entwicklung und Umsetzung des „nexushauses“ geprüft und dargestellt werden. Es gilt aufzuzeigen, wie die C2C-Prinzipien zukünftig in den Entwurfs-, Planungs- und Bauprozess integriert werden können. Ferner ist abzubilden, bei welchen Bauteilen des Hauses die C2C-Prinzipien mittlerweile integriert werden können oder wo diese Prinzipien zukünftig noch intensiver behandelt werden müssen.

Basierend auf den Dokumentationen der Wettbewerbsteilnahme sollen im Rahmen dieses Projektes die Entwurfs-, Planungs- und Bauprozesse analysiert werden. Innerhalb der Machbarkeitsstudie sollen maßgebende Parameter diskutiert und ihre Wirkungspotentiale ermittelt werden. Es gilt, sinnvolle Planungs- und Ausführungsansätze übersichtlich herauszuarbeiten und darzustellen.

Mit den Ergebnissen wird dann ein Leitfaden erstellt, um diese Ansätze künftig vermehrt im Bausektor umzusetzen. Ausgehend von den Grundprinzipien des C2C-Konzeptes wurden vom Projektteam des „nexushauses“ folgende Ziele verfolgt:

- Lebenszyklusbezogen wird mehr Energie erzeugt als verbraucht (*Use Current Solar Income*)
- Der überschüssig erzeugte Solarstrom wird für die Unterstützung eines Elektroautos genutzt (*Use Current Solar Income*)
- Das Haus ist demontierbar und das Baumaterial wird nach Ablauf der Lebensdauer wieder vollständig in den Stoffkreislauf zurückgeführt. (*Waste Equals Food*)

- Das örtlich anfallende Regenwasser wird gereinigt und dem häuslichen Wasserkreislauf in Trinkwasserqualität zugeführt werden. Das aufbereitete Grauwasser dient zur Gartenbewässerung. (*Waste Equals Food*)
- Komfort und Gesundheit von Bewohnern und Gebäude muss gewährleistet sein. (*Celebrate Diversity*)
- Das Haus überzeugt in Funktion und Gestaltung. (*Celebrate Diversity*)
- Die Anpassungsfähigkeit an unterschiedlichste Wohnformen wird sichergestellt. (*Celebrate Diversity*)
- Das Gebäude trägt zur Nahrungsversorgung des Menschen bei. (*Waste Equals Food*)

Innerhalb des Zukunft-Bau-Förderprojektes soll überprüft und nachgewiesen werden, inwiefern diese Planungsansätze umgesetzt werden konnten. Zunächst werden, bezogen auf den deutschen Raum, Schwachstellen bei der Umsetzung aufgedeckt und Optimierungsansätze aufgezeigt, die dann in einem Leitfadens veröffentlicht werden. Ausgelöst durch die Teilnahme am Solar Decathlon 2015 in Irvine/Kalifornien haben die Studierenden des UTA/TUM-Teams im Sommersemester 2014 innerhalb eines Ent-

wurfseminars ein Architekturkonzept entwickelt, das die Umsetzung der angesprochenen Prinzipien ermöglicht. Dabei wurden sie bei der Endpräsentation im Juli 2014 durch ein namhaftes ‚Advisory Committee‘ unterstützt und bewertet, zu dem folgende Experten zählten: Prof. Manfred Hegger, TU Darmstadt; Prof. Michael Braungart, EPEA Hamburg; Prof. Gerhard Hausladen, IB Hausladen, München; Prof. Stefan Winter, TU München; Prof. Hermann Kaufmann, TU München; Prof. Thomas Hamacher, TU München; Andreas Danler, Bartenbach LichtLabor

Beginnend mit August 2014 untersuchten die Studierenden, wie die vielfältigen und anspruchsvollen Forderungen des C2C-Prinzips vor dem Hintergrund der Wettbewerbsbedingungen des Solar Decathlon 2015 erfüllt und die hierfür entwickelten Lösungsansätze im Detail weiterentwickelt werden können, um den Bau eines Prototyps vorzubereiten. Aufbauend auf einer ersten LCA-Analyse der Materialien und der integrierten Gebäudetechnik wurde die Umsetzung eines Prototyps im Rahmen eines interdisziplinären und integrierten Entwicklungsprozesses vorbereitet. Im nächsten Schritt wurden die Bauprodukte spezifiziert und die technischen Systeme konkretisiert. Innerhalb der

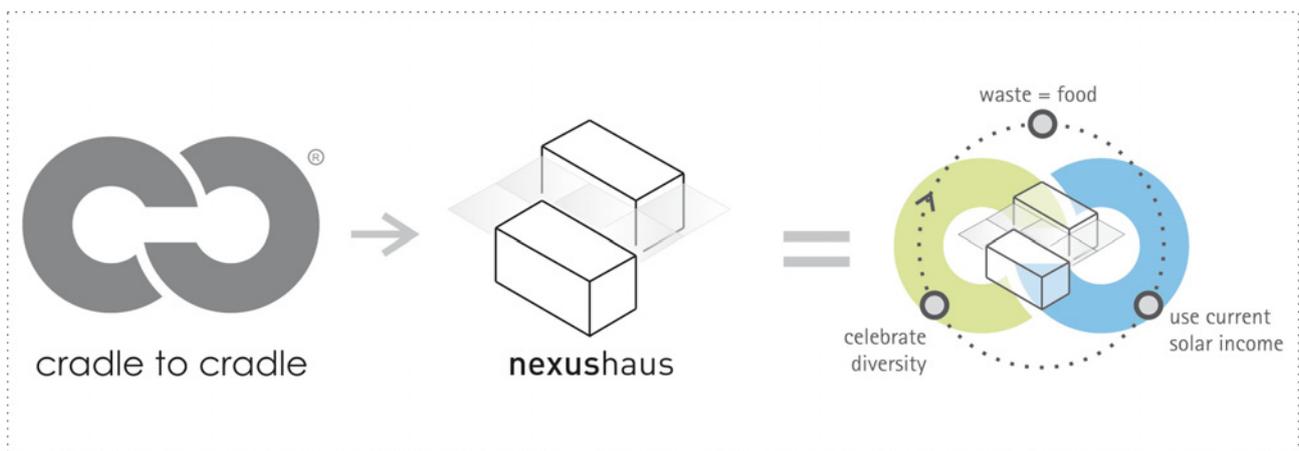


Abb. 1-1 Anwendung der C2C-Prinzipien bei der Erstellung des Wettbewerbsgebäudes „nexushaus“ (Eigene Darstellung)

Bauphase sollten schließlich die Grundprinzipien in die Praxis überführt werden.

Ausgehend vom Vorkonzept des innovativen Gebäudes, knüpft das Forschungsprojekt an die Gebäudedokumentation an, indem es den Planungs- und Bauprozess ausgewertet und ggf. optimiert.

Folgende Fragestellungen werden dabei untersucht:

- Welche Entwurfskriterien finden sich tatsächlich in der Ausführung wieder?
- Warum wurden die Planungen verändert oder angepasst?
- Welche Aspekte hätten von Beginn besser integriert werden müssen?

Im Rahmen dieses Förderprojektes werden die gewählten Produkte und entwickelten Gebäudesysteme im Hinblick auf ihre ökologische Qualität abschließend durch die Anwendung von LCA-Methoden bewertet. Die Transportier- und partielle Demontierbarkeit des Gebäudes, welches auch zwingende Wettbewerbsvorgabe waren, sollen ebenfalls abschließend bewertet werden. Die Rezyklierbarkeit des Gebäudes und der verwendeten Materialien kann über die Wahl der Verbindungsmittel und diverse End-of-Life-Szenarien evaluiert werden.

Mit der Bewertung der Machbarkeit sollen die Grundprinzipien des Bauens mit positivem Fußabdruck dargestellt und aufgezeigt werden, wie sie bei ähnlichen Bauaufgaben in Deutschland oder anderen Ländern angewendet werden können. In den Leitlinien werden die drei C2C-Grundprinzipien anwendungsbezogen hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf reale Anforderungen definiert und dargestellt. Konkrete Ausführungsbeispiele und deren Umsetzbarkeit in die Praxis werden untersucht und demonstriert.

Nach erfolgreichem Abschluss dieses F&E-Vorhabens könnte in einem weiteren Schritt untersucht werden, wie die Ergebnisse auf mehrgeschossige Wohnungsbauten oder auf die Quartiersebene transponiert werden können. Darüber hinaus wird aufgezeigt, wo weiterer Forschungsbedarf in Zukunft erforderlich sein wird, um die genannten Ziele zu erreichen.

2

Grundlagenermittlung
2.1 Cradle to Cradle

2 Grundlagenermittlung

2.1 Cradle to Cradle

"A Cradle to Cradle® building contains defined elements that add value and celebrate innovation and enjoyment by: measurably enhancing the quality of materials, biodiversity, air, and water; using current solar income; being deconstructable and recycable, and performing diverse practical and life-enhancing functions for its stakeholders."

(Cradle to Cradle®: Criteria for the built environment, Douglas Mulhall & Michael Braungart, EPEA Internationale Umweltforschung GmbH)

Die Vermeidung von Müll durch innovative Designkonzepte und geschlossene Systemkreisläufe ist seit der Gründung 1995 das gemeinsame Ziel von McDonough Braungart Design Chemistry (MBDC). Braungart widmet sich bereits seit 1987, mit der Gründung von Environmental Protection Encouragement Agency (EPEA) Hamburg, der Cradle to Cradle® Idee. Der eingetragene Markenname wird im Weiteren der Einfachheit halber mit Cradle to Cradle bzw. C2C abgekürzt. 1992 in den Hannover Principles erstmals beschrieben, ist es gelungen, damals die „Cradle to Cradle-Prinzipien“ (siehe 2.1.3) in die Öffentlichkeit zu tragen. Internationale Bekanntheit erlangten Braungart/McDonough mit der Veröffentlichung der Bücher „Cradle to Cradle: Einfach intelligent produzieren“ und „The Upcycle: Intelligente Verschwendung“.

Die Herstellung von Gebrauchs- und Konsumgütern ist für einen Großteil der Emissionen und Abfälle unseres Ökosystems verantwortlich. Inhaltsstoffe von Produkten und deren Folgen für die Umwelt sind wenig erforscht. Der wirtschaftliche Anreiz sowie die Bequemlichkeit, funktionelle Prozesse zu belassen wie sie sind, überwiegen dem Interesse den nachfolgenden Generationen eine „saubere“ Umwelt zu hinterlassen. Hier soll ein Umdenken stattfinden, bei dem die Prinzipien des C2C Hilfestellung geben, Mensch und Planet zu schützen. Der Gedanke „von der Wiege zur Wiege“ (Cradle to Cradle) findet bislang haupt-

sächlich Anwendung in der Produktherstellung, auf die im Kapitel 2.1.5 genauer eingegangen wird. Die Übertragung im größeren Maßstab auf das gesamte Gebäude ist bislang wenig erprobt und in der Literatur kaum beschrieben.

2.1.1 Öko-Effektivität

Geschlossene Nährstoffkreisläufe führen dazu, dass das anthropogene Handeln keine negativen Auswirkungen auf Mensch und Ökosystem hat. Wir leben in „Verschwendung“, da die Werkzeuge und Materialien, mit denen wir unser Dasein gestalten, jederzeit einem technischen oder biologischen Kreislauf zugeführt werden können. Jeder Inhaltsstoff eines Produktes ist Nährstoff für neue Materialien, Produkte und Komponenten die. Als grundlegende Denkweise für alle Handlungsprozesse ist die vorbeschriebene Öko-Effektivität Vision von C2C. Durchdachte und intelligente Materialkreisläufe verhindern dabei den Austritt schädlicher Substanzen, anfallender Abfall ist Nährstoff für neue Prozesse [2.1]. Im Gegensatz dazu steht die Effizienz, welche lediglich das Prinzip des „weniger schlimm“ verfolgt, also beispielsweise weniger Treibhausgasausstoß in die Erdatmosphäre oder die effizientere Verwendung seltener Erden. Wobei die Endlichkeit zeitlich verzögert in Kauf genommen wird.

2.1.2 Stoffkreisläufe

Grundsätzlich lassen sich zwei Stoffkreisläufe nach C2C unterscheiden (Abb. 2-1), der biologische und der technische Nährstoffkreislauf. Beide können im Lebenszyklus eines Gebäudes Anwendung finden. Bereits im Planungsprozess sollte verstärkt auf eine gesunde und lokale Materialwahl und die Rezyklierbarkeit bzw. den Rückbau der Elemente nach deren Lebensende geachtet werden. Durch Zuordnung der Produktinhaltsstoffe eines technischen oder biologischen Kreislaufes werden Mensch und Natur vor Schadstoffen und Ausbeutung geschützt. Als Antrieb dieser Kreislaufprozesse werden ausschließlich erneuerbare Energien verwendet.

2.1.2.1 Technischer Stoffkreislauf

Grundlage für das Funktionieren des technischen Stoffkreislaufes ist das Umdenken darüber, Produkte einmalig zu kaufen, zu gebrauchen und anschließend zu entsorgen. Stattdessen sollte es nach Gebrauch (z.B. als Serviceprodukt) dem Hersteller zurückgegeben werden. Der techni-

sche Kreislauf lässt sich am Beispiel eines Fernsehgerätes erläutern. Nach Rückgabe an den Hersteller wird dieser in seine Einzelteile zerlegt, um die Komponenten für die Erstellung eines neuen Fernsehers *wiederverwenden*. Im etwas größeren Maßstab könnte es gar eine ganze Fassade sein, die nach Ablauf der errechneten Lebenszeit wieder dem technischen Materialkreislauf zugeführt wird. Die TU Delft erforscht in einer Machbarkeitsstudie, gefördert durch das EU-Forschungsprogramm Horizon 2020, genau dieses Konzept [2.2].

2.1.2.2 Biologischer Stoffkreislauf

Der biologische Kreislauf berücksichtigt hierbei alle Stoffströme, die der Natur zurückgeführt werden können (Verbrauchsgüter). Ein Beispiel wäre das Waschpulver, welches so zusammengesetzt ist, dass es keine schädlichen Rückstände im Waschwasser zurücklässt und ohne Aufbereitung, beispielsweise als Grauwasser für die Gartenbewässerung, weiterverwendet werden kann. Auch unbehandelte Baumaterialien wie Dämmstoffe oder Holz können der Natur zurückgegeben und biologisch abgebaut

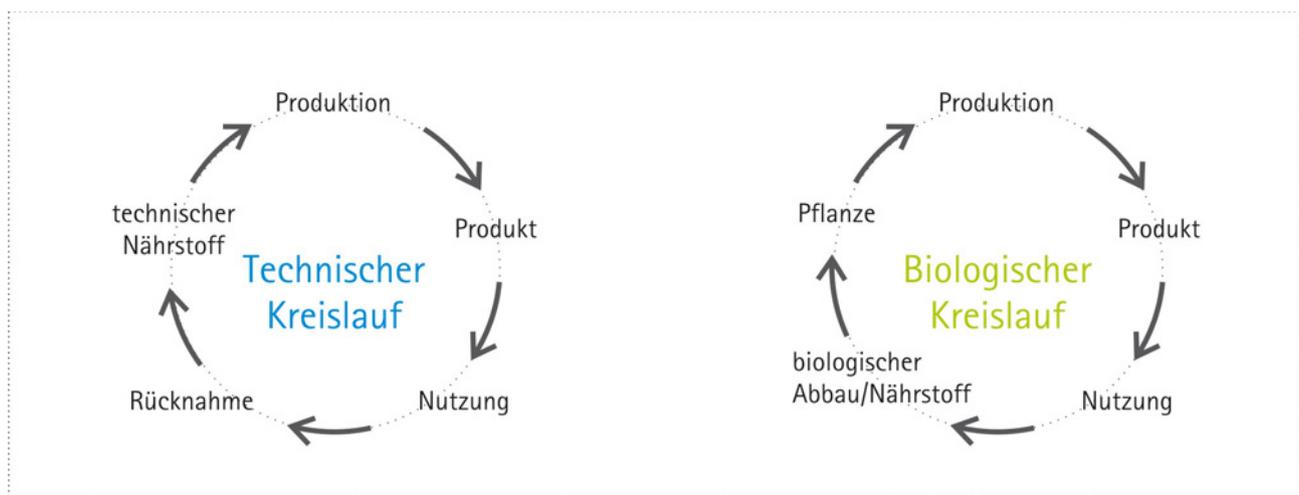


Abb. 2-1 Technischer und biologischer Stoffkreislauf

werden. Eine Kombination aus beiden Nährstoffkreisläufen ist ebenfalls denkbar, z.B. bei unbehandeltem Papier, das nach Gebrauch über den technischen Recyclingprozess zu einer Wärmedämmung *weiterverarbeitet* und schließlich nach Verbrauch dem biologischen Kreislauf als Kompost zurückgeführt oder thermisch verwertet werden kann.

2.1.2.3 Recyclingbegriffe

Überbegriff für die Zurückführung eines Produkts in den Stoffkreislauf durch unterschiedliche Verfahren ist das Recycling. Im Detail finden darüber hinaus noch andere Begrifflichkeiten Anwendung, die im Folgenden kurz erläutert werden:

Wiederverwendung

Erneute Benutzung von gebrauchten Produkten für den **gleichen** Verwendungszweck. Ein Beispiel wäre der erneute Verbau von intakten Mauerwerksklinkern.

Weiterverwendung

Bei dieser Recyclingvariante werden gebrauchten Produkte für einen **anderen** Verwendungszweck weiterverwendet.

Mauerwerksklinker können somit alternativ als Begrenzungssteine für Grünflächen Verwendung finden.

Wiederverwertung

Erneuter Einsatz von Altstoffen in einem gleichartigen wie dem bereits durchlaufenen Produktionsprozess. Sekundärmetalle können der Wiederverwertung zugeordnet werden.

Weiterverwertung

Einsatz von Altstoffen in einem von diesen noch nicht durchlaufenen Produktionsprozess, wodurch andere Werkstoffe oder Produkte mit anderen Eigenschaften entstehen.

Ein Beispiel wäre die Weiterverwertung von Ziegelsplitt zu Pflanzsubstrat.

Downcycling

Erreicht das weiterverwendete oder -verwertete Produkt nicht mehr die ursprüngliche Qualität oder Funktionalität, können die Hochbaustoffe im Straßenbau als Verfüllmaterial verwendet werden.

Upcycling

Das weiterverwendete oder -verwertete Produkt erreicht eine höhere Qualität oder Funktionalität. Ein Druckergehäuse, das bspw. nach Gebrauch zu einem Kinderspielzeug weiterverwertet wird ist nach C2C-Verständnis Upcycling. Oftmals wird der Begriff fälschlicherweise mit einem Downcycling verwechselt. Altpapier zu einer Wärmedämmung weiterzuverarbeiten stellt, ohne Kenntnisse der Inhaltsstoffe und die darüber hinausgehende Verwendung, ein Produktdowncycling dar.

2.1.3 C2C-Prinzipien

Um der Ressourcenknappheit entgegenzuwirken und die Kreislaufwirtschaft zu fördern, wurden drei Cradle to Cradle Prinzipien aufgestellt, aus denen sich Planungskriterien ableiten lassen, die bei der Entwicklung innovativer Designideen und Produkte helfen sollen [2.3].

2.1.3.1 Waste equals food

Erstes Kriterium ist der verantwortungsvolle Umgang mit Rohstoffen. Hierbei besteht die Herausforderung darin, alle im Gebäude verwendeten Materialien so einzusetzen, dass diese nach Ablauf der Lebensdauer in den technischen oder biologischen Stoffkreislauf zurückgeführt werden können. Es sollen primär Komponenten zum Einsatz kommen, die aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, schadstofffrei sind und sortenrein in ihre Einzelbausteine zerlegt werden können. Schadstofffrei heißt in diesem Zusammenhang, ohne gesundheitliche Folgen für Mensch

und Tier sowie negative Auswirkungen auf die Umwelt.

2.1.3.2 Use current solar income

Momentan wird Energie meist durch fossile Energieträger bereitgestellt, die neben deren Endlichkeit auch einen hohen Emissionsausstoß als Nebeneffekt haben. Die eingesetzten Energien für die Produktherstellung und den Gebäudebetrieb sollen daher künftig aus erneuerbaren Quellen, wie Sonne, Wasser, Wind und Erde (Geothermie) gewonnen werden. Verknüpft mit effizienter Haustechnik (bspw. LED), kann so mehr Energie erzeugt werden, als das Gebäude für den Betrieb benötigt (Plusenergiehaus). Überschüssiger Solarstrom kann somit gleichzeitig für Elektrofahrzeuge bereitgestellt werden.

2.1.3.3 Celebrate Diversity

Damit ist die Verantwortung gegenüber dem uns umschließenden Ökosystem gemeint. Das oft standardisierte, monotone Design sollte von der Natur inspiriert an die lokale Umgebung angepasst sein und von der örtlichen Vielfalt profitieren. Die Arten- und Systemvielfalt kann sich auf die Biodiversität beziehen, schließt aber neben ökologischen auch ökonomische und soziokulturelle Aspekte mit ein. In der Gebäudeplanung kann das ein flexibler Grundriss sein, der sich an die Nutzeranforderungen seiner Bewohner anpasst und beispielsweise von der Größe eines 4-Personen-Haushaltes auf einen 2-Personen-Haushalt verkleinert werden kann (Konzeptionelle Diversität). Biomimikry (auch Bionik¹) ist ein weiteres Beispiel für „Celebrate Diversity“. Unter Berücksichtigung der Natur werden innovative Gebäudekomponenten entwickelt, wie der Klettverschluss inspiriert durch Kletten. Wasser- oder schmutzabweisenden Anstriche werden dem Lotuseffekt nachempfunden.

Wird die Abwärme aus Produktionsprozessen beispielsweise für die Vorwärmung des Warmwassers benutzt, profitiert man auch hier ganz im Sinne der Verwendungsvielfalt. Das ursprüngliche Abfallprodukt Wärme wird als „Nährstoff“ für einen neuen Produktionsprozess eingesetzt.

2.1.3.4 Stakeholder

Um die Planungskriterien in die Tat umsetzen zu können, bedarf es den Gebäudeeigentümern, Betreibern und Bewohnern die Vorteile eines C2C inspirierten Gebäudes (Arbeits- oder Wohnumfeld) aufzuzeigen. Ein ansprechendes Arbeitsumfeld mit guter Luftqualität steigert die Produktivität der Arbeitnehmer [2.4]. Grauwasserrecycling und eine Reduktion der Flächenversiegelung sparen Abwassergebühren ein. Ein natürliches Belichtungskonzept reduziert den Stromverbrauch. Durchdachte Recyclingprozesse sparen Kosten für Neubeschaffungen ein.

Festgelegte Meilensteine helfen den Initiatoren bei der Umsetzung der C2C Planungsziele. In der Produktzertifizierung kann vom Initiator, beginnend mit dem Basic-Level, der Weg zum Platin-Level in Etappen bestritten werden. Unternehmen gelingt somit der Umstieg hin zu einer nachhaltigen Denkweise ohne finanzielles Risiko.

Am Beispiel Wasser veranschaulicht bedeutet das, in einem ersten Schritt Potentiale für Grauwasserrecycling und die Regenwasserspeicherung/-nutzung zu untersuchen.

Anschließend ist das Betriebssystem soweit zu optimieren, dass genau so viel Wasser recycelt wird, wie der Gebäudebetrieb erfordert. Abschließendes Ziel ist es, dem Umfeld das überschüssige (Ab-) Wasser, mit einer höheren Qualität als beim Bezug, wieder zur Verfügung zu stellen.

¹ VDI-Fachbereich Bionik: „Bionik verbindet Technik und Biologie und will Lösungen der Natur und deren Innovationspotenzial für den Menschen nutzbar machen.“ [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <https://www.vdi.de/technik/fachthemen/technologies-of-life-sciences/kompetenz-vor-ort/arbeitskreis-bionik/>

2.1.4 Literatur

2.1.4.1 Hannover Principles (1992/2000)

Zwei Grundlagenwerke dienen als Hilfestellung zur Festlegung der notwendigen Planungsparameter für die Erstellung eines Cradle to Cradle inspirierten Plusenergiehauses. Bereits 1992 wurde durch das Planungsbüro William McDonough & Partners (neben Herrn Braungart Mitbegründer von C2C) ein Planungsleitfaden für die Entwicklung des Expo-Geländes zur Expo 2000 in Hannover erstellt. Aus Sicht des Architekten wurden in den „Hannover Principles – Design for Sustainability“, anhand der fünf Elemente Erde, Wasser, Feuer, Luft und Geist (Spirit), Kriterien als Planungswerkzeug für die Teilnehmer aufgezeigt und erläutert. Die Hannover Principles bauen auf dem Bewusstsein folgender Designgrundsätze auf (Übersetzung aus dem Englischen) [2.5]:

1. **Unbedingte Wahrung des Rechts auf die Koexistenz von Mensch und Natur** unter gesunden, günstigen, vielfältigen und nachhaltigen Bedingungen. Wahrnehmung der Abhängigkeit von Natur und Design.
2. **Wechselseitige Abhängigkeiten anerkennen.** Die Elemente, die der Mensch gestaltet, stehen in Wechselbeziehung mit und in Abhängigkeit von der natürlichen Welt. Dies hat auf allen Ebenen weitreichende und vielfältige Folgen. Design-Ansätze sind so weit zu fassen, dass auch entferntere Wirkungen berücksichtigt werden.
3. **Auf Zusammenhänge zwischen Geist und Materie achten.** Alle Aspekte menschlichen Siedelns wie Gemeinschaft, Wohnen, Wirtschaft und Handel sind im Hinblick auf bestehende und sich entwickelnde Zusammenhänge zwischen geistigem und materiellem Bewusstsein zu betrachten.
4. **Verantwortung übernehmen für die Folgen von Design-Entscheidungen** auf das Wohl des Menschen, die Lebensfähigkeit natürlicher Systeme und deren Recht auf Koexistenz.
5. **Sichere Objekte mit langfristigem Wert schaffen.** Künftigen Generationen keine Belastungen dadurch aufbürden, dass sie potentiellen Gefahren durch fahrlässig geschaffene Produkte, Prozesse oder Standards begegnen oder wachsam entgegensteuern müssen.
6. **Den Begriff „Abfall“ abschaffen.** Den gesamten Lebenszyklus von Produkten und Prozessen analysieren und dahingehend optimieren, dass eine Annäherung an den Zustand natürlicher Systeme stattfindet, bei denen es keinen Abfall gibt.
7. **Auf natürliche Energieströme setzen.** Das, was der Mensch gestaltet, sollte seine kreativen Kräfte – wie auch die natürliche Welt – aus der unerschöpflichen Energie der Sonne ziehen. Diese Energie ist im Sinne einer verantwortlichen Nutzung effizient und sicher einzusetzen.
8. **Die Grenzen des Gestaltbaren erkennen.** Nichts, was der Mensch schafft, ist von Dauer und Design löst nicht alle Probleme. Wer gestaltet und plant, sollte Demut vor der Natur wahren. Die Natur ist als Vorbild und Lehrer zu betrachten und nicht als Störfaktor, der zu umgehen oder zu kontrollieren ist.
9. **Kontinuierliche Verbesserung durch Wissensaustausch.** Den direkten und offenen Austausch zwischen Kollegen, Auftraggebern, Herstellern und Nutzern fördern, um langfristige Nachhaltigkeitsansätze mit ethischer Verantwortung zu verknüpfen und die ganzheitliche Beziehung zwischen natürlichen Prozessen und menschlicher Aktivität wiederherzustellen.

2.1.4.2 Criteria for the built environment (2010)

Ergänzend hierzu wird das Paper „Cradle to Cradle - Criteria for the built environment“ [2.6], erarbeitet von Douglas Mulhall und Michael Braungart, herangezogen, um die dortigen Überlegungen in Bezug auf das Bauwesen in der folgenden Analyse und Bewertung des nexushauses zu berücksichtigen. Das Paper beinhaltet als Planungshilfe und Anreiz für Stakeholder/Initiatoren eine „Roadmap“ mit „Meilensteinen“. Planungsziele (Meilensteine) werden zu Beginn festgelegt, jedoch erfolgt die Ausführung erst zu einem späteren Zeitpunkt. Das ermöglicht eine langfristige und finanziell tragbare Möglichkeit ganzheitlich zu planen, mit dem finalen Ergebnis (nach Erreichen aller Meilensteine), einen ausschließlich positiven ökologischen Fußabdruck des Gebäudes sicherzustellen. Dies stellt einen bedeutenden Unterschied zu den Zertifizierungssystemen dar, die nach Gebäudeerstellung vergeben werden und den fertigen Ist-Zustand bewerten. Über die Zertifizierung hinaus entsteht kein Anreiz, das Gebäude und die Anlagentechnik noch weiter zu optimieren. Das generationenübergreifende Nachhaltigkeitsziel wird dabei zum Teil verfehlt. Die Roadmap definiert Nutzungszeiten, die sich von denen einer Lebenszyklusbetrachtung dahingehend unterscheiden, dass sie nicht das End-of-life Szenario betrachten sondern eher das End-of-use Szenario. Das bedeutet, dass nach dem Gebrauch eine Wieder- oder Weiterverwertung in einem der Nährstoffkreisläufe angestrebt wird. Ergänzend zum Planungsprozess fordert die Roadmap die Definition von Nutzungszeiten, die den Hersteller rechtzeitig in Kenntnis setzen, wann ein Produkt erneuert wird oder dem Recycling für neue Prozesse zurückfließt. Obwohl Braungart/McDonough die Grundgedanken zu C2C gemeinsam entwickelt haben, sind deren unterschiedlichen Expertisen in den Literaturangaben erkennbar. Braungart ist Chemiker und McDonough Architekt.

Deutlich wird das beispielsweise an der Betrachtungstiefe des Kriterium „use current solar income“. McDonough bezieht sich dabei auf die „Matrix for Sustainability“ von Osama Salem 1990. Mulhall/Braungart legen den Fokus auf die Vielfalt von primären und sekundären Nutzungen von Solarenergie, die zum Teil ein tieferes Verständnis von der Materie voraussetzen:

Hannover Principles

Multidimensional goals of sustainability might be quantified by Energy..

uses solar energy, uses buildings' thermal inertia, uses wind energy, uses biomass, uses daylighting, uses natural ventilation, moderates microclimate, recycles waste energy

Criteria for the built environment

Primary solar uses: current solar income use, conversion and storage include natural light, solar thermal, photovoltaic, photosynthesis, photochemical, wave and wind energy

Secondary solar uses: respiration, currently renewable biomass-derived energy from composting, biodigestion, thermolysis, hydrothermolysis, pyrolysis, gasification, and fuel cells

Abb. 2-2 Auszug Literatur „Use Current Solar Income“ [2.5,2.6].

In den folgenden Kapiteln zu den Planungsparametern wird die Bewertung des Case-Study-Gebäudes um Parameter ergänzt, die bei dem studentischen Projekt unbearbeitet blieben. Ziel dabei ist, für den finalen Leitfaden vielfältige Möglichkeiten aufzuzeigen, die bei der Umsetzung eines Cradle to Cradle inspirierten Plusenergiehaus betrachtet werden können. Die Bewertung und Umsetzung des nexushauses greift dabei einige Elemente genauer heraus.

2.1.5 Cradle to Cradle Produktzertifizierung

Wie bereits in der Einleitung angesprochen, können bislang nur Produkte, die den C2C-Kriterien folgen, zertifiziert werden. Eine Gebäudezertifizierung ist bislang nicht möglich [2.3]. Über eine im Frühjahr 2015 initiierte Plattform können lediglich C2C inspirierte Projekte online eingestellt werden. Hierbei soll ein ausgewähltes Gremium darüber entscheiden, ob im Gebäude Aspekte der C2C-Visionen umgesetzt wurden, die lobenswerterweise einem breiten Publikum als Inspiration für eigene Projekte dienen sollen (siehe hierzu auch 2.1.6.2.) [2.7].

Das *Cradle to Cradle Products Innovation Institute (C2CPII)* wurde 2010 gegründet und ist eine gemeinnützige, internationale Nonprofit-Organisation [2.8]. Nachdem Assessoren, für Europa bspw. die EPEA Hamburg, Unternehmen bei der Umsetzung von C2C-Zielen beratend zur Seite stehen, vergibt das C2CPII als Auditor das abschließende Zertifikat und ist für die Lizenzierung der C2C-Labels verantwortlich. Ziel ist es, Firmen zu unterstützen, die interessiert sind, ihre Herstellungspraxis für die eigenen Produkte so zu verändern, dass unser Ökosystem geschützt ist. Das Institut gibt Entwicklern Hilfestellung *„Produkte anzufertigen, die innerhalb biologischer und technischer Nährstoffkreisläufe wiederverwendbar sind und auf sozial verträgliche Weise mit sauberer Energie und sauberem Wasser erzeugt werden.“* [2.8] Dabei untersucht das Zertifizierungsprogramm fünf Themengebiete, die mit einem Label von Basic bis Platin bewertet werden. Die Kategorie mit der geringsten Bewertung ist ausschlaggebend für die finale Labelung des Produkts (Abb. 2-4). Beginnt eine Firma sich mit den Prozessketten der eigenen Produkte zu beschäftigen und im Sinne des C2C zu optimieren, so wird in einem 1. Schritt der Status-Quo (Ist-Zustand) analysiert und bewertet. Die Zertifizierung hat eine Gültigkeit von zwei Jahren, danach

muss das Unternehmen seine zukunftsorientierten Nachhaltigkeitsziele erneut unter Beweis stellen und kann es im besten Fall upgraden [2.9].

Folgende Kategorien werden bei der Produktzertifizierung betrachtet:

- Umweltsichere und gesunde Inhaltsstoffe (*Material Health*)
- Kreislauffähigkeit (*Material Reutilization*)
- Einsatz von regenerativen Energieformen (*Renewable Energy & Carbon Management*)
- Verantwortungsvoller Umgang mit Wasser (*Water Stewardship*)
- Soziale Verpflichtung des Unternehmens (*Social Fairness*)

Momentan sind ca. 380 Einzelprodukte und Produktgruppen durch C2C zertifiziert. Davon finden ca. 2/3 im Bauwesen Anwendung. Ein Vergleich mit anderen Bauproduktbanken zeigt, dass die Cradle to Cradle Produktzertifizierung noch Schlusslicht bei der Datenbereitstellung ist. Das natureplus-Qualitätszeichen gibt es beispielsweise seit 2002 und umfasst 600 Bauprodukte [2.10]. Die baubook-Datenbank bildet die umfangreichste Sammlung und beinhaltet auch die natureplus-Produkte. Seit 2008 werden unter *baubook.info* Daten aus „öbox“ (seit 2004) und „ixbau“ zu insgesamt 3.535 Bauprodukten zusammengefasst. Laut Forschungsprojekt der Kooperation von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), der TU Berlin und des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2006 gibt es *„Europaweit [...] ca. 20.000 Materialien und Produkte auf dem Markt, die für die Errichtung von Gebäuden verwendet werden.“* [2.11] Die Produktvielfalt zeigt, wie wichtig transparente Prozesse und klare Zieldefinitionen für nachhaltige Produktherstellungen sind.

2.1.5.1 Produktzertifizierung Mosa.Tiles

Ein Beispiel für ein erfolgreiches Umdenken der Produktionsabläufe und Produktinhaltsstoffe ist der Keramikfliesenhersteller „Mosa. Tiles“ mit Hauptsitz in Maastricht, Niederlande. Ein Großteil des Wand- und Bodenfliesensortiments des Unternehmens hat das Zertifikat Silber erhalten [2.12]. Die Inhalte des Zertifizierungssystems werden Anhand der folgenden Kriterien und dem Beispiel erläutert.

1. Material Health (Gold): 100% der Inhaltsstoffe sind bis auf die Einheit ppm (parts per million) analysiert und es sind keinerlei kanzerogene, mutagene oder reproduktionstoxische Stoffe (CMR) im Produkt enthalten.

Hauptbestandteile in die Fliesenherstellung sind Sand und Ton, welche in der Natur in großen Mengen vorhanden sind. Giftige Inhaltsstoffe (Blei, Quecksilber oder Kadmium) sind nicht enthalten und der Austritt leicht flüchtiger Substanzen (VOCs) wird in der Nutzungsphase vermieden.

2. Material Reutilization (Gold): Der Recyclinganteil muss gemäß der Gleichung in Abbildung 2-3 > 65 sein. Darüber hinaus muss ein „Nährstoff Management“ erstellt werden, welches Strategien zur Umsetzung des vollumfänglichen Produktrecyclings aufzeigt.

Die Fliesen bestehen zu 100% aus natürlichen und recyclingfähigen Inhaltsstoffen. Außerdem rezykliert Mosa ca. 20-45% Fliesenabbruch in die Herstellung neuer Produkte und führt Produktionsabfälle wieder in den Produktionskreislauf zurück. Hieraus ergibt sich die Gleichung in Abbildung 2-3 mit einem Recyclinganteil von 73.

$$\frac{\text{Recyclingfähigkeit des Produktes (Anteil in \%)} \times 2 + \text{Verwertung von Produktabfälle (Anteil in \%)}}{3} \times 100 = \frac{1,0 \times 2 + 0,20}{3} \times 100 = 73$$

Abb. 2-3 Gleichung zur Bewertung des Recyclinganteiles der Bodenfliese von Mosa.Tiles. [9]

Mosa erforscht in Pilotprojekten, wie auch die Befestigung der Fliesen so ausgeführt werden kann, dass ein 100%iges und sortenreines Recycling in Zukunft zu ermöglichen.

3. Renewable Energy and Carbon Management (Silver): 5% der erforderlichen Energie muss aus nachhaltiger Stromgewinnung stammen. Außerdem sind 5% der Treibhausgasemissionen (GWP) über Offsets (Ausgleichsmaßnahmen) zu kompensieren. Um hier das nächste „Gold“-Level erreichen zu können müssen zusätzlich 45% mehr Strom aus erneuerbaren Quellen erzeugt und weitere 45% der anfallenden GWPs über Offsets kompensiert werden.

Wasserkraftanlagen liefern seit 2007 „grünen“ Strom für die Produktion. Außerdem wird versucht, Restwärme beim Brennpzess weiterzuverwenden. In den letzten 10 Jahren reduzierte das Unternehmen 48% des CO₂-Ausstoßes.

Mosa kompensiert 33.300t/CO₂ (2014) über den Erwerb von „Silver Standard renewable energy certificates“ [2.13]. Dabei werden Klimaschutzziele durch finanzielle Ausgleichszahlungen unterstützt.

4. Water Stewardship (Gold): Monitoring der im Abwasser durch den Produktionsprozess enthaltenen Chemikalien. Abwasser, welches die Produktionsstätte verlässt, darf keine Problemstoffe beinhalten.

Die Reinigung des Brauchwassers erfolgt in der firmeneigenen Kläranlage. Der Wasserverbrauch im Herstellungsprozess konnte durch geschlossene Kreisläufe um 60% reduziert werden.

5. Social Fairness (Silver): Eines der drei folgenden Kriterien muss hierbei im Firmenprofil umgesetzt sein: Alle produkt- oder themenspezifischen Prüfungen und Zertifizierungen von mind. 25% aller Produktinhaltsstoffe, gewichtsbezogen, sind erfolgt; Die sozialen Einflüsse der gesamten Lieferkette ist bekannt und ggf. Strategien der Optimierung erarbeitet; Das Unternehmen verfolgt aktive Maßnahmen zu Sozialthemen im Betrieb oder auf lokaler und/oder globaler Ebene.

Nahezu alle Materialien für die Produktherstellung werden lokal gewonnen (< 500 km Radius). Darüber hinaus optimierte das Unternehmen, bedingt durch die nahe Stadtlage Emissionsausstoß und Lärmschutz.

Nachdem die Kategorie mit dem geringsten Label ausschlaggebend für die Gesamtbewertung ist - im vorgestellten Fall ist das „Renewable Energy and Carbon Management“ und „Social Fairness“, beide mit Silber bewertet - wurden die Produkte mit C2C-Silber abschließend belabelt.

Cradle to Cradle Certified Product Scorecard	
MATERIAL HEALTH	Gold
MATERIAL REUTILIZATION	Gold
RENEWABLE ENERGY & CARBON MANAGEMENT	Silver
WATER STEWARDSHIP	Gold
SOCIAL FAIRNESS	Silver
OVERALL CERTIFICATION LEVEL	Silver



Abb. 2-4 C2C-Bewertungskategorien der Produktzertifizierung am Bsp. der Floor Tiles des Unternehmens Mosa.Tiles.

2.1.5.2 Verwendung im nexushaus

Die Fliesen von Mosa.Tiles wurden in geringen Mengen auch für das Wettbewerbsgebäude „nexushaus“ verwendet. Anhand des Fliesenbeispiels lässt sich die Herausforderung der richtigen Materialwahl aufzeigen. Die Studierenden sollten bereits in der Entwurfsplanung versuchen, Materialien für die Gebäudeerstellung auszuwählen, die nachhaltig oder gar Cradle to Cradle zertifiziert sind. Es wurden schließlich für die Badgestaltung Mosa-Fliesen gewählt, die auch in den Vereinigten Staaten bezogen werden können. Ein Aspekt blieb dabei unberücksichtigt: so findet die Herstellung ausschließlich in den Werken in Maastricht statt. Der Aufwand für den Transportweg nach Übersee stand in diesem Fall in keinem Verhältnis. Erst nach mehreren Klicks auf der Homepage des Institutes (www.c2ccertified.org) ist diese Information ersichtlich. Hier wäre es hilfreich, eine Auswahl der Herstellerländer in die Produktsuche einzupflegen oder ggf. ein Icon als Information hinzuzufügen.

Abschließend soll in diesem Kapitel der Vergleich des C2C Zertifikats mit dem im europäischen Raum agierenden natureplus®-Qualitätszeichen hergestellt werden. Die Gegenüberstellung soll Potentiale und mögliche Schwachstellen der C2C-Zertifizierung aufzeigen. Zudem wird ein Eindruck vermittelt, wo beim Qualitätszeichen im Vergleich zur C2C-Produktzertifizierung die Themenschwerpunkte in der Bewertung liegen.

2.1.5.3 Gegenüberstellung: C2C-Produktzertifizierung und natureplus®-Qualitätszeichen

Auf der Suche nach Bauprodukten, die in Ihrer Verwendung möglichst unschädlich für die Umwelt sind, stößt man häufig auf das natureplus®-Zeichen. „Der internationale Verein für zukunftsfähiges Bauen und Wohnen - natureplus e.V. - hat sich zum Ziel gesetzt, Bauprodukte durch die Vergabe eines Qualitätszeichens zu fördern, [...] die den drei Grundanforderungen: Umwelt, Gesundheit und funktionale Qualität [...]“ (gemäß der drei Säulen der Nachhaltigkeit: Umwelt, Soziales und Wirtschaft) im Besonderen folgen [2.14]. Stellt man beide Kriterienkataloge gegenüber, lassen sich Vor- und Nachteile beider Systeme erkennen.

Bei der Rohstoffbetrachtung definieren beide Zertifizierungssysteme Schadstoffe, die nicht im Produkt enthalten sein dürfen. C2C bezieht sich dabei auf die „Banned List“ und deren ABC-X Ratingsystem, wobei mit A ein Produkt gekennzeichnet wird, das ganz dem C2C-Gedanken entspricht. Produkte mit X werden als schwer bedenklich eingestuft [2.9]. Das Ratingsystem gewichtet dabei, je nach Produkthanwendung, unterschiedlich. Produkte des biologischen Kreislaufes werden durchschnittlich strenger bewertet. Natureplus gibt den Inhaltsstoffen die gesetzlich festgelegten Grenzwerte vor. Es dürfen *Schadstoffe* enthalten sein, jedoch die für den Menschen unschädlichen Grenzwerte in der Atmosphäre dürfen nicht überschritten werden. Hierbei helfen die Sicherheitsdatenblätter gemäß REACH-Verordnung. 85 Masse-% der Inhaltsstoffe müssen aus nachwachsenden und mineralischen Rohstoffen bestehen, petrochemische Produkte - hergestellt aus Erdgas oder Erdöl - dürfen nur als Zuschlag verwendet werden, wenn es keine ökologisch vorteilhaftere, wirtschaftlich zumutbaren Alternativen gibt [2.14]. Im natureplus Vergabekatalog folgen Aufzählungen von Regelwerken und der Hinweis auf die „Besondere Stoffverbotsliste“. Die

Forderung nach einer Deklaration des Bauprodukts dient hierbei ebenfalls für die Transparenz der Inhaltsstoffe. Im C2C Gedanken soll „Abfall“ - hier verglichen mit Schadstoffen - grundsätzlich vermieden werden, in dem die eingesetzten Stoffkomponenten entweder einem technischen oder einem biologischen Nährstoffkreislauf zugeführt werden. Die Umwelt und deren Ressourcen sollen bei beiden Zertifizierungssystemen vor Ausbeutung und Raubbau geschützt werden. Bei der Rohstoffgewinnung und der Produktion sollen Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit durch eine Lebenszyklusanalyse beim natureplus Zertifikat nachgewiesen (Systemgrenze: Cradle to Gate) und auf ein soziales Arbeitsumfeld geachtet werden. Zu den sozialen Bedingungen am Arbeitsplatz würdigt C2C auch das Engagement des Unternehmens bezüglich lokaler/nationaler und globaler Sozialprojekte.

Das Wassermanagement ist ebenfalls wichtiger Bestandteil des Analyseprozesses. Nachdem C2C neben Bauprodukten auch andere Konsumgüter zertifiziert, wird hier zusätzlich von „*External Managed Components*“ (EMCs) gesprochen, die zwar im Produkt verbaut sind (beispielsweise ein pneumatischer Zylinder in einem Bürostuhl), aber von einem externen Hersteller als fertige Komponente bezogen werden. Hier liegt die Verantwortung beim externen Hersteller und nicht beim betrachteten Unternehmen. Der Schadstoffausstoß, z.B. durch VOCs (flüchtige organische Verbindungen), soll jedoch auch hier sicher ausgeschlossen sein.

Da bei natureplus ausschließlich Bauprodukte zertifiziert werden, gehen die Vergaberichtlinien etwas genauer auf die verschiedenen Lebenszyklen des Gebäudes ein und beziehen sich ebenfalls auf die Bereiche Verarbeitung/Einbau, Nutzung und Recycling/Entsorgung. Das Produkt soll ohne spezielle Schutzausrüstung bearbeitbar sein und während

des Einbaus keine Schadstoffe freisetzen. Bei der Nutzung bezieht sich das natureplus auf den Punkt 3 „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ in der EU-Bauprodukteverordnung (Abb. 2-5) und die Vermeidung von Schadstoffausstoß in Innenräumen (VOCs, Gerüche, Radioaktivität, Stäuben und Fasern) sowie die Beachtung der Grenzwerte von Emissionen in Wasser, Boden und Atmosphäre.

Bei der Entsorgung gibt es eine Mindestanforderung, die das gefahrlose Ablagern auf der Deponie oder die energetische Verwertung zulässt. Bevorzugt bleibt das „recyclinggerechte Materialdesign“, wobei die Minimierung des Stoffeinsatzes, die Demontierbarkeit, die Vermeidung des Materialverbunds und die Sicherstellung einer langen Lebensdauer Inhalte sind [2.14].

Abschließend darf man dem natureplus-Qualitätszeichen den Stempel „weniger schlimm“ geben. Cradle to Cradle bezeichnet mit dieser Aussage Handlungen der Effizienz, also eine Verbesserung des Ist-Zustandes, jedoch den Aufschub der Umwelteinwirkungen und nicht die grundsätzliche Vermeidung (Öko-Effektivität). Das wird in den Vergaberichtlinie des natureplus durch die Verwendung von

bestimmten Wortklauseln deutlich, wie „äußerst niedriges Niveau“, „[...] möglichst gering belastet“, „[...] weitgehend unbedenklich“ oder „[...] nicht wesentlich überschreiten“ und „überdurchschnittliche ökologische Performance“. [2.14]

Besonders positiv hervorzuheben ist jedoch der Einbezug der Verpackung bei den Vergaberichtlinien, die einen erheblichen Anteil an der Erdverschmutzung haben, jedoch ansonsten unbeachtet bleiben. Das C2C-Zertifikat betrachtet in der Regel nur das Primärprodukt ohne Verpackung. Bei Hygieneprodukten können hingegen der Inhalt und die Verpackung separat zertifiziert sein (z.B. Shampoos). Für die bedeutende Ressource Wasser hat C2C extra eine separate Kategorie eingeführt, um den Stellenwert hervorzuheben. Natureplus geht kaum auf den Wassereinsatz ein.



Abb. 2-5 Vergleich der C2C Produktzertifizierung mit dem natureplus-Qualitätszeichen und mögliche Verknüpfungen der Inhalte. Auszug aus der EU-Bauprodukteverordnung auf welche im Text verwiesen wird.

2.1.6 Beispielprojekte

2.1.6.1 Flow House, New Orleans (Louisiana, USA)

Nach den verheerenden Überschwemmungen in New Orleans durch den Hurrikan Katrina hat das Planungsbüro William McDonough + Partners das Flow Haus entworfen.

Das Viertel Lower 9th Ward wurde durch die Fluten komplett zerstört. Durch die finanzielle Unterstützung der Make-it-Right-Foundation von Brad Pitt konnten große Teile des Quartiers wieder hergestellt werden. Bei der Gebäudeerstellung sollten jedoch Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt werden, wobei die Cradle to Cradle Prinzipien als Inspiration dienen sollten. Viele Neubauten wurden daraufhin mit Photovoltaikmodulen und thermischen Solarkollektoren ausgestattet. Die Häuser sollten bezahlbar sein und mit gesunden Materialien ohne Schadstoffinhalt gebaut werden. Über die regenerative Energieversorgung hinaus wurden Wasserrecyclingkonzepte angestrebt.

Das Konzept des Flow Hauses unterteilt die Materialien in biologische und technische Stoffströme. Fenster stellen ein Serviceprodukt dar. Diese Überlegungen sind in die Materi-

alanalyse des nexushauses eingeflossen.

Das Dach ist mit Photovoltaik und Solarkollektoren ausgestattet. Eine Dachbegrünung fördert die Biodiversität. anfallendes Regenwasser wird in einer Zisterne gespeichert. Das Haus bietet sowohl eine Single-Wohnung als auch Wohnraum für eine Familie. Das Gebäude ist zum Schutz der Bewohner vor weiteren Überschwemmungen aufgeständert. Dadurch entstehen Innen- und Außenräume unterschiedlicher Aufenthaltsqualität mit öffentlichen bis privaten Bereichen. Durch den baulichen Versatz des Obergeschosses werden Teilbereiche verschattet. Die Zugänglichkeit erfolgt ausschließlich über Treppen. Ein barrierefreier Zugang ist somit nicht gegeben. Unterschiedliche Höhenentwicklungen schaffen einen heterogenen Gebäudeentwurf mit verschiedenen Ausblicken und Sichtbezügen. Das Flow House bleibt Konzeptidee und wurde nicht baulich umgesetzt (Abb. 2-6, links).

Die realisierten Häuser des Quartiers sind in ihrer Gestalt und Ästhetik sehr unterschiedlich. Die knalligen Fassadenfarben sind typisches Gestaltungselement der Stadt New Orleans in Louisiana.



Abb. 2-6 Links: Flow Haus Konzept von William McDonough + Partners [2.15]; Rechts: Gebaute Häuser des Lower 9th Viertels. [2.16]

2.1.6.2 NIOO, Wageningen (Niederlande)

Durch die Kooperation der Technischen Universität München, dem TUM Institute for Advanced Study und Michael Braungart entstand „the registry“ [2.7], eine Onlineplattform, die Projekte vorstellt, welche die Cradle to Cradle Philosophie als Grundlage haben. Ziel der Plattform ist es, der Öffentlichkeit Zugang zu innovativen Konzepten zu ermöglichen, die als Inspiration für eigene Projekte dienen sollen (www.c2c-buildings.org).

Das niederländische Architekturbüro KAAN Architekten hat das Netherlands Institute of Ecology (NIOO) entworfen. Die Direktorin der Forschungseinrichtung Frau Vet war von den Gedanken der Cradle to Cradle Philosophie inspiriert worden und versuchte über die übliche Energieeffizienz des Gebäudes hinaus weitere Inhalte umzusetzen. Obwohl für das Abwasser Anschlusspflicht an die öffentliche Infrastruktur bestand, entschloss sich die Einrichtung 100% des anfallenden Abwassers vor Ort zu verwerten. Vakuumtoiletten kommen mit einem Minimum an Wasser beim Spülvorgang aus. Die anfallenden Fäkalien werden in einem Bioreaktor gesammelt und zu Biogas weiterverwertet.

Suffiziente Handlungsweisen und eine regenerative Energiebereitstellung sollen CO₂-Emissionen reduzieren. Ein nachhaltiges Lichtkonzept mit Präsenzmeldern und LED-Beleuchtung, deren Intensität sich an die Tageslichtverhältnisse anpasst, sollen den Stromverbrauch reduzieren. Neben Strom wird über die Energiequelle Sonne auch Warmwasser generiert.

Ein Großteil der Baustoffe wurde aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt, ist schadstofffrei und hat wenig Emissionen bei der Herstellung verursacht.

Die begrünten Dächer dienen als Forschungsfläche für verschiedene Institutionen. Die Pflanzenvielfalt wurde analysiert und außerdem wurde untersucht, in wie weit aus Pflanzen Energie gewonnen werden kann. Lebensraum für Schmetterlinge, schützenswerte Vogelarten und Bienen wurde bereitgestellt. Helle Räume und natürliche Materialien sorgen für ein angenehmes Arbeitsklima. CO₂-Detektoren stellen eine hohe Luftqualität sicher. Großzügige Ausblicke in die Natur mit Vegetations- und Wasserflächen unterstützen die Behaglichkeit der Gebäudenutzer und wirken sich positiv auf das Mikroklima aus.



Abb. 2-7 Außenansichten des Netherlands Institute of Ecology (NIOO)

2

Grundlagenermittlung
2.2 Solar Decathlon

2.2 Solar Decathlon

Der studentische Wettbewerb wurde zum ersten Mal im Jahr 2002 durch das U.S. Department of Energy (DoE) ausgelobt und findet seitdem alle zwei Jahre statt. Mittlerweile gibt es neben dem Event in den Vereinigten Staaten auch Veranstaltungen gleichen Formats in Europa, China und Lateinamerika. Grobe Zielstellung ist der Gebäudeentwurf eines Plusenergiehauses, welches ausschließlich durch die Sonne energetisch versorgt wird. Eine Besonderheit des Wettbewerbes ist neben der Planung des Hauses vom Entwurf bis ins Detail, die Auseinandersetzung der Studierenden mit den verschiedenen Fachdisziplinen (u.a. Architektur, Baustatik, Elektroplanung) und die praktische Umsetzung. Jedes Universitätsteam bewirbt sich mit einem Gebäudekonzept, welches im weiteren Verlauf ausgearbeitet wird. Aus den Bewerbern werden durch den Veranstalter die 20 überzeugendsten Ideen ausgewählt, um am zweijährigen Wettbewerb teilzunehmen.

Für die Veranstaltung 2015 in Irvine, Kalifornien bekam die Kooperation der University of Texas at Austin und der Technischen Universität München den Zuschlag für die Teilnahme im Februar 2014. Betreut wurden die wechselnden Studierenden aus dem Bachelor- und Masterprogramm von Professoren und Assistenten beider Universitäten. Pflichtabgaben im Wettbewerbszeitraum sollten die Teilnahme bis zum finalen Event sicherstellen und das DoE über den Planungs- und späteren Ausführungsstand informieren.

Bewertet wurde mittels eines Punktesystems, bei dem maximal 1000 Punkte erreicht werden konnten. Der Fokus lag hierbei auf den 10 Kategorien Architektur, Kommunikation, Marktfähigkeit, Erschwinglichkeit, Ingenieursleistung, Haushaltsgeräte, E-Mobilität, Energiebilanz, Lebensqualität und Komfort.

2.2.1 Konzeptidee nexushaus

Kernthema ist das enorme Bevölkerungswachstum und der Zuzug in die Großstädte. Die Stadt Austin in Texas ist eine der am schnellsten wachsenden Städte in Amerika. Täglich ziehen über 100 Menschen in die Stadt, für die Wohnraum bereitgestellt werden muss. Damit verbunden stößt auch die Verkehrsinfrastruktur, mit täglich 70 Neuzulassungen auf dem Automarkt, an ihre Grenzen. Der Klimawandel mit langen Trockenperioden zehrt an den Wasserressourcen und der Energiebedarf für die Gebäudekühlung treibt die Kraftwerke an ihre Kapazitätsgrenze.

Der Wettbewerbsbeitrag „nexushaus“ soll eine Lösung für die vorgenannten Problemstellungen der Urbanisierung bieten, aufgezeigt am Beispiel der Stadt Austin. Inspiriert war die Konzeptidee durch die in Austin bereits aktive „Alley flat initiative“ [2.17], welche *Accessory Dwelling Units* (ADUs) vermarktet, die als kleine Wohneinheiten mit einer Größe von unter 80 qm, weiteren Wohnraum auf vorhanden Grundstücken schaffen sollen. Die Mietpreise sind durch die Verstädterung enorm gestiegen und so bieten die ADUs, durch die günstige Anschaffung und die effiziente Gebäudeperformance eine zusätzliche Einnahmequelle. Die Grundgedanken der „Alley flat“ wurden in das Designkonzept aufgenommen und nach dem Leitbild von Cradle to Cradle erweitert. Das „nexushaus“ soll neben zusätzlichem Wohnraum auch ein Plus an Energie bereitstellen und als Generator für weitere nachhaltige Prozesse dienen. Daraus wurden die folgenden vier Planungsfelder für das Gebäudekonzept zum Wettbewerb aufgestellt und von den Studierenden bearbeitet.

2.2.1.1 Nachverdichtung

Durch Nachverdichtung der vorhandenen Stadtstruktur wird zusätzlicher Wohnraum geschaffen. Die sogenannten Handtuchgrundstücke zeichnen sich durch eine schmale Grundstücksbreite im Verhältnis zur Geländetiefe aus. Das Haupthaus befindet sich auf der schmalen, straßenzugewandten Seite, wodurch eine relativ große Freifläche im rückwärtigen Bereich bereitsteht.

Das „nexushaus“ soll sich durch seine Modulbauweise flexibel an die vorhandenen Grundrissgegebenheiten anpassen können. Es besteht aus zwei sich zugewandten Wohnmodulen, die über den Freibereich flexibel bespielt und erschlossen werden. Die eingeschossige Bauform lässt Raum für natürliche Belichtung und verschattet trotz der Nachverdichtung nicht die Bestandsbauten auf dem Grundstück. Durch die modulare Bauweise ist auch eine Zweigeschossigkeit denkbar. Wahlweise kann ein Modul für einen Bewohner (bspw. Student) als Wohnraum genügen. Eine geschickte Anordnung schafft private und öffentliche Freibereiche. Die Zugänglichkeit zu den neu erworbenen Grundflächen ist über die rückwärtigen Nebenstraßen, die sich auch als Zufahrtsstraßen eignen, geplant.

2.2.1.2 Energie

Die Sonne, als kostenfrei zur Verfügung stehende Energiequelle, liefert die notwendige Betriebsenergie und dient der Wasseraufbereitung. Über die Photovoltaikmodule auf dem Dach wird zusätzlich ein E-Mobil versorgt, um dieses im Wettbewerbszeitraum 8-mal für 25 Meilen (40,23 km) zu bewegen und über das Hausnetz zu laden.

Große Fensterflächen verknüpfen den großzügigen Außenbereich mit dem Inneren und sorgen für natürliche Belichtung. Eine geschickte Anordnung der Wohnmodule sorgt an heißen Tagen dank natürlicher Querlüftung für zusätzlichen Komfort. Das Energiekonzept für Kühlung und

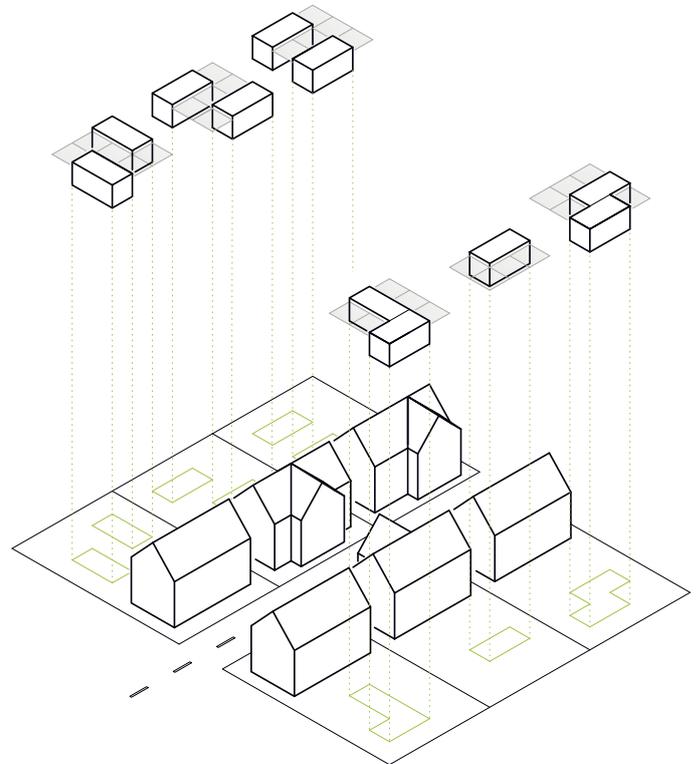


Abb. 2-8 Konzeptidee Density des Solar Decathlon Beitrages „nexushaus“. Flexible Anordnung der Wohnmodule und des Terrassenfreibereiches. (Eigene Darstellung)

Warmwasseraufbereitung wurde von einem angehenden Doktoranden der Universität Austin entwickelt. Ziel des Energiekonzeptes war es eine Überlastung der städtischen Infrastruktur durch die Nachverdichtung des Hauses zu vermeiden. Anfallendes Regenwasser, welches in einem speziellen Wassertank gespeichert wird, dient als thermischer Energiespeicher der Gebäudetemperierung des nexushauses. In der Nacht, bei vergünstigtem Strombezug aus dem öffentlichen Netz, wird das Wassermedium im Tank heruntergekühlt. Zu Tageshöchsttemperaturen wird dieses für die Gebäudekühlung verwendet, wobei das städtische Netz entlastet wird.

Überschüssige Energie kann zur Versorgung des Bestands-

gebäudes verwendet werden. Eine weitere Konzeptidee war die Kopplung der nachverdichteten Bauwerke untereinander, um je nach Verbrauch, Energie, z.B. in Form von Strom, von den Nachbarn zu beziehen oder diesen, bei Bedarf, bereitzustellen.

2.2.1.3 Wasser

Eine zweite wichtige Kernidee des Designkonzepts war der Umgang mit dem Element Wasser. Durch die Überdachung des Freibereiches zur Verschattung der großen Fensterflächen und der Terrasse kann zusätzlich Dachfläche für die Regenwassersammlung geschaffen werden. Dieses gesammelte Regenwasser wird mittels Filtersystem aufbereitet und in Trinkwasserqualität dem Gebäude als Brauchwasser zugeführt. Darüber hinaus wird Grauwasser aus Dusche, Badwaschtisch und Waschmaschine für die Gartenbewässerung weiterverwertet. Nach Kalkulation der Studierenden kann der Wasserbedarf des Haushaltes so um fast 75% reduziert werden. Ein weiterer Wasserkreislauf findet in der Nahrungsmittelproduktion Anwendung und wird im Folgenden beschrieben.

2.2.1.4 Nahrung

Die Erschwinglichkeit des Gebäudekonzeptes war Zielvorgabe des Wettbewerbauslobers. Hierzu gehörte laut Konzeptidee des „nexushaus“ auch die Möglichkeit der Selbstversorgung für Nahrung (neben Energie und Wasser). Das Aquaponik-System ist ein sich verbreitendes Prinzip dafür, wird jedoch überwiegend im größeren Maßstab angewandt. Ein Wassertank mit speziellen Fischkulturen bildet die Basis des Systems. Befüllt wird der geschlossene Kreislauf mit Kondenswasser, welches als „Abfallprodukt“ aus der Klimaanlage gewonnen wird. Die Fische liefern durch ihre Fäkalien im Wasser die Nährstoffe für die Nutzpflanzen. Durch die Bewässerung der Nutzpflanzen wird

über das Pflanzensubstrat das Wasser wieder gereinigt und dem Fischtank zurückgeführt. Darüber hinaus werden Beete für Gemüse- und Obstsorten angelegt.

2.2.1.5 Material

Die Materialien für die Gebäudeerstellung sollen aus nachhaltiger Wirtschaft gewonnen und lokal bezogen werden. Planungsziel ist die Verwendung „gesunder“ Materialien ohne Schadstoffe und ohne Austritt leicht flüchtiger organischer Substanzen (VOCs) während der Nutzungsphase im Hinblick auf die Cradle to Cradle Philosophie. Das Wohlbefinden und die Behaglichkeit der Bewohner soll dadurch gesteigert werden. Bevorzugtes Baumaterial ist Holz, auch in recycelter Form.

2.2.2 Dokumentation Planung

Im Sommersemester 2014 begann erstmals die Entwurfsgestaltung mit den Studenten in München, nachdem die Planungskriterien, abgeleitet von der Konzeptidee, durch Studierende in Austin erarbeitet wurden. Aus den geplanten Gebäudeentwürfen wurden zum Semesterabschluss drei ähnliche Konzepte, mit professioneller Unterstützung durch ein Gremium aus Professoren und Fachexperten, ausgewählt. Durch die Trennung von Tag- und Nachtaktivitäten, zur sinnvollen Energiesteuerung, entstanden die zwei Wohnmodule (Tag- und Nachtmodul). Der Nexus ist als Transferraum in der Mitte, zwischen den Wohneinheiten, angeordnet. Ziel des Wintersemesters 2014/15 war die Ausführungs- und Detailplanung des Wettbewerbsgebäudes durch die Studierenden beider Universitäten. Im Frühjahr 2015 wurde mit der baulichen Umsetzung des Hauses in Austin begonnen. Ein Schwerpunkt lag hierbei bei der Materialbeschaffung. Ein Kernteam aus Studierenden und Professoren sorgte dafür, dass das Gebäude in großen

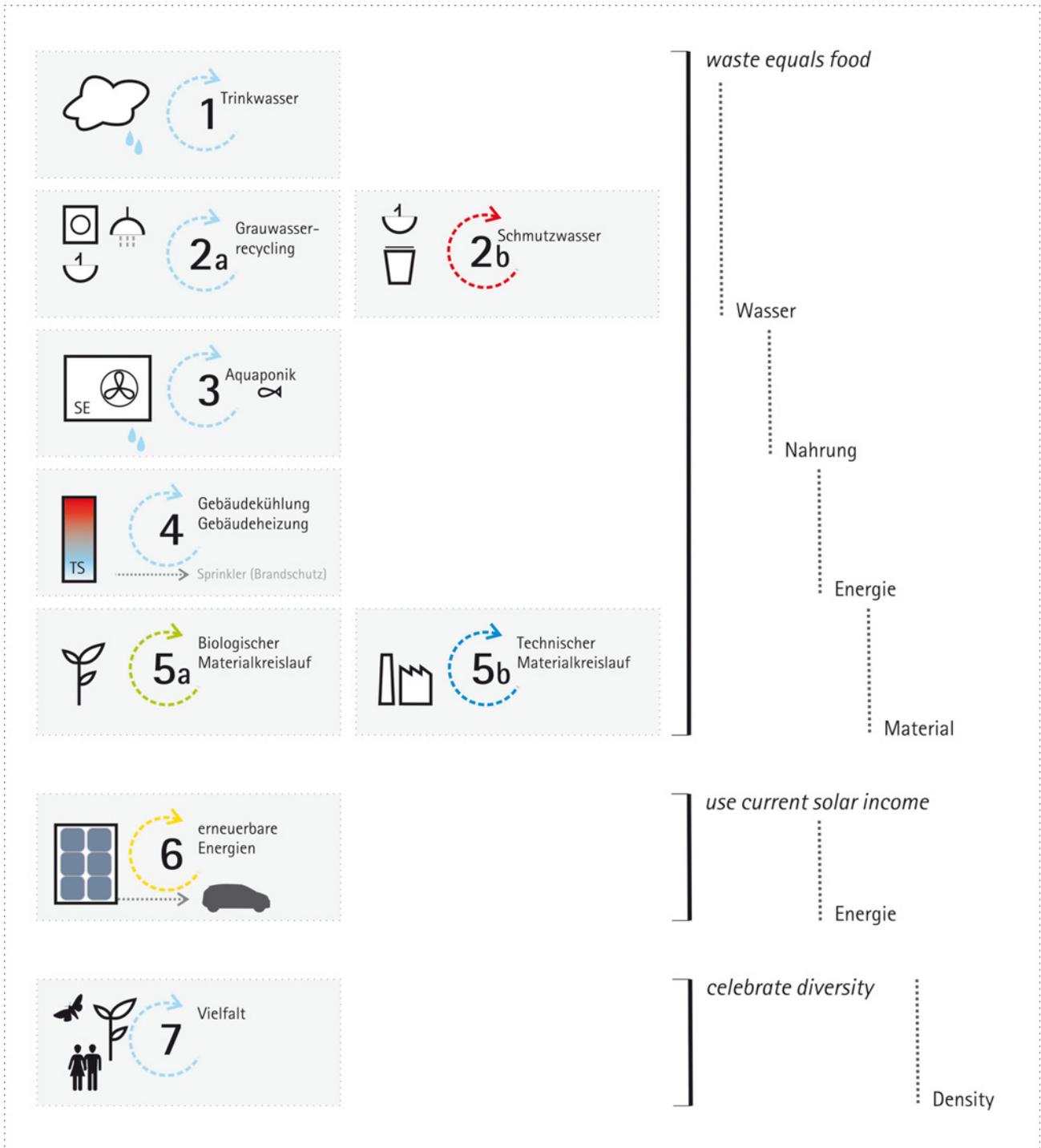


Abb. 2-9 Konzeptideen „nexushaus“ zum Solar Decathlon Wettbewerb. Einordnung C2C Planungskriterien. (Eigene Darstellung)

Grundlagenermittlung

Teilen vorgefertigt und im September 2015 rechtzeitig am Wettbewerbsort ankam.

Finaler Wettbewerbsabschluss war nach knapp zwei Jahren Planungs-, Ausführungs- und Bauzeit in Irvine, Kalifornien. Die noch verbliebenen 14 Teilnehmeruniversitäten mussten in drei Phasen vor Ort überzeugen. Erste Phase war der Gebäudeaufbau innerhalb von neun Tagen auf dem Wettbewerbsgelände. Durch die Vorfertigung der Wohnmodule in Austin gelang die Fertigstellung des Freibereiches nahezu im vorgesehenen Zeitrahmen. Danach folgte in Phase 2 die Präsentation der Konzeptideen und die Durchführung der Kontests zur Gebäudeperformance. In Phase 3 wurde das Gebäude für den Rücktransport nach Fort Davis/Texas wieder demontiert. Den Ablaufplan zum Wettbewerb zeigt Abbildung 2-10.

Die Planungen des nexushauses wurden grafisch überarbeitet und als BIM in das CAD Programm Nemetschek Allplan eingearbeitet. Die Studierenden waren in der Wettbewerbsphase gezwungen mit Revit (Autodesk) zu planen, was neu erlernt werden musste und so für einige Herausforderungen im Planungsprozess sorgte. Die finalen Planungen sind öffentlich zugänglich und können auf der Home-

page des Wettbewerbauslobers heruntergeladen werden.

Der Grundriss folgte einem Grundraster von 12'10" x 12'10" (3,91 m x 3,91 m). Die gleich großen Module werden durch den Freiraum und den sog. Nexus räumlich voneinander getrennt, wobei der Außenraumbezug verstärkt wurde. Die richtige Gebäudeaufstellung kann von der natürlichen Querlüftung über den Nexus profitieren und an heißen Sommertagen für eine kühle Windbrise des Freisitzes sorgen.

Im Fall der Modulanordnung zum Wettbewerb, befand sich das Tagmodul mit Küche, Essplatz und Wohnraum im Westen und das Nachmodul mit dem Schlafraum, Bad und Studio im Osten, um die Hälfte der Modulgröße in Richtung Norden versetzt. Dadurch konnte für das Elektromobil ein Stellplatz geschaffen werden. Der Gebäudeversatz ermöglichte zudem, dass die Morgensonne in den Wohn- und Essbereich des Tagmodules fiel. Eine lichte Raumhöhe von 2,70 m in den Modulen schaffte trotz der geringen Abmessungen eine angenehme Aufenthaltsqualität. Diese wurde durch die raumhohen Fenster und dem großzügigen Außenbezug noch verstärkt. Die faltglaswände orientierten sich nach Osten und Süden zum Terrassenbereich und

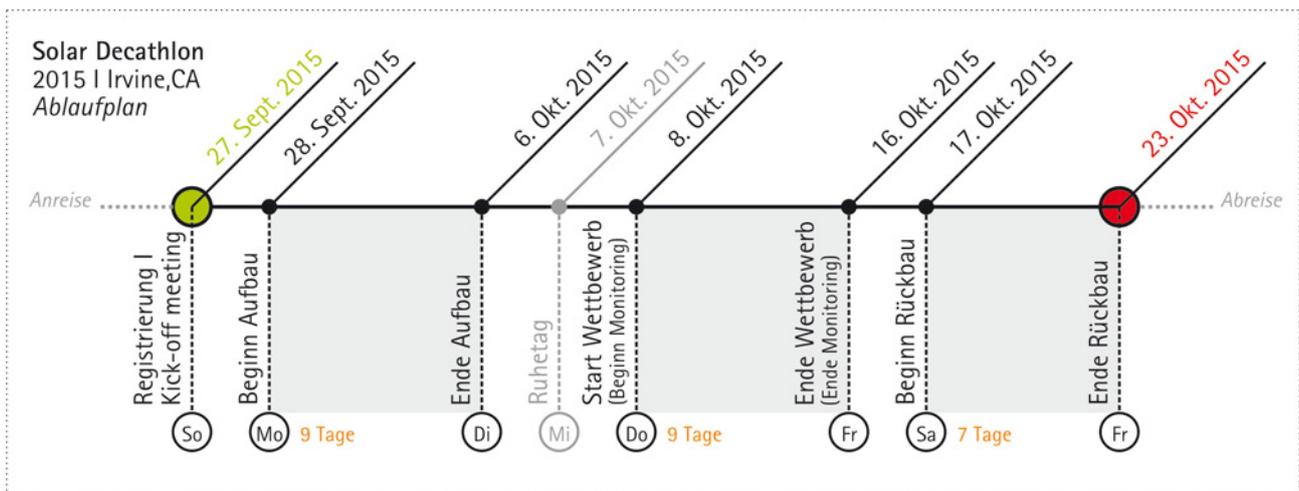


Abb. 2-10 Ablaufplan des Solar Decathlon Wettbewerbes 2015

konnten vollständig geöffnet werden.

Der barrierefreie Zugang zum Haus erfolgte über eine Rampe entlang des Wasserspeichers, der Technikbox und des Aquaponik-Systems, welches zur Veranstaltung anhand von Schautafeln und durch die Erläuterungen der Studierenden vorgestellt wurde. Auch die Technikelemente konnten von den Besuchern über Öffnungen von Süden eingesehen werden.

Die Aufständigung der Module ist im Schnitt zu erkennen (Abb. 2-11). Die fertige Höhe des Fußbodens in den Modulen wurde durch das U.S. Department of Energy (DoE) festgelegt und sollte die möglichen Höhenunterschiede des Wettbewerbsgeländes aufnehmen können. Die Unterkante der Stahlchassis, welche für den Transport der Wohnmodule notwendig waren, ließen nur wenig Luft bis zur Geländeoberfläche. Die Abmessungen der Wohneinheiten orientierten sich an der zulässigen LKW-Transportbreite, -länge und -höhe, welche aufgrund der Durchquerung dreier Staaten. (New Mexiko, Arizona und Nevada), im Vorfeld abgestimmt wurde. Das maximale Transportgewicht musste ebenfalls bei der Planung und der anschließenden Verpackung berücksichtigt werden. Insgesamt drei LKW-Züge waren erforderlich, um die Module und die Elemente der Außenanlagen von Austin nach Irvine zu transportieren. Der „Solar Envelope“, aufgestellt vom DoE, sorgte dafür, dass alle Teilnehmerteams die gleichen klimatischen Bedingungen hatten und die Stromerzeugung der PV-Module nicht durch den Schattenwurf eines Nachbargebäudes beeinträchtigt war. Das Haus sollte einschließlich der technischen Ausrüstung (Messantennen) eine Höhe von 5,18 m nicht überschreiten. Die Gebäudeabmessungen einschließlich Zugangsrampe waren so festgelegt, dass auf dem Wettbewerbsgrundstück noch Platz für Geräte, Werkzeuge und Materialien während der Auf- und Abbauphase blieb. Den Gebäudeplanungen musste somit ein Ablauf-

plan für die Reihenfolge der Aufstellung des Hauses vor Ort beigefügt werden.

Wenige Studierende beider Universitäten waren für die Sicherheit bei der Gebäudeerstellung und dem -rückbau zuständig. Über das Tragen von Helm und Sicherheitsweste hinaus, war der richtige Umgang mit den Werkzeugen und Baustellengeräten erforderlich, um Unfälle vorzubeugen. Was der SiGeKo (Sicherheits- und Gesundheitskoordinator) in Deutschland ist, wird durch die Trainingseinheiten des OSHA (Occupational Safety & Health Administration) vergleichsweise vermittelt. Darüber hinaus gab es von dem DoE Fachkräfte, die die Studierenden bei ihrer Arbeit unterstützten. Elektroinstallationen wurden ebenfalls nicht von Studierenden ausgeführt.

Steckbrief des Hauses

Grundstückstücksgröße (Wettbewerbsfläche): 434,79 m²

Gebäudegröße:

NGF: 56,13 m² (Wohnmodule), Nexus 15,11 m²,

restl. Terrassenbereich 62,14 m² (ohne Rampe)

BGFa: 69,58 m² (Wohnmodule)

BRIa: 237,64 m³ (Wohnmodule), BRIb: Nexus 51,59 m³,

restl. Terrassenbereich 212,21 m³

NRla: 152,67 m³ (LRH 2,72 m)

Hüllfläche Gesamt: 448,11 m² (Wand 169,79 m²)

Verglasungsanteil Gesamt: 32,92 m²,

Daymodul: 17,00 m², Nightmodul: 15,92 m²

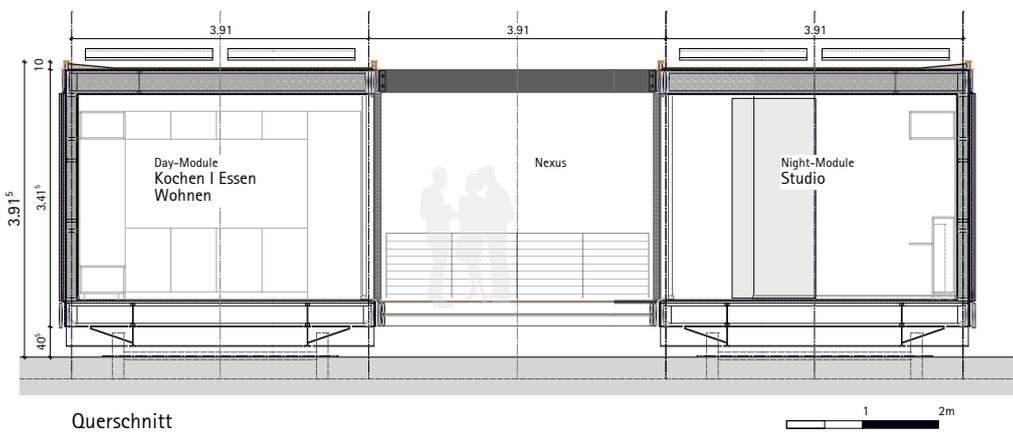
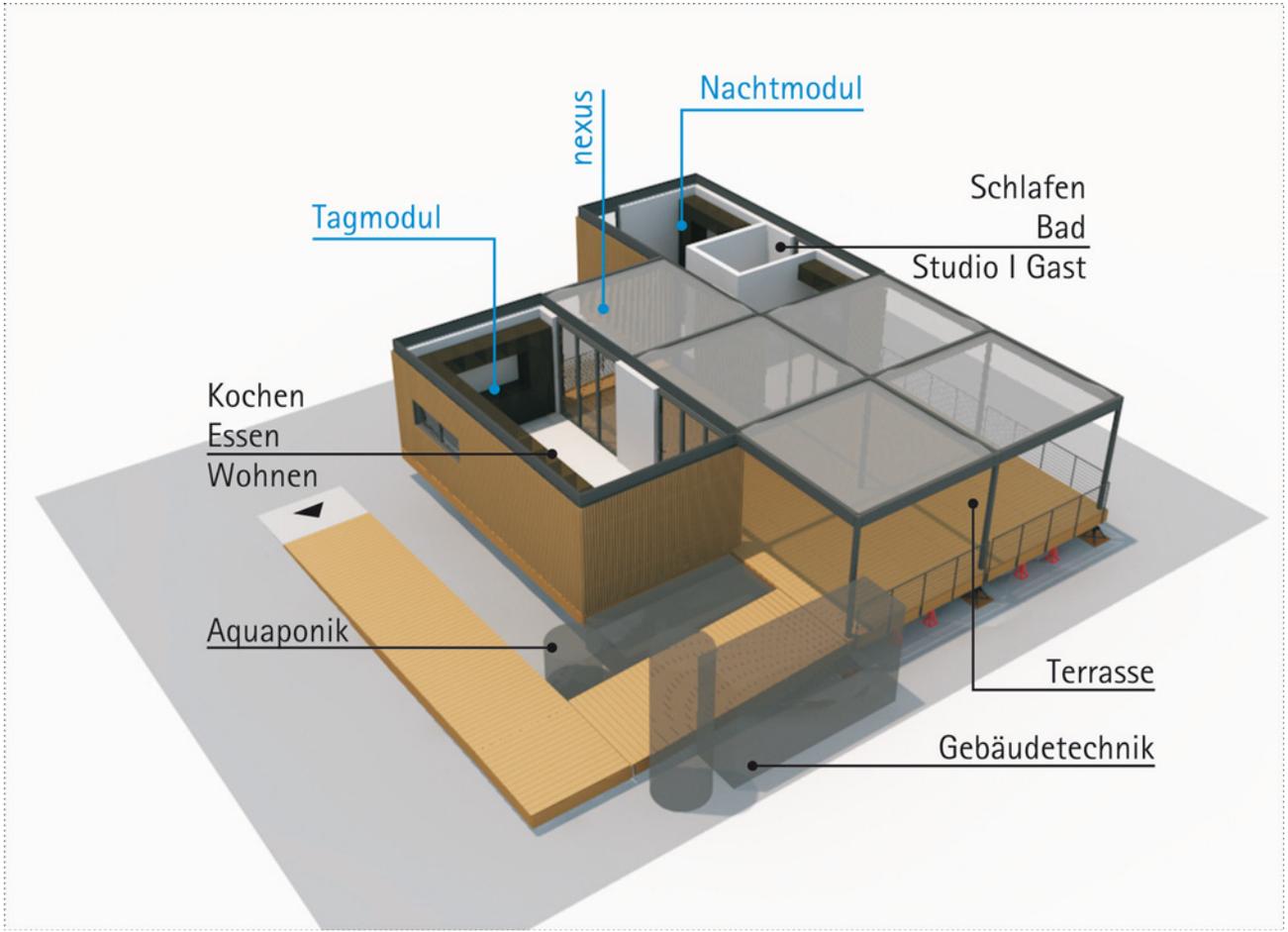


Abb. 2-11 Perspektive und Schnitt nexushaus

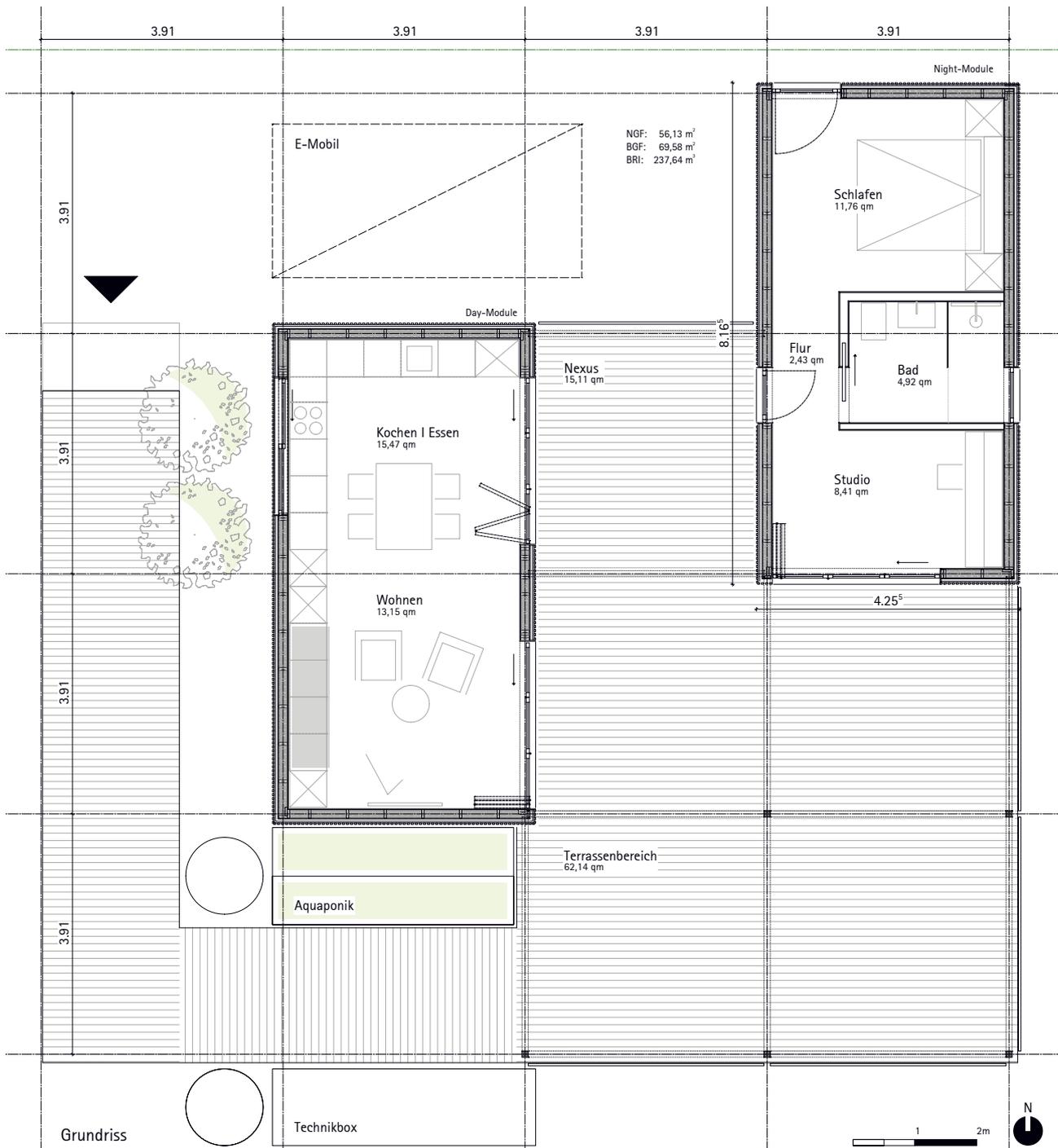


Abb. 2-12 Grundriss des nexushauses mit dem Tagmodul im Westen und dem Nachtmodul nach Osten orientiert
 Links oben: Isometrie des nexushauses, links unten: Schnitt

2.2.3 Dokumentation Bauphase

Die Module des nexushauses bestehen aus einer Holzrahmenkonstruktion (2x6 in. Advanced Framing) mit OSB-Beplankung auf der Außenseite und Gipskartonplatten im Innenbereich. Im Gefache der Rahmenkonstruktion wurde die Dämmung eingebracht. Für eine kompakte Bauweise wurden die Hüllflächen der Module mit 1 1/2“ (38 mm) starken Korkplatten versehen. Der Dachaufbau ist einfach gehalten. Nach der OSB-Beplankung folgt eine Gefälledämmung und eine (weiße) Dachfolie. Anfallendes Regenwasser wird über einen innenliegende Dachentwässerung ab- bzw. zum Regenwasserspeicher geleitet.

Die Fassaden bekleiden vertikale Holzlamellen aus Zedernholz, unterbrochen durch raumhohe Öffnungen. Den oberen Dachabschluss bilden zementgebundene Fassadenplatten, welche optisch eine horizontale Linie mit den Stahlträgern bilden.

Der Bodenbelag wurde aus recycelter Weihrauchkiefer hergestellt und wie die vertikale Fassadenlattung weiterverwendet und upgecycelt. Auf eine Trittschalldämmung im Fußbodenaufbau des Innern wurde verzichtet und die Belagsbretter direkt auf die OSB-Platte verlegt. Der Terrassenbelag wurde ebenfalls in Zedernholz hergestellt und auf einer Holzunterkonstruktion montiert.

Die Tragstruktur des Sonnenschutzes sollte ursprünglich aus Holzstützen und -balken erstellt werden. Aus finanziellen und zeitlichen Gründen im Wettbewerbsprozess wurde hier jedoch auf das amerikanische Know-How im Stahlbau zurückgegriffen. Die Sonnenschutzkonstruktion des nexus sollte neben dem Schutz vor Sonneneinstrahlung anfallendes Regenwasser auffangen und über die Dächer der Module dem Speicher zuführen. Gleiches war für die übrigen Sonnensegel angedacht. Hohe Kosten und der zeitliche Aufwand bei der Montage während des Wettbewerbes

führten schließlich dazu, einfache Sonnensegel zu verwenden. Die Terrassengeländer wurden ebenfalls aus Stahl hergestellt und mussten bei der Erstellung nur noch mit Schraubbolzen an der Unterkonstruktion befestigt werden. Die Einbaumöbel wurden von einem weltweit bekannten schwedischen Möbelhersteller bezogen. Ein Spezialmöbel, welches mit wenigen Handgriffen, neben einem Schreibtisch auch eine zusätzliche Schlafmöglichkeit bietet, ist im Studio des Nachtmodules eingebaut worden. Die lose Möblierung, wie Tische und Stühle, waren Leihgaben und wurden den Firmen nach dem Ende des Wettbewerbs zurückgegeben.

Die Technischeinheiten wurden weitestgehend in Austin vorinstalliert. In den neun Tagen, die für den Aufbau des Wettbewerbsgebäudes vorgesehen waren, musste lediglich noch die Verrohrung von den Modulen zu den Technikanschlüssen hergestellt werden. Die Verrohrung erfolgte unterhalb des Terrassenbelages. Finale Elektroinstallationen und die Montage der Photovoltaikmodule wurden von Fachleuten vor Ort, bei der Aufstellung des Hauses am Wettbewerbsgelände, vorgenommen.

Damit die Technik funktionieren konnte wurden die Wassertanks (Regenwasserspeicher und thermischer Speicher) vor Wettbewerbsbeginn durch das DoE mit Wasser gefüllt. Abschließend sorgten große Topfpflanzen entlang der Rampe für einen grünen Gebäudezugang.

Das nexushaus wurde binnen 9 Tagen vor der eigentlichen Wettbewerbspräsentation mit Publikumsverkehr von den Studierenden aufgebaut und nach Wettbewerbsende in 5 Tagen zurückgebaut, um nach Fort Davis/TX transportiert zu werden, wo es im McDonald Observatory besichtigt werden kann.



Abb. 2-13 1 Ankunft der Wohnmodule in Irvine; 2 Aufmaß des Wettbewerbsgeländes; 3 Übersicht Wettbewerbsgelände (Parkfläche) [2.18]

Grundlagenermittlung



Abb. 2-14 Erstellung des Gebäudes in Austin. 4 Stahlchassis für den Gebädetransport; 5 Herstellung Terrassenunterkonstruktion; 6 Herstellung Fassadenelemente; 7 Fußbodenbelag Wohnmodule; 8 Holzrahmenkonstrukt. Nachtmodul [2.18]



Abb. 2-15 Die Bilder zeigen den Gebäudeaufbau in Irvine. 9 Montage Stahlträger; 10 Lamellenfassade; 11 Unterkonstruktion Terrassenbereich; 12 Montage in der Dämmerung [2.18]

2.2.4 Wettbewerbsmonitoring:

Der solare Zehnkampf wird mittels 10 Bewertungskategorien entschieden. Die Fünf Kategorien Architektur (*Architecture*), Marktfähigkeit (*Market Appeal*), Kommunikation (*Communication*), Ingenieursleistung (*Engineering*) und Erschwinglichkeit (*Affordability*) werden durch eine Jury bewertet. Die Kategorien Komfortzone (Comfort Zone), Haushaltsgeräte (Appliances), Unterhaltung und Beleuchtung (Home Life), Energiebilanz (Energy Balance), E-Mobilität (Commuting) werden über ein installiertes Monitoring, welches im Kapitel Energie genauer erläutert wird, bewertet. Als Grundlage für die Jurybewertungen wurde bereits zu Beginn der Planungen den Studierenden ein Fragenkatalog an die Hand gegeben, um auf mögliche Rückfragen durch die Jury während der Hausbegehungen Stellung zu beziehen. Das Kriterium Architektur beinhaltet drei Unterthemen: Konzeptidee und Designansatz, Umsetzung und Innovation (z.B. Innen- und Außenbezug, Raumanordnung und Proportion) sowie Qualität der Planungsleistungen. Der Bereich Kommunikation betrifft insbesondere die Qualität der Vermittlung des Projekts nach außen über Online- und Printmedien sowie Präsentationen. Ein Beispiel daraus zeigt das von den Studierenden entworfene Handout/Flyer und die Informationsbeschilderung zur Gebäudepräsentation in der Wettbewerbsphase. Folgende Fragestellungen dienten als Entwurfsgrundlage:

Wie gut wird durch das Handout und die Beschilderung die Konzeptidee an die Besucher vermittelt?

Wie kreativ, originell und informativ waren die Studierenden bei der Umsetzung?

Wurden die Kommunikations- und Designvorgaben eingehalten?

Die Jury empfand das Handout als gelungen und lobte die klare Formsprache mit den kräftigen Farben. Die Überein-

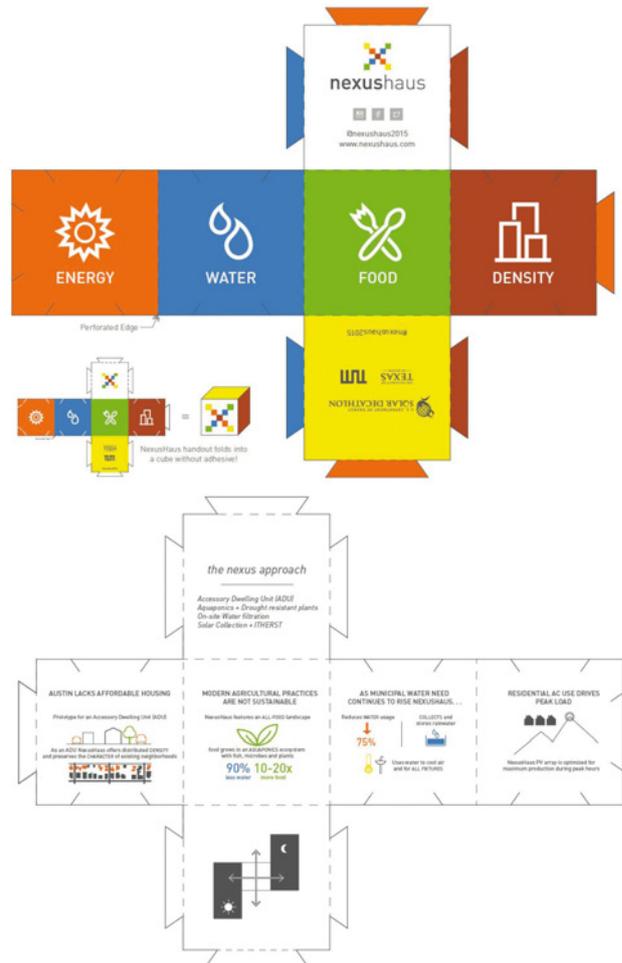


Abb. 2-16 Flyer mit Vorder- (oben) und Rückseite (unten)

stimmungen der Grafik mit den übrigen Schautafeln wurde ebenfalls positiv bewertet. Das Promotionsvideo mit gleichen Themeninhalten wurde als verbesserungsfähig eingestuft. Der von den Studierenden eingesprochene Text war zu leise. Außerdem hätten nach Aussage der Juroren die Konzepterläuterungen weiter in die Tiefe gehen können. Erwähnenswert ist der Internetauftritt, welcher zu Beginn erstellt wurde und über die komplette Planungsphase mit interessanten Inhalten rund um die Wettbewerbsteilnahme gefüllt wurde. Von der möglichen Punktzahl (100) erreichten die Studierenden 86 Punkte.

Fragen nach der zu erwartenden Lebensqualität, Marktfähigkeit und Umsetzbarkeit des Bauprojektes wurden von dem Kriterium Marktfähigkeit umfasst. Aus dem Bereich Ingenieursleistung ergeben sich Fragen nach der Funktionalität, Energieeffizienz, Zuverlässigkeit und dem Innovationspotential des Gebäudekonzeptes. Die Kategorie Erschwinglichkeit stellte sicher, dass das geplante Bauvorhaben der Studierenden im bezahlbaren Rahmen gehalten wurde. Es sollte für die breite Masse auf dem Markt erschwinglich bleiben. Volle Punktzahl gab es bei einer Unterschreitung der Kostensumme von \$250.000 (ca. 230.000 €). Die kalkulierten Kosten der Studierenden wurden durch eine unabhängige Kostenstelle und mittels der überreichten Planungen durch das DoE überprüft und gegengerechnet. Die genaue Baukostenkalkulation wurde mit dem 2. Platz in der in der Einzelwertung belohnt. Der Ausfall der Klimaanlage führte zur Unterschreitung des zulässigen Gesamtstromverbrauches in der Wettbewerbswoche (< 175 kWh) und somit zu Platz 1 in der Kategorie Energiebilanz. Nach Wettbewerbsende konnten sich die Studierenden, Betreuer und Professoren über einen erfolgreichen vierten Platz in der Gesamtwertung freuen.

2.2.5 Fragestellungen im Vorfeld

Folgende Fragestellungen haben sich zu Beginn des Forschungsantrages gestellt und sollen hiermit beantwortet werden:

Welche Entwurfskriterien finden sich tatsächlich in der Ausführung wieder?

Der Gebäudeentwurf mit den zwei Wohnmodulen und einem Transferraum (Nexus) in der Mitte ist bis zum Schluss Konzeptidee geblieben. Ursprünglich sollte der Nexus als Wintergarten (Greenhouse) geschlossen werden. Davon wurde bei der finalen Gebäudeplanung abgesehen. Die Festeinbauten des Freisitzes zur Verstaung der Möbel ist entfallen und stattdessen eine lose Möblierung aufgestellt worden. Alle Gegenstände die nicht fest mit dem Gebäude verbunden waren, konnten bei der Kalkulation entfallen. Es gab kleine Optimierungen bei den Festeinbauten der Innenräume, die Raumaufteilung in Tag- und Nachtmodul ist jedoch geblieben. Die Größe und Position der Öffnungen und Zugänge wurden im fortgeschrittenen Planungsprozess angepasst. Auf Spezialglas wurde verzichtet.

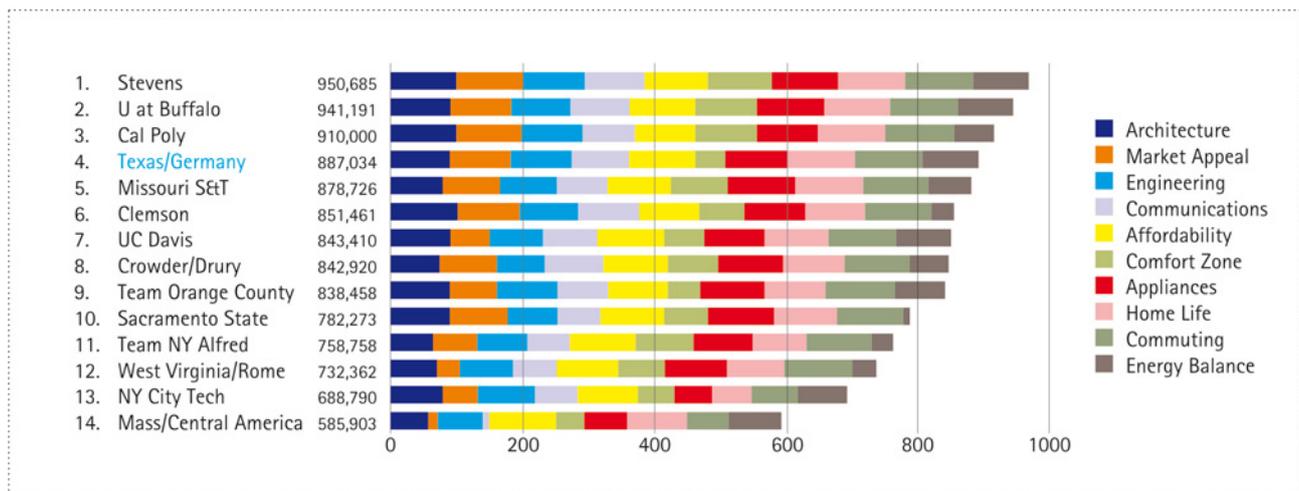


Abb. 2-17 Finale Platzierung mit Gesamtpunktzahl sowie Darstellung der einzelnen Bewertungskategorien

Lange Zeit war unklar, an welcher Position die Technikbox stehen sollte, um eine möglichst kurze und baulich einfache Leitungsführung sicherzustellen. Umfang und Größe der Außenanlagen sowie der barrierefreie Zugang wurden im Planungsablauf entsprechend dem finalen Leitsystem angepasst. Die Planungen zur Sonnenschutzmembran nahmen im Laufe des Entwurfsprozesses immer klarere und konstruktiv einfachere Formen an. Die vorgesehene Regenwasserführung zwischen den Sonnenschutzkonstruktionen stellte schließlich eine zu große Herausforderung dar. Die Konzeptidee, auch über die Membranen des Sonnenschutzes Wasser zu sammeln und zu speichern, wurde abschließend mittels Schautafeln den Besuchern des Wettbewerbes erläutert.

Warum wurden die Planungen verändert oder angepasst?

Die Planungen wurden während des Planungsprozesses in der Regel hauptsächlich dann geändert, wenn die kalkulierten Kosten des Hauses, den Kostenrahmen des Wettbewerbs stark überschritten. Die zulässigen Kosten einzuhalten stellte im Planungsprozess eine große Herausforderung der Studierenden dar. Die geplanten Holzstützen und -träger wurden durch ein Stahlgerüst ersetzt. Die Konstruktion der Sonnenschutzmembranen mit dem diagonalen Bogen sind in ihrer geplanten Anzahl von acht Elementen auf eine Ausführung über dem Nexus reduziert worden. Als Sonnenschutz für den Wettbewerbszeitraum wurden stattdessen vier Sonnensegel gespannt. Der Innenausbau sollte in den frühen Planungsphasen durch einen Schreiner erstellt werden. Im späteren Verlauf wurden hierfür vorhandene Einbauten eines Möbelherstellers verwendet. Nachdem ein Planungsziel war, die Themen von Wieder- und Weiterverwendung von Materialien in die Gebäudeplanung aufzunehmen, sind Details entsprechend dem Materialbezug für Fassade und Fußbodenbelag optimiert worden.

Welche Aspekte hätten von Beginn besser integriert werden müssen?

Der Studierendenwechsel, bedingt durch die jeweiligen Semester beider Universitäten erforderte wiederholte Auseinandersetzungen mit dem Gebäudeentwurf, welche zu Verzögerungen im Planungsablauf führten. Hier hätte die Übergabe der bereits erstellten Planungen und Ideen durch die Studierenden besser erfolgen können, um mögliche Fragen des Folgeteams vorzubeugen.

Eine Besonderheit des Wettbewerbes stellte sicher der internationale Austausch dar. Die Zeitverschiebung der beiden Standorte München und Austin erschwerte die Kommunikation der Studierenden untereinander zusätzlich. Darüber hinaus gab es unterschiedliche Planungsanforderungen bedingt durch die verschiedenen Klimastandorte. Die Fassadenöffnungen bspw. sollten entsprechend dem texanischen, heißen Klima auf ein Minimum reduziert werden, wohingegen der Standort München eher großzügige Öffnungen zulässt. Eine Kombination aus beiden Planungsideen brachte schließlich eine ansprechende Lösung. Die großen Fassadenöffnungen wurden zum Terrassenfreibereich orientiert und von der installierten Sonnenschutzmembran vor zu starker Sonneneinstrahlung geschützt. Eine verbesserte Qualität der Verglasung reduzierte den Sonneneintrag zudem.

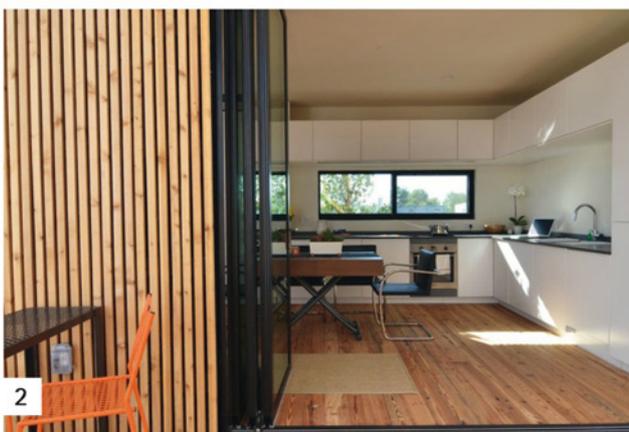


Abb. 2-18 Außen- und Innenaufnahmen des fertiggestellten nexushauses zum Solar Decathlon Wettbewerb 2015
1 Terrassenfreibereich mit Blick in den Transferraum Nexus; 2 Blick in die Küche; 3 Studio mit Schlafgelegenheit

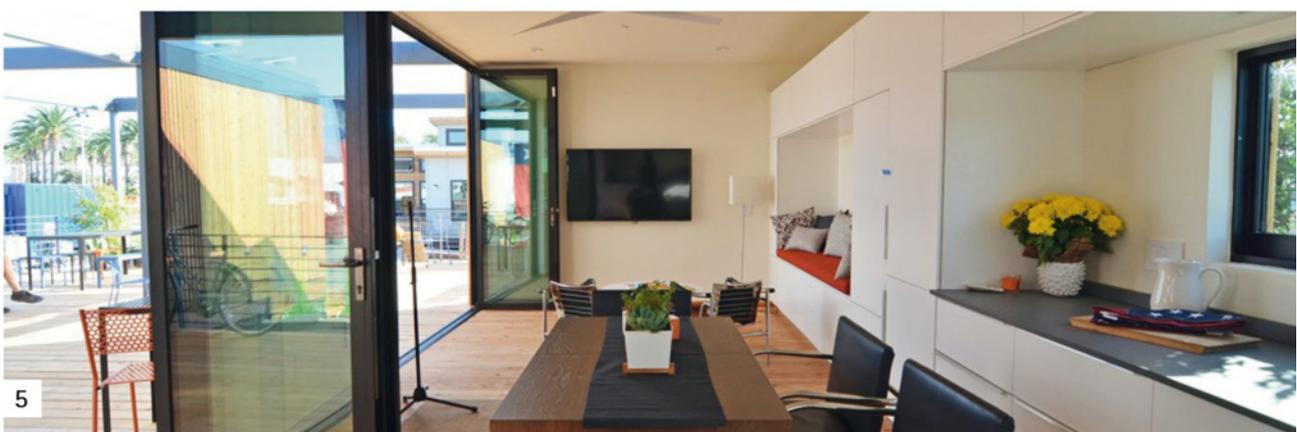


Abb. 2-19 4 Blick von Süd-West mit dem thermischen Regenwasserspeicher und der Technikbox im Vordergrund; 5 Innenraum des Tagmoduls mit geöffneten Faltschiebefenstern

3

Planungsparameter
3.1 Material

3.1 Material

Im folgenden Kapitel werden verschiedene Inhalte des Cradle to Cradle Prinzips „Waste equals Food“ betrachtet. Es werden die Auswirkungen der Materialinhaltsstoffe auf die Gesundheit aufgezeigt, Umwelteinwirkungen mittels einer Lebenszyklusbetrachtung anhand des Case-Study-Gebäudes erläutert und Planungsgrundlagen vorgestellt, die ein Recycling bzw. Wieder- oder Weiterverwenden der Bauteilkomponenten möglich machen.

3.1.1 Inhaltsstoffe und Gesundheit

Welche negativen Auswirkungen bestimmte Inhaltsstoffe in Produkten auf Mensch und Umwelt haben können, wurde bereits vielfach in der Literatur beschrieben. Die Biologin Rachel Carson hat bereits 1962 in Ihrem Buch „Stummer Frühling“ (*Silent Spring*) auf die schadstoffhaltigen Inhaltsstoffe in Pestiziden und Herbiziden bei der Landwirtschaft hingewiesen und Auswirkungen auf den menschlichen Organismus und die Umwelt eindrucksvoll aufgezeigt. Tier- und Pflanzenwelt werden zerstört und Menschen erkranken, ausgelöst von anthropogenem Handeln, welches oftmals aus Unwissenheit resultiert. Ein weiteres Beispiel zeigt das Buch „Von Menschen und Ratten“ von Erich Schöndorf über PCP-haltige Holzschutzmittel, die nachweislich negativen Einfluss auf die Gesundheit von Bewohnern oder Gebäudenutzern hatten. Pentachlorphenol (PCP) gilt als karzinogen und wurde vermehrt in den Jahren 1960 - 1980 als Holzschutz für Holzvertäfelungen, Dachstühle und Möbel angewandt. Mittlerweile ist PCP verboten, jedoch noch immer in alter Bausubstanz auffindbar. Neben schadstoffhaltigen Inhaltsstoffen können fehlerhafte Konstruktionen, ein möglicher Feuchteintritt und unzureichendes Lüftungsverhalten Schimmelpilzbildung

auslösen und Erkrankungen hervorrufen.

Zum sog. Sick-Building-Syndrom (SBS) bzw. der Building-Related-Illness (BRI) gibt es vermehrt weitere Krankheitsbilder, wie Chronic Fatigue Syndrom (CFS) oder Multiple Chemical Sensitivity (MCS), die sich auf Umweltgifte in Innenräumen zurückführen lassen. Als häufige Symptome werden dabei vor allem Kopfschmerzen, Müdigkeit und Übelkeit genannt.

3.1.1.1 Grundanforderungen an Bauwerke

Das Europäische Parlament und der Rat der EU haben in der „Verordnung zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten“ sieben Grundanforderungen an Bauwerke definiert, darunter „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ (Abs. 3) sowie „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ (Abs. 7). Dabei wird eine Vereinheitlichung der Deklaration von Bauprodukten der EU-Mitgliedstaaten angestrebt, um mehr Transparenz bei der Vermarktung zu schaffen.

Die Musterbauordnung (MBO, 2002) setzt in den Allgemeinen Anforderungen (§3 Abs. 1) voraus, dass Anlagen so zu errichten sind, „dass Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden“ [3.1]. Flüchtige organische Verbindungen (VOCs), die durch Baustoffe in die Innenraumluft gelangen, sollen hauptsächlich durch Richt-, Orientierungs- und Zielwerte eingedämmt werden. Grenzwerte, die gesetzlich verbindlich sind, findet man als Arbeitsschutzgrenzwerte (AGW) in den Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900). Für Formaldehyd bspw. darf der AGW von $\leq 370 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschritten werden. Dieser Wert ist jedoch für Innenräume nicht anwendbar [3.2]

3.1.1.2 Formaldehyd

Am Beispiel des Formaldehyds soll die Bedeutung der Auseinandersetzung mit den Inhaltsstoffen eines Produktes nochmals aufgezeigt werden. Durch die Vielzahl an Zertifizierungssystemen (Produkte und Gebäude) differieren hierbei die Angaben zur Luftqualität in Innenräumen bedingt durch den Materialeinsatz. Das Verständnis von gesunder Bauweise am Beispiel des Formaldehyds unterscheidet sich dabei national und international.

Formaldehyd zählt zu den leicht flüchtigen organischen Verbindungen (Very Volatile Organic Compounds/Chemicals = *VVOC*), da es bereits bei einer Temperatur von $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ siedet. Es ist bei Raumtemperatur gasförmig und wird durch seinen stechenden Geruch bereits in geringen Mengen in der Innenraumluft wahrgenommen. [3.3]

Anwendung findet Formaldehyd hauptsächlich in Leimen von Holzwerkstoffen, die für Innenaus-, Möbelbau und als Plattenwerkstoff (z.B. OSB-Platten) bei der Gebäudekonstruktion verwendet werden.

Nach 24 Jahren der Auseinandersetzung mit den möglichen Auswirkungen des Formaldehyd erfolgte schließlich mit dem 01.01.2016 durch die EU-Kommission die Einstufung als „nachweislich krebserzeugend“ (Carc. 1B) und der „Verdacht auf erbgutschädigende Wirkung (Muta. 2) [3.4].

Es gilt folgende Umrechnung für Formaldehyd (Annahme ideales Gas):

$$- 0,1 \text{ ppm} = 0,125 \text{ mg/m}^3 = 125 \text{ }\mu\text{g/m}^3$$

$$- 0,1 \text{ mg/m}^3 = 0,0815 \text{ ppm} = 81,5 \text{ ppb}$$

ppm = parts per million

= Teile (Formaldehyd) auf eine Million Teile (Luft)

ppb = parts per billion

= Teile (Formaldehyd) auf eine Milliarde Teile (Luft)

mg = Milligramm = tausendstel Gramm

μg = Mikrogramm = millionstel Gramm

Abb. 3-1 Umrechnungsfaktoren für Formaldehyd

Natürliches Vorkommen

Formaldehyd kommt in der Umwelt auch natürlich vor. Bäume setzen kleinste Mengen Formaldehyd frei, wobei die Werte im ppb-Bereich liegen (parts per billion) und der Einfluss auf die Innenraumluftqualität vernachlässigt werden kann [3.5].

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat 2010 einen Vergleich aufgestellt. Durchschnittlich atmet ein erwachsene Mensch ca. 20 m^3 Luft am Tag ein. Darüber hinaus hält sich die Person 60-70% zu Hause, 25% in der Arbeit und 10% im Freien auf. Die Kalkulationen ergaben eine natürliche Gesamtmission von mind. $502 \text{ }\mu\text{g/Tag}$. 20 Zigaretten am Tag können dabei eine Formaldehydkonzentration von bis zu $2000 \text{ }\mu\text{g}$ verursachen. [3.6] Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass die Exposition nicht ständig erfolgt. Die Belastungen beim Aufenthalt im Freien hängen stark von der Umgebung ab. Ein Spaziergang im Wald ist dabei sehr viel unkritischer als neben einer vielbefahrenen Straße im Stadtzentrum.

Außenraumluft

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft 2002) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit legt eine Unterschreitung des Formaldehydgehalts von 60 mg/m^3 ($60.000 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) in Abgasen fest [3.7]. Mit der Vollzugsempfehlung des Landesamts für Immissionsschutz (LAI) soll die Massenkonzentration des Formaldehyds, verursacht durch Abgase, auf $\leq 5000 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ reduziert werden [3.8]. In der Bekanntmachung des Umweltbundesamtes (2016) wird davon ausgegangen, dass die Außenluftkonzentration von Formaldehyd in Deutschland meist unter $0,01 \text{ mg/m}^3$ liegt [3.9].

Das nexushaus verhindert durch die gewählte, abgaslose Anlagentechnik den Formaldehydausstoß aus dem Gebäudebetrieb.

Cradle to Cradle	$\leq 9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Produktzertifizierung)		
natureplus	$\leq 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$		
Blauer Engel RAL-UZ 38/76	$\leq 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (entspricht 50% der Emissionsklasse E1 für Holzwerkstoffe)		
AgBB Schema 2015	$\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (NIK Wert)		
DIN EN 15251 (Wände)	sehr schadstoffarme Gebäude	schadstoffarme Gebäude	
	$\leq 20 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	$\leq 50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	
BREEAM (Hea 02)	$\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3 - \leq 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (MDF $\leq 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) all buildings		
Minergie-ECO (Schweiz)	$\leq 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Holzwerkstoffe) $\leq 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Innenraumluft)		
LEED v4 (Homes)	$\leq 32,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (27 ppb)		
BNK_V1.0 (1.1.1)	volle Punktzahl (40)	reduz. Punktzahl (20)	keine Punkte (0)
	$\leq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 90 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 124 \mu\text{g}/\text{m}^3$
WHO	$\leq 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 h Mittelwert) $\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Höchstkonzentration bei einem Aufenthalt von 30 Minuten)		
AIR	$\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\leq 0,08$ ppm; Ausschuss für Innenraumrichtwerte, Bekanntmachung vom Juni 2016)		
OEHHA* Kalifornien	A $\leq 55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Acute .. 8 $\leq 9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8-Hour.. C $\leq 9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Chronic ..Reference Exposure Level)		
Émissions dans l'air interieur Frankreich	A+ $\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (sehr gering) A $\leq 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (gering) B $\leq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (hoch)		
AGW/ TRGS 900 (2015)	AGW $\leq 370 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Arbeitsplatzgrenzwert) Richtwerte $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHG) - $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AIR) Innenraumarbeitsplatz-Referenzwert: $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Klassenraum-Referenzwert: $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$		
*Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA)			

Innenraumluft

Das C2C-System definiert eine Maximalkonzentration des Formaldehyds bei der Messung der Innenraumluft, der sich deutlich von anderen Systemen unterscheidet (Abb.3-2). Auffallend ist, dass internationale Bestrebungen nach niedrigen Formaldehyd-Richtwerten in der Innenraumluft höher sind, als die deutschen Empfehlungen. Frankreich, Kalifornien und das BREEAM-Zertifizierungssystem (Ursprung England) streben eine Unterschreitung von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in der Innenraumluft an. Gesonderte Regelungen bei der Arbeitsplatzkonzentration von Formaldehyd gibt es bspw. in Klassenräumen. Der Referenzwert von $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird hierbei genannt [3.10]. Der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) hat im Juni 2016 neue Richtwerte zum Formaldehyd-gehalt in der Innenraumluft veröffentlicht. Der Wert von 0,1 ppm wurde dabei auf 0,08 ppm verschärft [3.9]. Weitere Richtwerte zu Inhaltsstoffen in der Innenraumluft können dem Anhang der Forschungsarbeit entnommen werden. Der Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) gibt Begrenzungen von Emissionen aus Bauprodukten in Deutschland vor, die als Mindestanforderungen zur Abwehr von Gesundheitsgefahren durch VOC-Gemische verstanden werden. Definierte NIK-Werte sind bei der Einzelstoffbetrachtung einzuhalten. Der Wert für die niedrigste interessierte Konzentration (NIK) in Bauprodukten mit Formaldehyd liegt bei $\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Produktzertifizierungssysteme, wie das natureplus-Qualitätszeichen, verlangen einen Zielwert von $\leq 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gefolgt vom Label Blauer Engel. „Emissionsarme Holzwerkstoffplatten“ müssen in der Produktpfung den Wert von $\leq 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ unterschreiten [3.11]. Holzwerkstoffe dürfen im Rohzustand (vor einer weiteren Bearbeitung) den Wert der Emissionsklasse E1 für Holzwerkstoffe von 0,1 ppm nicht überschreiten. Das

Abb. 3-2 Richt- und Grenzwerte für den Formaldehyd-gehalt in Bauprodukten und der Innenraumluft.

fertige Holzprodukt darf bei einer Messung im Prüfraum lediglich 0,05 ppm ($\leq 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Formaldehyd emittieren. Bei den genannten Angaben gilt es zu unterscheiden in Werte, die sich auf die Innenraumluft beziehen und solche, die Produktemissionen (z.B. gemessen in der Prüfkammer) festlegen. Die Summe aus Holzwerkstoffen in einem Raum kann oftmals über dem erlaubten Wert für die Innenraumluftkonzentration liegen, obwohl alle Holzwerkstoffe für sich die empfohlenen Richtwerte unterschreiten. Gerade bei Lochplatten, die zur verbesserten Raumakustik eingesetzt werden, ist Vorsicht geboten. Durch die Lochung erhöht sich die Emissionsoberfläche. Hier muss frühzeitig bei Planungen zum Innenausbau der Anteil von Holzwerkstoffen im Innenraum überprüft werden. Cradle to Cradle hat in der Produkte Zertifizierung eine Formaldehydkonzentration von $\leq 9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgelegt und liegt damit, ähnlich wie das BREEAM-Label, weit unter den deutschen Anforderungen.

3.1.1.3 C2C-Produkte (Banned List)

In der Cradle to Cradle Produkte Zertifizierung werden die Inhaltsstoffe und die zulässigen Emissionen von Produkten ausführlich beschrieben. Die sog. „Banned List“ stellt dabei sicher, dass keine Inhaltsstoffe im Produkt enthalten sind, die für Mensch und Umwelt negative Folgen haben können. Dabei wird bei der Anwendung zwischen den beiden Stoffkreisläufen unterschieden. Wenn in der Banned List nicht anders angegeben, darf der Grenzwert von 1000 ppm (1 Teil pro tausend = 0,1%) nicht überschritten werden. Inhaltsstoffe, wie Blei oder PTFE, können Bestandteile des technischen, nicht aber des biologischen Kreislaufes sein. Eine Überschreitung des Grenzwertes ist hierbei nur erlaubt, wenn die Exposition auf Mensch und Umwelt ausgeschlossen ist. „Kupfer ist im biologischen System extrem giftig, jedoch für den technischen Kreislauf endlos einsetzbar.“, so Braungart in einem Interview der Heinrich Böll Stiftung 2013 [3.12]. Über die genannten Grenzwerte hinaus sind weitere definiert und bei Interesse im Merkblatt C2C Certified™ Product Standard V3.1 einsehbar [3.13]. Die Inhaltsstoffe müssen durch ein Datenblatt des Lieferanten

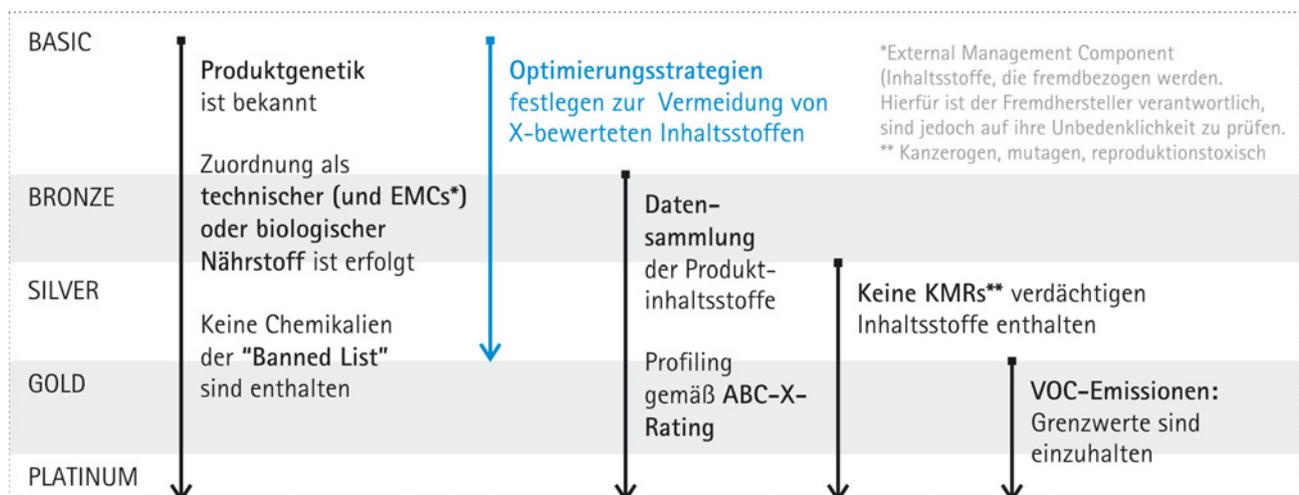


Abb. 3-3 Bewertungsschema zu Inhaltsstoffen in der C2C-Produkte Zertifizierung „Material Health“ [3.14] (Eigene Darstellung)

offengelegt werden. Je nach angestrebtem Bewertungslevel müssen 100% der Inhaltsstoffe (gewichtabhängig) bekannt sein. Das Gewicht des jeweiligen Inhaltsstoffes wird durch das Produktgewicht dividiert, um den prozentualen Anteil am Gesamtgewicht zu definieren. Dabei gilt, dass alle Stoffe mit $\geq 0,01\%$ (≥ 100 ppm) betrachtet werden. Ausgenommen hiervon sind Oberflächenbehandlungen (z.B. Anstriche), Treibmittel, Zusatzmittel für Textilien, Papier-Bleichmittel und chemische Beschichtungen. Diese werden immer betrachtet. Je nach Produkteinstufung müssen die Inhaltsstoffe, wie in Abb. 3-4 dargestellt, bekannt bzw. untersucht sein. Gemäß der Konsistenz soll die Banned List von Chemikalien helfen, Prozesse anders zu gestalten. Die Assessoren helfen bei der Produktentwicklung bzw. -optimierung Inhaltsstoffe durch gleichwertige zu ersetzen, wobei die Produktqualität unverändert bleibt oder im Optimalfall sogar verbessert wird. Informationen zu möglichen Produktinhaltsstoffen und Umwelteinwirkungen bieten Environmental Product Declarations (EPDs). Darüber hinaus helfen Berater und Auditoren von Gebäudezertifizierungen und Umweltlabels bei der Materialauswahl.

3.1.1.4 ABC-X Methode

Die C2C-Produktezertifizierung analysiert die Inhaltsstoffe bzw. Materialien gemäß der ABC-X Methode. Neben der Einordnung der Substanzen in einen der Nährstoffkreisläufe erfolgt eine Risikobewertung der einzelnen Inhaltsstoffe. Die Ergebnisse beider Betrachtungen fließen in die abschließende ABC-X Bewertung (Abb. 3-4).

Bei der Risikobewertung der Inhaltsstoffe wird das Gefährdungspotential eingeordnet und mögliche Auswirkungen definiert. Danach wird entschieden, ob der Inhaltsstoff aus C2C-Sicht ideal ist (a) bzw. keine möglichen oder signifikanten Risiken entstehen (b), mögliche Risiken auftreten können (c) oder signifikante Risiken vorhanden sind (x).

Während des Analyseprozesses werden die verwendeten Buchstaben als Kleinbuchstaben dargestellt. Ist die finale Bewertung erfolgt, werden die Kleinbuchstaben durch Großbuchstaben nach C2C-Schema ersetzt. Neben der Analyse der enthaltenen Inhaltsstoffe sollten die Materialien zudem als biologischer (BN) oder technischer (TN) Nährstoff deklariert werden. Kann das Material im biologischen Kreislauf schnell abgebaut werden bzw. im technischen Kreislauf vollumfänglich recycelt werden, so wird mit „a“ bewertet. Kann das Material weder biologisch abgebaut noch technisch recycelt werden so erfolgt die Einordnung „x“. Sind die Inhaltsstoffe gemäß Risikobewertung ideal (a) und ist auch die Rezyklierbarkeit in einen der Nährstoffkreisläufe gegeben (b), so folgt in Summe für die abschließende ABC-X Bewertung „A“. Das Material ist als C2C-Material geeignet. Momentan sind noch keine Produkte und Materialien im Sinne der Cradle to Cradle Philosophie ideal.

Die ABC-X Methode ist Teil der Kategorie „Umweltsichere und gesunde Inhaltsstoffe“ (engl. Material Health) der C2C-Produktezertifizierung und werden material- und anwendungsspezifisch unterschiedlich betrachtet. Weitere Informationen zur ABC-X Methode können den Vergabekriterien „Material Health Assessment Methodology“ (Version 3.0) entnommen werden [3.14].

Wie viele der Inhaltsstoffe eines Unternehmens bereits analysiert wurden und inwieweit die Zuordnung in A, B, C oder X-Kategorie erfolgte, zeigt die Einordnung in das Produktlabel. So sind bei einem Bronze-Label 75% der Stoffe der Kategorie A, B, C oder X zugeordnet. Bei dem Silber-Label sind es bereits 95%. Die Labelung mit einem Gold-Zertifikat wird nur ausgestellt, wenn 100% der Inhaltsstoffe analysiert sind und keine X-Substanzen mehr im Produkt enthalten sind.

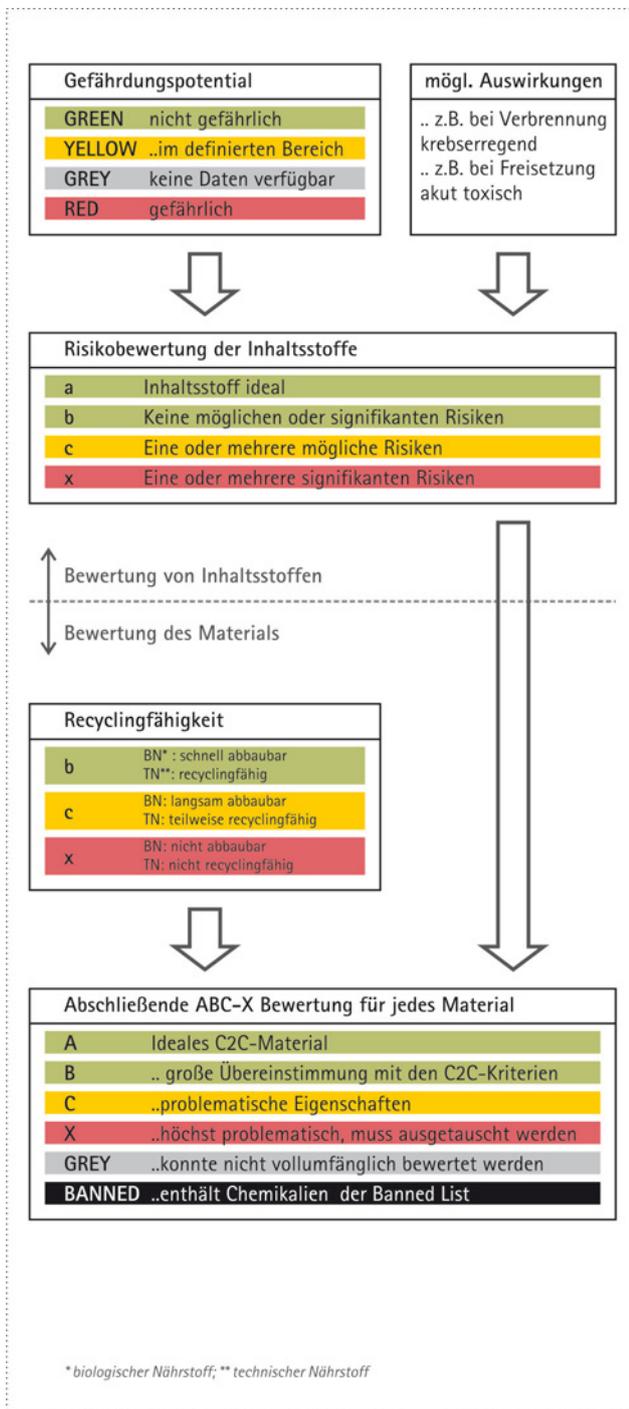


Abb. 3-4 ABC-X Rating System der C2C Produkte Zertifizierung [3.14] (Eigene Darstellung, ins Deutsche übersetzt)

3.1.1.5 Handlungsempfehlungen

Die Definition von einer umweltsicheren und gesunden Materialwahl wird, wie am Beispiel des Formaldehyd aufgezeigt, recht unterschiedlich verstanden. Produktelabel geben bei der richtigen Materialwahl Hilfestellung, jedoch ist es empfehlenswert, einen Blick in die Vergaberichtlinien der einzelnen Produktkategorien zu werfen, um bspw. Details zu Richtwerten bestimmter Inhaltsstoffe zu erhalten. Bei vordefinierten Planungszielen unterstützt der Vergleich verschiedener Produktlabels die Entscheidungsfindung.

Cradle to Cradle verfolgt mit dem Planungskriterium „Material Health“ der Produkte Zertifizierung dem sog. ALARA-Prinzip. Hierbei soll nicht nur ein Grenzwert unterschritten werden, sondern das Ziel „so niedrig, wie (vernünftigerweise) erreichbar“ (as low as reasonably achievable) angestrebt werden. Bei der Herstellung von Materialien, Produkten sowie dem Cradle to Cradle inspiriertem Plusenergiegebäude sollte ebenfalls dem ALARA-Prinzip als Leitgedanke gefolgt werden. Es gilt nicht vorgegebene Richtwerte oder Gebäudeparameter der Energieeffizienz zu unterschreiten, sondern das Bestmögliche anzustreben. Gesundheitliche Auswirkungen sind unmittelbar, durch die richtige Materialwahl, auszuschließen.

3.1.2 Materialeinsatz nexushaus

Beim Entwurf des nexushauses zum Solar Decathlon Wettbewerb 2015 wurde Wert auf die Verwendung schadstoffarmer Materialien bei Gebäudekonstruktion und -ausbau gelegt. Das Leistungsverzeichnis für die Gebäudeerstellung des nexushauses erfolgte nach den Vorgaben des „Construction Specifications Institute’s (CSI) - MasterFormat 2014 Edition“. Abbildung 3-5 zeigt daraus zwei Beispiele.

Die Unterteilung der Materialspezifikationen ist wie folgt gruppiert:

- 01 53 00 Temporäre Gebäudekonstruktion
- 02 43 00 Gebädetransport
- 05 00 00 Metalle
- 06 00 00 Holz-, Plastik- und Verbundstoffe,
- 07 00 00 Wärme- und Feuchteschutz
- 08 00 00 Öffnungen
- 09 00 00 Oberflächen
- 10 00 00 Sondereinbau
- 12 00 00 Möblierung

MasterFormat 2014 Edition
 Bsp. Außenwand Holzrahmenkonstruktion

06 00 00 Wood, Plastics and Composites

- 06 11 00 Wood Framing
 - 06 11 00.A1 2x6 24" O.C. Wall Framing
 (A1 Zusatz im Project Manual)

Bsp. Gipskartonbekleidung

09 00 00 Finishes

- 09 29 00 Gypsum Board
 - 09 29 82 Gypsum Board Fireproofing

Abb. 3-5 Konstruktionsbeschreibung nach MasterFormat 2014 Edition

Die Technische Ausrüstung sowie die Haushaltsgeräte und Beleuchtung sind ebenfalls in der Materialliste des Project Manuals geführt, hier jedoch nicht dargestellt.

Kurzbeschreibung nexushaus	
● TN ● BN ● Serviceprodukt	
05 00 00 Metalle	
Antritt Zugangsrampe	●
Stahlstützen + -träger (Sonnenschutzkonstruktion)	●
Stahlfahrgestell der Wohnmodule (Chassis)	●
06 00 00 Holz-, Plastik- und Verbundwerkstoff	
Holzrahmenkonstruktion AW	●
Holzrahmenkonstruktion IW (Installationswand)	●
Holzrahmenkonstruktion IW	●
Hauptträger Terrassenunterkonstruktion	●
Nebenträger Terrassenunterkonstruktion	●
Sockelholz Wohnmodule (unterer Abschluss)	●
Terrassenbelag	●
OSB-Beklankung AW	●
OSB-Beklankung Decke (Fußboden)	●
Beklankung Dach	●
OSB-Decken-/Dachkonstruktion (Stegträger)	●
Fassadenbekleidung	●
Oberer Fassadenabschluss	●
07 00 00 Wärme- und Feuchteschutz	
Außendämmung Kork Wohnmodule	●
Zellulosedämmung AW	●
Zellulosedämmung Dach	●
Zellulosedämmung Decke (Fußboden)	●
Mineralwollgedämmung IW	●
XPS-Gefälledämmung (Dach)	●
Dampfbremse Wohnmodule	●
Vlies schwarz	●
Dachfolie	●
08 00 00 Öffnungen	
Schiebetüre innen (raumhoch)	●
Tür DIN rechts (Bad)	●

Materialauswahl eLCA-Tool [Ökobau.dat 2011] v0.9.3 BETA 	Menge im Gebäude	GWP [kg CO ₂ -Äqv.]	PE n. ern. [MJ]	End of Life Szenario	Masse [kg]
4.03 Aluminium Blech (2005)	3 m ²	0,010 E+00	0,237 E+00	4.8.01	32,39
4.01 Stahl-Hohlprofil - V&M und Anstrich	1 St. (Gesamt)	1,223 E+00	17,121 E+00	4.8.09/4.7.03	3.433,51
4.01 Stahl-Hohlprofil - V&M	25,30 m	0,082 E+00	1,146 E+00	4.8.09	235,50
4.01 Stahlprofil	47,50 m	0,512 E+00	7,033 E+00	4.8.09	914,85
4.01 Walzprofile Grobbleche und Anstrich	5 St. (Gesamt)	0,115 E+00	1,768 E+00	4.8.08/4.7.03	358,00
4.03 Aluminiumblech	50 m	0,022 E+00	0,513 E+00	4.8.01	70,17
4.01 Regenabflussrohr SML	10 m	8,273 E-03	0,099 E+00	4.8.09	11,78
3.01 Konstruktionsvollholz	100 m ²	-0,077 E+00	-0,601 E+00	3.4.03	444,36
3.01 Konstruktionsvollholz	13 m ²	-0,010 E+00	-0,078 E+00	3.4.03	57,72
3.01 Konstruktionsvollholz	8 m ²	-3,306 E-03	-0,025 E+00	3.4.03	19,05
3.01 Schnittholz Lärche	1 St. (Gesamt)	-0,274 E+00	-2,887 E+00	3.4.03	1.603,23
3.01 Schnittholz Lärche	1 St. (Gesamt)	-0,182 E+00	-1,913 E+00	3.4.03	1.062,20
3.01 Schnittholz Lärche	50 m	-0,071 E+00	-0,744 E+00	3.4.03	413,00
3.01 Schnittholz Lärche	80 m ²	-0,181 E+00	-1,904 E+00	3.4.03	1.057,28
3.02 OSB (Durchschnitt)	100 m ²	-0,275 E+00	-3,000 E+00	3.4.02	786,10
3.02 OSB (Durchschnitt)	66 m ²	-0,400 E+00	-4,366 E+00	3.4.02	1.143,91
3.02 Sperrholzplatte	66 m ²	-0,157 E+00	-0,323 E+00	3.4.03	410,72
3.02 OSB (Durchschnitt)	132 m ²	-0,256 E+00	-2,806 E+00	3.4.02	735,38
3.01 Schnittholz Zeder	100 m ²	-0,191 E+00	-2,174 E+00	3.4.03	960,12
3.02 Holzzementplatte Duripanel	50 m	0,038 E+00	0,108 E+00	9.5.04	108,00
2.09 Expandierter Kork	100 m ²	-0,106 E+00	-1,220 E+00	2.22.01	304,00
2.11 Zellulosefaser Einblas-Dämmstoff	100 m ²	-0,096 E+00	-8,635 E+00	2.22.01	592,20
2.11 Zellulosefaser Einblas-Dämmstoff	66 m ²	-0,140 E+00	-12,602 E+00	2.22.01	864,27
2.11 Zellulosefaser Einblas-Dämmstoff	66 m ²	-0,140 E+00	-12,602 E+00	2.22.01	864,27
2.01 Mineralwolle (Innenausbau-DÄ)	21 m ²	1,193 E-02	0,144 E+00	9.5.02	20,73
2.03 XPS-Dämmstoff	66 m ²	0,109 E+00	1,534 E+00	6.8.01	31,69
6.06 Dampfbremse PA	232 m ²	0,412 E+00	5,718 E+00	6.8.01	52,90
6.06 Unterspannbahn PP	100 m ²	0,040 E+00	0,591 E+00	6.8.01	14,64
6.03 Dachbahnen EPDM	66 m ²	0,324 E+00	5,782 E+00	6.8.01	94,55
Türblatt und Beschlag	2 St. (Gesamt)	-0,034 E+00	-0,372 E+00	3.4.03/7.5.05	178,35
Türblatt und Beschlag	1 St. (Gesamt)	-0,010 E+00	-0,108 E+00	3.4.03/7.5.05	57,60

Planungsparameter

eLCA

Die bilanzierten Umwelteinflüsse wurden mit dem eLCA-Tool des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) ermittelt. Grundlage ist die v0.9.2 BETA.

Für das entsprechende Material des nexushauses wurden vergleichbare Materialien der Ökobau.dat 2011 des eLCA gewählt. Neben der verbauten Menge im Gebäude wird in den folgenden Spalten das Treibhauspotential (GWP) in kg CO₂-Äqv., die nicht erneuerbare Primärenergie (PE n. ern) in MJ und die Elementmasse in kg angegeben.

Die Ergebnisse aus den Spalten GWP und PE n. ern. beziehen sich auf m²_{NGF} * a. Die Nettogrundfläche (NGF) des Hauses ist 56,13 m². Die bilanzierte Lebensdauer wurde für 50 Jahre angelegt.

Die Materialien wurden den unterschiedlichen Stoffkreisläufen zugeordnet, wobei gilt:

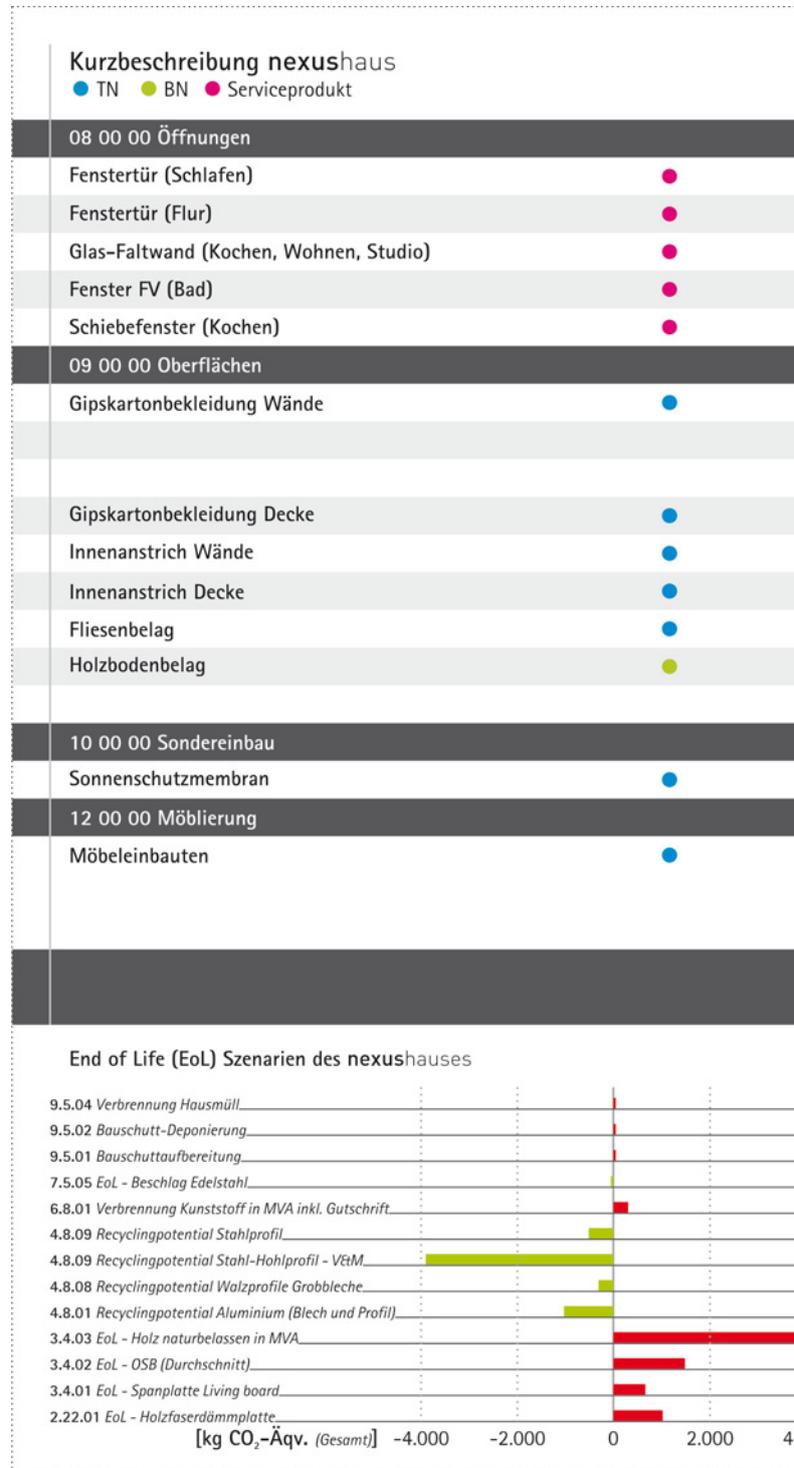
- Technischer Nährstoff (TN)
- Biologischer Nährstoff (BN)
- Serviceprodukt
- ✗ Maximalwert, ✗ Minimalwert der jeweiligen Spalte

3.1.2.1 End of Life Szenarien des nexushauses

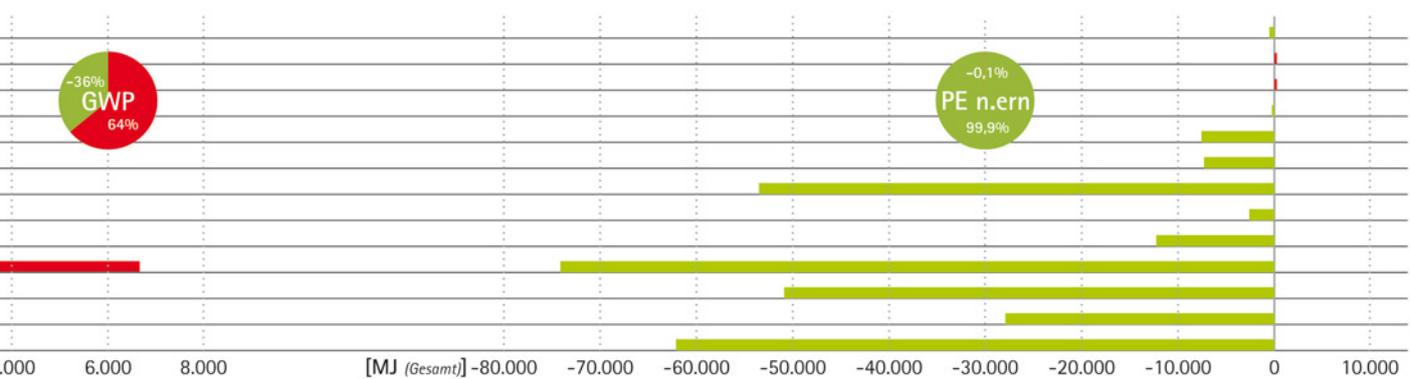
Welche Möglichkeiten des Recyclings bereits in der Ökobilanz (2011) materialspezifisch verankert sind soll die Spalte End of Life-Szenarien zeigen. Für die ca. 40 Materialpositionen des nexushauses werden 13 verschiedene EoL-Szenarien definiert. Bei dem eLCA-Tool erfolgt das Recyclingszenario mit der Materialwahl automatisch. Die Umweltindikatoren GWP und PE n. ern. zeigen dabei die Auswirkungen der Entsorgung auf die Umwelt.

Die nebenstehende Abbildung 3-6 (unten) zeigt, dass bei der Entsorgung der Holzwerkstoffe Treibhausgase anfallen, die hauptsächlich durch den Verbrennungsvorgang in

Abb. 3-6 Materialliste des nexushauses sowie Auswertung der Umweltindikatoren für die Materialentsorgung (EoL)



Materialauswahl eLCA-Tool [Ökobau.dat 2011] v0.9.3 BETA 	Menge im Gebäude	GWP [kg CO ₂ -Äqv.]	PE n. ern. [MJ]	End of Life Szenario	Masse [kg]
<i>Alurahmen, 2-Scheiben-Isoliervgl., Beschlag</i>	1 St. (Gesamt)	0,104 E+00	1,444 E+00	-	81,87
<i>Alurahmen, 2-Scheiben-Isoliervgl., Beschlag</i>	1 St. (Gesamt)	0,092 E+00	1,286 E+00	-	71,95
<i>Alurahmen, 2-Scheiben-Isoliervgl., Beschlag</i>	3 St. (Gesamt)	0,698 E+00	9,549 E+00	-	552,76
<i>Alurahmen, 2-Scheiben-Isoliervgl., Beschlag</i>	1 St. (Gesamt)	0,081 E+00	1,116 E+00	-	64,79
<i>Alurahmen, 2-Scheiben-Isoliervgl., Beschlag</i>	1 St. (Gesamt)	0,059 E+00	0,827 E+00	-	44,84
1.03 Gipskartonplatte (Feuerschutz)	100 m ²	0,091 E+00	1,471 E+00	9.5.01	1.200,00
1.03 Gipskartonplatte (imprägniert)	21 m ²	0,021 E+00	0,354 E+00	9.5.01	252,00
1.03 Gipskartonplatte	21 m ²	0,016 E+00	0,283 E+00	9.5.01	210,00
1.03 Gipskartonplatte (Feuerschutz)	58 m ²	0,053 E+00	0,853 E+00	9.5.01	696,00
5.05 Dispersionsfarbe scheuerfest	141 m ²	0,178 E+00	4,079 E+00	9.5.01	43,99
5.05 Dispersionsfarbe scheuerfest	58 m ²	0,073 E+00	1,678 E+00	9.5.01	18,10
1.03 Steinzeug unglasiert mit Sondermörtel	6 m ²	0,019 E+00	0,268 E+00	9.5.01	156,00
3.01 Schnittholz Eiche	66 m ²	-0,205 E+00	-2,346 E+00	3.4.03	946,44
6.03 PVC-Dachbahnen	80 m ²	0,219 E+00	2,756 E+00	6.8.01	120,00
3.02 Spanplatte Living board	110 m ²	-0,409 E+00	-5,346 E+00	3.4.01	1.450,46
SUMME [pro m ² _{NGF} *a]		1,35 E+00	2,85 E+00		
SUMME		3.788,78 kg CO ₂ -Äqv.	7.998,53 MJ		22.774,00 kg



die Umwelt entweichen. Metallwerkstoffen werden sowohl Treibhauspotential als auch Primärenergie aus nicht erneuerbaren Ressourcen gutgeschrieben. Durch das Einschmelzen von Sekundärmetallen entfällt bei der Herstellung von neuen Stahlerzeugnissen bspw. der Rohstoffabbau und Transport, wobei Energie eingespart wird und folglich auch der Ausstoß von Treibhausgasen.

Bei den Holzwerkstoffen ist es in der Regel so, dass die hier negativ dargestellten Emissionen bereits im Herstellungsprozess positiv verbucht wurden. Holz lagert während des Wachstums CO₂ in seiner Masse ein, welches nach der Fällung im Bauholz verbleibt und erst mit der Verbrennung wieder in die Atmosphäre freigesetzt wird.

Dass die thermische Verwertung den größten Anteil an den Entsorgungsoptionen hat, zeigt sich durch die fast ausschließlichen Gutschriften des Indikators PE n. ern. Bis auf die Bauschuttdeponierung und -aufbereitung, bei der zwangsläufig Energie benötigt wird, schlagen alle Bilanzbalken der Abb 3-6 (unten) ins Negative, wobei keine bilanziellen Umweltauswirkungen verursacht werden.

Die Gipskartonbeplankungen der Innenwände und -decken werden als Bauschutt aufbereitet oder landen auf der Deponie. Obwohl es bei den Gipskartonplatten bereits Recyclingmöglichkeiten gibt, werden diese bislang aus „wirtschaftlichen Gründen“ in Deutschland nicht umgesetzt [3.15]. Die enthaltenen Zusatzstoffe (z.B. Glasfaser) erschweren die sortenreine Trennung des Gipsrohstoffs für den Recyclingvorgang.

Nach Berechnungen von Arendt befinden sich in Deutschland 38.890 t (2014) Gipskartonplatten im Gebäudebestand. Durch Rückbau und Verschnitt auf der Baustelle fallen jährlich 590 t Abfälle an. Prognosen sagen eine Verdopplung (1.150 t/a) der Abfälle aus Gipskartonplatten bis ins Jahr 2034 voraus, wobei der Bedarf für den Einbau (2004-2034: 1.560 t) stagniert. [3.16] Durch den gleichblei-

benden Bedarf können mehr Reserven dem anthropogenen Lager entnommen und Ressourcen eingespart werden.

„Mineralwolle-Dämmstoffe sind nicht wieder- bzw. weiterverwendbar“, lediglich als Zusatzmittel für die Ziegelherstellung kann die Mineralwolle verwertet werden [3.17], was ein Downcycling darstellt. Im Sinne des Cradle to Cradle ist daher, bis keine alternative Recyclinglösung gefunden ist, die Verwendung des linearen End of Life Materials bei der Gebäudeherstellung zu vermeiden. Als Hausmüll thermisch verwertet oder ebenfalls auf der Deponie abgelagert wird der obere Fassadenabschluss des nexushauses, die Holzzementplatte. Diese kann alternativ (unbeschädigt) für den gleichen Zweck wiederverwendet werden.

Durch die Analyse der End of Life Szenarien des Case-Study-Gebäudes wird deutlich, wie entscheidend die Auseinandersetzung mit den Baustoffen und dem Materialrecycling ist. Die sortenreine Trennung ist dabei ausschlaggebend. Die verwendete Mineralwolle bspw. hätte durch einen alternativen recyclingfähigen Dämmstoff ersetzt werden können. Auf die schließlich verwendete PUR-Sprühdämmung, anstelle der hier bilanzierten Zellulosedämmung der Holzgefache, wird später kurz eingegangen (siehe 3.1.5 Rückbau- und Recyclingpotentiale).

Bei Materialien mit Heizwert wird oftmals die thermische bzw. energetische Verwertung als EoL-Option herangezogen. Sortenreine Metalle bieten hingegen ein sehr gutes Materialrecycling, wobei der verwendete Anstrich hier unberücksichtigt blieb. Handlungsbedarf gibt es bei alternativen Recyclingprozessen. Potentiale des Gebäuderückbaus sollten bereits bei der Erstellung des Hauses planerisch verankert und bei Bilanzierung berücksichtigt werden.

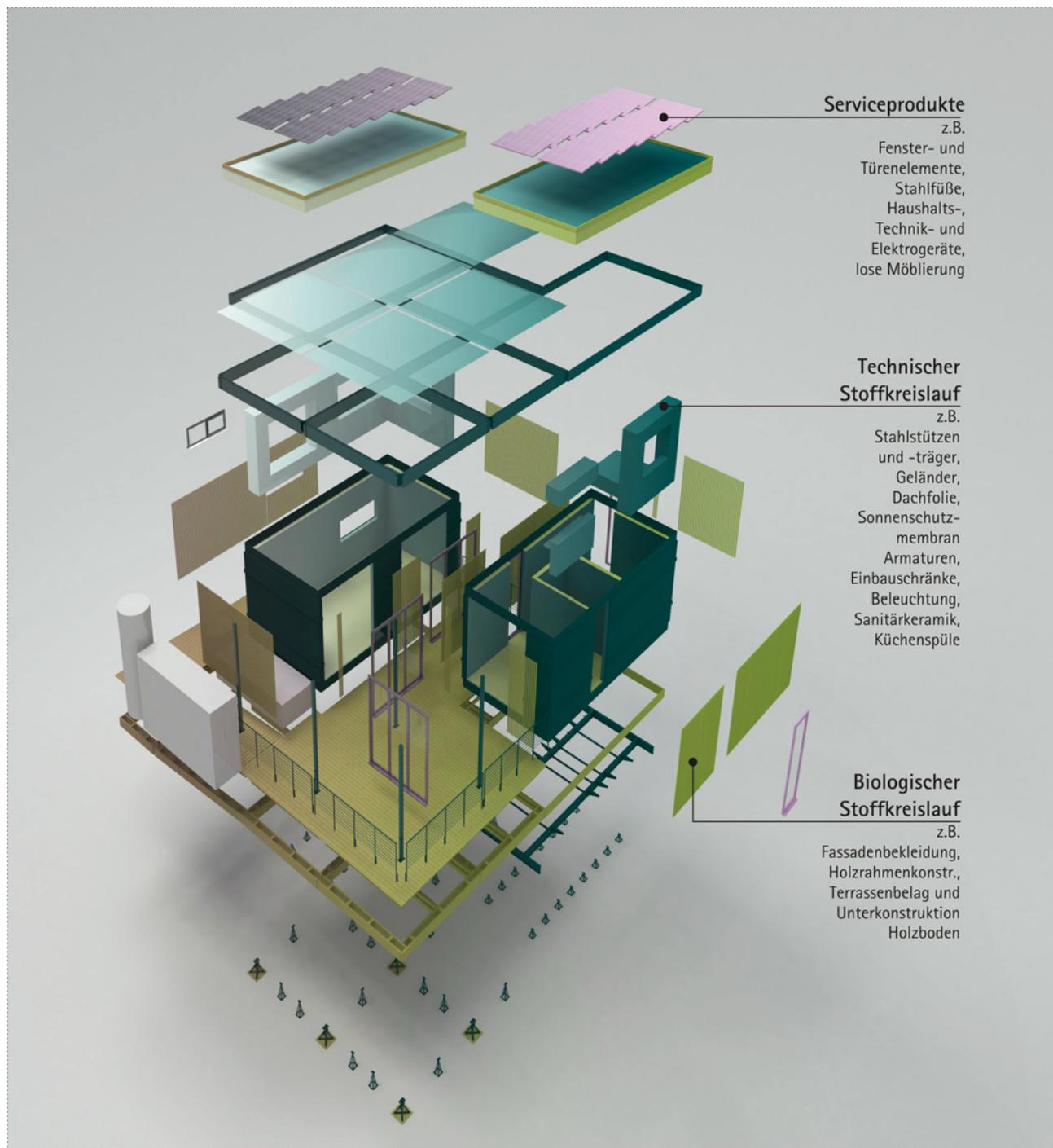


Abb. 3-7 Zuordnung der verwendeten Materialien des nexushauses einem technischen oder biologischen Stoffkreislauf, Deklaration als Serviceprodukt (siehe auch www.phormin.com)

3.1.3 Stoffströme nexushaus

Neben der Bewertung der enthaltenen Inhaltsstoffe, wird nach C2C jedes Produkt dem biologischen oder technischen Stoffkreislauf zugeordnet.

Die Planungen des nexushauses wurden nach Abschluss des Wettbewerbes gemäß der Dokumentation des Ist-Zustandes aufbereitet. In einem ersten Schritt wurde die Zugehörigkeit der verwendeten Materialien in den technischen bzw. biologischen Kreislauf definiert. Darüber hinaus wurden vereinzelte Produktkomponenten als Serviceleistung deklariert (Abb. 3-6 Materialliste).

Als Grundlage für die grafische Darstellung der Kreislaufströme diente das von William Mc Donough + Partners entworfene „Flow House“. Das Gebäudekonzept wurde bereits im Kapitel 2.1 erläutert. Sämtliche Gebäudeelemente wurden hierbei einem technischen oder biologischen Kreislaufrecycling zugeordnet [3.18]. Obwohl das Gebäude bislang nicht realisiert wurde, zeigt es eine mögliche Vorgehensweise auf, wie Recyclingszenarien den Einstieg bereits in der Vorplanungs- und Entwurfsphase finden können. Mit fortschreitender Planung werden Informationen ergänzt und weitergeführt. Im Kapitel 4 wird die mögliche Umsetzung mittels dem sog. Building Information Modelling (BIM) aufgezeigt.

Wettbewerbsbedingt waren die teilnehmenden Studierenden gezwungen, sich bereits in der Ausführungsplanung mit dem Gebäuderückbau zu beschäftigen und Konstruktionsdetails so auszubilden, dass innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters dieser Rückbau möglichst einfach von statten gehen kann. Die Stoffströme wurden dabei im Einzelnen nicht betrachtet und im Zuge dieser Forschungsarbeit ergänzt. Im *Project Manual* zum Solar Decathlon Wettbewerb wurden alle Informationen zu den verwen-

deten Materialien, Elementen und Komponenten, wie vor beschrieben, gesammelt [3.19].

3.1.3.1 Serviceprodukte

Die PV-Module auf dem Dach wurden nach dem Wettbewerb wieder zurückgebaut und an die Herstellerfirma zurückgegeben. Die Idee des C2C ist ebenfalls sämtliche Haushaltsgeräte als Leasingprodukte zu erwerben, um nach Gebrauch die technische Ressource im Kreislauf zu erhalten. In Österreich können bereits Waschmaschinen und Spülmaschinen gemietet werden. Die Miete beinhaltet auch die Bereitstellung von Wasch- und Spülmaschinemittel. Mögliche Reparaturen sind ebenfalls in der Fixmiete inbegriffen. Alle fünf Jahre ersetzt der Lieferant das bestehende Gerät (der Firmen Bosch oder Siemens) durch ein neues [3.20]. Auch das Versandhaus Otto denkt über Leasingkonzepte nach und möchte zukünftig Geräte vermieten. Gleiches wäre mit Technikprodukten denkbar, die bislang nur für temporäre Ersatzbauten angemietet werden können. Die Fenster- und Türelemente werden laut C2C ebenfalls an die Bezugsfirmen zurückgegeben. Hierbei ist der richtige Einbau von großer Bedeutung. Der Fassadenbauer Schüco beschäftigt sich bereits damit, Fenstersysteme so zu konstruieren, dass diese wieder rezykliert werden können [3.21].

Bürostuhl giroflex 656

In wie weit die einzelnen Recyclingkreisläufe sich miteinander verschneiden, kann am Beispiel der losen Wohnraummöblierung aufgezeigt werden. Ein angemieteter Bürostuhl wird gemäß vereinbartem Servicevertrag nach drei Jahren dem Lieferanten zurückgegeben. Der Bezugsstoff des Stuhles wurde aus biologisch abbaubaren Fasern hergestellt und kann kompostiert werden. Die sortenreine Trennung des Kunststoffes, der Gasfeder und des metallischen

Fahrgestells ermöglichen die Rückführung in den technischen Produktionskreislauf. [3.22]

3.1.3.2 Technischer Materialkreislauf

Die meisten Bauelemente können im Optimalfall einem technischen Kreislauf zurückgeführt werden. Beim nexushaus ist das beispielsweise bei sämtlichen Stahlelementen der Fall. Der Sonnenschutz wird von Stahlstützen und -trägern gehalten, die mit dem Untergrund (Stahlfüße) und den Wohnmodulen reversibel verschraubt sind. Ein Schutzanstrich auf Biobasis ermöglicht das schadstofffreie Einschmelzen und die Herstellung neuer Stahlprofile. Die Sonnenschutzmembranen sind aus PVC hergestellt. PVC (Polyvinylchlorid) ist in der Banned List enthalten, wobei eine Produkteertifizierung nicht möglich ist.

3.1.3.3 Biologischer Materialkreislauf

Unbehandelte Holzwerkstoffe werden bislang hauptsächlich thermisch verwertet und nur wenige, wie im Falle des nexushaus wiederverwendet (z.B. Holzbodenbelag). Holz hat bei richtigem Einbau eine lange Lebenszeit. Geschützt,

wie beispielsweise als Holzrahmenbau mit beidseitiger Beplankung und Feuchteschutz, übersteht das Material leicht die in der kommenden Lebenszyklusanalyse bilanzierte Nutzungsdauer von 50 Jahren.

3.1.3.4 Recyclingpotential nach C2C

Sind in der Produkteertifizierung nach C2C alle Inhaltsstoffe bestimmt, kann das Potential des Recyclings definiert werden. Je höher die Einordnung in das Produktlabel, desto recyclingfähiger ist das Produkt. Beginnend mit der Zuordnung in einen der Nährstoffkreisläufe (Basic) wird schließlich mit dem Platin-Label ein 100% Produktrecycling sichergestellt.



Abb. 3-8 Beispiel des Produktrecyclings am giroflex Bürostuhl [3.22]

3.1.4 Lebenszyklusbetrachtung

3.1.4.1 Literatur

"Measuring a qualitative plan for creating a beneficial footprint by using a quantitative instrument designed to measure an existing environmentally damaging footprint."

(Position Paper: Usability of Life Cycle Assessment for Cradle to Cradle purpose, NL Agency)

In dem Paper „Usability of Life Cycle Assessment for Cradle to Cradle purpose“ wird die Gebrauchstauglichkeit von Lebenszyklusanalysen (LZA) für die Cradle to Cradle Anwendung untersucht. Dabei wurden verschiedene LZA-Werkzeuge mit den Planungskriterien von C2C verglichen. Folgende Ergebnisse wurden aus der Untersuchung festgehalten [3.23]:

- Die LZA hilft verschiedene, designbedingte Umwelteinflüsse quantitativ gegenüberzustellen. So kann die mögliche Materialwahl evaluiert werden.
- Eine LZA stellt nicht die Vorteile von C2C Prozessen und Produkten dar, welche durch die sog. Meilensteine in der C2C Roadmap aufgezeigt werden.
- Die LZA ist nicht ausreichend, um die Besonderheit eines C2C-Produkts vollumfänglich darzustellen. (Waste equals food: C2C betrachtet über die genannten Umwelteinflüsse hinaus die genauen Inhaltsstoffe des Produktes)
- Auswirkungen von Innovation und Zukunftsfähigkeit können durch eine quantitative Datengrundlage der LZA nicht abgeschätzt werden. (Qualität gemäß C2C: „The right material at the right time at the right place.“)
- C2C misst den positiven Einfluss (Benefits), nicht die negativen Auswirkungen von Handlungen (*weniger schlecht*).

Celebrate Diversity

Dieses Qualitätskriterium und die Bestandteile der konzeptionellen, technologischen und kulturellen Vielfalt (Biodiversität) werden bislang nicht in der LZA dargestellt.

Waste Equals Food

Recyclingfähigkeit: LZA beschreibt End-of-Life Szenarien, wohingegen C2C von End-of-Use Szenarien spricht. Die Potentiale eines Produktrecyclings lassen sich in einer LZA nur schwer darstellen.

Inhaltsstoffe und Schadstoffgehalt: Die Schädlichkeit eines Produkts wird anhand der Umweltfaktoren gemessen. Tatsächlich enthaltene Inhaltsstoffe werden kaum betrachtet. Der Einfluss des Materials auf die Innenraumluftqualität ist bislang aus einer LZA nicht ablesbar. Auswirkungen und die Vermeidung schadstoffreicher Inhaltsstoffe werden mit der ABC-X-Methode in der Produkte Zertifizierung von C2C beschrieben.

Use Current Solar Income

Erneuerbare Energiequellen: Der Anteil von erneuerbaren Energiequellen im Lebenszyklus eines Produktes oder Gebäudes können in einer LZA dargestellt werden.

Im Wettbewerbsbeitrag der Studierenden wurden zu Beginn der Planung verschiedene Materialien und deren Umwelteinflüsse verglichen. Das diente als Entscheidungshilfe für die Materialwahl der Gebäudekonstruktion. Eine komplette Lebenszyklusbetrachtung des Hauses wurde nicht vorgenommen. Nach Abschluss des Wettbewerbes wurde diese im Zuge des Forschungsberichtes nachgeholt, um verschiedene Einflussfaktoren aufzuzeigen. Die Ergebnisse daraus werden im Folgenden erläutert.

3.1.4.2 Lebenszyklusanalyse nexushaus

Durch die bereits erfolgte Optimierung des Betriebsenergiebedarfs des Gebäudes rücken die Graue Energie und die Umwelteinflüsse, resultierend aus den Konstruktionen und der technischen Gebäudeausrüstung, in den Vordergrund. Über eine Lebenszyklusanalyse (LZA) des Wettbewerbsgebäudes soll aufgezeigt werden, wie groß die Umwelteinflüsse des Gebäudes sind und wie diese optimiert werden können. Betrachtungsraum für die LZA sind dabei hauptsächlich Elemente der Baukostengruppe 300. Die technische Gebäudeausstattung wird am Beispiel der PV-Anlage separat betrachtet. Als Ökobilanzierungstool wurde das eLCA-Werkzeug des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) verwendet, welches den Datensatz der Ökobau.dat 2011 als Grundlage hat. Es werden Einflüsse aus Herstellung, Entsorgung und Instandhaltung der Baukonstruktion analysiert. Bilanziert wird mit Hilfe der Baukostengruppen. Die Konstruktionen werden schichtenweise aufgebaut und können somit auch einzeln betrachtet werden. Die Möglichkeit des Variantenvergleichs erleichtert die Gegenüberstellung verschiedener Materialeinsätze und deren Umwelteinflüsse. Die Wahl des eLCA-Tools, anstelle einer internationalen Alternative (z.B. Athena Impact Estimator) ist u.a. der größeren Transparenz der Datensätze geschuldet. Außerdem sollte eine mögliche Übertragbarkeit des Hauses auf Deutschland überprüft werden. Der CO₂-Ausstoß des Gebäudetransportes konnte im eLCA-Tool den Treibhausgasemissionen der Konstruktion gegenübergestellt werden. Die Fahrt zum Wettbewerbsgelände und zurück nach Fort Davis/TX übersteigt den CO₂-Ausstoß der Bausubstanz erheblich:

GWP (nexushaus) 3.799,8 kg CO ₂ -Äqv. (56,13 m ² _{NGF} /50a)	GWP (LKW-Transport) 6.037,6 kg CO ₂ -Äqv. (Gewicht: 23t, Strecke: 4025 km)
--	--

Da die Materialien für das Wettbewerbsgebäude aus den USA stammen wurden hier vergleichbare Annahmen aus dem Auswahlkatalog der Ökobau.dat 2011 getroffen.

Die Gegenüberstellung der Baumaterialien des nexushauses und der getroffenen Auswahl aus der Ökobau.dat kann dem Kapitel 3.1.2 entnommen werden. Im Folgenden werden die Umweltauswirkungen unterteilt nach Aufbausequenzen des nexushauses am Wettbewerbsort in Irvine aufgezeigt. Folgende Indikatoren werden zum Schutz des Ökosystems in der Ökobilanz bewertet:

Treibhauspotential [kg CO₂-Äqv.] <i>Global Warming Potential GWP</i>
Ozonschichtabbaupotential [kg R11-Äqv.] <i>Ozone Depletion Potential ODP</i>
Ozonbildungspotential [kg Ethen-Äqv.] <i>Photochemical Oxidant Creation Potential POCP</i>
Versauerungspotential [kg SO₂-Äqv.] <i>Acidification Potential AP</i>
Überdüngungspotential [kg PO₄-Äqv.] <i>Eutrophication Potential EP</i>
Primärenergiebedarf [MJ] Gesamt (PE Ges.), nicht erneuerbar (PE n. ern.), erneuerbar (PE ern.) <i>Primary Energy Demand</i>
Abiotischer Ressourcenverbrauch [kg Sb-Äqv.] <i>Abiotic Depletion Potential ADP</i>

Abb. 3-9 Umweltindikatoren

Welchen Einfluss die unterschiedlichen Aufbausequenzen zum Wettbewerb auf die Umwelt haben, zeigen die folgenden Abbildungen 3-10 bis 3-17. Ergänzt werden die Ergebnisse mit Materialvergleichen, so wurde bspw. die Zellulosedämmung der Holzrahmenkonstruktion mit PUR-Schaum verglichen, was in den USA die gängige Praxis darstellt. Die Stahlkonstruktion der Sonnenschutz-

membran wurde einer Holzkonstruktion gegenübergestellt. Außerdem wurde aufgezeigt, welchen Einfluss die verbaute Holzmasse auf das Ökosystem laut Bilanzierung hat. Der Abschnitt Celebrate Diversity zeigt die Bedeutung der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Materialkomponenten, die neben der Hauptfunktion andere Vorteile mit sich bringen können.

Die Ergebnisse aus der Lebenszyklusanalyse werden mit Alltagsereignissen verglichen, um die Auswirkungen auf die Umwelt für den Leser anschaulich zu machen. Für den Vergleich wird die Strecke von München nach Austin (Luftlinie von 8.823,80 km; www.luftlinie.org) herangezogen. Zur Streckenüberwindung wurde das Flugzeug für die Darstellung der Treibhausgasemissionen gewählt. Um den nicht erneuerbaren Gesamtprimärenergiebedarf der Konstruktion aufzuzeigen dienen das Elektroauto BMWi3 sowie der PKW Euro 4 (Diesel).

Vergleich CO₂-Emissionen (GWP):



Erster Vergleich ist das Flugzeug und der dadurch bedingte CO₂-Ausstoß bei einer Flugstrecke von München, Franz Josef Strauß Flughafen (MUC), nach Austin, Bergstrom (BSM).

(1.928 kg CO₂; www.atmosfair.de, Zugriff am 28.08.2016)

**BMWi3/
PKW Euro 4**

X: Anzahl Flüge (Hin-und Rückflug)

Vergleich Gesamtprimärenergiebedarf nicht erneuerbar (PE n. ern.):

Zweiter Vergleich ist, die Strecke mit dem BMWi3 zurückzulegen (Die Überwindung der Wasserfläche bleibt hierbei unberücksichtigt). Das Elektroauto wurde gewählt, da es beim Solar Decathlon Wettbewerb für den Kontest „Commuting“ durch das Unternehmen bereitgestellt wurde.

Zusätzlich wird der PKW Euro 4 (Diesel) als Vergleich herangezogen, für den der Datensatz der Ökobau.dat ebenfalls den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf angibt. (12,9 kWh pro 100 km; Versorgung mittels Strommix (2015) der Ökobau.dat, unter Berücksichtigung des n. ern. Anteils der PE)

http://www.bmw.com/com/de/newvehicles/i/i3/2013/showroom/technical_data.html, Zugriff am 28.08.2016

BMWi3/PKW Euro 4: Anzahl Fahrten (Hin-und Rückweg)

3.1.4.3 nexushaus (Endbilanz)

Die Konstruktion des nexushauses und die finale Fertigstellung des Wettbewerbsgebäudes hatte die nebenstehend dargestellten Umweltauswirkungen zur Folge (Abb. 3-10, Balkendiagramm). Die hier mit 100% festgelegten Umwelteinflüsse werden im Folgenden anhand der Aufbausequenzen des Wettbewerbes und verschiedener Materialvergleiche untersucht. Die Aufbausequenz 1 (Abb. 3-11; ①) hat dabei den größten Umwelteinfluss, da die Wohnmodule, welche hier auf dem Wettbewerbsgelände aufgestellt wurden, den umfangreichsten Materialmix darstellen. Die Balken in zweiter Reihe des Balkendiagramms zeigen den Umwelteinfluss nach der baulichen Ergänzung von Haupt- und Nebenkonstruktion des Terrassenfreibereiches sowie dem Aufstellen von Stahlträgern und -stützen. Außerdem wurde die Absturzsicherung an der Unterkonstruktion des Terrassenbelages fixiert (Abb. 3-14; ②). Die Aufbausequenz 3 komplettiert den Terrassenfreibereich mit dem Belag und dem Antrittsblech der Rampe. Die Innenräume werden um die festen Möbeleinbauten ergänzt (Abb. 3-15; ③). Abschließend wird ausschließlich die Holzkonstruktion mit dem Holzrahmenbau und der OSB-Beplankung sowie die Unterkonstruktion des Terrassenbelages betrachtet und deren Einfluss auf das Ökosystem grafisch veranschaulicht (Abb. 3-16; ④).

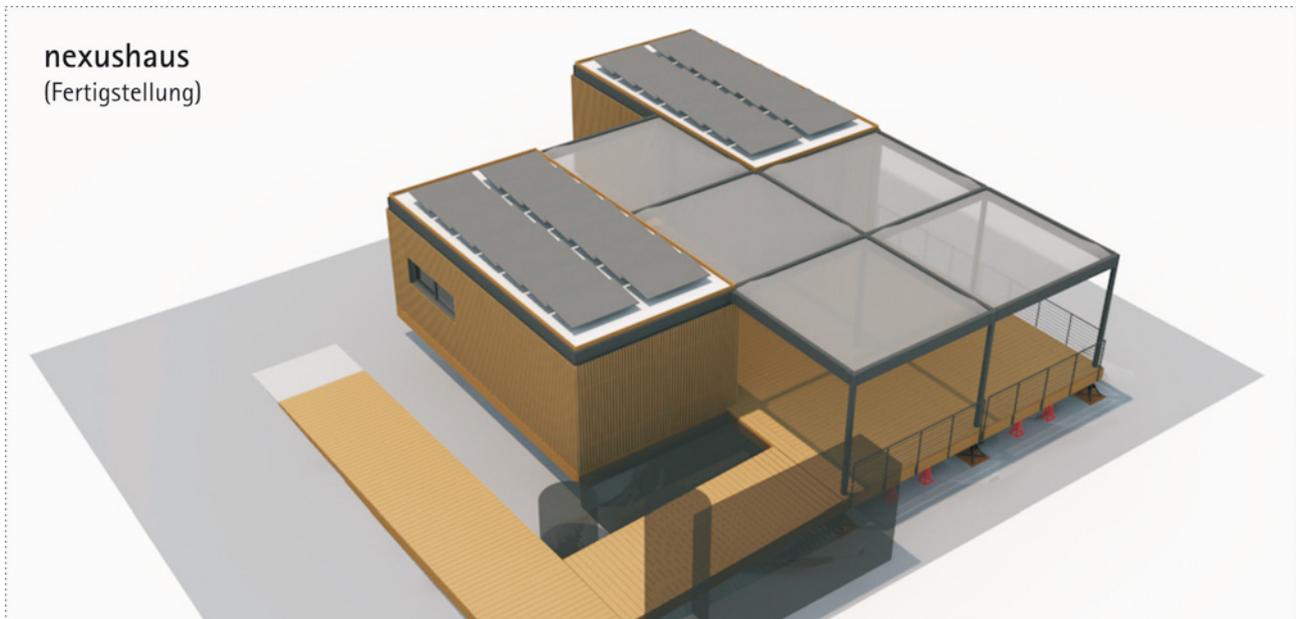
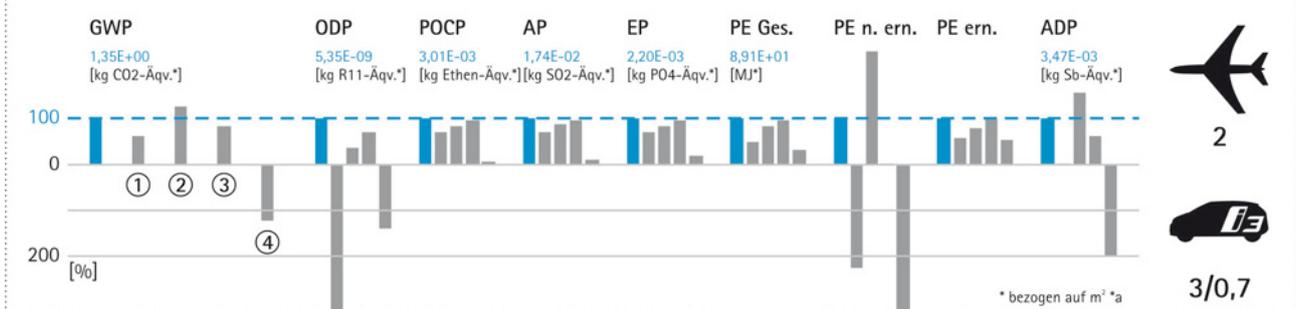


Abb. 3-10 Fertigstellung: nexushaus

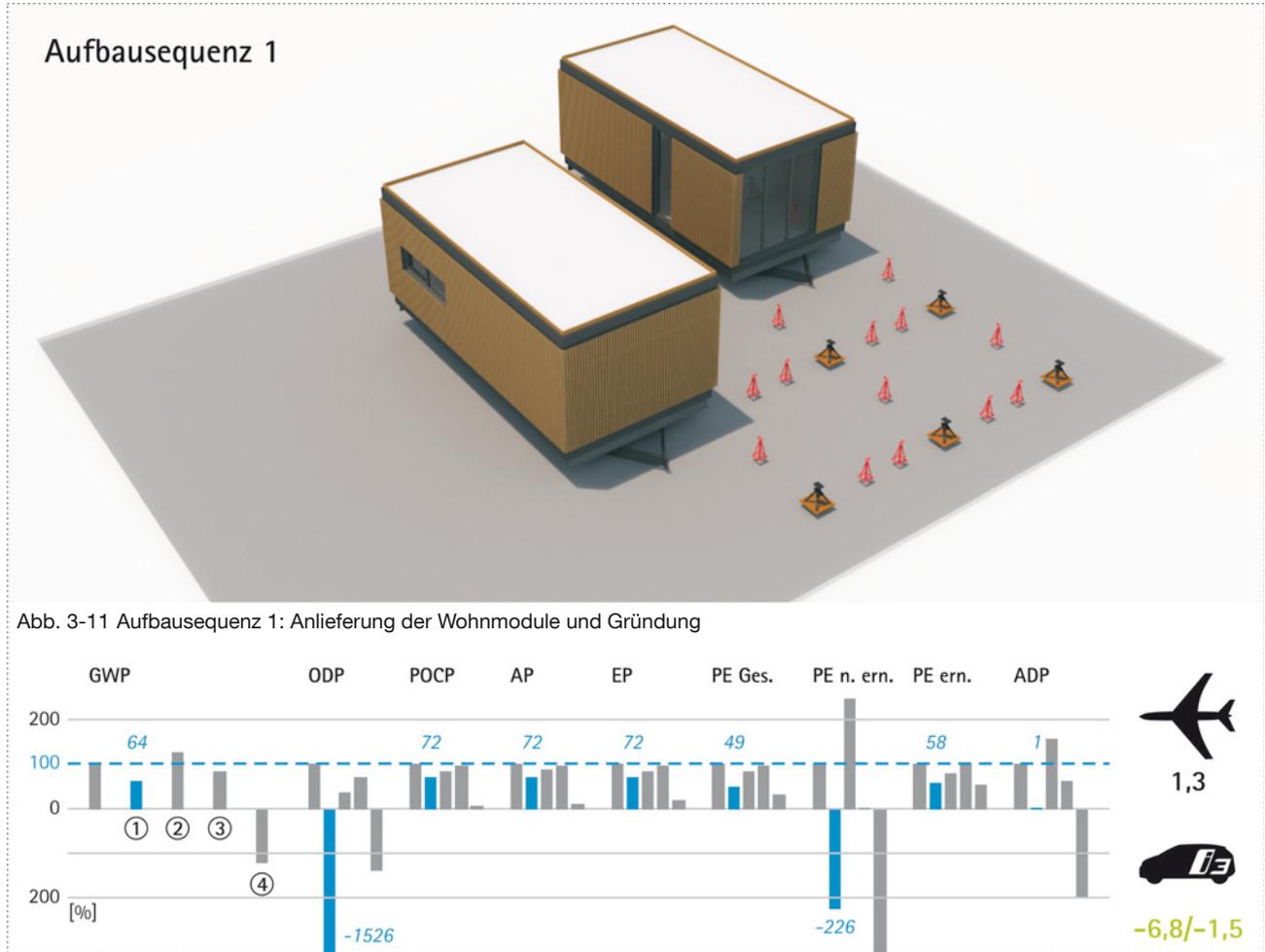


Im Unterschied zur Aufbausequenz 3 (Abb. 3-15) wurden für die finale Ökobilanz die Sonnenschutzmembranen abschließend hinzugefügt. Die verursachten Umwelteinflüsse des Gebäudes aus Treibhausgasen durch die Fertigstellung der Bausubstanz sind einer 2-maligen Flugreise (Hin- und Rückflug) von München nach Austin gleichzusetzen, was gering scheint, jedoch aufzeigt, welchen enormen Einfluss Flugreisen auf die Umwelt haben. Mit dem BMWi3 könnte die Strecke 3 mal bestritten werden. Rund 70% der Entfernung von München nach Austin können mit dem PKW Euro 4 (Diesel) zurückgelegt werden. Hier sei noch-

mals erwähnt, dass der PKW-Vergleich nicht dem Flugzeug gegenübergestellt werden kann, da zwei unterschiedliche Umweltindikatoren zugrunde liegen.

3.1.4.4 Photovoltaikmodule

Die Herstellung der Photovoltaikmodule als Bestandteil der Technik für den Gebäudebetrieb wurde nicht in der obigen Bilanzierung berücksichtigt und soll im Folgenden betrachtet werden. Der Datensatz der Ökobau.dat 2016-I diene hierfür als Grundlage. Auf Herstellung (A1-A3) und Beseitigung (C4) der PV-Module entfallen, bei einem einmaligen



gen Austausch der Module im betrachteten Lebenszyklus von 50 Jahren und abzüglich der Materialgutschriften (D), 248.590 MJ nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf. Die Baumaterialien des nexushauses nehmen bei der Betrachtung der definierten Lebensdauer lediglich 8.005 MJ ein. Das entspricht lediglich 3,22% der Umweltauswirkungen aus fossilen Energieträgern im Vergleich zur Ökobilanz der PV-Anlage. Die Stromgutschriften aus dem Betrieb können das hohe Defizit jedoch sehr schnell kompensieren.

3.1.4.5 Aufbausequenz 1

Die Bausubstanz der Wohnmodule ist für 64% der Treibhausgasemissionen (GWP) und für fast 50% des gesamten Primärenergieeinsatzes (PE Ges.) verantwortlich. Die Stahlfüße zur Gebäudegründung werden in der Bilanzierung nicht berücksichtigt, da sie nach Gebrauch dem Hersteller als Serviceprodukt zurückgegeben werden und die angesetzte Nutzungsdauer von 50 Jahren überdauern. Nicht unberücksichtigt bleiben hingegen die Stahlchassis, die für den Modultransport von Bedeutung waren und fest mit dem Gebäude verbaut sind. Der Einfluss des Gebäu-

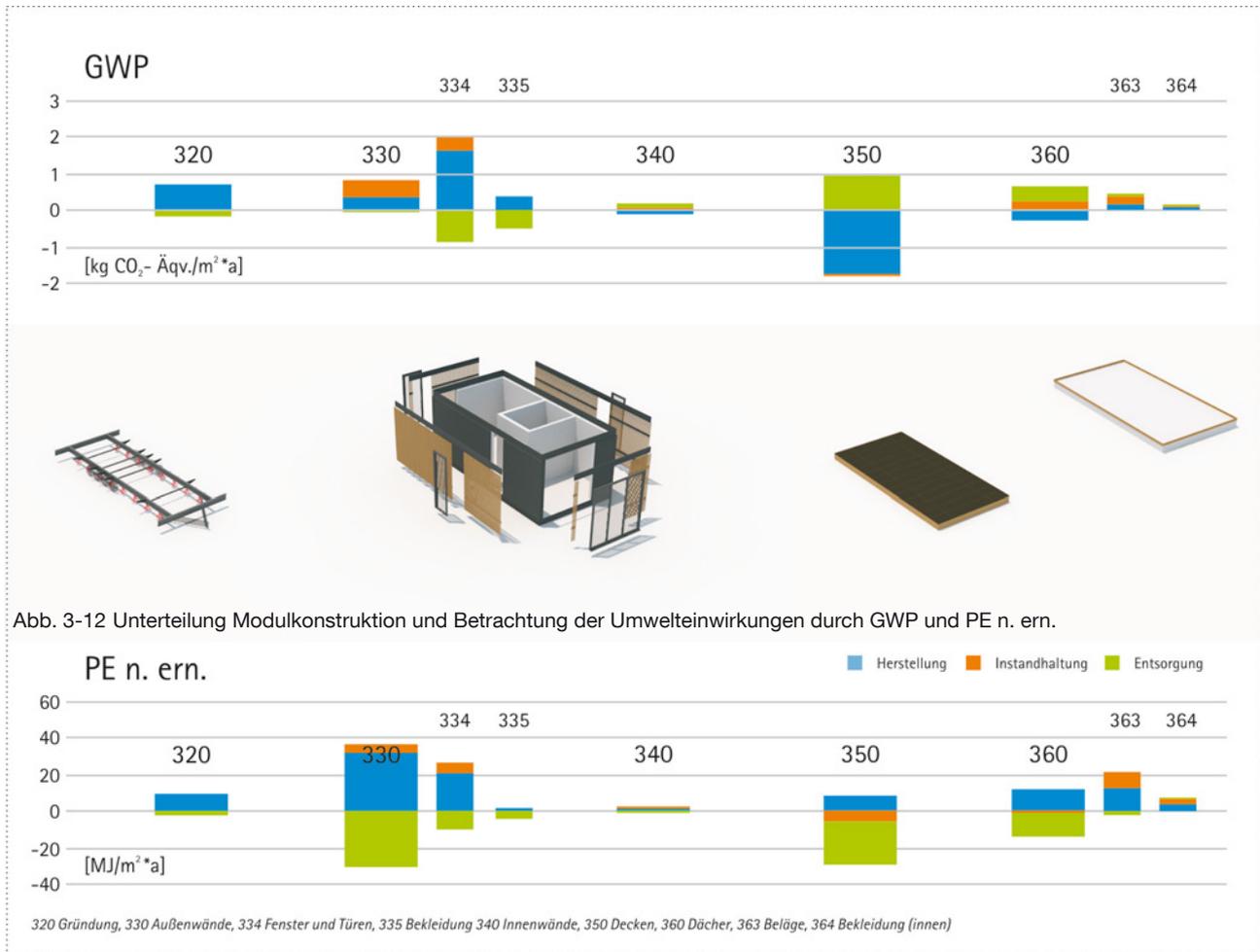


Abb. 3-12 Unterteilung Modulkonstruktion und Betrachtung der Umwelteinwirkungen durch GWP und PE n. ern.

detransportes von Austin nach Irvine und zurück wurde bereits in der Einleitung zum Abschnitt Lebenszyklusanalyse nexushaus erläutert und ist nicht Inhalt der hier dargestellten Aufbausequenzen.

Die Wohnmodule verursachen einen äquivalenten CO₂-Ausstoß von 2,42 t CO₂-Äqv. Die Emissionen sind gleichzusetzen mit einer 1,3-maligen Flugreise von München nach Austin (Hin- und Rückflug). Bei den nicht erneuerbaren Primärenergien überwiegen die Gutschriften. Dabei werden die Auswirkungen des fertigen Gebäudes um 226% unterschritten, was äquivalent fast 7 Fahrten mit dem BMWi3

des angenommenen Streckenvergleiches ausmacht.

Abbildung 3-12 zeigt die Auswirkungen der einzelnen Bauteile nochmal im Detail. Die Summe der Gutschriften aus Instandhaltungs- und Entsorgungsmaßnahmen ist größer als der Bedarf an PE n. ern. für die Herstellung und Instandhaltung der Wohnmodule. Größten Umwelteinfluss bei der bilanzierten Herstellung der Außenwände (330) haben dabei die Fenster bzw. Fenstertüren (334). Bei der Fassadenkonstruktion (335) sind die Gutschriften der Entsorgung durch die thermische Verwertung des Holzes größer als der notwendige PE n. ern. für die Herstellung.

Die Fassadenkonstruktion überdauert ohne Austausch den Bilanzierungsraum von 50 Jahren, wobei ein möglicher Energieaufwand für die Instandhaltung entfällt. Die Bodenkonstruktion (350) besteht ausschließlich aus Holzwerkstoffen (Holzbelag, Holzstegträger und Zellulosedämmung), was ebenfalls für hohe Gutschriften sorgt. Bei der Dachkonstruktion sind der Belag aus EPS-Gefälledämmung und Dachfolie (363) sowie die Gipskartonbekleidung (364) für den Unterschied zur Bodenkonstruktion verantwortlich. Bei der detaillierten Betrachtung der Treibhausgasemissionen durch den Modulbau (Abb. 3-12, oben) fällt auf, dass es Gutschriften aus der Entsorgung nur für die Kostengruppen 320 Gründung und 330 Außenwände gibt. Bei Innenwand- (340), Decken- (350) und Dachkonstruktion (360) fallen Treibhausgasemissionen an. Durch den vermehrten Holzeinsatz werden Treibhausgasemissionen aus Decken- und Dachkonstruktion eingespart bzw. sie sind im Material eingelagert.

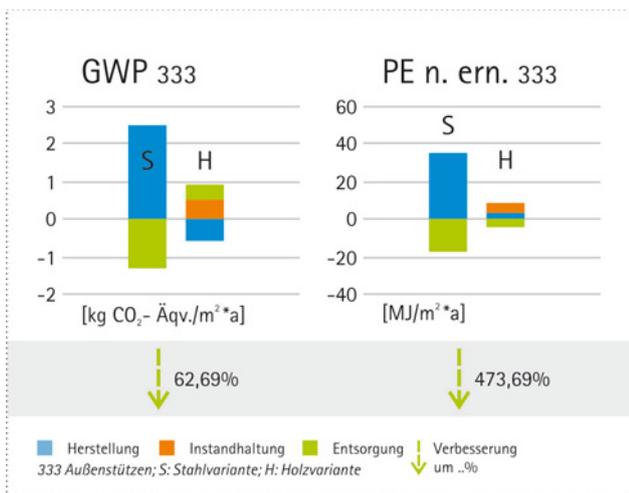


Abb. 3-13 Materialvergleich Stahl- vs. Holzträger

3.1.4.6 Aufbausequenz 2

Im zweiten Schritt (Abb. 3-14) wurden die Haupt- und Nebenträger für den Terrassenbelag montiert und parallel dazu die Stahlstützen aufgestellt sowie die Stahlträger des Sonnenschutzes gesetzt. Die Stahlgeländer zur Absturz-sicherung wurden an die Unterkonstruktion des Terrassenbelages geschraubt. Durch den Stahleinsatz wird die Summe der Treibhausgasemissionen in der Gesamtbilanz sogar um 27% überschritten. Der Gesamtprimärenergiebedarf ist gesunken, jedoch übersteigt der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf den Bedarf des finalen Bauzustands um 149%.

Die Unterkonstruktion des Sonnenschutzes war in früheren Planungsphasen in Massivholz geplant. Erst kurz vor Wettbewerbsbeginn wurden die Holzstützen und -binder durch Stahlhohlprofile ersetzt, da es Probleme bei der Lösung der Anschlusspunkte gab und der Stahlbau eine schnelle Alternative bot. Der Vergleich beider Varianten zeigt auf, dass neben der Gewichtsreduktion durch den Holzwerkstoff, auch die Umweltauswirkungen deutlich geringer gewesen wären (Abb.3-13). Das Holztragwerk verursacht nur gut 1/3 der CO₂-Emissionen. Holz schlägt den Werkstoff Stahl in fast allen Bewertungsindikatoren. Für die Indikatoren ODP und POCP werden höhere Umweltauswirkungen bilanziert, als beim Stahlwerkstoff. Das ist zurückzuführen auf den Herstellungsprozess und die gewählte Holzlasur in der Ökobilanz. Stahl erhält Gutschriften aus dem Recyclingprozess.

Der Stahleinsatz im Außenbereich erhöht den elementaren Ressourcenverbrauch (ADP 156%). Der Indikator, gemessen in kg Sb-Äqv., stellt den notwendigen Abbau der Roh-/Hilfsstoffe für die Stahlproduktion dar und somit die Reduktion der endlichen Ressourcen. Vorteile von Stahlwerkstoffen sind die lange Nutzungsdauer und eine hohe Recyclingquote des Materials. Je nach Verbindungstech-

Aufbausequenz 2

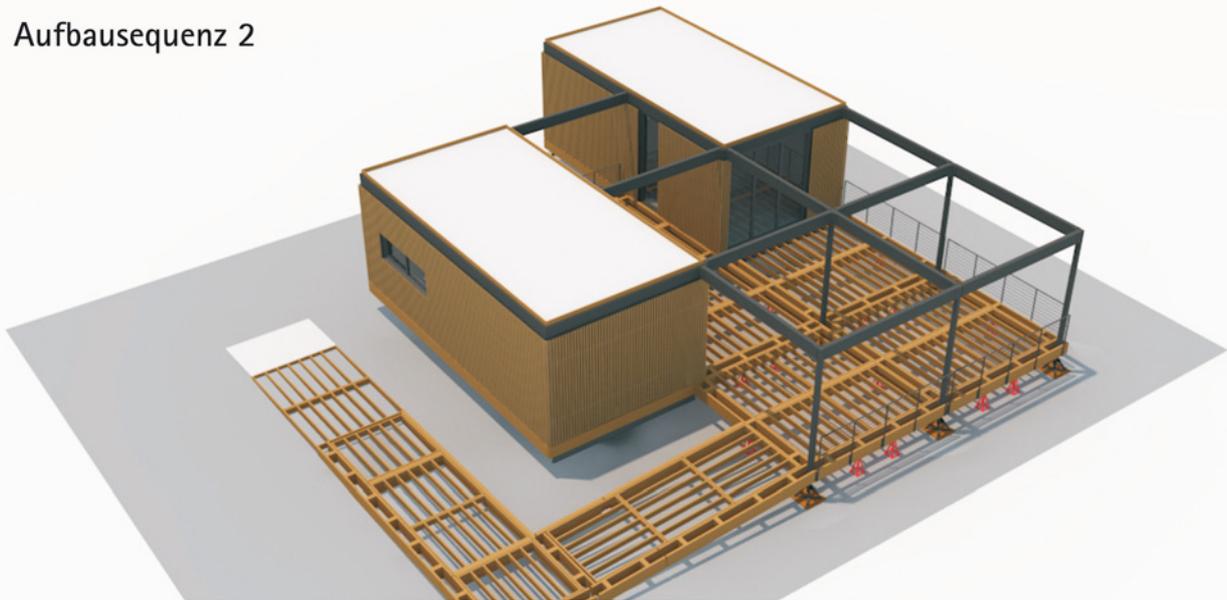
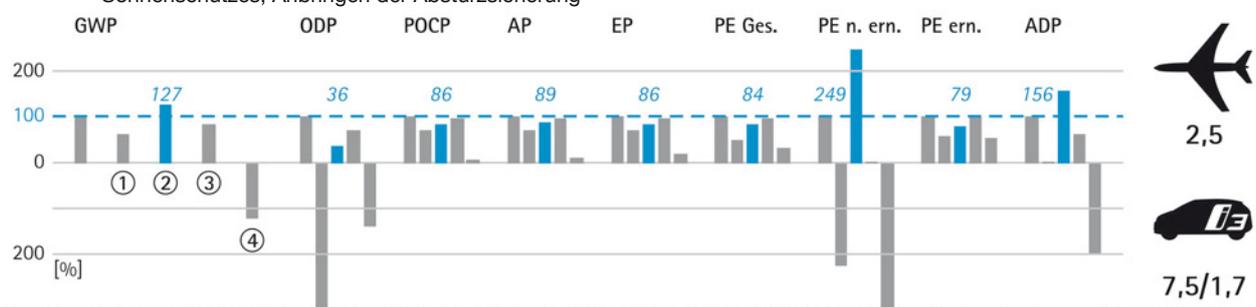


Abb. 3-14 Aufbausequenz 2: Montage Haupt- und Nebenträger des Terrassenbelages; Setzen der Stahlstützen und -träger des Sonnenschutzes; Anbringen der Absturzsicherung



nik können Stahlerzeugnisse für ein Recycling wieder- bzw. weiterverwendet werden. Dem Datensatz „Stahlprofil“ der ökobau.dat 2016-I ist zu entnehmen, dass 80% Sekundärrohstoff (z.B. Stahlschrott) für die Herstellung neuer Produkte zum Einsatz kommen. Durch die Zunahme an PE n. ern. der Aufbausequenz 2 steigen die äquivalenten Fahrten mit den Fahrzeugen. Der verbrauchten, nicht erneuerbare Primärenergie können insgesamt 7,5 Fahrten mit dem BMWi3 gleichgesetzt werden. Der gestiegene Emissionsausstoß entspricht einer 2,5-maligen Flugreise von München nach Austin (Hin- und Rückflug).

3.1.4.7 Celebrate Diversity

Die Innenbekleidungen für Decke, Wände und Boden sind zu 74% mit einem Anstrich versehen. 24% nimmt der Holzbodenbelag ein und die restlichen 2% sind mit Badfliesen bedeckt.

Werden wieder die Treibhausgasemissionen und der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf betrachtet, so führen hauptsächlich Anstrich und Fliesen zu einer Umweltbelastung. Der Holzbelag schlägt „positiv“ aus und entlastet die Umwelt in den genannten Indikatoren. Bei dem GWP ergibt sich eine Gutschrift von 43%. Bei einer Erhöhung um 14

Aufbausequenz 3

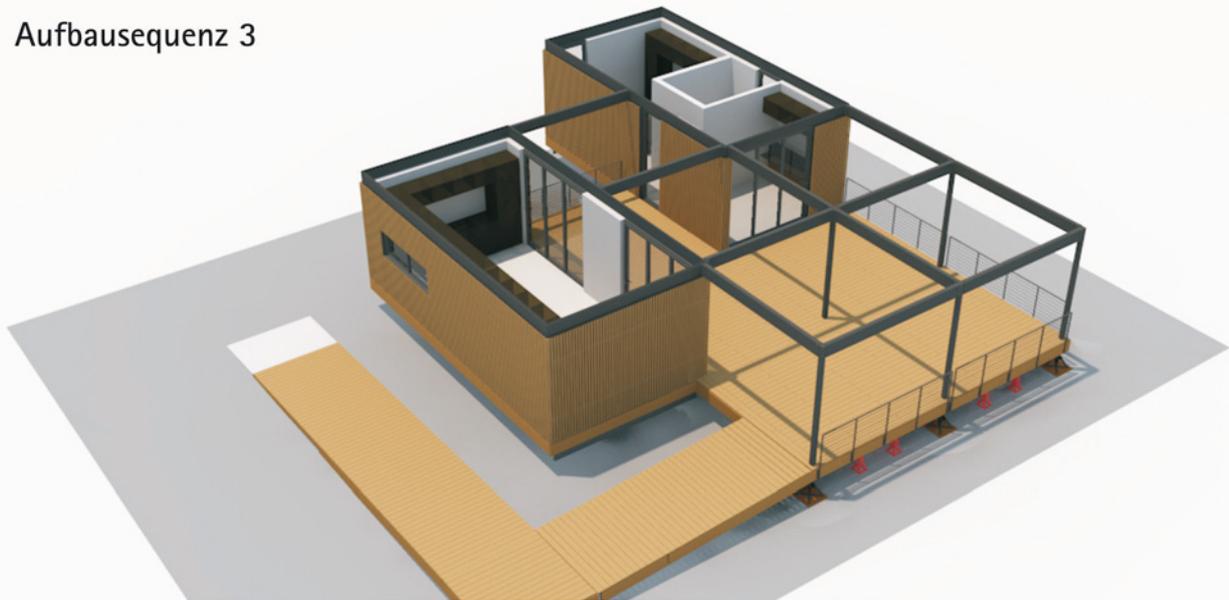
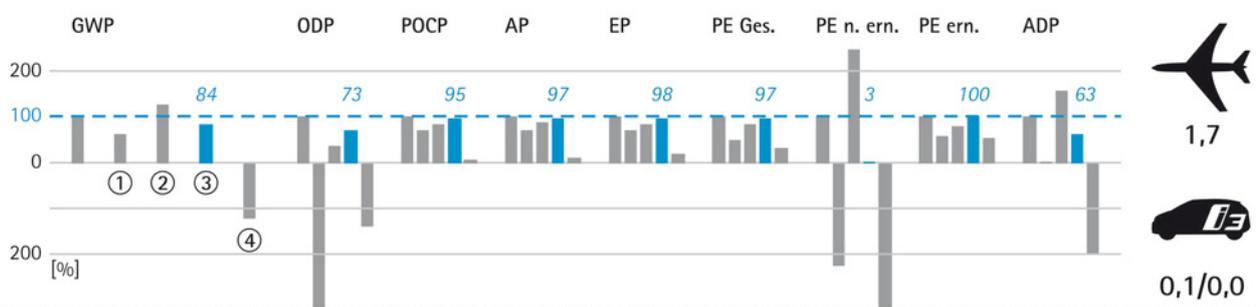


Abb. 3-15 Aufbausequenz 3: Verlegen des Terrassenbelages und Herstellung der Festeinbauten im Innenbereich



m² unbehandelter Holzoberfläche und einer gleichzeitigen Reduktion des Deckenanstriches hebt sich die Umwelteinwirkung auf. Wird neben dem Fußbodenbelag auch die Decke mit Holz bekleidet, neutralisiert sich der Anteil nicht erneuerbarer Energieträger am Gesamtprimärbedarf ebenfalls. Im Ergebnis müssten somit 50% der angenommenen 270 m² Oberflächenbekleidungen der Innenräume naturbelassen oder mit einer Holzverkleidung versehen werden, um keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt zu haben. Neben der Minimierung des Innenanstriches bleibt die Möglichkeit 6 m² (2%) mit Fliesen zu bekleiden beste-

hen. Eine Überlegung bei der Erstellung des nexushauses war, statt der Holzrahmenkonstruktion Massivholzwände und -decken einzusetzen. Neben dem Vorteil der sicheren Modulussteifung für den Gebäudetransport, hätten die Innenwände in Sichtoberfläche belassen werden können. Lediglich aus konstruktiven Holzschutzmaßnahmen (z.B. in Feuchträumen) und bei hochinstallierten Wänden wäre eine Vorsatzschale angebracht worden. Diese Maßnahme kann durch eine Reduktion des Materialeinsatzes zur verbesserten Ökobilanz und folglich zur Entlastung der Umweltauswirkungen führen.

Holzkonstruktion

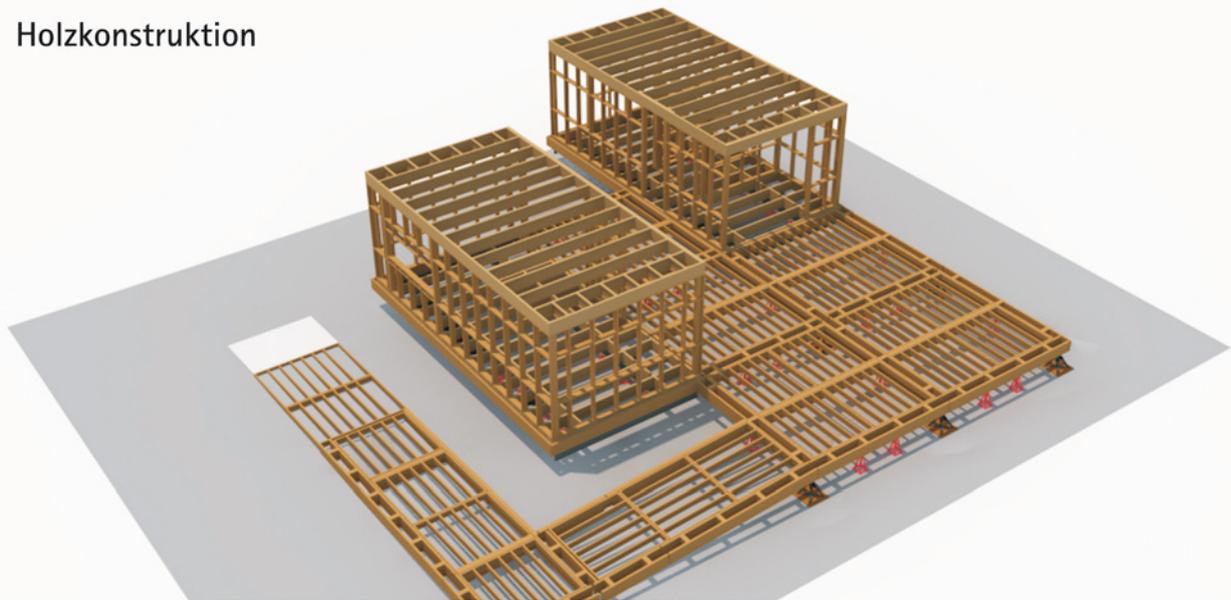
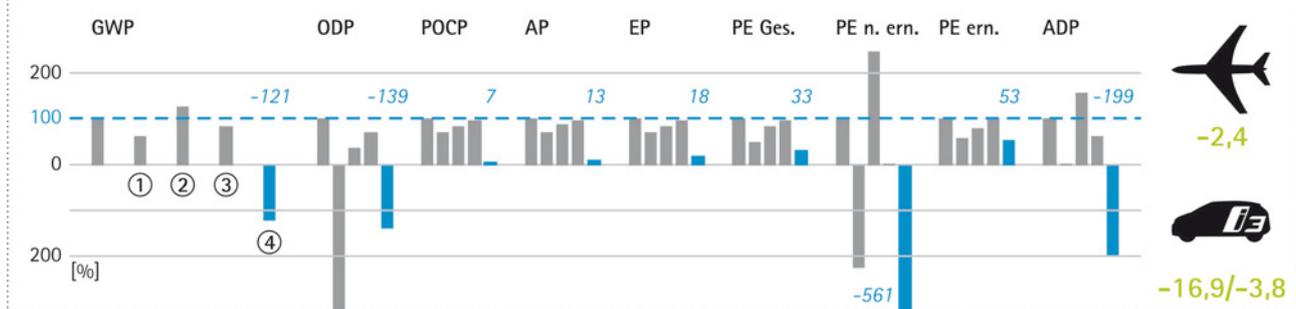


Abb. 3-16 Holzkonstruktion: Betrachtung des Holzgerüsts und den möglichen Umweltauswirkungen



3.1.4.8 Aufbausequenz 3

In der dritten Aufbausequenz (Abb. 3-15) wurde der Terrassenbelag verlegt und die Möblierung der Innenbereiche fertiggestellt. Die Holzwerkstoffe reduzieren die Umwelteinflüsse. Der PE n. ern. reduziert sich auf 3 % gegenüber dem fertigen Bauzustand. Daher sind auch die Angaben für den PKW-Vergleich annähernd neutral. Der Treibhausgasausstoß minimiert sich um knapp 20%.

3.1.4.9 Einfluss Holzkonstruktion auf die Ökobilanz

Der positive Einfluss des Holzmaterials zeigt sich auch, wenn in der Lebenszyklusanalyse nur das Holzskelett, einschließlich OSB-Beplankung (Abb. 3-16, nicht dargestellt), des nexushauses betrachtet wird. Das Material spart so viel Treibhausgasemissionen ein, dass Hin- und Rückflüge bzw. -fahrten bilanziell gutgeschrieben werden. Der positive Effekt des Holzeinsatzes bei Ökobilanzierungen lässt im Sinne des C2C Kritik zu. Die vorangegangenen Beispiele zeigen, dass die Stellschraube Holz oftmals positive Ergebnisse in der Bilanzierung verspricht. Jedoch bleibt

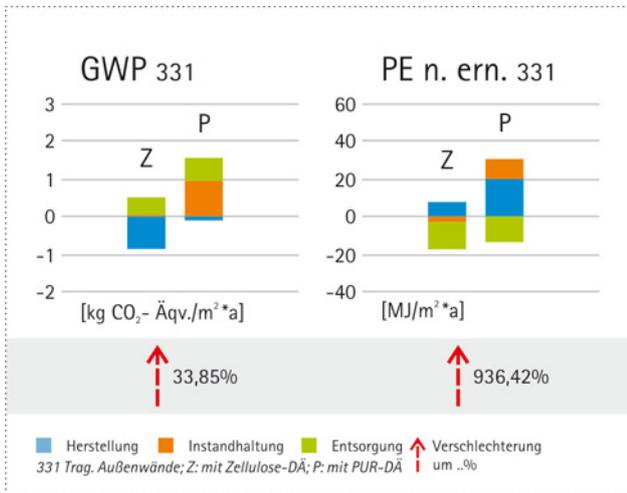


Abb. 3-17 Materialvergleich Zellulose- vs. PUR-Dämmung

dabei in der Ökobilanz der jahrelange Reifeprozess des Holzwerkstoffes unberücksichtigt. Darüber hinaus ist es zweitrangig, ob das verwendete Bauholz einer nachhaltigen Bewirtschaftung entnommen wurde.

Ein weiterer Vergleich zu einem alternativen Dämmmaterial des Holzgefaches wurde untersucht: Die Zellosedämmung soll dem in Amerika üblichen PUR-Sprühverfahren gegenübergestellt werden. Anwendung findet der Dämmstoff in den Wand-, Decken- und Bodenkonstruktionen. Nachdem das Verfahren in Deutschland eher unbekannt ist, wurde nach Ökobau.dat (2011) die „PU-Dämmplatte“ bilanziert. Bereits bei der Betrachtung der Außenwand werden die negativen Auswirkungen durch den Materialwechsel deutlich. Der n. ern. Primärenergieaufwand bei der PU-Dämmplatte übersteigt den des Zellulosewerkstoffes beträchtlich (+ 936,42%, Abb. 3-17). Die äquivalenten CO₂-Emissionen erhöhen sich um 33,85%. Ein weiterer sichtbarer Unterschied in der Abbildung 3-17 zeigt sich in den Gutschriften. Die Entsorgung der Materialien wird dem GWP durch anfallende Emissionen angelastet und durch

die thermische Verwertung von Zellulose- und PUR-Dämmung dem nicht erneuerbaren PE gutgeschrieben.

3.1.3.10 Offsets

Die äquivalente Anzahl an Flügen für die entstandenen Treibhausgasemissionen kann durch die Unterstützung von nachhaltigen Projekten kompensiert werden. In der C2C-Produktezertifizierung werden durch Offset-Zahlungen Treibhausgasemissionen aus der Energiebereitstellung kompensiert. Die finalen zwei Hin- und Rückflüge von München nach Austin ergeben laut atmosfair.de für eine Person eine Ausgleichszahlung von 261 EUR [3.24]. Der Betrag unterstützt nationale und internationale Klimaschutzprojekte. Eine Alternative Offset Lösung wird im Kapitel 3.4 vorgestellt. Die Studierenden haben 1.300 Bäume gepflanzt, wobei sie die anfallenden Treibhausgasemissionen aktiv kompensieren konnten.

3.1.3.11 Graue Energie

Für die Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung bzw. das Recycling von Produkten und Komponenten der Gebäudekonstruktion werden erneuerbare und nicht erneuerbare Energieträger verbraucht. Ein effizienter Gebäudebetrieb und eine kompakte Bauweise sparen Energie ein und reduzieren den Emissionsausstoß. Gleiches soll bei der Betrachtung der Grauen Energie verfolgt werden.

Die Ökobilanz des nexushauses sagt einen jährlichen Gesamtenergieverbrauch der Baukonstruktion von 89,12 MJ/m²_{NGF} voraus. Davon werden 96,8% (86,27 MJ/m²_{NGF}*) regenerativ bereitgestellt, der Rest erfolgt über fossile Energieträger.

Nach Cradle to Cradle dürfen Energien, die nachhaltig bereitgestellt werden in Verschwendung konsumiert werden, da diese keinen negativen Einfluss auf unser Ökosystem haben. Aus diesem Grund liegt der Fokus in der

folgenden Betrachtung der Grauen Energie beim Einsatz nicht erneuerbarer Energieträger, worunter z.B. Rohöl, Erdgas, usw. fallen.

Nicht erneuerbare Energie wird dabei durch die Konstruktion von Gründung, Außenwänden und Innenwänden verursacht. Bei den Decken-, Dachkonstruktionen und festen Einbauten überwiegen die Gutschriften bei Instandhaltung und Entsorgung den fossilen Energieeinsatz bei der Herstellung. Die Gutschriften kommen durch die thermische Verwertung der Materialien zustande. Durch die Verbrennung entsteht thermische Energie, mit Hilfe derer zusätzlich elektrische Energie in Form von Strom erzeugt wird (Kraft-Wärme-Kopplung) [3.17]. Beide Energieträger können neue Prozesse generieren und sparen somit den Einsatz fossiler Energieträger ein. Mit lediglich $2,85 \text{ MJ/m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$ ist der nicht erneuerbare Anteil der Primärenergie sehr gering und kann bspw. durch die Bereitstellung an Stromüberschuss aus den PV-Modulen gut kompensiert werden (Abb. 3-18). Bei einer Nettogrundfläche (NGF) von $56,13 \text{ m}^2$ und einem Gebäudelebenszyklus des nexushauses von 50 Jahren werden insgesamt $7.998,53 \text{ MJ PE n.ern. eingesetzt}$, das

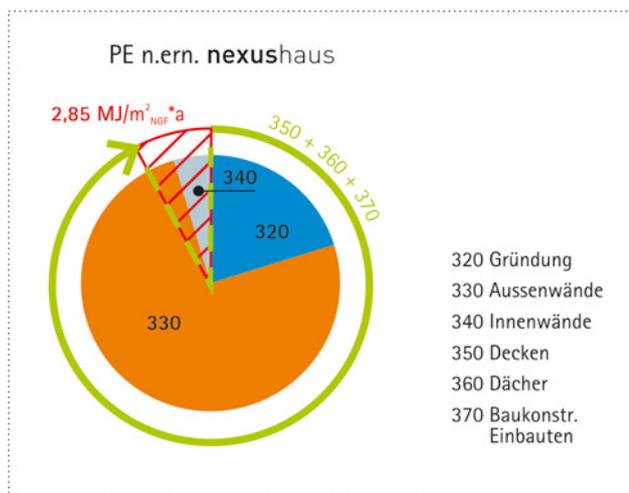


Abb. 3-18 Anteil nicht erneuerbarer Primärenergie

entspricht $2.221,81 \text{ kWh}$.

Im folgenden Kapitel Energie wurde der Autarkiegrad durch die Photovoltaikmodule für den Standort München und den installierten Modulen des Ausgangsfall mit $23,58\%$ kalkuliert. Den Ausgangsfall stellt die PV-Anlage des nexushauses zum Solar Decathlon Wettbewerb dar. Die 28 PV-Module haben einen jährlichen Stromertrag von 6.480 kWh . Davon werden, bei einem Nutzerprofil eines 2-Personen-Haushaltes, lediglich 1.528 kWh/a ($23,58\%$) als Eigenbedarfsdeckung verbraucht. Der überschüssige Stromertrag wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist und kompensiert dabei den Anteil nicht erneuerbarer Primärenergie am Gesamtenergieverbrauch für den Produktlebenszyklus der Gebäudekonstruktion. Bereits nach dem ersten Jahr der Inbetriebnahme der PV-Anlage wird das Defizit rechnerisch kompensiert.

Die intensive Auseinandersetzung mit der Ökobilanz des nexushauses zeigt, dass eine Gegenüberstellung der Konstruktionen bei der finalen Materialwahl helfen kann, mögliche Umweltauswirkungen abzuschätzen. Nachdem die Effektivitätsstrategie nach Cradle to Cradle bislang noch nicht umsetzbar ist, sind Lebenszyklusanalysen ein gutes Werkzeug, um umweltschonende Konstruktionsvarianten voranzutreiben.

Insgesamt stellt das nexushaus sowohl bei den Treibhausgasemissionen als auch bei dem Gesamtprimärenergiebedarf ein Beispiel nach Cradle to Cradle dar. Wenn auch nicht alle Umweltauswirkungen rechnerisch positiv dargestellt werden konnten, so können zusätzliche Kompensationsmaßnahmen einen positiven ökologischen Fußabdruck im Bauwesen ermöglichen.

3.1.5 Rückbau- und Recyclingpotentiale

Design for Disassembly/Reverse and Adaptability

Derzeit unterscheiden wir zwischen zwei übergeordnete Recycling-Szenarien. Noch überwiegt der lineare Recyclingprozess, bei dem ein Produkt gekauft, gebraucht und anschließend entsorgt wird, ohne zu hinterfragen, was damit passiert. Optimiertes und zukünftiges Ziel ist das kreislaufgeführte Produktrecycling. Ein Produkt wird gekauft, gebraucht bzw. verbraucht und dem Hersteller oder der Natur zurückgegeben, um daraus ein neues Produkt zu erstellen. Entscheidend für eine uneingeschränkte Rezyklierbarkeit in den technischen oder biologischen Stoffkreislauf ist das Zerlegen aller Systemkomponenten in ihre Einzelteile, was es erforderlich macht, bereits in frühen Planungsphasen an das „Design for Disassembly“ zu denken. Je besser bereits der Aufbau des Hauses (Assembly) geplant wurde, umso einfacher kann der Rückbau vonstattengehen und desto wahrscheinlicher ist es auch, dass dieser durchgeführt wird. Sind nur wenige Schritte für einen selektiven Rückbau erforderlich, so können Kosten gegen-

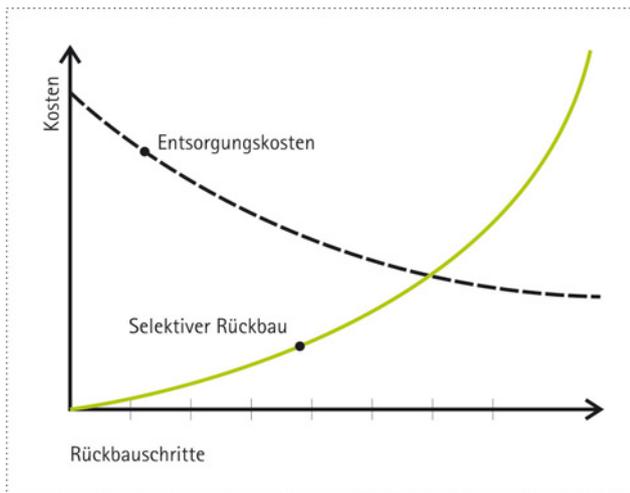


Abb. 3-19 Kostenentwicklung durch selektiven Rückbau [3.25]

über der alternativen Entsorgung von Materialien und Komponenten reduziert werden (Abb. 3-19.)

Die Möglichkeit Bauteilkomponenten (z.B. Fenster), aber auch Haushalts- und Elektronikgeräte in einen Servicekreislauf zurückzuführen (Reverse), setzt voraus, dass Rückbau- und Recyclingpotentiale bei der Planung berücksichtigt werden. Seltene Erden können dadurch bspw. im technischen Stoffkreislauf bleiben.

Auf Veränderung zu reagieren ist die Strategie von „Design for Adaptability“. Um Gebäude anpassungsfähig und resilient zu gestalten, müssen sie sich den Lebensabschnitten der Bewohner anpassen können oder flexible Nutzungsmöglichkeiten (Wohnen, Arbeiten) zulassen.

Die Endlichkeit von Ressourcen erhöht den Stellenwert, in Zukunft die Wieder- und Weiterverwertung durch Materialrecycling des anthropogenen Lagers voranzutreiben. Ein ökologisch positiver Gebäudefußabdruck gelingt nur, wenn der Komplettrückbau nach der Nutzungsphase angestrebt und eine Revitalisierung der ehemals versiegelten Grundstückfläche möglich ist.

3.1.5.1 Literatur

Einen guten Einstieg in diese Themen bieten hierbei die Überlegungen des Architekten Frank Duffy zu den „Shearing Layers - Shell, Services, Scenery and Sets“. Etwas genauer aufgegriffen und erweitert von dem Autor Stewart Brand in dem Buch „How buildings learn: What happens after they are built“ [3.26]. Hierbei werden den Gebäudekomponenten verschiedene Lebenszyklen zugeschrieben, um sich deren Lebensende bewusst zu werden und diese, im Optimalfall, in den Planungsprozess zu integrieren. Beginnend mit dem Grundstück (Site), welches die Lebenszeit des Bauwerks überdauert, folgt die Tragstruktur (Structure) und Fundamentierung mit einer angenommenen Lebenszeit von 30-300 Jahren. Die Hülle (Skin) mit

Fenstern und Bekleidung wird alle 20 Jahre erneuert, die Verrohrung/-netzung (Services) von Sanitär, Heizung/Lüftung, Elektro und Kommunikationsleitungen haben nach Brand eine Nutzungszeit von 7 bis 15 Jahren, die Innenausstattung (Trennwände, Festeinbauten und Abhangdecken) 3-30 Jahre und schließlich die Inneneinrichtung, wie z.B. Möbel und Leuchten, die nutzerbedingt, täglich oder in monatlichen Zyklen verändert werden können. In den „six S’s“ ergänzt Brand die vorgenannten vier Gebäudekategorien um den *Space Plan* und *Stuff*. Dabei sollen mögliche Nutzungszeiten durch flexible Raumaufteilungen und veränderte Nutzungsbedingungen berücksichtigt werden. Einen detaillierteren Blick auf die einzelnen Materialkomponenten wirft dabei Eekhout in der „Hierarchy of building products“ [3.27] und startet dabei beim eigentlichen Materialrohstoff. Seine Hierarchie kann auf jedes der S’s von Brand angewendet werden. Die Komplexität des Gedankenspiels um die einzelnen Elemente wird bei der Beschreibung der Mini, Meso und Maxi-Produkte von Eekhout deutlich. Als kleinste Verbindungseinheit wäre die verzinkte Schraube ein *Element*, unverzinkt ein sog. *Subelement*. Zusammen

mit der Schraubenmutter und der Unterlegscheibe bilden sie als funktionelle Einheit das *Superelement*. Viele dieser Elemente werden zum *Meso-Produkt* zusammengefügt. Dabei handelt es sich um die Gebäudekomponenten (z.B. Pfosten-Riegel-Glasfassade als *Superkomponente*), welche in der Regel vorgefertigt auf die Baustelle angeliefert werden. Das *Maxi-Produkt* stellt das fertige Gebäude dar, zusammengesetzt aus unzähligen Komponenten (Abb. 3-20). Beide Konzepte verknüpft, bilden die Herausforderungen des selektiven Gebäuderückbaus bzw. der Anpassungsfähigkeit, mit dem Ziel den Austausch von Materialien nach deren Lebensende zu erleichtern und auf Veränderung flexibel und ohne großen Aufwand reagieren zu können.

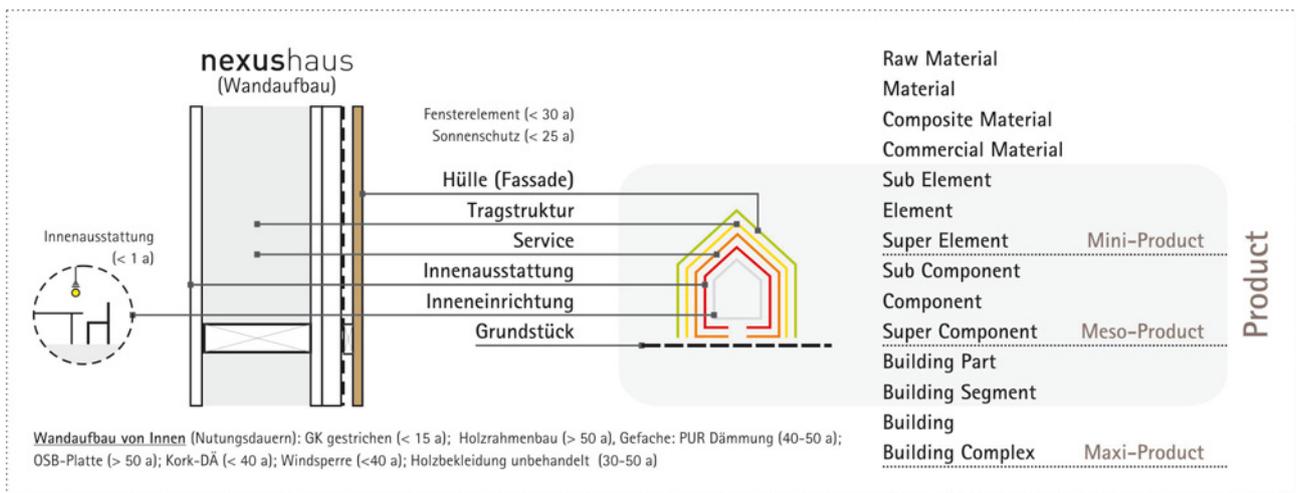


Abb. 3-20 Von rechts nach links: „Hierarchy of building products“ [3.27], „Shearing layers of change“ [3.26] und Fassadenschnitt des nexushauses mit den Nutzungsdauern laut BNB [3.28]. (Eigene Darstellung)

3.1.5.2 *Recyclingpotentiale des nexushauses*

Auf die Fassade des nexushauses angewandt, finden sich ebenfalls verschiedene Nutzungsdauern der einzelnen Bauteilkomponenten (Abb.3-20). Die tragende Holzrahmenbauweise überdauert die kalkulierte Lebenszeit des Gebäudes von 50 Jahren. Die Außenwandbekleidung in Form von senkrechten, unbehandelten Holzlamellen muss nach 30-50 Jahren erneuert werden. Als äußerste Gestaltungsschicht kann das, ohne großen Aufwand, vonstattengehen. Schwieriger wäre es bei der ursprünglich gewählten Zellulose-Einblasdämmung in dem Holzgefach, welche theoretisch einen Austausch nach 40 Jahren erfordert. Zellulose muss vor übermäßigem Feuchteintritt geschützt werden, außerdem setzt sich die Zellulosefaser im Laufe der Jahre, so dass sich im oberen Bereich eine Luftschicht ausbildet, welche eine Wärmebrücke bildet. Ein nachverdichten des Zellulosematerials ist möglich, jedoch nur mit hohem Aufwand. Für jedes Gefach muss eine Einblasöffnung hergestellt und nach Abschluss der Arbeiten wieder luftdicht verschlossen werden. Bei frei zugänglichen Innenwandflächen ist das noch eher denkbar, als bei vor der Wand fest installierten Möbeln, die das Vorhaben zusätzlich erschweren. Beim nexushaus kommt noch hinzu, dass die Wände durch zwei horizontale Riegel aus Kanthölzern durchzogen werden, die das Gefach in drei Bereiche unterteilt. Das nexushaus-Team hat sich schließlich gegen eine Zellulosedämmung und für eine PUR-Sprühdämmung entschieden. Die PUR Dämmung stellt die bekannte Praxis dar. Auf der Innenseite ist die Holzrahmenkonstruktion mit Gipskarton bekleidet (> 50 Jahre). Anschlüsse und Stöße werden im Laufe der Nutzungszeit stark durch thermische Verformungen beansprucht und können Undichtigkeiten aufweisen. Im nexushaus wurde auf eine Vorsatzschale für Elektroinstallation und Leitungsverzug verzichtet, um den Wohnraum nicht zusätzlich zu verkleinern. Wettbewerbs-

bedingt war eine maximale Wohnraumgröße festgelegt. Die Vorsatzschale bietet die Möglichkeit, den Wandkern vor Beschädigungen durch nutzerbedingte Verschönerungsmaßnahmen zu schützen. Steckdosen und Schalter können leichter versetzt und Nägel bzw. Schrauben von Bildern und Gegenständen beliebig gesetzt werden.

Fenster stellen laut Cradle to Cradle Philosophie ein Serviceprodukt dar. Bei einer Lebenszeit von max. 30 Jahren sollte der Fokus hin zu einem einfachen Ein- und Ausbau der Elemente gelegt werden. Nicht nur materialbedingt sind hier Grenzen gesetzt, auch neue Innovationen und Wärmeschutzverordnungen erforderten in der Vergangenheit den vorzeitigen Austausch. Auf einen direkten Sonnenschutz der Fenster wurde bei der Planung des nexushaus verzichtet, hierfür wurden die großzügigen Sonnensegel des Terrassenfreibereiches installiert. Je nach Materialwahl ist hier eine Sanierung nach weniger als 25 Jahren erforderlich. Innenanstriche werden laut BNB [3.28] alle 15 Jahre erneuert, der Holzbodenbelag überdauert fast die ange-dachte Lebenszeit von 50 Jahren, sollte jedoch mehrfach (8-10 Jahre) neu geölt oder versiegelt werden. Fliesen werden oft aufgrund von veränderten Schönheitsidealen entfernt, obwohl diese leicht der vorgesehenen Nutzungszeit standhalten können.

Eine lange Material- oder Produkthaltbarkeit wird oft als nachhaltig empfunden, was dem Recycling entgegenwirken kann, da mögliche Inhaltsstoffe zwar das Produkt langlebiger machen, die Zerlegung der Komponenten in ihre Einzelteile jedoch erschwert wird.

Cradle to Cradle empfiehlt in dem Paper „Criteria for the build environment“ [3.29] ebenfalls das sortenreine Recycling. Ein Haltbarkeitsdatum von 20-40 Jahren wird vorgeschlagen, da der Finanzierungsrahmen oft darauf ausgelegt ist und der Initiator den positiven Effekt seiner Veränderung noch erfahren kann.

Um den Rückbau eines Gebäudes und die Wiederverwendung von Gebäudeelementen und -komponenten zu ermöglichen sollten folgende Kriterien in der Planung berücksichtigt werden:

- *Nutzungsdauern von Material und Komponenten*
Die Haltbarkeit der eingesetzten Werkstoffe sollte bei der Planung bekannt sein, um deren Anordnung entsprechend der Instandhaltungszyklen zu berücksichtigen. Es gilt zu vermeiden, dass Materialien mit längeren Lebensdauern weichen müssen, um solche mit kürzerer Lebenszeit auszutauschen.
- *Zugänglichkeit*
Grundsätzlich sollten Anschlusspunkte und Verbindungen ohne großen Aufwand zugänglich sein, damit der Materialaustausch in wenigen Arbeitsschritten erfolgen kann.
- *Verbindungsmittel*
Verbindungsmittel (geschraubt, genagelt, geklebt) müssen leicht lösbar und möglichst einheitlich sein. Auf chemische, nicht lösbare Verbindungen sollte grundsätzlich verzichtet werden.
- *Konstruktive Lösungen*
Die richtige Planung und Ausführung von konstruktiven Schutzmaßnahmen ist zu favorisieren (z.B. konstruktiver Holzschutz). Schädliche Inhaltsstoffe als Materialschutz sind zu vermeiden.
- *Materialverschleiß und Pflege*
Der sorgsame Umgang mit dem Material sowie die richtige Pflege und Handhabung durch den Nutzer ist sicherzustellen.

3.1.5.3 Transformierungsqualitäten

Wie komplex die Auseinandersetzung mit dem Gebäuderückbau sein kann zeigt Durmisevic in Ihrem Buch „Green design and assembly of buildings and systems - Design for Disassembly a key to Life Cycle Design of buildings and building products“. Durmisevic beschreibt darin eine Methode, um die mögliche Transformierbarkeit eines Gebäudes bewerten zu können. 17 Parameter gewichten dabei die neun definierten Rückbaukriterien, welche wiederum drei Indikatoren bewerten, die für die Gebäudetransformation von Bedeutung sind. Die ursprünglich acht Rückbaukriterien wurden durch ein weiteres ergänzt, welches als Grundlage nicht fehlen sollte, so setzen die Kenntnisse über Materialeigenschaften und -beschaffenheit den richtigen Einsatz im Bauvorhaben voraus (Abb. 3-21). Entscheidend für eine erfolgreiche Gebäudeadaptation oder den -rückbau sind laut Durmisevic die Unabhängigkeit der Systeme (z.B. Wand, Decke und Fußboden) und die Differenzierung der Materialfunktionen. Die Austauschbarkeit hängt mitunter von der Kantenausbildung und der Art des Verbindungsmittels ab. [3.25]

Materialeigenschaften

Die Materialkenntnis steht am Anfang jeder Betrachtung. Die Beschaffenheit des Werkstoffes muss der Funktion gerecht werden können. Zusätzliche Eigenschaften, wie die Rohdichte und der Wärmedurchgang, das Feuchte- und Brandverhalten, die Biege- und Zugfestigkeit helfen bei der richtigen Materialwahl.

Der Rohstoff wird häufig um Zusatzstoffe, wie bspw. dem Klebstoff bei der OSB-Platte, ergänzt. Beschleuniger verkürzen beispielsweise den Härtingsprozess des Betons. Farbpigmente verändern die Ursprungsfarbe und dienen der Gestaltung. Das Wissen um die Materialkomposition ist von hoher Bedeutung, da die Trennbarkeit der Inhalts-

stoffe für das Material-/Produktrecycling nach Cradle to Cradle ausschlaggebend ist. Der Bio-Dämmstoff HOIZ® des Unternehmens Baufritz ersetzt chemische Zusätze für Brandschutz und Schutz vor Schädlingsbefall durch die natürlichen Produkte Molke und Soda, was das Produkt ganzheitlich zu einem biologischen Nährstoff macht. Der Dämmstoff ist mit dem Gold-Level der C2C-Produktzertifizierung ausgezeichnet. [3.30]

Funktionsunabhängigkeit 1.1

Neben der Materialeigenschaften wird zwischen einer Funktionsunabhängigkeit und einer möglichen Verknüpfung von Funktionen unterschieden. Der Holzrahmenbau des nexus-hauses stellt in Funktion die Tragfähigkeit des Gebäudes sicher. Ergänzend wurde zur Aussteifung des Hauses eine außenseitige OSB-Beplankung montiert. Es folgen eine

Korkdämmung zur Minimierung des Wärmedurchgangs, eine Windsperre und schließlich die Fassadenkonstruktion als gestalterisches Element. Innenseitig wurde der Holzrahmenbau um die Gipskartonbeplankung erweitert.

Die Nutzungsdauern der Elemente nimmt vom Kernelement (der Holzrahmenkonstruktion) nach außen hin ab, wobei die Installationen in den Gefachen eine Schwachstelle für das *Design for Disassembly* darstellen.

Funktionsverknüpfung 1.2

Die Hohlräume der Tragkonstruktion wurden um zwei weitere Funktionen ergänzt. So dienten sie als Leitungsverzug für Elektro-, Kommunikations- und Wasserinstallationen und außerdem erfolgte durch die PUR Sprühdämmung ein verbesserter Wärmeschutz. Die Funktionsverknüpfung scheint sinnvoll, erschwert jedoch die Zugänglichkeit der

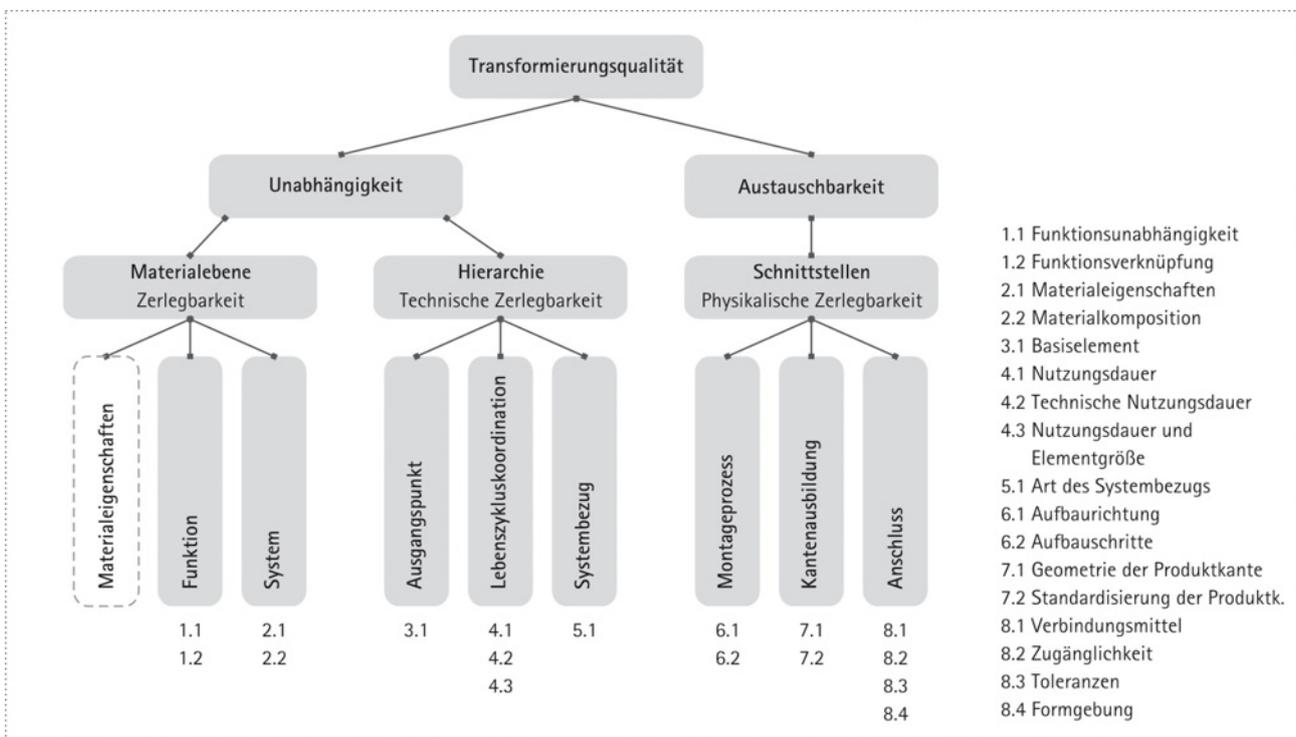


Abb. 3-21 Einflussfaktoren bei der Qualität der Gebäudetransformation. Angelehnt an die Darstellungen von Elma Durmisevic [3.25].

einzelnen Gewerke.

Die OSB-Beplankung ist neben der aussteifenden Funktion auch Trägerplatte für Korkdämmung und Fassadenkonstruktion. Die Gipskartonbeplankung als innerer Fassadenabschluss ermöglicht das Anbringen von Schaltersystemen, Bildern und Elektrogeräten, wie die Wandbefestigung des Fernsehgerätes. Durch die vorbeschriebene Funktionszusammenlegung einzelner Komponenten des Case-Study-Hauses wurde eine ungewollte Abhängigkeit der installierten Systeme geschaffen, die einen selektiven Rückbau erschweren. In der Planung berücksichtigte Leitungsschächte sind besonders bei größeren Bauvorhaben eine sinnvolle Lösung. Die Leitungen sind schnell zugänglich und erleichtern zudem das Nachrüsten bei Bedarf.

Systematisierung und funktionelle Einheit 2.1/2.2

Anstatt, wie vorher beschrieben, alles einzeln vor Ort zu montieren, können Materialien, Elemente und Komponenten zu einer Einheit gebündelt werden. Die Vorfertigung erfolgt wetterunabhängig und der Aufbauprozess kann dadurch beschleunigt werden. Elemente gleicher Lebensdauer oder Funktion könnten dabei eine Einheit bilden. Wandsysteme, die im Werk gefertigt und als Einheit auf die Baustelle transportiert werden, sind hierfür ein Beispiel.

Hierarchie

Die Technische Zerlegbarkeit wird durch die Anordnung der Materialien bestimmt. Wie die Gliederung erfolgt hängt, beginnend mit dem Basiselement, von der Nutzungsdauer des Materials und der Materialfügung bzw. dem Systembezug ab.

Basiselement 3.1

Jede Konstruktion beginnt mit einem Ausgangselement. Bei der Wandkonstruktion des nexushauses ist es das Sockelbrett der Holzrahmenkonstruktion. Weiter aus der Ferne betrachtet wäre es wiederum die Konstruktion der Bodenplatte auf die die Wandkonstruktion gestellt ist und befestigt wird. Die Basiselemente des gesamten Gebäudes bilden die justierbaren Stahlfüße, welche auf der Asphaltfläche des Wettbewerbsgrundstückes befestigt wurden.

Nutzungsdauer 4.1 - 4.3

Jedem Material wird eine unterschiedlich lange Lebensdauer prognostiziert, die stark von der Planung, Ausführung und Pflege des Bauteils abhängig ist. Gemäß der *Shearing Layers* (siehe 3.1.5.1) ist es sinnvoll, Materialien und Produkte mit kurzer Lebensdauer besser erreichbar zu machen als andere mit langer Lebenszeit. Eine Fehlplanung liegt vor, wenn intakte Bauteile demontiert und zerstört werden, um andere zu erneuern. Die Größe des zu ersetzenden Elements ist ebenfalls von Bedeutung und sollte bei der Planung berücksichtigt werden.

Die Roadmap von Cradle to Cradle beinhaltet mögliche Austauschzeiten bzw. soll über die Rückführung von Materialien an den Produkthersteller nach deren Nutzungsende informieren. Auf die Roadmap wird im Kapitel 4 genauer eingegangen.

Systembezug 5.1

In welcher Beziehung die Elemente und Komponenten zueinander stehen, ist vor dem Eingriff zu untersuchen, um durch den Materialaustausch keine Gefahren darzustellen. Hierbei wird auch unterschieden, ob es einen horizontalen oder vertikalen Systembezug gibt. Die Wand des nexushauses zum Beispiel wird „vertikal“ auf die Bodenkonstruktion montiert. Die Fixierung der Wandbekleidung erfolgt

hingegen in „horizontaler“ Richtung. Die Systemabhängigkeiten sind gering zu halten, um den Rückbau zu vereinfachen.

Schnittstellen

Um den Austausch von Materialien und Bauteilen zu ermöglichen, gilt es Verbindungen und Knotenpunkte zu entwerfen, die zugänglich sind. Toleranzen bei der Planung und Ausführung stellen dabei die Zugänglichkeit sicher. Oftmals ist durch die vorgefertigte Kantenausbildung der Produkte die Montageart vorgegeben. Seltener sollten die Aufbauschritte erst vor Ort festgelegt werden.

Aufbaurichtung 6.1

Durmisevic unterscheidet in Abb. 3-22 sechs mögliche Aufbauarten. Das „closed assembly“ stellt dabei ein System voller Abhängigkeiten dar. Es kann kein Element entfernt werden, ohne dabei auch andere Komponenten zu tangieren. Das „layered assembly“ findet Anwendung bei Fußboden-, Decken- und Wandaufbauten. Die einzelnen Materialschichten werden nacheinander aufgebracht. Der Rückbau

kann nur in umgekehrter Reihenfolge passieren. Ähnlich ist es beim „stuck assembly“. Es müssen erst andere Elemente entfernt werden um Zugang zu dem eigentlichen Werkstoff zu bekommen. Beispielsweise können die Rohrleitungen der Badinstallation nur erreicht werden, wenn die vorgelagerten Elemente entfernt werden, was Revisionsöffnungen an wichtigen Knotenpunkten erfordert. Das „open assembly“ ermöglicht, ähnlich wie beim „shared assembly“, eine unabhängige Demontage der einzelnen Komponenten. Die vorgehängte Fassade kann dem „table assembly“ zugeordnet werden. Jede Komponente hat als Ausgangspunkt seine eigene Basis.

Aufbauschritte 6.2

Der Wandaufbau des nexushauses erforderte durch die Vor-Ort-Montage mehrere Aufbauschritte. Nachdem die Holzrahmenkonstruktion mit der OSB-Beplankung vorgefertigt wurde haben die Studierenden den restlichen Aufbau selbst vorgenommen. Der angelieferte Rohbau stellt somit den Ausgangspunkt des weiteren Aufbaus, dargestellt in Abb.3-23, dar. Der Reihe nach wurden schließlich die fehlenden Schichten der Außenbekleidung aufgebracht. Parallel dazu sind die Komponenten der Fassade erstellt worden. Anstatt alle Holzlamellen einzeln zu befestigen, haben sich die Studierenden entschieden, die Elemente von ca. 1,20 m Breite vorzufertigen. Die modulare Befestigung sparte Montagezeit ein. Durch den LKW-Transport der fertigen Wohnmodule mussten max. Abmessungen der Ladung eingehalten werden. Die Fassadenelemente konnten bei Bedarf separat transportiert und erst am Wettbewerbsort montiert werden. Erst relativ spät im Aufbauprozess wurde mit der Innenbekleidung der Module begonnen. Die Fertigstellung der Innenwände hätte zeitgleich erfolgen und zusätzliche Arbeitsschritte einsparen können.

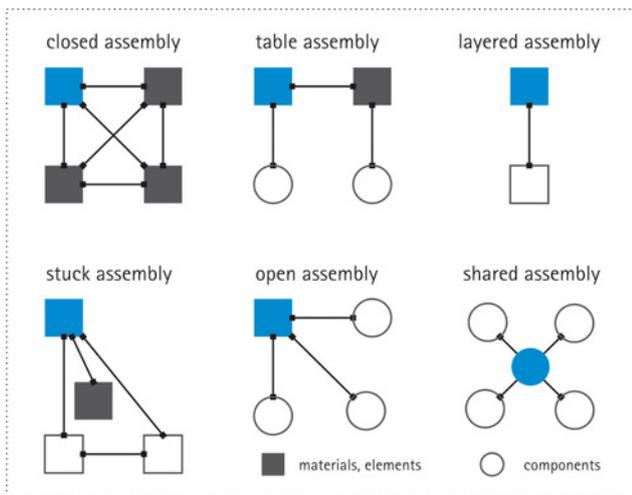


Abb. 3-22 Montagearten nach Durmisevic. (Eigene Darstellung)

Kantenausbildung 7.1/7.2

Der Montageprozess wird häufig durch die Produktwahl vorgegeben. Die Kantenausbildung der Produkte unterscheidet sich dabei in drei Kategorien. Es gibt den linearen Kantenabschluss, der eine unabhängige Montage der Elemente erlaubt. Eine gefaste Kante führt zu einer Überlappung der Elemente. Die sog. Nut- und Federvariante schreibt einen linearen Aufbauprozess vor. Das einfache Auswechseln eines Elementes, das sich in der Mitte befindet, ist dabei ausgeschlossen.

Auch die Art des Anschlusses gibt oftmals den Aufbauschritt vor. An die Stahlstützen des nexushauses mussten erst Kopfplatten geschraubt werden, an die in einem zweiten Schritt wiederum die Träger befestigt wurden.

Die Einbauten der Innenräume erforderten ebenfalls, durch die vorgegebene Kantenausbildung und Befestigungsmittel, das Vorgehen in festgelegten Aufbauschritten.

Anschluss 8.1-8.4

Die Nut und Federverbindung stellt eine der ursprünglichsten Verbindungen dar, wobei oftmals auf ein zusätzliches Verbindungsmittel verzichtet wurde. Die Dauerhaftigkeit wurde hierbei angestrebt, wobei der Gebäuderückbau damals noch keine Option darstellte. Mit veränderten Lebensformen änderten sich die Anschlussmittel. Verbindungen können nun reversibel (Schrauben, Steckverbindungen und Bolzen) oder noch dauerhafter durch chemische Verbindungen hergestellt werden.

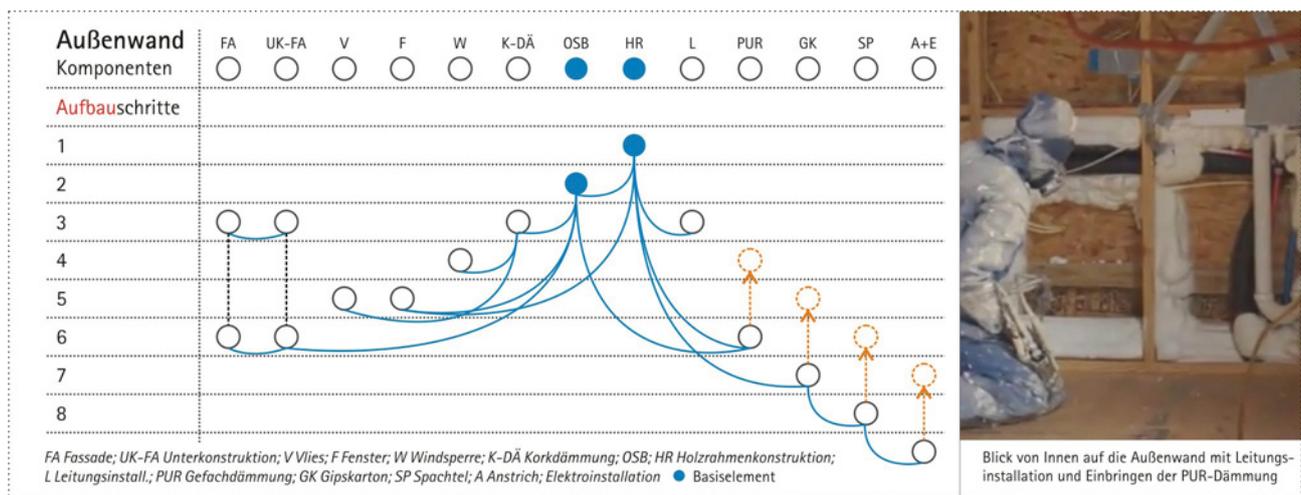


Abb. 3-23 Aufbauschritte der Außenwand des nexushauses

3.1.5.4 Aufbausequenzen des nexushauses zum Solar Decathlon Wettbewerb in Irvine, Kalifornien

Tag 1/2

Der Wettbewerbsorganisator räumte eine 9-tägige Aufbauphase für die Teilnehmerhäuser ein. An den ersten zwei Wettbewerbstagen wurde das Gelände eingemessen, wobei die Lage der Wohnmodule und der Stahlfüße, für die Unterkonstruktion des Freibereiches, auf dem Asphaltboden markiert wurde. Nach Anlieferung der Wohnmodule wurden diese in Position gebracht und nivelliert. Es folgte die Anlieferung der übrigen Werkzeuge, Materialien und Elemente der Terrassenkonstruktion. Die für den Gebäudeaufbau notwendigen Elemente sollten nicht über das Wettbewerbsgelände hinausragen, so wurden genaue Bereiche für Werkzeuge und Baustoffe festgelegt.

Tag 3 - Tag 5

Am dritten Tag begann die Verankerung der Stahlfüße auf dem Asphaltboden. Im Anschluss wurden die Stützen gestellt und die ersten Holzhauptträger der Terrassenunterkonstruktion montiert. Die Stahlträger wurden ohne Bohrungen für die Befestigung an die Stützen angeliefert. Nachdem alle Stützen gestellt waren, mussten daher die Träger platziert, die Bohrlöcher markiert und schließlich wieder heruntergenommen werden. Bei einem nahegelegenen Stahlbauer wurden dann die fehlenden Anschlusslöcher hergestellt. Es waren auch noch Tag 4 und 5 nötig um die letzten Stahlträger zu setzen. Parallel dazu wurde mit dem Einsetzen der Nebenträgerelemente für den Terrassenbelag begonnen.

Tag 6

Nachdem alle Stützen und Träger fixiert waren, lag der Fokus bei der Fertigstellung der Unterkonstruktion für den Terrassen- und Rampenbelag. Noch am Abend konnte mit dem Verlegen der Terrassenbretter im Nexusbereich begonnen werden.

Tag 7 und 8

Der 75 m² große Terrassenbelag konnte an Tag 7, bis auf einen kleinen Bereich der Zugangsrampe, fertig verschraubt werden. Es erfolgte die Herstellung des Aquaponikbereiches und die Pflanzen wurden entlang der Zugangsrampe gesetzt. Fehlende Möbel im Innenbereich wurden gebaut und die Elektroinstallation fertig verkabelt. Die Photovoltaikmodule wurden angeliefert und es wurde mit der Montage der Unterkonstruktion auf dem Dach begonnen. Die Verrohrung der Technik- und Wasserinstallation unterhalb der Terrassenkonstruktion erfolgte beginnend mit Tag 8. Außerdem wurden die Tanks (Thermal Storage Tank und der Regenwasserspeicher unterhalb des Terrassenbelages) für die Simulation des Gebäudebetriebes zur Monitoringphase mit Wasser gefüllt. Die Messeinheiten wurden platziert.

Die Sonnenschutzmembran des Nexus wurde angebracht und die übrigen Sonnenschutzsegel gespannt. Bereits an Tag 6 wurde mit der Montage der Absturzsicherung begonnen, welche am nächsten Tag bereits fertiggestellt werden konnte.

Mehrmals musste fehlendes Material und Equipment besorgt werden, was immer wieder zu Verzögerungen im Bauablauf führte.

Tag 9

Am letzten Tag wurde mit der Verlegung der Technik begonnen und es folgten abschließende Schönheitsreparaturen.

Möbel wurden platziert sowie Innen- und Außenbereiche des Hauses gereinigt. Abschließend wurden die Schautafeln befestigt und die Flyer platziert.

Tag 10 und 11

Der geplante Ruhetag wurde noch für das Anbringen eines Sichtschutzes (schwarzes Vlies) unterhalb der Terrassenkonstruktion genutzt.

Am 11. Tag begannen die Besucherführungen, die Kontests zur Gebäudeperformance und das Monitoring.

Der Aufbau wurde durch Experten des Department of Energy (DoE) begleitet, um Gefahren beim Gebäudeaufbau

auszuschließen. Außerdem gab es Studierende, die eine Sicherheitsausbildung erwarben, um ihre Kommilitonen im richtigen Umgang mit Werkzeug und Material schulen zu können. Ohne das Engagement der Studierenden im Besonderen derer, die eine Leaderrolle übernahmen und die Organisation bzw. die Reihenfolge der Montage bestimmten, hätte das nexushaus nicht pünktlich fertiggestellt werden können. Die Studierenden hatten große Unterstützung von wenigen Fachleuten, die im Notfall aushalfen und beratend zur Seite standen. Um pünktlich mit der Montage fertig zu werden, wurde in zwei Schichten gearbeitet. Die Tagschicht arbeitete von 7:00-16:00 worauf die Nachschicht bis max. 2:00 Uhr folgte.

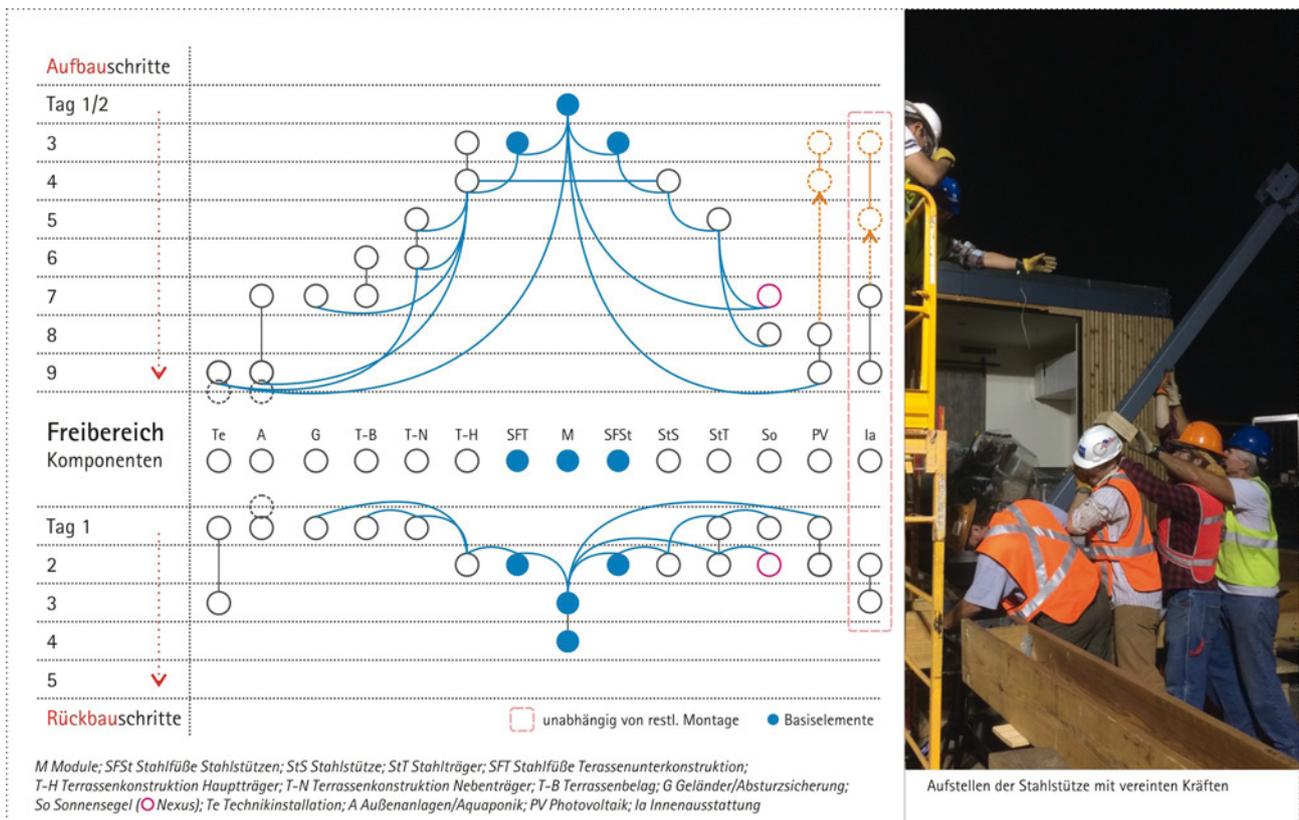


Abb. 3-24 Aufbauschritte Terrassenfreibereich des nexushauses während des Wettbewerbes

Insgesamt war die Herstellung des Terrassenfreibereiches zu aufwendig und hätte bereits in der Detailplanung verbessert ausgearbeitet werden müssen. Sicherlich ist das mit unter dem straffen Zeitplan des Wettbewerbes geschuldet und der noch fehlenden Erfahrung der Studierenden. Wie bedeutend bspw. Toleranzen bei der Planung sind, konnten die Studierenden erst vor Ort bei der Montage des Freibereiches erfahren. Viele Anschlüsse waren schwer zugänglich. Zudem hatte sich das Holz der Terrassenunterkonstruktion verzogen, was es schwer machte im Lot zu bauen. Zum Teil konnte der Belag nicht an der Unterkonstruktion befestigt werden, da der Abstand zu groß war. Vor Ort musste viel improvisiert werden. Die Elemente der Unterkonstruktion sowie die Stahlstützen und -träger konnten aufgrund des hohen Gewichtes nur mit vereinten Kräften getragen und montiert werden. Es kamen unzählige Schrauben und Bolzen mit unterschiedlichen Köpfen zum Einsatz. Durch die mangelnde Erfahrung bei der Handhabung, gab es einen hohen Materialverschleiß.

Im Zeitplan hätte die Fertigstellung der Innenbereiche und die Installation der Photovoltaikmodule früher erfolgen können (Abb. 3-24, oben).

3.1.5.5 Rückbausequenzen des nexushauses

Nach dem Wettbewerbsende wurde das nexushaus wieder rückgebaut und verpackt nach Texas zurücktransportiert. Die Module konnten ohne große Eingriffe wieder transportfertig gemacht werden. Die Fensteröffnungen wurden für den Rücktransport ausgesteift und die lose Möblierung entfernt bzw. transportsicher fixiert. Aufgrund der Erfahrungen des Gebäudeaufbaus, konnte der Rückbau deutlich schneller und viele Schritte erfolgten parallel (Abb. 3-24, unten). Die Leitungen unterhalb des Terrassenbereiches wurden entfernt, während zeitgleich mit dem Rückbau der Terrassendielen begonnen wurde. Der Terrassenbelag

wurde fast ausschließlich mit dem Stemmeisen entfernt, da die Schraubenköpfe von der Montage beschädigt waren. Die Begrünung der Außenanlagen wurde bereits am Abend vor dem offiziellen Wettbewerbsrückbau zur Seite gestellt und am nächsten Tag abtransportiert. Nachdem die Terrassendielen entfernt wurden, konnte an nur einem Tag die komplette Sonnenschutzkonstruktion mit dem Nexusdach, Stahlträger und -stützen, Haupt- und Nebenträger der Terrassenkonstruktion sowie Stahlfüße rückgebaut werden. Am dritten Tag konnte der erste LKW mit den Materialien und Komponenten der Freianlagen den Rückweg nach Fort Davis, Texas antreten. Am vierten Tag folgten die zwei Wohnmodule. Bereits einen Tag früher als gefordert konnte die Wettbewerbsfläche besenrein verlassen werden. In nur 4 1/2 Tagen wurde das nexushaus zurückgebaut.

Aufbau- und Rückbausequenzen können im Anhang anhand der Screenshots des Time-Lapse, erstellt durch das U.S. Department Solar Decathlon 2015, eingesehen werden.

In einem Zeitraffer kann der Aufbau des nexushauses online eingesehen werden: <https://www.youtube.com/watch?v=ZaFrT3vXeRA>, Zugriff am 3.09.2016

3.1.5.6 Wiederaufbau in Fort Davis, Texas

Wenige Monate nach dem Wettbewerb wurde das nexushaus in Fort Davis, Texas, wieder aufgebaut. Dort dient es als Pavillon für das McDonald Observatory.

Der erneute Aufbau des Hauses zeigt, dass das Konzept der modularen Bauweise des nexushauses erfolgreich umgesetzt werden konnte. Bis auf wenige Erneuerungen konnten auch die Materialien, Elemente und Komponenten des Terrassenbereiches wiederverwendet werden. Die Heiz- bzw. Kühltechnik wurde durch ein standardisiertes System ersetzt.

Die Wohnmodule selbst sind nicht für einen möglichen Rückbau geplant worden. Das „closed assembly“ der Holzkonstruktion würde einen Gebäuderückbau erschweren. Die Wände wurden im Rohzustand direkt mit der Bodenkonstruktion verschraubt und auch die Deckenkonstruktion ist direkt mit der Wand verbunden. Alle drei Systeme sind somit voneinander abhängig und können nur unter großem Aufwand und unter Berücksichtigung von Standsicherheitsmaßnahmen voneinander getrennt werden. Zuvor müssten die Beläge und Bekleidungen des Hauses entfernt werden. Die PUR-Dämmung des Holzgefaches ist untrennbar mit den Holzbalken, den Leitungen und der OSB-Beplankung verbunden. Die Gipskartonplatten der Innenräume wurden an die Holzrahmen geschraubt und systembedingt verspachtelt bzw. überstrichen.

Eine Alternative wäre die Systemtrennung von Decke, Wänden und Fußbodenkonstruktion gewesen. Das hätte die Abmessungen für den Transport schmälern können, jedoch hätte mehr Zeit für den Aufbau eingeplant werden müssen. Auch die Vorarbeit für Planung und Aufbauschritte wäre größer gewesen.

Die Außenbekleidung kann bis zur OSB-Platte zurückgebaut werden, wobei die Fassade und auch die Korkdämmung einer weiteren Nutzungsphase zugeführt werden können.

Durch Klick-Verbindungen bei der Erstellung des Terrassenbelages hätten die Studierenden Zeit einsparen können. Für den Freibereich wurden ca. 2500 Schrauben zur Befestigung der Terrassendielen benötigt. Die gleiche Anzahl für die Unterkonstruktion. Der Materialverlust hätte durch alternative Befestigungsmethoden vermieden werden können.

Die Lage der Technikbox auf dem Grundstück, mit der Leitungsführung unterhalb der Terrasse, war bis kurz vor Wettbewerbsbeginn unklar. Die separate Technikbox, war jedoch komplett unabhängig vom Rest montierbar, was zusätzlich einen positiven Effekt auf mögliche spätere Gebäudeanpassungen hat. Die Technik kann durch ihre separate Zugänglichkeit leicht nachgerüstet werden, lediglich die Leitungsführung war an die Fertigstellung der Terrassenunterkonstruktion gebunden.



Abb. 3-25 Wiederaufbau des nexushauses in Fort Davis, Texas [3.32]

3.1.5.7 Design for Adaptability

Die Loughborough Universität in England [3.31] hat sechs Strategien in einem Rahmenplan aufgestellt, die als Hilfestellung für den Gebäudeentwurf dienen. Beispiele der Umsetzung sind am Case-Study-Gebäude nexushaus sichtbar:

- *Movable (beweglich, mobil)*
Die Veränderbarkeit ist hier hauptsächlich abhängig von der Elementgröße, dem Gewicht und der leicht lösbaren Verbindungen. Die Module des nexushauses sind durch das installierte Fahrgestell leicht versetzbar und somit ortsungebunden. Allerdings erschweren die Elementmassen das einfache versetzen
- *Adjustable (verstellbar)*
Elemente sind stapelbar und können dem Nutzer entsprechend flexibel angepasst werden. Stapelbare Stühle oder höhenverstellbare Tische können hier beispielsweise genannt werden. Beim nexushaus lässt sich der Freibereich, die Wohnmodule und die Stützen der Sonnenschutzmembranen mittels der justierbaren Stahlfüße der Topographie des Geländes anpassen.
- *Versatile (vielseitig)*
Räume, die vielseitig nutzbar sind, sparen zusätzliche Fläche ein. Zentrale Leitungsführungen und Anschlussschächte lassen flexible Grundrissgestaltungen zu. Durch die offene Raumplanung kann das Tagmodul, trotz der geringen Fläche, vielseitig genutzt werden. Je nach Bedarf konnte die lose Möblierung während des Wettbewerbs flexibel angeordnet werden.
- *Refitable (flexible Anordnung)*
Die modulare Bauweise des Hauses ermöglichte die

Umsetzung der Konzeptidee der städtischen Nachverdichtung. Bei einer seriellen Fertigung des Gebäudekonzeptes könnte das Haus durch standardisierte Anschlusspunkte beliebig erweitert oder verkleinert werden. Neben einer Bewohnerkonfiguration (siehe hierzu auch „Konzeptionelle Diversität“ im Kapitel 3.4) lässt sich das Gebäude auch an unterschiedliche Grundstücksgrößen anpassen.

- *Convertible (wandelbar)*
Mit wenigen Handgriffen lässt sich der Schreibtisch des Studios in eine zusätzliche Schlafmöglichkeit umbauen. Der Büroraum wandelt sich somit zu einem Gästezimmer für Besucher. In früheren Planungen gab es außerdem die Option, das Bett des Elternschlafzimmers im Einbauschränk zu verstauen, um mehr freie Wohnfläche zu schaffen. Doppelböden und Abhangdecken ermöglichen dabei ein schnelles Nachrüsten. Installationen sind leicht zugänglich und können bei Bedarf erweitert oder rückgebaut werden.
- *Scalable (skalierbar)*
Der Wohnraum des nexushauses ist durch den großzügig geplanten Freibereich um ca. 75 m² erweiterbar. Die montierten Sonnensegel schützen dabei den Außenraum vor starker Sonneneinstrahlung und Regen.

Das System der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) verankert, z.B. durch das Kriterium TEC1.4 Anpassungsfähigkeit der technischen Systeme, ebenfalls Gedanken der Anpassungsfähigkeit. Ziel des Kriteriums ist, dass die Technik ohne großem Aufwand an den veränderten Bedarf angepasst werden kann.

Das nexushaus hat in seiner Umsetzung viele Eigenschaften der oben vorgestellten Konzepte verwirklicht, um auf mögliche Veränderungen durch Nutzer oder standortbedingt, reagieren zu können. Es stellt ein sehr resilientes Gebäude dar, welches auch dem Recycling einzelner Komponenten Chancen bietet. Verbesserungswürdig ist die Art und die Anzahl der Verbindungsmittel im Terrassenbereich. Zudem sollte grundsätzlich gewährleistet werden, dass die einzelnen Konstruktionselemente ohne großen maschinellen Aufwand versetzt werden können. Gleiches gilt für die Stahlunterkonstruktion der Sonnenschutzsegel. Der flexible Wohnraum auf kleiner Fläche und die barrierefreie Zugänglichkeit zeugen von einem gelungenen Raumkonzept.

Der ausgelagerte Technikraum ermöglicht den einfachen Zugang zu den Technikeinheiten und kann bei Bedarf ohne Auswirkung auf den Wohnraum erweitert oder reduziert werden. Die flexible Leitungsführung zu den einzelnen Wohnmodulen, angeordnet unterhalb der Terrassenfläche, schränkt auch die Lage auf dem Grundstück nicht ein.

Bei der Materialwahl helfen Produkt- und Gebäudezertifizierungen mögliche negative Auswirkungen auf Bewohnergesundheit und Umwelt zu reduzieren, wenn sich auch die Angaben zu empfohlenen Richtwerten von Inhaltsstoffen unterscheiden. Hier sollte bei der Planung frühzeitig die Expertise von Beratern und Auditoren herangezogen werden.

Die nachhaltige Bewirtschaftung von bspw. Holz für die Verarbeitung zu Baustoffen wird in den Ökobilanzen bislang nicht abgebildet. Bei der Materialwahl sollte daher zusätzlich darauf geachtet werden. Lokale Produktionsstätten und kurze Transportwege reduzieren Emissionen und unterstützen darüber hinaus lokale Unternehmen. Das

Gebäudezertifizierungssystem LEED (v4) empfiehlt dabei einen Bezugsradius < 160 km für 50% der eingesetzten Baustoffe [3.33]. Im Vergleich dazu schreibt das nature-plus Label vor, dass 80% der Späne und Fasern für die Herstellung der OSB-Platte innerhalb eines Umkreises von <300 Lastwagen-Kilometer-Äquivalente stammen müssen, wobei gilt [3.34]:

1 km LKW ~ 2,5 km Bahn ~ 27 km Frachter Übersee ~ 4 km Frachter Binnengewässer

Materialrecycling kann nur erfolgen, wenn bereits in der Planung an den Auf- und Rückbau gedacht wird. Systemunabhängigkeiten vereinfachen dabei den Montageprozess. Zudem können Komponenten zeitgleich erstellt werden, was zusätzlich Zeit einspart. Die Zugänglichkeit und Austauschbarkeit unter Berücksichtigung von Toleranzen sollte gegeben sein. Dabei müssen die unterschiedlichen Elementgrößen (z.B. Fenster oder Anlagentechnik) beachtet werden, um den Ausbau durch ausreichend große Öffnungen zu ermöglichen. Die Wieder- und Weiterverwendung/-wertung setzt eine lange Nutzungsdauer voraus, die durch konstruktive Schutzmaßnahmen und lösbare Verbindungsmittel sichergestellt wird.

Wird von den langen Transportwegen des nexushauses abgesehen, so zeigt die Auswertung der Ökobilanzierung, dass der Aufwand für Materialbedarf und die Gebäudeerstellung nur geringen Umwelteinfluss hatten. Die installierten Photovoltaikmodule kompensieren bereits nach einem Jahr den Stromeinsatz aus der Ökobilanzierung. Der primäre Werkstoffeinsatz Holz minimiert auch die anfallenden äquivalenten Treibhausgase während des Gebäudelebenszyklusses. Durch Offsets können auch diese kompensiert werden.

C2C-Banned List of Chemicals (Cradle to Cradle Certified™ Product Standard Version 3.1)		
Banned List of Chemicals for Technical Nutrients		
Substance	CAS #	Comments
Metals		
Arsenic	7440-38-2	
Cadmium	7440-43-9	Banned only for products with no guaranteed nutrient management.
Chromium VI	18540-29-9	
Mercury	7439-97-6	
Flame Retardants		
Hexabromocyclododecane	3194-55-6; 25637-99-4	
Penta-BDE	32534-81-9	
Octa-BDE	32536-52-0	
Deca-BDE	1163-19-5	
Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs)	Several	
Tetrabromobisphenol A	79-94-7	
Tris(1,3-dichloro-2-propyl) phosphate	13674-87-8	
Phthalates		
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	117-81-7	
Butyl benzyl phthalate	85-68-7	
Dibutyl phthalate	84-74-2	
Halogenated Polymers		
Polyvinyl chloride (PVC)	9002-86-2	
Polyvinylidenechloride (PVDC)	9002-85-1	
Chlorinated polyvinyl chloride (CPVC)	68648-82-8	
Polychloroprene	9010-98-4	
Chlorinated Hydrocarbons		
1,2-Dichlorobenzene	95-50-1	
1,3-Dichlorobenzene	541-73-1	
1,4-Dichlorobenzene	106-46-7	
1,2,4-Trichlorobenzene	120-82-1	
1,2,4,5-Tetrachlorobenzene	95-94-3	
Pentachlorobenzene	608-93-5	
Hexachlorobenzene	118-74-1	
PCB and Ugilec	Several	
Short-chain chlorinated paraffins	Several	

C2C-Banned List of Chemicals		
Banned List of Chemicals for Technical Nutrients		
Substance	CAS #	Comments
Others		
Pentachlorophenol	87-86-5	
Nonylphenol	104-40-5; 84852-15-3	
Octylphenol	27193-28-8	
Nonylphenol ethoxylates	Several	
Octylphenol ethoxylates	Several	
Tributyltin	688-73-3	
Triboctyltin	869-59-0	
Triphenyltin	892-20-6	
Perfluorooctane sulfonic acid	1763-23-1	
Perfluorooctanoic acid	335-67-1	
Banned List of Chemicals for Biological Nutrients		
Metals		
Arsenic	7440-38-2	Restricted to 10 ppm
Chromium	18540-29-9	Restricted to 100 ppm
Mercury	7439-97-6	Restricted to 1 ppm
Cadmium	7440-43-9	Restricted to 2 ppm
Lead	7439-92-1	Restricted to 90 ppm; for Biological Nutrients only
Flame Retardants		
Hexabromocyclododecane	3194-55-6; 25637-99-4	
Penta-BDE	32534-81-9	
Octa-BDE	32536-52-0	
Deca-BDE	1163-19-5	
Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs)	Several	
Tetrabromobisphenol A	79-94-7	
Tris(1,3-dichloro-2-propyl) phosphate	13674-87-8	
Phthalates		
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	117-81-7	
Butyl benzyl phthalate	85-68-7	
Dibutyl phthalate	84-74-2	

C2C-Banned List of Chemicals

(Cradle to Cradle Certified™ Product Standard Version 3.1)

Banned List of Chemicals for Technical Nutrients

Substance	CAS #	Comments
Halogenated Polymers		
Polyvinyl chloride (PVC)	9002-86-2	
Polyvinylidenechloride (PVDC)	9002-85-1	
Chlorinated polyvinyl chloride (CPVC)	68648-82-8	
Polychloroprene	9010-98-4	
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	9002-84-0	for Biological Nutrients only
Chlorinated Hydrocarbons		
1,2-Dichlorobenzene	95-50-1	
1,3-Dichlorobenzene	541-73-1	
1,4-Dichlorobenzene	106-46-7	
1,2,4-Trichlorobenzene	120-82-1	
1,2,4,5-Tetrachlorobenzene	95-94-3	
Pentachlorobenzene	608-93-5	
Hexachlorobenzene	118-74-1	
PCB and Ugilec	Several	
Short-chain chlorinated paraffins	Several	
Others		
Pentachlorophenol	87-86-5	
Nonylphenol	104-40-5; 84852-15-3	
Octylphenol	27193-28-8	
Nonylphenol ethoxylates	Several	
Octylphenol ethoxylates	Several	
Tributyltin	688-73-3	
Triboctyltin	869-59-0	
Triphenyltin	892-20-6	
Perfluorooctane sulfonic acid	1763-23-1	
Perfluorooctanoic acid	335-67-1	
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Biological Nutrients only		
PAH group (as defined in TRI)	Not applicable	
Benzo(a)pyrene	50-32-8	
5-Methylchrysene	3697-24-3	
Acenaphthene	83-32-9	
Anthracene	120-12-7	

C2C-Banned List of Chemicals

Banned List of Chemicals for Technical Nutrients

Substance	CAS #	Comments
Benzo(a)anthracene	56-55-3	
Benzo(j)aceanthrylene	202-33-5	
Benzo(b)fluoranthene	205-99-2	
Benzo(c)phenanthrene	195-19-7	
Benzo(g,h,i)perylene	191-24-2	
Benzo(j)fluoranthene	205-82-3	
Benzo(k)fluoranthene	207-08-9	
Chrysene	218-01-9	
Cyclopenta(c,d)pyrene	27208-37-3	
Dibenzo(a,h)anthracene	53-70-3	
Dibenzo(a,h)pyrene	189-64-0	
Dibenzo(a,i)pyrene	189-55-9	
Dibenzo(a,l)pyrene	191-30-0	
Fluoranthene	206-44-0	
Fluorene	86-73-7	
Indeno(1,2,3,c,d)pyrene	193-39-5	
Naphthalene	91-20-3	
Phenanthrene	85-01-8	
	129-00-0	

(Eigene Darstellung)

Innenraumrichtwerte (Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR))			
Bis heute sind folgende Richtwerte festgelegt worden			
Verbindung	CAS #	RW II [mg/m ³]	RW I [mg/m ³]
Formaldehyd	50-00-0	nicht abgeleitet	0,08 (Juni 2016)
Xylole Summe	95-47-6; 108-38-3; 106-42-3; 1330-20-7	0,8	0,1
Butanonoxim	96-29-7	0,06	0,02
2-Chlorpropan	75-29-6	8	0,8
Ethylacetat	141-78-6	6	0,6
1-Methyl-2-pyrrolidon	872-50-4	1	0,1
1-Butanol	71-36-3	2	0,7
2-Ethylhexanol	104-76-7	1 (v)	0,1 (v)
Ethylenglykolmonomethyl-ether	EGME, 109-86-4	0,2 [= 0,05 ppm]	0,02
Diethylenglykolmethyl-ether	DEGME, 111-77-3	6 [= 1 ppm] (v)	2 (v)
Diethylenglykoldimethyl-ether	DEGDME, 111-96-6	0,3 [= 0,06 ppm]	0,03
Ethylenglykolmonoethyl-ether	EGEE, 110-80-5	1 [= 0,4 ppm]	0,1
Ethylenglykolmonoethyl-ether-acetat	EGEEA, 111-15-9	2 [= 0,4 ppm] (v)	0,2 (v)
Diethylenglykolmonoethyl-ether	DEGEE, 111-90-0	2 [= 0,4 ppm] (v)	0,7 (v)
Ethylenglykolbutylether	EGBE, 111-76-2	1 [= 0,3 ppm]	0,1
Ethylenglykolbutylether-acetat	EGBEA, 112-07-2	2 [= 0,3 ppm] (v)	0,2 (v)
Diethylenglykolbutylether	DEGBE, 112-34-5	1 [= 0,2 ppm] (v)	0,4 (v)
Ethylenglykolhexylether	EGHE, 112-25-4	1	0,1
2-Propylenglykol-1-methyl-ether	2PG1ME, 107-98-2	10	1
Dipropylenglykol-1-methyl-ether	D2PGME, 34590-94-8; 13429-07-7; 20324-32-7;		
	13588-28-8; 55956-21-3	7 [= 1 ppm] (v)	2 (v)
2-Propylenglykol-1-ethyl-ether	2PG1EE, 1569-02-4	3 [= 0,5 ppm]	0,3
2-Propylenglykol-1-tert-butylethylether	2PG1tBE, 57018-52-7	3 [= 0,5 ppm]	0,3
Default-Wert: Glykolether mit unzureichender Datenlage		0,05 ml/m ³ [= 0,05 ppm] (v)	0,005 ml/m ³ [= 0,005 ppm] (v)
Naphtalin und Naphtalin-ähnliche Verbindungen		0,03 (v)	0,01 (v)
Acetaldehyd	75-07-0	1	0,1
Methylisobutylketon	108-95-2	1	0,1
Ethylbenzol	100-41-4	2	0,2
Alkylbenzole, C ₉ -C ₁₅		1	0,1
Kresole		0,05	0,005
Phenol	108-95-2	0,2	0,02

Innenraumrichtwerte			
Bis heute sind folgende Richtwerte festgelegt worden			
Verbindung	CAS #	RW II [mg/m ³]	RW I [mg/m ³]
2-Furaldehyd	98-01-1	0,1	0,01
Zyklische Dimethylsiloxane D ₃ -D ₆ (Summenrichtwert)		4	0,4
Benzaldehyd	100-52-7	0,2 (v)	0,02 (v)
Benzylalkohol	100-51-6	4	0,4
Monozyklische Monoterpene (Leitsubstanz d-Limonen)		10	1
Aldehyde, C ₆ bis C ₁₁ (gesättigt, azyklisch, aliphatisch)		2	0,1
dioxinähnliche PCB	Erläuterungen siehe Umweltbundesamt		
C ₁₀ -C ₁₉ -Alkane / Isoalkane (aromatenarm)		2	0,2
Terpene, bicyclisch (Leitsubstanz α-Pinen)		2	0,2
Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP)		2	0,2
Diisocyanate	Erläuterungen siehe Umweltbundesamt		
Quecksilber (als metallischer Dampf)		0,00035	0,000035
Styrol	100-42-5	0,3	0,03
Dichlormethan	75-09-2	2 (24h)	0,2
Pentachlorphenol (PCP)	87-86-5	0,0001	0,0001
Toluol	108-88-3	3	0,3
Üblicherweise handelt es sich um Langzeitwerte. Davon abweichende Mittelungszeiträume sind in Klammern angegeben, z.B. 24 Stunden (h).			
RW: Richtwert; (v): vorläufig			
(Eigene Darstellung)			

Ergebnisse aus der Ökobilanzierung mit dem Onlinetool eLCA.

Gesamtbilanz - Auswertung

Bilanzierungsraum: 50 Jahre

Bezugsfläche (NGF): 56,13 m²

Masse gesamt: 22,682 t

Masse NGF: 404,11 kg/m² NGF

Masse BGF: 325,99 kg/m² BGF

Gesamt

Indikator	Einheit	Gesamt / m ² _{NGF} a
GWP	kg CO2-Äqv.	1,3539248062
ODP	kg R11-Äqv.	5,3461057135E-9
POCP	kg Ethen-Äqv.	3,0063556111E-3
AP	kg SO2-Äqv.	0,0174200074
EP	kg PO4-Äqv.	2,1955755436E-3
PE Ges.	MJ	89,1211428587
PE n. ern.	MJ	2,8524407557
PE ern.	MJ	86,2687021030
ADP	kg Sb-Äqv.	3,4748285879E-3

Herstellung

Indikator	Einheit	Gesamt / m ² _{NGF} a	%	
GWP	kg CO2-Äqv.	-0,8017010924	-59,2	
ODP	kg R11-Äqv.	1,1914449682E-7	2228,6	
POCP	kg Ethen-Äqv.	3,7419238561E-3	124,5	
AP	kg SO2-Äqv.	0,0277005041	159,0	
EP	kg PO4-Äqv.	2,7054221828E-3	123,2	
PE Ges.	MJ	213,8674344244	240,0	
PE n. ern.	MJ	122,1417608838	4282,0	
PE ern.	MJ	91,7256735406	106,3	
ADP	kg Sb-Äqv.	0,0555295284	1598,1	

Instandhaltung

Indikator	Einheit	Gesamt / m ² _{NGF} a	%	
GWP	kg CO2-Äqv.	0,7995966632	59,1	
ODP	kg R11-Äqv.	-4,2875045909E-8	-802,0	
POCP	kg Ethen-Äqv.	8,9546244569E-4	29,8	
AP	kg SO2-Äqv.	3,3984944848E-3	19,5	
EP	kg PO4-Äqv.	4,0679223801E-4	18,5	
PE Ges.	MJ	-0,3490250100	-0,4	
PE n. ern.	MJ	-1,2196710019	-42,8	
PE ern.	MJ	0,8706459919	1,0	
ADP	kg Sb-Äqv.	7,5082943635E-4	21,6	

Entsorgung

Indikator	Einheit	Gesamt / m ² _{NGF} a	%	
GWP	kg CO2-Äqv.	1,3560292354	100,2	
ODP	kg R11-Äqv.	-7,0923345200E-8	-1326,6	
POCP	kg Ethen-Äqv.	-1,6310306907E-3	-54,3	
AP	kg SO2-Äqv.	-0,0136789912	-78,5	
EP	kg PO4-Äqv.	-9,1663887721E-4	-41,7	
PE Ges.	MJ	-124,3972665557	-139,6	
PE n. ern.	MJ	-118,0696491262	-4139,2	
PE ern.	MJ	-6,3276174295	-7,3	
ADP	kg Sb-Äqv.	-0,0528055293	-1519,7	

GWP Treibhauspotential; ODP Ozonschichtabbaupotential; POCP Ozonbildungspotential; AP Versauerungspotential; EP Überdüngungspotential; PE Primärenergiebedarf gesamt (Ges.), nicht erneuerbar (n. ern.) und erneuerbar (ern.); ADP Abiotischer Ressourcenverbrauch

**U.S. Department of Energy
Solar Decathlon 2015**
Time-Lapse | Irvine, Kalifornien

Aufbausequenzen des nexushauses
28. September - 8. Oktober



Tag 4 1. Oktober 2015
Donnerstag



Tag 1/2 28./29. September 2015
Montag/Dienstag (Wettbewerbsstart)



Tag 5 2. Oktober 2015
Freitag



Tag 3 30. September 2015
Mittwoch



Tag 6 3. Oktober 2015
Samstag



Tag 7 4. Oktober 2015
Sonntag



Tag 10 7. Oktober 2015
Mittwoch (Ruhetag)



Tag 8 5. Oktober 2015
Montag



Tag 11 8. Oktober 2015
Donnerstag (Start Monitoring und Kontests)



Tag 9 6. Oktober 2015
Dienstag



Tag 11 8. Oktober 2015
Donnerstagabend (Kontest: Beleuchtung)

**U.S. Department of Energy
Solar Decathlon 2015**
Time-Lapse | Irvine, Kalifornien

Rückbausequenzen des nexushauses
21. Oktober - 8. Oktober



Tag 23 20. Oktober 2015
Dienstagmorgen



Tag 21 18. Oktober 2015
Sonntag



Tag 23 20. Oktober 2015
Dienstagnachmittag



Tag 22 19. Oktober 2015
Montag



Tag 24 21. Oktober 2015
Mittwochmorgen



Tag 24 21. Oktober 2015
Mittwochnachmittag



Tag 25 22. Oktober 2015
Donnerstagmorgen



Tag 25 22. Oktober 2015
Donnerstagnachmittag (Wettbewerbsende)

Quelle: [3.35]

3

Planungsparameter
3.2 Wasser

3.2 Wasser

Wasser ist Lebensgrundlage für den Menschen, die Tier- und Pflanzenwelt. Gewässerverunreinigungen können somit großen Schaden auslösen. Beispielsweise können Menschen aufgrund von Viren im Wasser erkranken oder die Artenvielfalt der Gewässer wird durch vermehrte Algenbildung minimiert. Aufgrund steigender Bevölkerungszahlen und wachsendem Konsum ist in naher Zukunft keine Entspannung hinsichtlich auf den Ressourcenverbrauch in Sicht. Es besteht somit unmittelbarer und großer Handlungsbedarf. Cradle to Cradle fordert deshalb in der Produktherstellung den sorgfältigen Umgang mit Wasser.

Der Keramikfliesenhersteller Mosa.Tiles, auf den bereits in früheren Kapiteln eingegangen wurde, hat sich für das Jahr 2020 zum Ziel gesetzt (Meilenstein), alle Wasserkreisläufe des Herstellungsprozesses für die Wand- und Bodenfliesen als geschlossene Systeme herzustellen und kein Abwasser mehr in das öffentliche Netz einzuleiten [3.36]. Das Wasser, welches bei den Brennvorgängen verdampft, bleibt dabei unberücksichtigt.

Bislang benötigen die zwei Produktionsstätten des Unternehmens für die Fliesenherstellung und den Gebäudebetrieb im Jahr 2014 115.442 m³ Wasser. Davon landete die Hälfte als Abwasser im öffentlichen Netz. 46,4% verdampften oder fanden erneut im Herstellungsprozess Verwendung [3.35].

3.2.1 Standortanalyse

Eine Standortanalyse zeigt als Teil der Grundlagenermittlung mögliche Potentiale der Regenwassernutzung auf. Darüber hinaus gibt sie Auskunft über lokale Wasserknappheit, mit dem Ziel alternative Recyclingkonzepte zu erarbeiten.

Abbildung 3-26 zeigt die anfallenden Niederschläge (gestrichelte Linien) im langjährigen Mittel (1981 - 2010) für die Standorte München [3.37], Irvine und Austin [3.38]. In München fallen die meisten Niederschläge in den Sommermonaten von Mai bis September an. Das sind die Monate, in denen in Irvine kaum Niederschlag anfällt. In Austin regnet es verstärkt im zweiten Jahresquartal, wohingegen der Niederschlag im Sommer stark zurückgeht. Die durchschnittliche Regenmenge pro Jahr beträgt in München/Deutschland 944 l/m² [3.37], in Austin/Texas 870 l/m² und lediglich 366 l/m² in Irvine/Kalifornien [3.38].

Die direkte Verdunstung über Wasser- und Landoberflächen (Evaporation) und die Wasserabgabe von Pflanzen und Tieren (Transpiration) werden durch die Evapotranspiration der Standorte abgebildet (durchgezogene Linien). Beim Münchner Standort übersteigt der anfallende Niederschlag die vorbeschriebene Evapotranspiration. Die Verdunstung ist bei den zwei amerikanischen Standorten größer als der mögliche Niederschlag, wodurch die vorhandenen Wasserreserven verbraucht werden. Das wird besonders für den kalifornischen Standort deutlich. Um Lösungsansätze erarbeiten zu können, sollten zielgerichtet entsprechende Daten zur Analyse der Ausgangssituation recherchiert werden.

3.2.1.1 Ausgangssituation

Beginnend mit dem Stillen unserer Grundbedürfnisse nach Wasser und Nahrung hat der Mensch enormen Einfluss auf den natürlichen Wasserkreislauf. Der direkte Trinkwasserverbrauch in Deutschland liegt bei 122 l/Tag (2015) [3.40]. Wird dem häuslichen Wasserbedarf der indirekte Verbrauch für die Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Industriegütern hinzugerechnet, liegt der Wasserfußabdruck pro Kopf bei 3.900 l/Tag [3.41]. Der virtuelle Wasserverbrauch bilanziert dabei den Wasserkonsum aus Nieder-

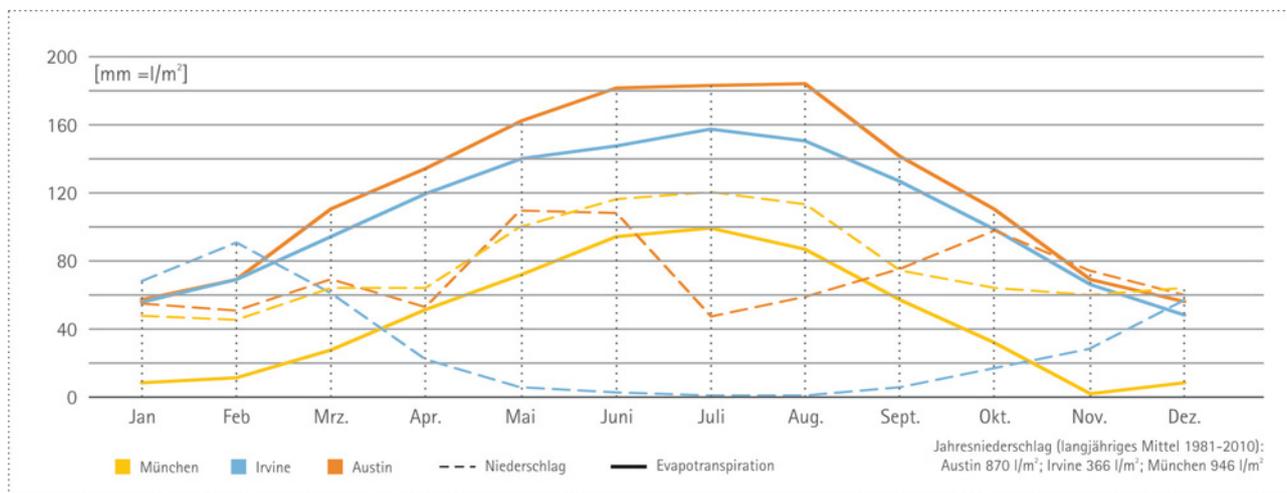


Abb. 3-26 Niederschlagsmengen [3.37] [3.38] und Verdunstung (Evapotranspiration) [3.39] der Standorte München, Irvine und Austin

schlag, künstlicher Bewässerung und belastetem Wasser. 70% des virtuellen Wasserverbrauchs in Deutschland fällt durch den Import von Konsumgütern im Bezugsland an. Lediglich 30% des Wasserbedarfs werden für die interne Güterherstellung eingesetzt.

In den USA ist es genau umgekehrt, so werden 80% der eigenen Wasserressourcen für die Güterproduktion verbraucht. [3.41] Der durchschnittliche häusliche Wasserbedarf der Kalifornier liegt bei 409 l/Tag. Davon versorgen sich 7% der Bewohner selbst, z.B. durch Regenwasserzisternen und greifen nicht auf die öffentliche Wasserversorgung zu. Ähnlich verhält es sich im US-Staat Texas mit einem Verbrauch von 348 l/Tag und einer 10%-igen Eigenversorgung [3.42]. In Bayern liegt der Trinkwasserbedarf mit 130 l/Tag [3.43] leicht über dem Bundesdurchschnitt von 122 l/Tag. In Deutschland wird bislang nur im Rahmen

von Pilotversuchen die Weiterverwendung von Regen- zu Trinkwasser untersucht (Abschnitt 3.2.4.2).

3.2.1.2 Ressourcenendlichkeit

Kalifornien ist seit Jahren von einer starken Trockenperiode bzw. Dürre betroffen. Die Wasservorräte des Landes gehen aufgrund der hohen Temperaturen und ohne neue Niederschläge zur Neige. Aufgrund des Wassermangels soll der Wasserverbrauch der Bewohner um 25% gesenkt werden sowie Grünflächen durch trockenheitsresistente Pflanzen und andere Alternativen ersetzt werden. Sogenannte „Shade balls“ bedecken die Wasseroberfläche von Deichen, um das Verdunsten zu verhindern. Um 85-90% soll die Evaporation laut National Geographic reduziert werden. Nördlich von Los Angeles sollen die Kunststoffbälle des Staubeckens Sylmar so jährlich 1,13 Mrd. Liter Wasser einsparen [3.44]. Das reicht gerade aus, um den Wasserbedarf der Millionenstadt (3,97 Mio. Einwohner) für einen Tag decken zu können. Der tägliche Wasserbedarf liegt in Los Angeles bei 81,81 gal/pro Person (309,65 l) [3.45].



Deutschland ist hingegen bislang von keinem vergleichbaren Wassermangel betroffen.

3.2.2 Wasserfußabdruck

3.2.2.1 C2C Produktanforderungen

Bei der Erstellung von Gebäuden sollte großer Wert auf das Wassermanagement gelegt werden. Einen ersten Schritt in die richtige Richtung stellt die Produktezertifizierung von C2C dar. Der Platinstatus eines Unternehmens beim Wassermanagement nach der C2C Produktezertifizierung wird nur vergeben, wenn das Wasser, welches die Produktionsstätte verlässt, Trinkwasserqualität erfüllt. Folgendes muss hierbei gewährleistet sein [3.46]:

- Keine Verstöße im Umgang mit Wasser in den letzten 2 Jahren
- Die lokalen und geschäftsspezifischen Wasserthemen sind bekannt (z.B. Wasserknappheit, Sensibilität des Ökosystems, usw.)
- Die Probleme und Bedenken des Wassermanagements sind aufzuzeigen. Für eine Rezertifizierung müssen die angestrebten Optimierungen eines verbesserten Produktionsablaufs aufgezeigt werden.

- Die Wasserströme des Unternehmens sind quantifiziert und qualifiziert.
- Die im Abwasser enthaltenen Chemikalien sind bekannt und analysiert.
- Strategien zur Verbesserung der Prozesskette werden verfolgt.

3.2.2.2 Wasserfußabdruck des nexushauses

Der Wasserfußabdruck des nexushauses wurde anhand der Ökobau.dat-Daten 2016-I ermittelt (Abbildung 3-27). Für die Produktherstellung, -instandhaltung und -entsorgung werden „Süßwasserressourcen (FW)“ verbraucht bzw. gehen sie nach Gebrauch in einen anderen Aggregatzustand über (z.B. von flüssig in gasförmig durch Verdunstung). Besonders in der Energiebereitstellung findet Wasser für Kühlzwecke Verwendung. Die Wasserentnahmemenge nach Sektoren bestätigt diese Behauptung. Mit 61,6% werden laut Statista 20,7 Mrd. m³ Wasser von

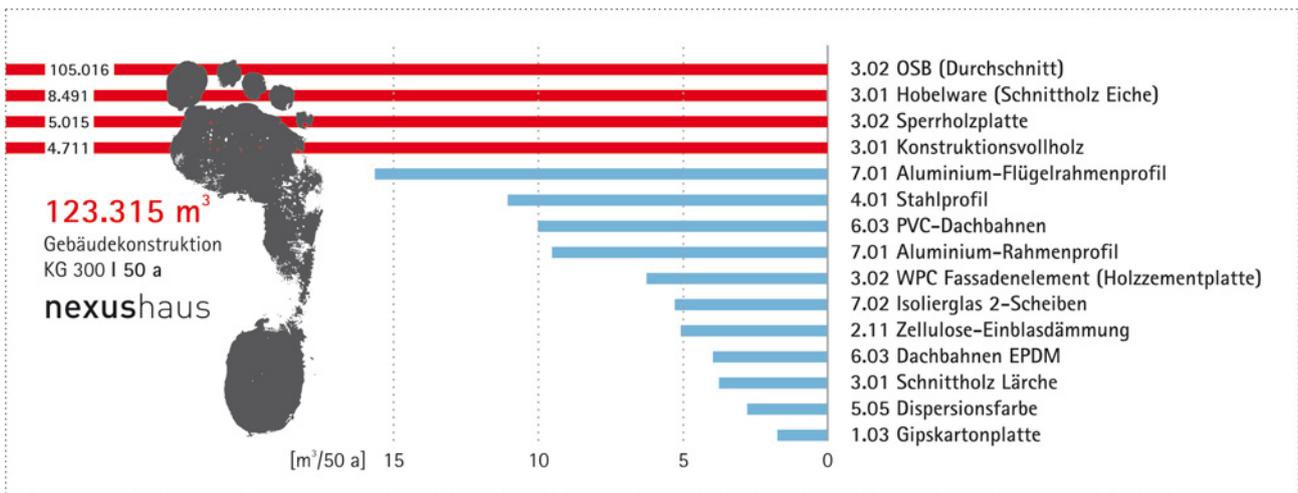


Abb. 3-27 Wasserfußabdruck des nexushauses auf Datengrundlage der Ökobau.dat 2016-I

Wärmequellen entnommen. Es folgen der Bergbau und das verarbeitende Gewerbe mit 20,2% (6,8 Mrd. m³) sowie die öffentliche Wasserversorgung für Haushalte und Kleingewerbe mit 17,6% (5,9 Mrd. m³). Die landwirtschaftliche Beregnung ist für 0,2 Mrd. m³ bzw. 0,6% der Wassereinnahme verantwortlich [3.47]. In den USA fällt mit 45% ebenfalls der größte Wasserbedarf auf die Energiebereitstellung [3.42].

Der Wassereinsatz für die energieintensive Herstellung von Holzwerkstoffen sowie das für die thermische Verwertung notwendige Kühlwasser beanspruchen dabei die meisten Frischwasserressourcen (FW). Insgesamt sind im nexushaus ca. 166 m² OSB-Platten (Oriented Strand Boards) verbaut, was einem Volumen von 4,44 m³ entspricht. Die Platten finden Anwendung bei der Wandherstellung und -aussteifung sowie als Rohfußbodenbelag der Wohnmodule. Bei einer bilanzierten Lebensdauer des Gebäudes von 50 Jahren fallen dabei 105.016 m³ Wasser an. Lediglich bei der stofflichen Verwertung (D) können wenige Ressourcen dem Produkt wieder gutgeschrieben werden. Der Datensatz aus der Ökobau.dat (2016-I) bezieht sich auf 1 m³ und enthält folgende Parameter zur Beschreibung des Einsatzes von Süßwasserressourcen [3.48]:

A1 Rohstoffbereitstellung	12.500,00 m ³
A2 Transport	1,27 m ³
A3 Herstellung	7.030,00 m ³
C2 Transport (Entsorgung)	0,15 m ³
C3 Abfallbehandlung	49,90 m ³
D Recyclingpotential (therm.)	4.230,00 m ³
D Recyclingpotential (stoffl.)	-242,00 m ³

Die Summe von 105.016 m³ wird hauptsächlich durch den Wassereinsatz bei der Rohstoffbereitstellung und Produktherstellung beeinflusst. Die Gegenüberstellung der

OSB-Datensätze der Ökobau.dat 2016-I zeigt Süßwassergutschriften beim Entsorgungsprozess der Platten auf. Es wird deutlich, wie sehr die Wahl des Datensatzes der Ökobilanz das Ergebnis beeinflussen kann. Die Herstellerdaten, anhand von EPDs (Environmental Product Declarations), unterscheiden sich oftmals stark von denen mit bilanzierten Durchschnittswerten, wie im Fall der gewählten OSB-Platte.

Mit großem Abstand folgen den Holzwerkstoffen die Metalle für die Fensterherstellung sowie der Sonnenschutzkonstruktion mit 15,6 m³ bzw. 11,0 m³ Wassereinsatz im Lebenszyklus. Die eingebauten Gipskartonplatten des nexushauses benötigten 1,7 m³ Frischwasser. Wird angenommen, dass der tägliche Trinkwasserbedarf einer Person durchschnittlich bei 130 l (0,13m³) liegt, entsprechen die Gipskartonplatten einer 13-tägigen Trinkwasserversorgung für eine Person. Der Gesamtwasserfußabdruck, ausgelöst durch die Gebäudekonstruktion des nexushauses beläuft sich auf 123.315 m³. Bei einer Bewohnerzahl des Hauses von max. 3 Personen, hat jeder einen zusätzlichen ökologischen Wasserrucksack von 2.252 l pro Tag bis zum bilanzierten Lebensende (50 a) zu tragen. Der häusliche Trinkwasserbedarf ist hierbei nicht inbegriffen.

Der Wasserfußabdruck kann durch geschlossene Prozesskreisläufe stark reduziert werden, das gilt für die Produktherstellung sowie den Gebäudebetrieb. Durch innovative Recyclingkonzepte sollte versucht werden, Trinkwasser bzw. Brauchwasser einzusparen.

Planungsparameter

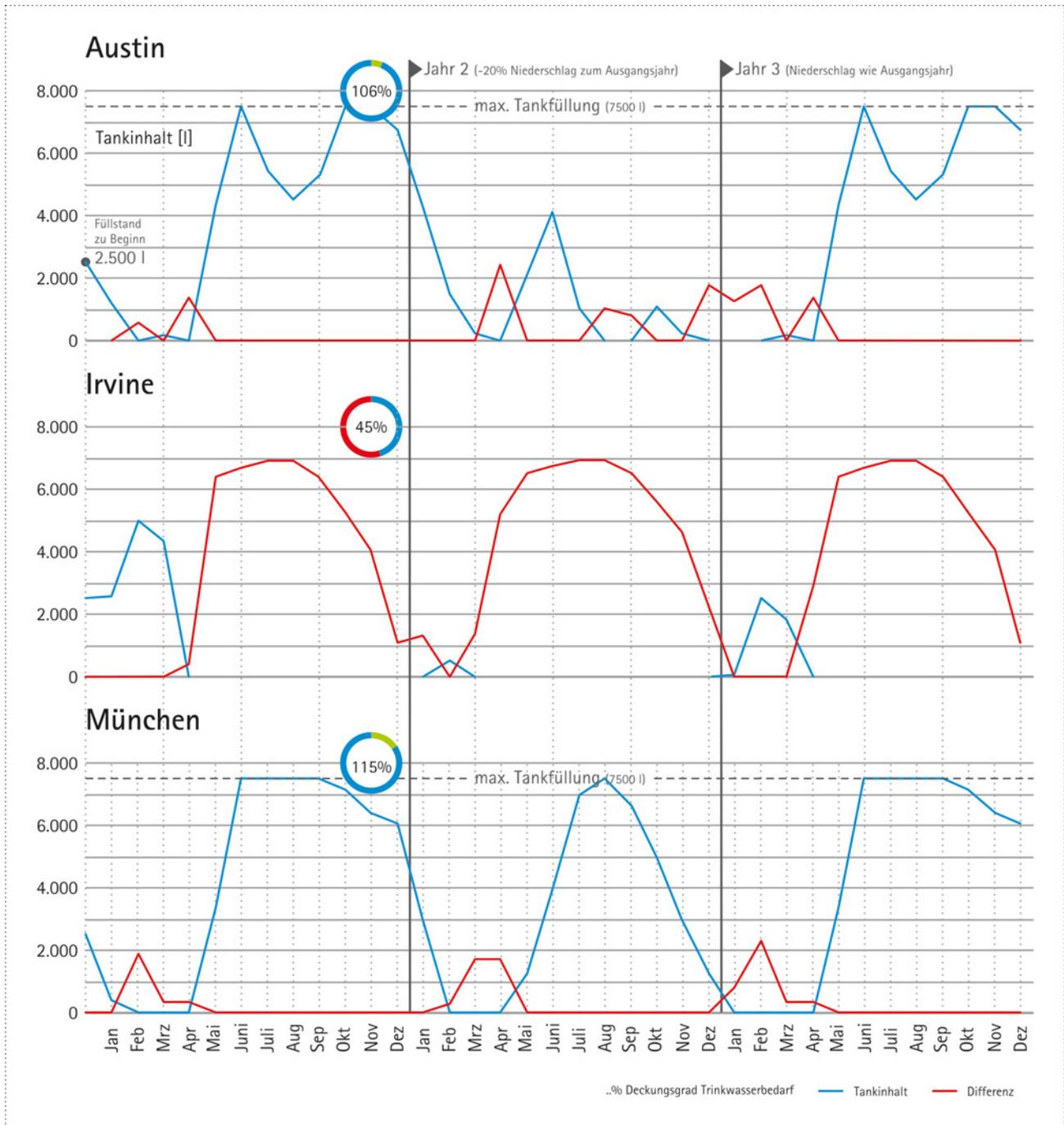


Abb. 3-28 Gegenüberstellung der Regenwasserspeicherkapazität an den ausgewählten Standorten.

3.2.3 Wasserkreisläufe

3.2.3.1 Regenwasser

In München fallen durchschnittlich (langjähriges Mittel 1981-2010) 946 l/m² Niederschlag an [3.37]. Die Versiegelungskarte 2011 der Stadt München definiert eine Flächenversiegelung von 262,28 Mio m² (ohne Verkehrsfläche) [3.49]. Laut einer Studie von 2015 wurden durch Fernerkundung davon 1,2% (3,1 Mio m²) als Dachbegrünung identifiziert [3.50]. Das entspricht einer nutzbaren Niederschlagsmenge, bei der Annahme des Abflussbeiwertes von 0,5 für Dachbegrünung und 1,0 für die Restfläche, von 246,65 Mrd. Litern pro Jahr. Damit könnten, aufbereitet zu Trinkwasserqualität, jährlich 5 Mio. Menschen versorgt werden (Annahme 130l/Tag). Der hohe hygienische, technische und finanzielle Aufwand zur Herstellung der Trinkwasserqualität hindert momentan noch daran, die Umsetzung in Betracht zu ziehen. Die Verwendung von Wasser für die Körperhygiene und besonders zur Nahrungsmittelbereitung wird durch verbindliche Grenzwerte über enthaltene Inhaltsstoffe in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) bestimmt. Das Niederschlagswasser landet somit, bis auf wenige Speicherzisternen für die Gartenbewässerung und als mögliches Spülwasser für die Toilette, ausschließlich in der Kanalisation.

Wie in Abschnitt 3.2.1.1 beschrieben liegt der Selbstversorgeranteil im US-Staat Texas bei 10%. Die Regenwassernutzung ist besonders in abgelegenen Gegenden weit verbreitet.

Das nexushaus verfolgte ebenfalls die Konzeptidee, anfallendes Regenwasser für die Weiterverwendung zu speichern. Die geplanten Dachflächen sowie Sonnenschutzmembranen sammeln möglichst viel Regenwasser und speichern es in installierten Tanks. Zum einen wird das Wasser als Brauchwasser weiterverwendet und zum ande-

ren als thermischer Energiespeicher (Thermal Storage Tank) für die Gebäudetemperierung herangezogen. Die Funktionsweise des Thermal Storage Tank wird im Kapitel Energie beschrieben. Die Speicherpotentiale von Regenwasser zur weiteren Verwendung werden nachfolgend, anhand der gewählten Standorte, gegenübergestellt.

Die drei Sonnenschutzelemente und die Dachflächen der Wohnmodule bilden zusammen eine Fläche von knapp 108 m² zur Regenwassersammlung. Der Ertragsbeiwert wurde mit 0,95 sehr optimistisch angenommen. In der Regel wird von einem geringeren Ertrag ausgegangen, da u. a. Wind und mögliche Verdunstungen auf der Dachhaut den tatsächlichen Wasseranfall reduzieren. Darüber hinaus wurde für einen 3-Personenhaushalt (2 Erwachsene + 1 Kind) ein Wasserbedarf von ca. 230,6 l/Tag ermittelt, wobei von einem bereits sensibilisierten Nutzerverhalten ausgegangen wird. Mit diesen Grundlagen wurde die benötigte Speicherkapazität des Regenwassertanks mit 7500 l bemessen, um den Bedarf weitestgehend decken zu können. Im zweiten Betrachtungsjahr wurde mit einer reduzierten Niederschlagswahrscheinlichkeit von 80%, im Vergleich zum Ausgangsjahr (100%), gerechnet.

Eine Gegenüberstellung der drei Standorte hinsichtlich der Regenverhältnisse zeigt große Unterschiede auf. Wird von einem Anfangsvolumen von 1/3 (2500 l) der Füllkapazität ausgegangen, so reichen die Niederschläge in München aus, um den Wasserbedarf des 3-Personen-Haushaltes bis auf wenige Monate decken zu können. Für den Standort Austin besteht ebenfalls die Möglichkeit, dass der geplante Speichertank den Bedarf vollumfänglich deckt. Grundsätzlich übersteigen die jährlichen Niederschläge von München und Austin den Trinkwasserbedarf, wie die nebenstehende Abb. 3-28 zeigt. Trotzdem reicht das Volumen des Tanks nicht immer aus, da der anfallende Ertrag aus dem Niederschlag sich nicht immer mit dem Wasserbedarf der Bewoh-

ner deckt.

In Irvine ist bereits nach dem ersten Jahresquartal der Vorrat komplett erschöpft. Nachdem kaum Regen anfällt, scheidet auch eine größere Tankdimensionierung für den Standort aus. Entlastung der öffentlichen Infrastruktur durch Eigenversorgung ist hier nur zu Jahresbeginn der Folgejahre denkbar.

3.2.3.2 Grauwasser

Für Irvine gilt es, ein alternatives Recyclingkonzept zu erarbeiten, das sich besser eignet, um den Wasserbedarf zu reduzieren. Abbildung 3-29 zeigt die voranschreitende Dürre des Staates Kalifornien für den Monat August. Die Grafik links zeigt das Jahr 2013. Das Bild in der Mitte stellt den Grad der Trockenheit drei Jahre später dar. Im Vergleich dazu ist Texas *mäßig trocken*. [3.51] Unterstützung bei der Wasserversorgung in regenarmen Gebieten bietet das Grauwasserrecycling.

In Deutschland fallen täglich > 60 l an Brauchwasser an, das als Grauwasser, z.B. bei der Gartenbewässerung, weiterverwendet werden kann. Kostbares Trinkwasser kann so

eingespart werden und die Abwassermenge, welche der städtischen Infrastruktur zufließt, wird reduziert. Bei der Nutzung von Grauwasser ist bei der Planung zu berücksichtigen, dass die Grauwasserleitungen von den übrigen Schmutzwasserleitungen getrennt installiert werden müssen.

Im nexushaus wird Grauwasser aus Dusche, Badwaschtisch und Waschmaschine gesammelt und für die Bewässerung von Grünanlagen eingesetzt. Unbehandelt sollte es binnen 24 Stunden verbraucht werden, um Bakterienbildung zu verhindern. Sollen zusätzlich Nutzpflanzen (Gemüse und Obst) bewässert werden, muss ein Filtersystem (z.B. Membran) mit eingeplant sein. Der Grauwasseranteil des nexushauses wurde mit 163 l/Tag für den 3-Personen-Haushalt berechnet, was 71% des Trinkwasserbedarfes entspricht (Abb. 3-30).

3.2.3.3 Trinkwasser

Laut Glücklich [3.52] ließe sich der private Wasserverbrauch um knapp 40% reduzieren. Durch den Einsatz von wassersparenden Armaturen, sensibilisiertes Nutzerverhalten

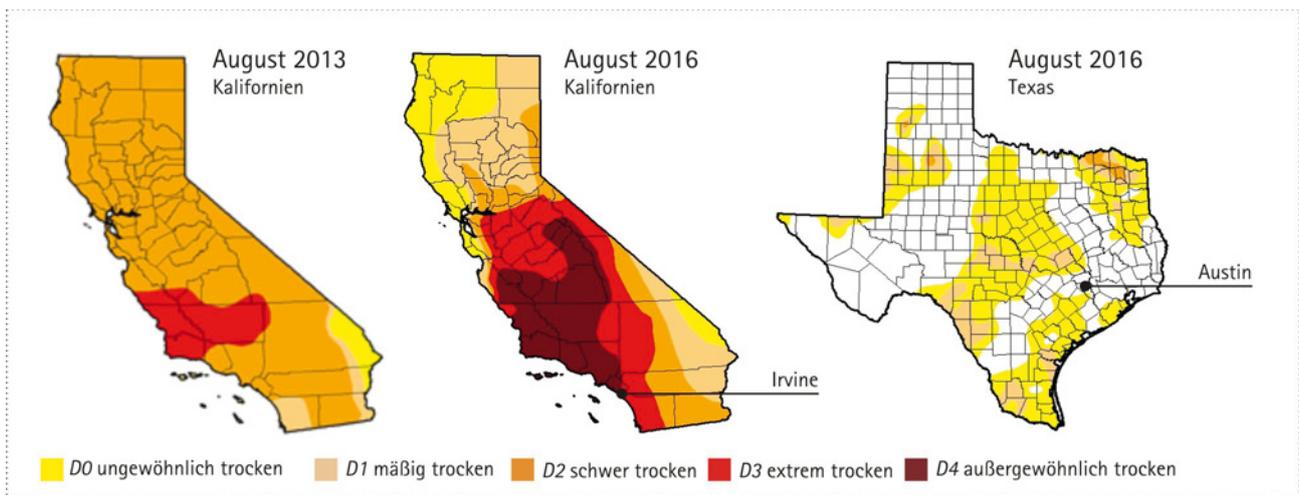


Abb. 3-29 Trockenheit in Kalifornien und Texas [3.51]

ten, Wasserrecycling und Regenwassernutzung kann der Bedarf beeinflusst werden.

Viele Armaturen reduzieren den Wasserbedarf durch das Beimischen von Luft und einen Durchlaufbegrenzer. Darüber hinaus helfen Sensoren dabei, Wasser nicht unnötig laufen zu lassen. Das Produktlabel Blauer Engel gibt eine Durchflussmenge von 4-6 l/Min. vor, wobei die sogenannte Boost-Funktion kurzzeitig die Steigerung des Durchflusses auf 8 Liter pro Minute erlaubt. Bei sensorgesteuerten Armaturen gilt die Abschaltung des Wasserdurchflusses nach einer Sekunde, wenn das Wasser nicht mehr benötigt bzw. der Sensor nicht mehr aktiviert wird [3.54].

Wassersparende Duschköpfe benötigen momentan eine Durchflussmenge von < 9 l/Min. Das EU-Ecolabel, die Euroblume, beschreibt die Grundvoraussetzungen, welche eine Toilettenspülung haben muss, um das Zertifikat zu erhalten. Unter anderem muss ab einer Spülfunktion von > 4 l, jedoch max. 6 l, eine Sparfunktion enthalten sein, die 3 l beim Spülvorgang nicht überschreitet [3.53].

Waschmaschinen, die weniger als 9.000 l/Jahr (220 Standard-Anwendungen) verbrauchen gelten als sparsam. Der

Wasserverbrauch von Spülmaschinen wird gemäß Blauer Engel anhand der Produktbreite angegeben. Demnach soll der Wasserbedarf einer 45 cm breiten Maschine 2520 l nicht übersteigen. Bei Geräten > 45 cm Breite muss der Verbrauch je Standardprogramm unter 2800 l liegen.

Die Armaturen des nexushauses befinden sich im vorgenannten Bedarfsbereich. Die installierte Smart-Home-Technik (siehe auch Kapitel Diversität 3.4) stellt dabei den Gesamtwasserverbrauch der Bewohner dar, um den Nutzer bei seiner Verbrauchskontrolle zu unterstützen. Die verwendete Waschmaschine benötigt ca. 57 l (12.540 l/a) pro Waschgang. Hier hätte eine wassersparsamere Maschine gewählt werden können. Derzeit sind wassersparende Maschinen mit einem minimalen Wasserverbrauch von ca. 40 l pro Waschgang erhältlich. Das Nutzerverhalten hat großen Einfluss auf den Wasserbedarf. Besonders die Körperhygiene und das Zubereiten von Nahrungsmitteln kann durch sensibilisiertes Verhalten Wasser einsparen. Benutzer sollten den Hahn zudrehen, sobald das Wasser nicht benötigt wird. Das gilt für das Zähneputzen, wie auch beim Einseifen in der Dusche [3.52].

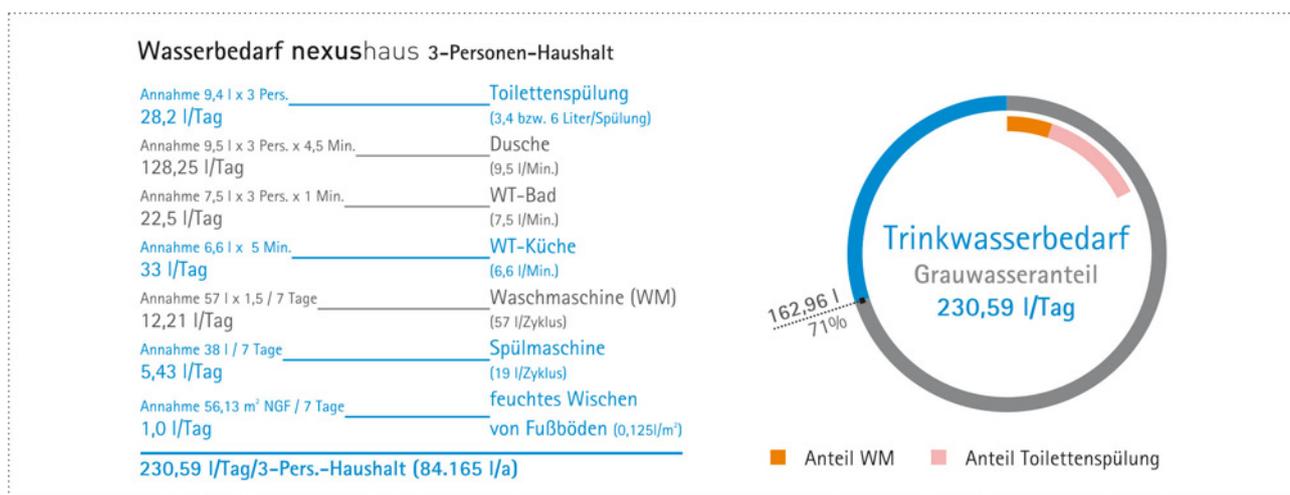


Abb. 3-30 Grauwasseranfall und mögliche Grünflächenbewässerung

Planungsparameter

3.2.3.4 Schmutzwasser

Nachdem nicht das komplette Abwasser des nexushauses recycelt werden kann fällt eine geringe Menge Schwarzwasser an. Das Wasser aus Küchenspüle, Spülmaschine und WC wird dem öffentlichen Abwassersystem zugeführt. Die Installation einer Vakuum- oder Trockentoilette könnte das Schwarzwasseraufkommen erheblich reduzieren. Vakuumtoiletten benötigen für den Spülvorgang lediglich 0,5-1,5 Liter Wasser. Trockentoiletten verzichten komplett auf den Wassereinsatz. Beide Systeme sind beim Nutzer aufgrund möglicher Geruchsbildung noch wenig akzeptiert und finden bislang hauptsächlich Anwendung an temporären Aufenthaltsorten, wie Verkehrsmitteln (Bahn- und Flugzeugverkehr). Bei Spartasten ist auf eine richtige Systemausführung zu achten. Ein verringerter Querschnitt der Abwasserleitung sorgt für eine verbesserte Sogwirkung. Ist das nicht vorgesehen machen vermehrte Spülvorgänge die angestrebte Einsparung zu nichte.

3.2.3.5 Grünflächenbewässerung

Der anfallende Wasserbedarf in den USA entfällt mit 61%

auf den Innenbereich (u.a. Toilettenspülung, waschen und duschen), 29% werden für die Bewässerung von Außenanlagen und Nutzpflanzen verbraucht sowie 10% gehen durch Leitungsleckagen verloren [3.55]. Die Gartenbewässerung in Deutschland beläuft sich, gemeinsam mit Raumreinigung und Autopflege, auf 6% des Wasserbedarfs [3.40].

Zieht man die bebaute Fläche einschließlich der Zuwegung von der Grundstücksfläche (Wettbewerbsfläche) des nexushauses ab, bleiben ca. 234,79 m² nutzbare Grünfläche übrig. Berücksichtigt man außerdem die Evapotranspiration der verschiedenen Standorte Austin, Los Angeles (Irvine) und München und nimmt einen durchschnittlichen Verbrauchskoeffizienten der Bepflanzung von 0,6 (moderate Bewässerung) an, könnten Flächen von mind. 40 m² in Austin, 50 m² in Los Angeles (Irvine) und 80 m² in München ohne Einschränkung mit dem Grauwasseraufkommen bewässert werden. Der kalkulierte Maximalbedarf an Wasser für die Gartenbewässerung liegt bei 145,2 l/Tag für Austin, 121,9 l/Tag für Irvine und lediglich 76,9 l/Tag für München.

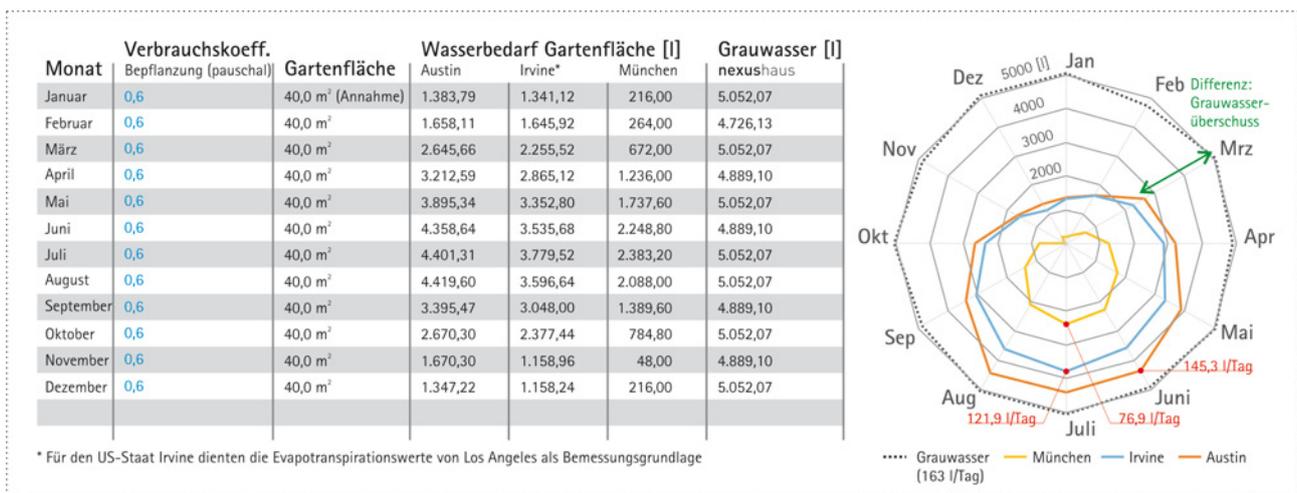


Abb. 3-31 Gegenüberstellung Grauwasseranfall und -bedarf für eine Gartenfläche von 40 m²

Der Überschuss in den kälteren Monaten (Abb. 3-31) könnte zur Bewässerung der restlichen Grünfläche herangezogen oder den Nachbarn bereitgestellt werden.

Darüber hinaus helfen Versickerungsflächen bei der Grundwasserneubildung und geben der Natur einen Teil des entnommenen Wassers wieder zurück. Wasserintensive Pflanzen (Verbrauchskoeffizient 1,0) wären ebenfalls denkbar. Die bewirtschaftete Flächengröße kann lediglich als zusätzliche Nahrungsversorgung gesehen werden. Ein Selbstversorgergarten wird bei einer vegetarischen Ernährungsweise mit mind. 150 m² Größe angenommen [3.56].

3.2.4 Wasserqualität und Aufbereitungsmöglichkeiten

Zum Schutz von Mensch und Ökosystem darf das Abwasser keine schädlichen Inhaltsstoffe beinhalten. Bei der C2C-Produktzertifizierung sind die im Abwasser enthaltenen Chemikalien zu bestimmen und analysieren. [3.46]

Die häusliche Abwasserbehandlung unterscheidet grundsätzlich zwei Verfahren, die naturnahe und die technische Reinigung.

3.2.4.1 Naturnahe Abwasserreinigung

Organische Inhaltsstoffe (z.B. Fette, Essensreste) im Abwasser, bspw. aus der Küchenspüle, sollten aus dem Wasser während des Behandlungsvorgangs entfernt werden. Ist das nicht der Fall, wird die Reinigung durch die Bakterien der Gewässer unterstützt [3.57], wobei der im Wasser enthaltene Sauerstoffgehalt entzogen wird. Das Versauerungspotential (Umweltindikator AP) wird dabei erhöht, wobei unter anderem Fischsterben die Folge sein kann. Eine unzureichende Abwasserreinigung führt außerdem zu einer Erhöhung des Algenwachstums (Umweltindikator EP) durch vermehrten Eintrag der anorganischen Nährstoffverbindungen Phosphor und Stickstoff. Die Arten-

vielfalt der Bäche, Seen und Gewässer wird dadurch reduziert.

Die naturnahe Abwasserbehandlung beinhaltet Pflanzenkläranlagen sowie belüftete und unbelüftete Teichanlagen. Den Becken vorgelagert ist die sog. Vorklärung, entweder als Absetzteich oder Mehrkammergrube. In einem Fäulnisbehälter werden durch die Vergärung des Überschussschlamm aus der Biomasse umweltschädliche Inhaltsstoffe reduziert, wobei Faulgas als Energieträger entsteht. Der abgesetzte Schlamm kann darüber hinaus nach erfolgter Trocknung sowohl stofflich als Dünger verwendet werden oder wird thermisch verwertet.

Nachdem das Wasser das Pflanzenbecken oder die Teichanlage passiert hat wird es über einen Kontrollschacht ins Gewässer eingeleitet, wobei in regelmäßigen Abständen die Wasserqualität analysiert wird.

3.2.4.2 Technische Abwasserreinigung

Die Anlagengröße einer technischen Abwasserreinigung ist abhängig von dem zu reinigenden Abwasserstrom. Wird nur Grauwasser gereinigt kann die Anlage sehr viel kleiner dimensioniert werden. Zu den einzelnen Reinigungsschritten gehören laut Glücklich [3.52] die mechanische Vorreinigung (Sedimentation), die biologische Reinigung, eine eventuelle Nachklärung und, wenn nötig, eine Hygienisierung durch UV-Strahlung. Alternative Reinigungsverfahren von Grauwasser beschreibt Hartmann [3.58]. Hier folgt der biologischen Reinigung durch das (technische) Zuführen von Sauerstoff die Filtrierung mittels Membrantechnologie. Das gereinigte Grauwasser entspricht den Anforderungen an die Badewasserqualität nach EU-Richtlinie, erreicht jedoch nicht Trinkwasserqualität.

In einem Pilotprojekt der INTEWA GmbH im Rahmen des EU-Projektes „Eco Innovation“ wird Regenwasser zu Trinkwasser aufbereitet. Ausgenommen hiervon sind die

Küchenanschlüsse. Einer Membranstation in der Regenwasserzisterne (10 m³) folgt zur Vermeidung potenzieller Nachverkeimung eine UV-Behandlung, um das Niveau der Trinkwasserqualität zu erreichen. Das aufbereitete Klarwasser wird bis zur Weiterverwendung in einem 350 l Tank zwischengespeichert. [3.59]

3.2.4.3 Abwasserreinigungskonzept des nexushauses

Im Falle des nexushauses wurde für die Grauwasserbehandlung der *Aqua2use Graywater Diversion Device* der Firma *water wise group* verwendet [3.60]. Drei Filtereinheiten mit unterschiedlicher Maschengröße reduzieren den Partikelanteil im Wasser. Die Filter müssen alle 4-6 Monate gereinigt werden und ermöglichen, je nach System, einen Durchfluss von 30-60 Litern. Das recycelte Wasser kann im Anschluss für die Gartenbewässerung, die Toilettenspülung oder als Waschwasser für die Waschmaschine verwendet werden. Die Recyclingeinheit kostet ca. 700 EUR. Ein neuer Filtersatz ca. 150 EUR.

Um das Regenwasser auf Trinkwasserqualität zu bekommen wurde ein System der Firma *VIQUA - simply safe water* eingesetzt [3.61]. 2-2,7 m³ des anfallenden Regenwassers können so binnen einer Stunde auf Trinkwasserqualität gebracht werden. Einer UV-Lampe sind zwei Filter vorgeschaltet: Ein Partikelfilter und ein Carbonfilter, der mögliche Geruchsbildung vorbeugt. Die Einheit kann mit einer Größe von ca. 64 x 30 x 70 cm als Teil des Leitungsnetzes installiert werden. Die UV-Lampe muss jährlich erneuert werden, um die Wasserqualität sicherzustellen.

Das System kostet, je nach Konfiguration, ca. 1.000 EUR. Der Austausch des Leuchtmittels jährlich ca. 90 EUR.

3.2.5 Innovation

3.2.5.1 Abwärmenutzung

14% des Energieverbrauches deutscher Haushalte entfällt auf die Warmwasserbereitung [3.62]. Durchdachte Konzepte helfen dabei, den Energiebedarf zu reduzieren. Die enthaltene Wärme der Abwasserströme kann bspw. für die Vortemperierung des Brauchwassers Anwendung finden. Hierbei wird ein zusätzlicher Nutzen aus dem Abwasser gewonnen, wodurch Energie für die Wärmeerzeugung eingespart wird.

Die Duschrinne *Joulia* bspw. nützt die Abwärme des Duschwassers zur Vortemperierung des „Kaltwassers“. Bei der Temperaturregelung kann somit die notwendige Wärmezufuhr des Warmwasseranschlusses reduziert werden. Das ca. 35°C warme Duschwasser wird dabei über einen Wärmetauscher, bestehend aus 3-5 Kupferrohren geführt und gibt die Wärme an die Kupferrohre ab. Diese übertragen wiederum die Wärme an das in den Kupferrohren geführte Trinkwasser. Das Kaltwasser kann dadurch auf ca. 25°C vortemperiert werden. [3.63]

3.2.5.2 Vielfalt

Vielfältige Nutzungsmöglichkeiten zeigen, dass über einen schonenden Umgang mit der Ressource Wasser nachgedacht wurde. Oftmals können, wie im Falle des folgenden Aquaponik-Systems, positive Nebeneffekte innovative Konzepte hervorrufen. Ein weiteres Beispiel stellt dabei der thermische Energiespeicher des nexushauses dar. Der mit Regenwasser gefüllte thermische Speichertank dient, neben der Gebäudetemperierung, auch als Wassertank für die Besprinkler im Brandfall.

3.2.5.3 Urban Farming

Die Selbstversorgung mit Nahrungsmitteln sollte im Falle des nexushauses anhand des sog. Aquaponik-Systems dargestellt werden. Das Konzept wurde zum Solar Decathlon Wettbewerb nicht funktionsfähig umgesetzt, jedoch den Besuchern anhand von Schautafeln und den baulichen Elementen erläutert. Mit Hilfe dieses Systems wird ein geschlossener Wasserkreislauf hergestellt, der zusätzlichen Wasserverbrauch durch die Bewässerung von Nutzpflanzen einspart. Ein installierter Wassertank dient als Ausgangsbecken für den Wasserkreislauf. Der Tank sollte im Falle des nexushauses mit dem anfallenden Kondenswasser aus der Klimaanlage (Fan Coils) befüllt werden. Das ursprüngliche Abfallprodukt wird durch das Recycling zum wertvollen Nährstoff für die Nahrungsmittelproduktion. Das Aquaponik-System unterscheidet sich dahingehend von einem Hydroponik-System, dass zusätzlich zur Gemüsebewässerung auch eine Fischzucht erfolgt. So sollten ursprünglich in dem Kondenswassertank des Wettbewerbsgebäudes Fische, z.B. Tilapia, eingesetzt werden. Der Lebensraum der Fische muss unter anderem durch

Wassertemperatur und pH-Wert sichergestellt sein. Ernährt werden die Fische mit Insektenmehl. Die Ausscheidungen der Tiere werden über einen biologischen Filter in Nitrat umgewandelt und dienen als Nährstoff bzw. Dünger für die Pflanzen, die mit dem anfallenden Fischabwasser aus dem Tank bewässert werden. Das Pflanzenwasser kann noch zusätzlich mit passenden Mineralien und Nährstoffen versetzt werden, die den Anbau von sehr nährstoffzehrenden Nutzpflanzen ermöglichen. Wasser, welches durch die Pflanzen aufgenommen wird bzw. verdunstet, wird über die Kondenswasserzuleitung der Kühlgeräte wieder aufgefüllt (siehe Abb. 3-32). Der tatsächliche Wasseranfall durch die Fan Coils wurde im Wettbewerbsverlauf nicht ermittelt.

Das System wäre ebenfalls am Standort München umsetzbar. Für jeden Standort müssten die Rahmenbedingungen sichergestellt werden. Dazu gehören eine konstante Wassertemperatur für die Fische (im Fall von Tilapia 25 °C) und ausreichend Beleuchtung für die Pflanzen. Der Bedarf der Nutzpflanzen ist abhängig von der Größe des Aquaponik-Systems und der angebauten Pflanzen. Angelehnt an das ASTAF-PRO-Projekt des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin-Friedrichshagen könnten mit 1 m³ Abwasser etwa 400 Tomatenpflanzen versorgt werden. Das entspricht Fischtanks mit einem Gesamtfassungsvermögen von ca. 8 m³ [3.64]. Für das nexushaus müsste die Anlage natürlich deutlich kleiner geplant werden. So könnten in einem 160-Liter-Tank beispielsweise 13,5 kg Fisch gehalten werden, die mit einem täglichen Wasserverbrauch von 16 Litern 8-10 Tomatenpflanzen und zusätzlich Salat und Kräuter versorgen. Die Mini-Farm hätte dann einen Platzbedarf von 6 m². Um eine Schwarmbildung der Fische zu erreichen, sollte bei Tilapia eine Besatzdichte 60-150 kg/m³ erreicht werden. Die 13,5 kg Fisch ließen sich deshalb in 40 Fische in vier Größen aufteilen, die gleichmäßig heranwachsen und mit einem

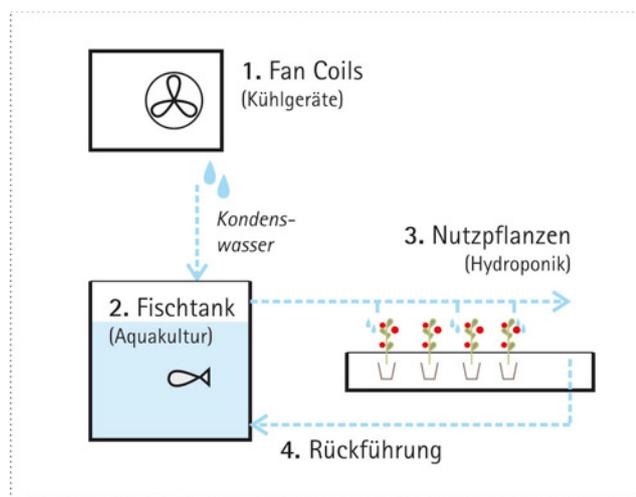


Abb. 3-32 Skizze zum Aquaponik-Konzept des nexushauses

DGNB	
Wohngebäude (Version 2015)	
ENV1.1	Ökobilanz – emissionsbedingte Umweltauswirkungen Umweltindikatoren: Versauerungspotential (AP) und Überdüngungspotential (EP)
ENV1.2	Risiken für die lokale Umwelt Reduzierung, Vermeidung oder Substitution von gefährdenden oder schädigenden Werk- bzw. Inhaltsstoffen
ENV2.1	Ökobilanz – Ressourcenverbrauch Umweltindikator: Frischwasserverbrauch (FW)
ENV2.2	Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen Reduzierung von Trinkwasser, Wiederverwertung von Abwässern, Nutzung lokaler Ressourcen
PRO1.3	Konzeptionierung und Optimierung in der Planung Erfassen von Medienströmen (Wasser, Abwasser, Abfall)
PRO2.1	Baustelle/Bauprozesse Boden- und Grundwasserschutz auf der Baustelle
LEED v4	
Homes and Multifamily Lowrise	
Location and Transportation (LT)	Sensitive Land Protection
Sustainable Sites (SS)	Construction Activity Pollution Prevention Rainwater Management
Water Efficiency (WE)	Water Metering Total Water Use Indoor Water Use Outdoor Water Use
Energy and Atmosphere	Efficient Hot Water Distribution System

Gewicht von etwa 550 g nach acht Monaten abgefischt werden. Alle zwei Monate werden zehn Fische nachgesetzt, um die Besatzdichte konstant zu halten [3.64]. In der Literatur sind bislang kaum Informationen über den positiven Nutzen des Aquaponik quantifiziert. In Deutschland werden hauptsächlich Alternativen zum Kondenswasser verwendet, außerdem sind die Systeme mit einem weitaus größeren Maßstab angelegt. Bei kleineren Systemen ist die Wirtschaftlichkeit in der Regel nicht gegeben, weil die Investitionskosten relativ hoch sind. Darüber hinaus stellt sich an allen Standorten die Frage, wie bei einem Anbau im Gewächshaus über das gesamte Jahr eine konstante Temperatur sichergestellt wird. Für die Fische darf es im Winter nicht zu kalt und im Sommer nicht zu heiß werden. Eine Möglichkeit dafür könnte das von ZINEG entwickelte Niedrigenergiegewächshaus sein, das jedoch ebenfalls auf die industrielle Produktion von Nutzpflanzen ausgelegt ist [3.65 a]. Das Forschungsprojekt ROOF WATER-FARM untersucht in einem Pilotprojekt die Nutzbarkeit von Recyclingwasser (Regen-, Grau- und Schwarzwasser) für das Aquaponik Verfahren [3.65 b]. Die Technologie, wie sie für das nexushaus angedacht war, wird bisher kaum umgesetzt. Das primäre Ziel bei geschlossenen Wasserkreisläufen für die Nahrungsmittelbewirtschaftung ist das Einsparen von Wasser. Die lokale Bereitstellung der Nahrungsmittel sorgt für einen geringen Wasser- und CO₂-Fußabdruck. Transportemissionen können durch die Stadtnähe bzw. direkte Verwertung eingespart werden. Das Aquaponik-System stellt eine innovative Nutzungsmöglichkeit des überschüssigen Grauwassers dar. Diese Potentiale sollten durch Forschung und Praxisanwendungen weiter evaluiert werden, wobei auch die gestalterische Integration in den Gebäudeentwurf berücksichtigt werden sollte.

Abb. 3-33 Übersicht Wasserthemen bei der Gebäudezertifizierung. Am Beispiel des DGNB- und LEED-Systems

3.2.6 Verantwortung

3.2.6.1 Bedeutung von Wasser in Zertifizierungssystemen

Zertifizierungssysteme bewerten die Nachhaltigkeit eines Gebäudes anhand verschiedener Bewertungskategorien. Die Ressource Wasser wird in vielen Zertifizierungssystemen berücksichtigt, was die Bedeutung im Umgang mit der Ressource zeigt.

Die Gebäudezertifizierung Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) erwähnt den Wasserbegriff in sechs Kriterien (Abb. 3-33) [3.66]. Durch eine geforderte Ökobilanz werden die Indikatoren Versauerungspotential (AP), Überdüngungspotential (EP) sowie Frischwasserbedarf (FW) und deren Umwelteinfluss gewichtet. In der Kategorie ENV1.2 „Risiken für die lokale Umwelt“ soll der Eintrag von Gefahrstoffen reduziert oder bspw. durch Substitution vermieden werden. Der Trinkwasserbedarf soll durch entsprechende Armaturen, Haushaltsgeräte und ein angepasstes Nutzerverhalten reduziert werden. Wasserrecycling und Regenwassernutzung werden vorgeschlagen. „Medienströme“ von Wasser und Abwasser sind zu monitoren, um

Auswirkungen und Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Während des Erstellungsprozesses muss der Boden- und Grundwasserschutz sichergestellt sein. Das LEED-System (Leadership in Energy & Environmental Design) behandelt die gleichen Themen wie das DGNB-System. Die Auseinandersetzung mit dem Wasserbedarf bei der Gestaltung der Außenräume wird im LEED-System intensiv behandelt [3.67]. Auch der Hinweis, die Stranglängen des Wasserleitungssystems zu minimieren, reduziert den Wasser-, Strom- und Heizenergieverbrauch.

Der Wasserfußabdruck des Materials bzw. der Produkte, wie in Abschnitt 3.2.2 aufgezeigt, bleibt bislang bei den Zertifizierungssystemen unberücksichtigt.

Bei den Produktzertifizierungen (z.B. Euroblume und Blauer Engel) wurden im Abschnitt 3.2.3.3 bereits Beispiele aufgezeigt, die einen sorgsamen Umgang mit Wasser verfolgen. Hauptsächlich wird hier auf den Wasserbedarf bei der Nutzung eingegangen. Der Wasserentnahmort und die lokale Wassersituation bleibt unbewertet.

3.2.6.2 Handlungsempfehlungen

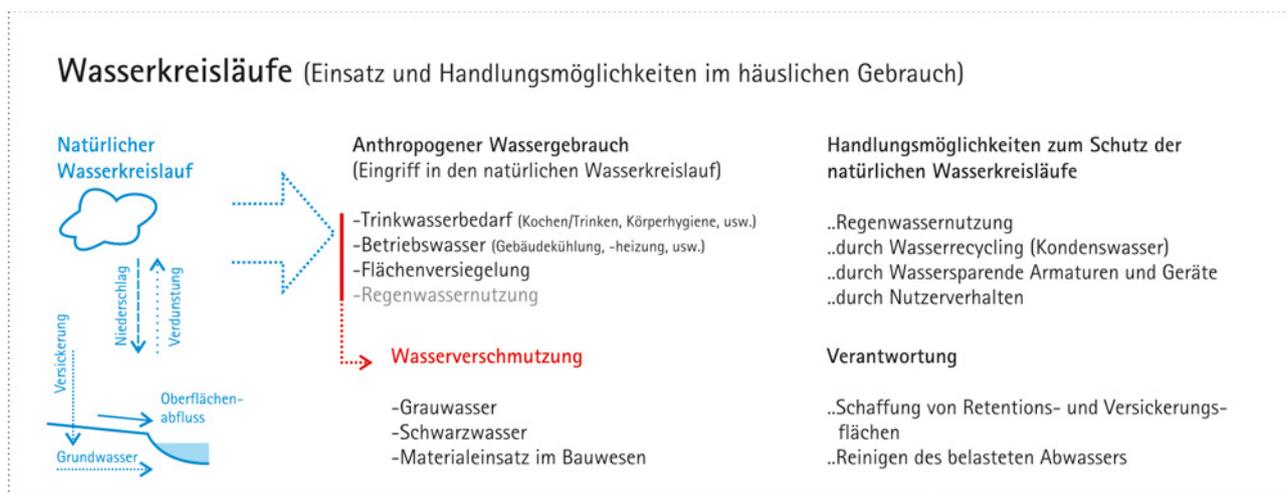


Abb. 3-34 Übersicht der Handlungsmöglichkeiten von häuslichen Wasserkreisläufen

Der respektvolle Umgang mit der Natur setzt nach Cradle to Cradle voraus, dass das dem natürlichen Wasserkreislauf entnommene Wasser diesem wieder mit einer verbesserten Qualität zurückgegeben wird.

Die Versiegelung der Grundstücksfläche durch Bebauung und Erschließung ist somit auf das geringste Maß zu begrenzen. Vorhandene Versickerungsflächen sollen beibehalten bzw. neu geschaffen werden. Die Rückführung des gereinigten Regen- bzw. Abwassers in den natürlichen Wasserkreislauf wird gewährleistet, wobei Grundwasserneubildung stattfinden kann. Die Bedeutung von gesundem Wassermanagement wird im Report der United Nations Environmental Programme (UNEP) „Economic Valuation of Wastewater - The cost of action and the cost of no action“ deutlich [3.68]. Der saubere Umgang mit Wasser hat Einfluss auf die menschliche Gesundheit, das Ökosystem der Erde und eine funktionierende Wirtschaft. Wasserbezogene Herausforderungen sind die Trink- und Badewasserqualität, die Wasserqualität der Bewässerung von Pflanzen zur Nahrungsmittelproduktion sowie Auswirkungen auf das Gesundheitssystem. Auf den Gebäudemaßstab skaliert bedeutet dies für die installierten Wasserkreisläufe beispielsweise, das recycelte Regen- bzw. Grauwasser unbelastet an Mensch und Umwelt weiterzugeben. Gerade der Gebrauch von städtischem Regenwasser als Trinkwasser erfordert hier besondere Beachtung. Emissionen aus Verkehr und Industrie haften an der Bepflanzung von Gründächern und gelangen durch den Regen in den Speichervorrat. Diese und mögliche weitere Schadstoffe aus dem eingesetzten Material müssen sicher aus dem Brauchwasser entfernt werden. Die Wiederverwendung von Grauwasser aus Dusche und Badwaschtisch setzen voraus, dass der Nutzer/Bewohner keine schädlichen Reinigungsmittel verwendet. Schon geringe Verunreinigungen gelangen leicht ins Grund- und Oberflächenwasser und

belasten somit die Umwelt. Die Bewässerung von zum Verzehr geeigneten Nutzpflanzen können auf die menschliche Gesundheit und das Gesundheitssystem negative Auswirkungen haben.

Der Water Exploitation Index (WEI) gibt an, dass bereits 18% der EU-Bevölkerung an Wassermangel (water-stressed) leidet [3.69]. Auch wenn in Deutschland die Wasserknappheit noch kein so großes Thema darstellt wie bei den amerikanischen Vergleichsstandorten, so ist in jedem Fall an nachfolgende Generationen zu denken, um die gleichen Lebensgrundlagen sicherzustellen.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Urbanisierung und dem Bevölkerungswachstum sollte durch eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft hier frühzeitig vorgesorgt werden.

Wasser

3

Planungsparameter
3.3 Energie

3.3 Use Current Solar Income

Die Cradle to Cradle Planungskriterien sehen den Einsatz von regenerativen Energiequellen beim Gebäudebetrieb vor und streben gar ein Plus an Energieerzeugung an. Um das zu realisieren sind effiziente Haushaltsgeräte einzuplanen. Zudem ist eine intensive Auseinandersetzung mit dem Standort erforderlich. Vorhandene Ressourcen können so optimal in den Planungsprozess einfließen. Passive Strategien sind vorzuziehen und der Verbrauch ist auf ein Minimum zu reduzieren.

Gelingt die Kombination aus Passiv- und Aktivmaßnahmen profitiert der Nutzer von einem angenehmen Wohn- und Arbeitsumfeld und spart Betriebskosten ein. Darüber hinaus kann mit dem Überschuss an Strom beispielsweise die Elektromobilität unterstützt werden. Das war auch beim nexushaus der Fall und wurde vom Wettbewerbauslober gefordert.

Die Sonne ist die bedeutendste natürliche Energiequelle („use current solar income“) - nachdem Sie neben der direkten Umwandlung in elektrischen Strom und Warmwasser - auch Antriebskraft weiterer regenerativen Energieformen wie der Windenergie ist. Beim nexushaus wurde auf die Warmwasserbereitung durch Sonnenenergie verzichtet und ausschließlich Photovoltaik installiert. Hierfür wurden beide Dächer der Wohnmodule vollflächig mit PV-Modulen belegt, um den Bedarf an Strom für den Haushalt und das Elektromobil decken zu können.

Die Standortanalyse bildet die Grundlage für die Ausarbeitung eines energetischen Konzeptes. Das Planungskriterium „use current solar income“ beinhaltet die Auseinandersetzung mit folgenden Themen [3.70]:

- Verwendung von Solarenergie
- Aktivierung von Speichermassen im Gebäude
- Verwendung von Windenergie

- Verwertung von Biomasse
- Tageslichtnutzung
- Natürliche Belüftung
- Moderates Mikroklima
- Recycling von „Energieabfällen“

Für den urbanen Kontext, welcher nicht Teil der Forschungsarbeit ist, wird außerdem eine schadstoff- und energiearme Transportinfrastruktur favorisiert. Zudem sollen großzügige Freiräume den Zugang von Sonne und Wind erlauben.

3.3.1 Standortanalyse

Im Folgenden wird für die drei gewählten Standorte eine Bestandsanalyse durchgeführt um aufzuzeigen, wo die einzelnen Potentiale hinsichtlich einer Cradle to Cradle Bewertung liegen. Die Wahl der Standorte ist durch die Teilnahme an den Solar Decathlon Wettbewerb entschieden worden. Der finale Wettbewerb und das dazugehörige Monitoring fand in Irvine, Kalifornien statt. Nachdem Studierende zweier Kontinente gemeinsam am Wettbewerb teilnahmen, sind die Hochschulstandorte Austin (Texas) und München in die Analyse einbezogen worden. Sie befinden sich auf der nördlichen Halbkugel zwischen dem 30. und 48. Grad nördlicher Breite, weshalb bei allen drei Standorten die Jahreszeiten auf etwa die gleichen Monate fallen. Keiner der drei Standorte ist durch extreme klimatische Bedingungen geprägt. Dennoch ist auch in diesen gemäßigten Regionen ein bewusster und gezielter Umgang mit den schwankenden Temperatur- und Feuchtezuständen erforderlich, um die thermische Behaglichkeit in Innenräumen zu garantieren.

Abb. 3-35 Übersichtskarte der drei Standorte



3.3.1.1 Temperatur/Luftfeuchte

Beginnend mit der Standortanalyse werden Außentemperatur sowie relative und absolute Außenluftfeuchte betrachtet. Hierfür eignen sich die nebenstehenden Mollier-Diagramme der jeweiligen Standorte, deren Messpunkte die 8760 Stunden eines Jahres darstellen. Auf der x-Achse ist die Temperatur in °C aufgetragen, auf der y-Achse die absolute Luftfeuchte in g/kg-Luft. Die relative Luftfeuchtigkeit wird anhand der aufwärts laufenden Kurven im Diagramm in % dargestellt sowie die Enthalpie in kg/kJ anhand der schräg eingetragenen Linien.

Im direkten Vergleich sind deutliche Unterschiede der drei Standorte erkennbar. Austin erreicht in Temperatur und Luftfeuchtigkeit die höchsten Werte. Im Sommer haben Stunden mit Temperaturen von über 35 °C eine hohe Häufigkeit. Aufgrund der Lage an Gewässern und Vegetation kommt hinzu, dass die Luftfeuchtigkeit sehr hohe Werte erreicht. Zusätzlich weist Austin über das Jahr betrachtet die größten Schwankungen auf und im Winter können die Temperaturen unter den Gefrierpunkt fallen.

In Irvine schwanken die Temperaturen am wenigsten, sie fallen nicht unter den Gefrierpunkt und erreichen selten Werte über 30 °C. Die relative Luftfeuchtigkeit bewegt sich wie an den beiden anderen Standorten auch im höheren Bereich, sie erreicht jedoch seltener die Sättigungsgrenze. Am Standort München werden im Winter die tiefsten Temperaturen mit bis zu unter -10 °C erreicht. Im Sommer sind die Temperaturen mild und warm, erreichen aber nicht das Niveau von Irvine und noch weniger das von Austin.

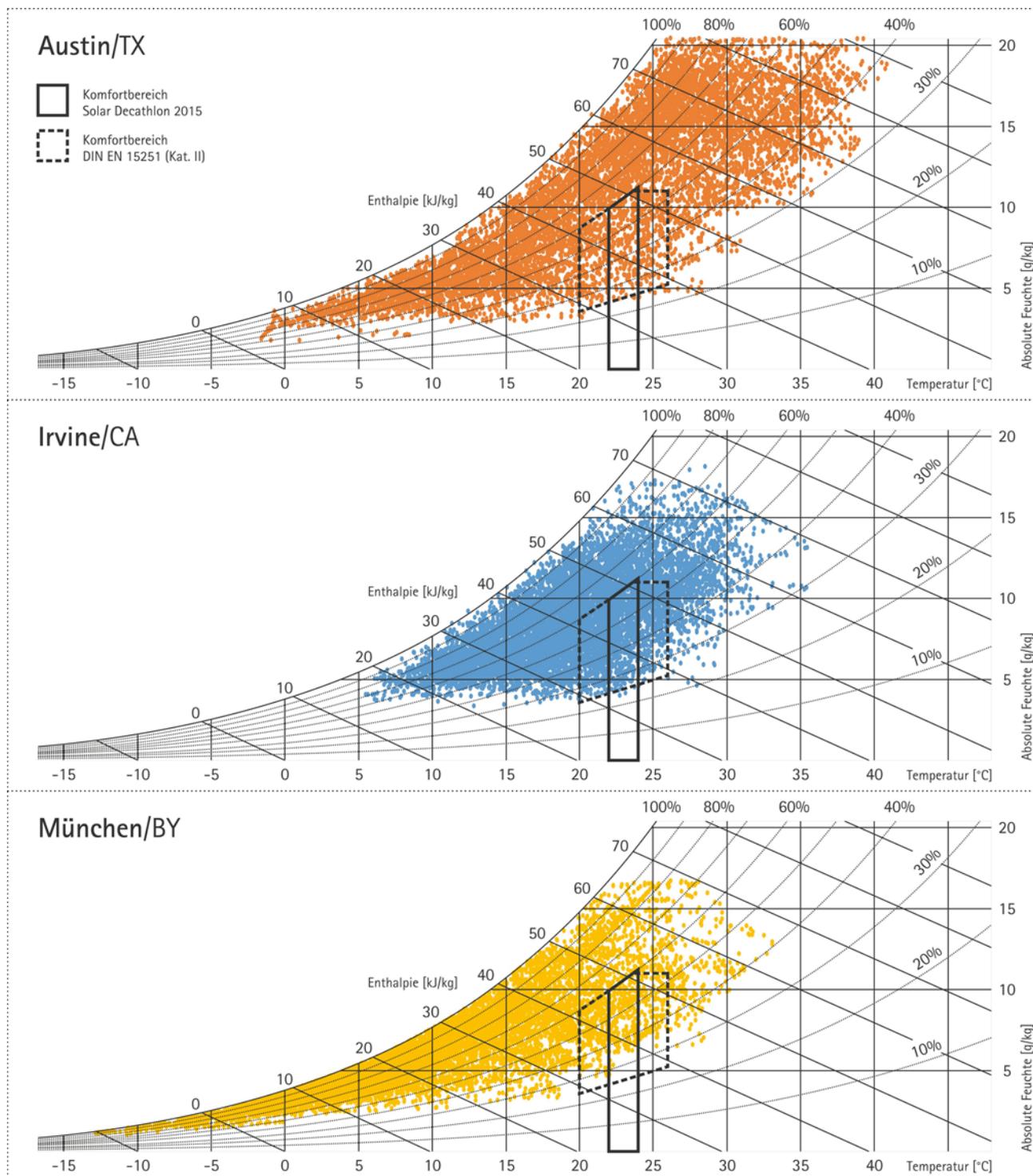
Aus diesen Daten können wichtige Erkenntnisse für die Konzeptionierung von Gebäuden in unterschiedlichen Standorten gewonnen werden. Anhand der eingezeichneten Felder kann im Folgenden ein Zusammenhang mit dem menschlichen Behaglichkeitsempfinden hergestellt werden. Die Ober- und Untergrenzen der jeweiligen To-

leranzbereiche werden in Normen und der Fachliteratur unterschiedlich angegeben. Aus diesem Grund wurde der vorgegebene Komfortbereich des Solar Decathlon um die Werte der DIN EN 15251 „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden“ ergänzt. Beiden gemeinsam ist die empfohlene Obergrenze der absoluten Luftfeuchtigkeit von maximal 12 g/kg-Luft. Auch die relative Luftfeuchtigkeit sollte nach beiden Maßstäben nicht höher als 60% sein. Die DIN EN 15251 legt den anzustrebenden Temperaturbereich hingegen großzügiger aus.

Aus diesen empfohlenen Behaglichkeitsbereichen können schließlich bauklimatisch erforderliche Maßnahmen für die jeweiligen Standorte abgeleitet werden.

Das Temperaturspektrum ist in Austin am größten und es werden im Sommer Temperaturen bis zu 40 °C erreicht, weshalb der Kühlbedarf an diesem Standort zweifellos am höchsten ist. Im Winter ist eine Konditionierung zum Erreichen behaglicher Innenraumtemperaturen notwendig, da die Temperaturen bis unter den Gefrierpunkt fallen können. Das Senken der Luftfeuchtigkeit, deren absoluter Wert in Austin häufig sehr weit über den empfohlenen 12 g/kg-Luft liegt, ist eine weitere notwendige Maßnahme. In Irvine ist der Heizwärmebedarf leicht höher als der Kühlbedarf, auch hier sind Maßnahmen für eine Konditionierung der Luftfeuchte der Außenluft erforderlich. In München ist der Heizwärmebedarf im Vergleich zu den anderen Standorten wesentlich höher. Aus Abb. 3-36 geht hervor, dass für keinen der drei Standorte eine Luftbefeuchtung notwendig ist.

Abb. 3-36 Psychrometric Charts



3.3.1.2 Wind

Alle drei Standorte weisen unterschiedliche Hauptwindrichtungen auf. Die nebenstehende Abbildung 3-37 zeigt anhand einer sog. Windrose die Hauptwindrichtungen der drei Standorte Austin, Irvine und München. Durch die Position des nexushauses am Wettbewerbsort in Irvine (siehe Kontur nexushaus in Abb. 3-37) konnten die Besucher des Wettbewerbes dank einer kühlen Windbrise am späten Nachmittag trotz der hohen Außentemperaturen auf dem Terrassenfreibereich verweilen. Hinzuzufügen ist sicherlich, dass es sich bei dem Wettbewerbsquartier um eine gelockerte Baustruktur handelte, die Platz für Windkorridore ließ. In verdichteten Stadträumen herrschen oftmals andere Windverhältnisse, wie sie hier in den Schaubildern dargestellt sind. Die Messwerte von Wetterstationen, lassen sich über die Freeware *Weather Underground* (wunderground.com) standortbezogen aufrufen. Fachplaner liefern entsprechend fortgeschrittener Planung genauere Daten.

Der Standort Irvine zeigt durch die Lage am Pazifik zudem einen Unterschied bei der Windrichtung entsprechend der Jahreszeiten auf. So kommt der Wind im Sommer eher von West/Nord-West (Pazifik) und im Winter aus Süd-Ost (Landesinnere).

Für die Planung kann die Verwendung von Windenergie zu einer Verbesserung des Mikroklimas beitragen. Die Vegetation und Wasserflächen sorgen in Kombination mit Wind für einen angenehmen Kühleffekt und können bspw. dem Urban-Heat-Island-Effekt entgegenwirken. Austin profitiert aufgrund der Unterschiede von Tag- und Nachttemperaturen von einer passiven Nachtauskühlung des Gebäudeinneren.



Abb. 3-37 Vergleich der Hauptwindrichtungen

3.3.1.3 Regenerative Energienutzung

Die Cradle to Cradle Philosophie schlägt unter anderen folgende Nutzungsmöglichkeiten von regenerativen Energien vor, die im frühen Planungsprozess in Erwägung zu ziehen sind.

Verwendung von Solarenergie

Neben der Solarenergie zur Stromerzeugung mittels Photovoltaikmodulen dienen Solarkollektoren der Warmwasserbereitung. Zudem kann gerade in der kalten Jahreszeit die eindringende Sonnenenergie zur Raumtemperierung genutzt werden. Der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) einer Verglasung regelt dabei den Solareintrag. Aufenthaltsbereiche sollten sich entsprechend ihrer Nutzung an den Himmelsrichtungen und der entsprechenden Solareinstrahlung orientieren.

Speichermassen im Gebäude

Sonnenstrahlen, die auf eine Speichermasse treffen, erwärmen diese. Durch die tagesabhängigen Temperaturdifferenzen kann diese gespeicherte Wärmeenergie zeitverzögert an die Innenraumluft abgegeben werden. Neben dieser passiven Maßnahme stellt die thermische Bauteilaktivierung eine aktive Maßnahme dar. Leitungsrohre werden in den Konstruktionsaufbau integriert und mit Warmwasser (Heizfall) durchströmt. Die Temperaturdifferenz des Konstruktionsaufbaus entzieht dem Wasser die Wärme und speichert bzw. lagert diese ein. Es folgt bei Temperaturunterschied die Übergabe durch Strahlung und Konvektion an die (kältere) Innenraumluft sowie Wärmeleitung.

Verwendung von Windenergie und Wasserkraft

Die Potentiale von Wind werden bereits in Abschnitt 3.3.1.2 erläutert.

Die Nutzung von Wasserkraft in Form von Wasserrädern am bzw. im Gebäude ist aus früherer Zeit bekannt. Aufgrund der oftmals fehlenden lokalen Voraussetzungen oder des baulichen Aufwands, findet diese Energieerzeugungsart nur noch vereinzelt Anwendung. Trotzdem sollte diese Möglichkeit bei günstigen geographischen Voraussetzungen geprüft werden.

Verwertung von Biomasse

Biogas aus der Vergärung von Essensresten und Ausscheidungen kann u.a. für die Raumtemperierung verwendet werden. Die Bioreaktorfassade des Algenhauses zur Internationalen Bauausstellung (IBA) in Hamburg 2013 stellt ein innovatives Beispiel der Produktion von Biomasse dar. Die Verwertung soll zukünftig wie folgt ablaufen: Unterstützt durch das Sonnenlicht wachsen in den mit Wasser gefüllten Sonnenschutzelementen der Fassade Mikroalgen, die Biomasse und Wärme produzieren. In einer Biogasanlage wird die Biomasse zu Methan umgewandelt, welches über eine Brennstoffzelle Strom und Wärme für Raumheizung und Warmwasser erzeugt. Entstandenes CO₂ wird von den Algen der Bioreaktorfassade abgebaut. Die zusätzlich produzierte Wärme der Fassadenelemente wird ebenfalls über eine Energiezentrale für Heizung und Warmwasser verwendet. [3.71]

Recycling von Energieabfällen

Auf die Wärmerückgewinnung aus Abwasser wird in Kapitel Wasser 3.2.5.1 kurz eingegangen. Bei der Gebäudebe- und -entlüftung kann Wärme rückgewonnen werden, indem der warmen Abluft über einen Wärmetauscher die Wärme entzogen und an die kältere Zuluft übertragen wird.

3.3.2 Planungsgrundlagen und Gebäudetechnik

3.3.2.1 Grundlagen der Energieeffizienz

Die Einhaltung der Klimaschutzziele werden in den Ländern verschieden umgesetzt. Deutschland als Mitgliedsstaat der EU verfolgt dabei die Ziele 20-20-20. Gemeint ist hiermit eine Verbesserung der Energieeffizienz und dabei der vermehrte Einsatz von regenerativen Energien um jeweils 20%. Darüber hinaus sollen (CO₂-) Emissionen bis 2020 im Vergleich zum Stand von 1990 um 20% reduziert werden. Mit Einführung der EnEV sollte die Energieeffizienz von Gebäuden verbessert und darüber hinaus der Einsatz von regenerativen Energiequellen gefördert werden. International werden ähnliche Klimaschutzziele verfolgt, z.B. durch die Einspeisevergütung von PV-Strom [3.72].

Die Gebäudehülle des nexushauses wurde für den Standort Austin und den dortigen Klimaanforderungen entsprechend angepasst. Um bewerten zu können, wie sich das Haus in München energetisch verhalten würde, wurde für den Ist-Zustand ein EnEV-Nachweis erstellt. Als Bewertungswerkzeug wurde das ZUB-Helena v7.41 Ultra verwendet.

Die Berechnungen erfolgten gemäß EnEV 2014, wobei auch die Verschärfungen ab dem 1. Januar 2016 berücksichtigt wurden. Im ersten Schritt wurde der Nachweis nach EnEV geführt. Nachdem das Referenzklima für den EnEV-Nachweis Potsdam ist, wurde in einem zweiten Schritt nach *freien Randbedingungen* berechnet und der Klimastandort der *Region 14 - Stötten* gewählt, da München Teil dieser Region ist. Die Bemessungen erfolgten jeweils nach DIN 18599, da so die Eingabe der Anlagentechnik detaillierter ausgeführt werden konnte. In einem dritten Schritt wurde die energetische Effizienz für den Standort München optimiert.

Für diesen Standort wurde auf eine aktive Kühltechnik

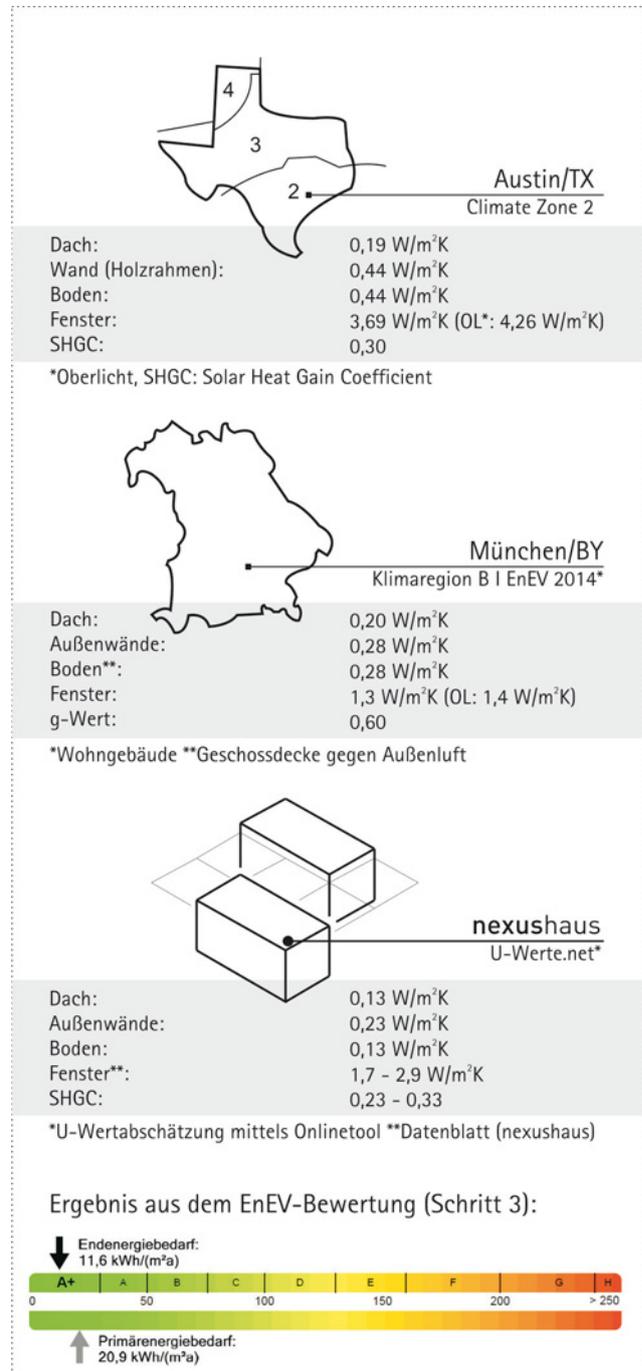


Abb. 3-38 oben: Gegenüberstellung der standortbedingten Anforderungen an die Gebäudehülle; unten: Ergebnis aus der EnEV-Bewertung

verzichtet. Das Anlagensystem wurde für den Heizfall eingegeben und die installierten Fan-Coils des nexushauses durch eine Flächenheizung (bauteilintegriert) ersetzt. Die Konstruktionsaufbauten der leichten Bauweise sind in das Bewertungstool eingegeben und die Materialien aus der vorhandenen Datenbank ausgewählt worden (siehe Anhang). Hauptenergieträger ist Strom aus dem Netz mit dem entsprechenden Verhältnis von regenerativ und nicht regenerativ erzeugtem Strom, unterstützt durch den Stromertrag der Photovoltaikmodule. Aus dem Ergebnis lässt sich ablesen, dass in einem ersten Schritt das nexushaus ohne Veränderung der Gebäudehülle auch in München/Deutschland erstellt werden könnte. Der Endenergiebedarf beträgt hierbei 27,5 kWh/(m².a) und der Primärenergiebedarf 49,6 kWh/(m².a). Durch die vorhandene Fensterqualität hält das Gebäude auch den Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz stand. Auffällig ist jedoch der kalkulierte spezifische Nutzenergiebedarf von 102,47 kWh/(m².a), bedingt durch die Qualität der Gebäudehülle und der Anlagentechnik. In einem nachfolgenden Schritt wurde durch die Wahl der *freien Randbedingungen* der Klimastandort verändert, wobei sich der Energieeinsatz erhöht. Die Außentemperaturen in Potsdam liegen durchschnittlich etwas höher, als die des Referenzklima der Region München bzw. Stötten. Der spez. Nutzenergiebedarf steigt dadurch auf 119,26 kWh/(m².a) an. Abschließend wurden in einem dritten Schritt durch die Veränderung einzelner Parameter versucht, den Heizwärmebedarf dem Standort entsprechend zu optimieren. Die Fensterqualität, die Luftdichtigkeit und die Neigung der Photovoltaikmodule wurden an den Standort München angepasst, was zu dem Ergebnis in Abb. 3-38 führte. Um hierbei den sommerlichen Wärmeschutz beizubehalten wurde die vorhandene Sonnenschutzmembran als „dauerhafte Gebäudeverschattung“ einbezogen und es wurden zwei unterschiedliche Fenstertypen berücksichtigt. Dabei

reduzierte sich der spez. Nutzenergiebedarf auf 62,53 kWh/(m².a). Zum Vergleich: der deutsche Passivhausstandard schreibt einen Heizwärmebedarf (Erläuterung siehe Glossar) von 15,0 kWh/(m².a) vor. In der optimierten Variante (dritter Schritt) liegt der spez. Nutzenergiebedarf des nexushauses bei 54,41 kWh/(m².a). Die Ergebnisse zu Primär- und Endenergiebedarf aus der EnEV-Bewertung sind in Abb. 3-38 (unten) dargestellt.

Um die Anforderungen der energetischen Gebäudeeffizienz an Wohngebäude in den USA gerecht zu werden, gilt für Texas der International Energy Conservation Code (IECC). Die Klimazone 2 definiert die U-Werte der Gebäudehülle für Austin [3.73]. Diese wurden dem Gebäudeentwurf des nexushauses zugrunde gelegt (Abb. 3-38). Das Bewertungssystem LEEDv4 für die Zertifizierung von Ein- und Mehrfamilienhäuser empfiehlt bei der Gebäudebewertung den HERS Index [3.74]. Der *Home Energy Rating System Index* wurde 2006 von RESNET entwickelt und gilt als vom DoE anerkanntes System für die Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden [3.75]. Hinsichtlich des Cradle to Cradle Gedankens und des Ziels der ausschließlich regenerativen Energiebereitstellung lässt sich durch die vorangestellte Untersuchung aufzeigen, dass das untersuchte Case-Study-Gebäude nicht ohne den Einsatz fossiler Energieträger auskommt. Eine Möglichkeit der 100%igen regenerativen Energieversorgung kann für den Standort München der Anschluss an das Fernwärmenetz sein. München beabsichtigt bis zum Jahr 2050 100% der Energie aus erneuerbaren Trägern zu generieren. Die Kontrolle der energetischen Gebäudeeffizienz ist sinnvoll, um die Qualität der Gebäudehülle und Anlagentechnik zu optimieren. Im Sinne der C2C-Meilensteine kann so stufenweise eine 100%-ige, regenerative Energieversorgung umgesetzt werden.

3.3.2.2 Gebäudebetrieb

Abbildung 3-39 zeigt die sogenannte „Technikbox“ des nexushauses. Um die installierte Technik den interessierten Besuchern zu zeigen, wurden Sichtfenster eingebaut.

Die Gebäudekühlung des nexushauses erfolgt über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe. Hierbei gibt es drei Funktionsweisen:

1. Der normale Gebäudebetrieb sieht den alleinigen Einsatz der Kompressions-Kältemaschine (KKM) für die Kühlung des Gebäudes vor.
2. Nachtfunktion: Nachdem die Kosten für den Nachtstrom geringer sind, wird in den Nachtstunden versucht, den thermischen Regenwasserspeicher über die installierte KKM auf $< 7^{\circ}\text{C}$ zu kühlen.
3. Tagfunktion: Zu Tageshöchsttemperaturen dient der thermische Regenwasserspeicher der Gebäudekühlung und deaktiviert die KKM so lange, bis die Wassertemperatur im Speichertank $> 7^{\circ}\text{C}$ erreicht.

Ziel dieser Vorgehensweise ist die vorhandene städtische (Strom-) Infrastruktur zu entlasten und Kosten einzusparen. Im Falle des nexushauses hätte auch der erzeugte Strom der PV-Module als Stromquelle für den Betrieb der Kühltchnik herangezogen werden können. Nachdem jedoch in den USA bislang nur wenige Haushalte auf regenerative Energiequellen zurückgreifen, sollte eine alternative Möglichkeit aufgezeigt werden, wie Kosten und Energieverbrauch reduziert werden können. Regenwassertanks sind aufgrund der Wassernot bereits in vielen Wohnquartieren aufzufinden. Das Konzept profitiert dabei von dem bereits installierten Regenwasserspeicher, der über seine eigentliche Funktion hinaus als thermischer Speicher genutzt wird [3.76]- ganz im Sinne des Cradle to Cradle Konzepts.

Auch der städtische Trinkwasserbezug sollte auf ein Minimum reduziert werden. Zudem sollte von dem anfallenden

Regenwasser möglichst viel gespeichert werden.

Für die Bereitstellung des Brauchwarmwassers wurde das gespeicherte Regenwasser unter dem Terrassendeck über eine Pumpe zum Druckausgleichsbehälter befördert. Anschließend ist über eine Drucksteuerung der notwendige Druck für den Wassertransport im Leitungssystem geregelt worden. Bei der Wasserentnahme über eine Filteranlage mit UV-Leuchte (Abb. 3-39) konnte die Bakterienzahl des Regenwassers auf eine hygienisch zulässige Anzahl reduziert werden. Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einem Fassungsvermögen von 66 gal/250 l speicherte das erforderliche Warmwasser. Das Konzept, Regenwasser als Trinkwasser aufzubereiten, bietet sich bei den betrachteten Standorten lediglich für München und Austin an. Der Standort Irvine ist durch die langen Trockenperioden weniger dafür geeignet. Für Irvine bieten sich andere Recyclingkonzepte an, die im Kapitel Wasser bereits vorgestellt wurden.



Abb. 3-39 Schaufenster Technikbox (Warmwasseraufbereitung)

3.3.3 Monitoring Irvine

Von den 10 Bewertungskategorien des Solar Decathlon Wettbewerbes wurden fünf durch ein installiertes Monitoring ausgewertet. Dabei sind folgende Anforderungen definiert worden:

3.3.3.1 Komfort

Für die empfundene Behaglichkeit der Innenräume sollte die Innentemperatur zwischen 22 - 24 °C liegen und die Innenluftfeuchte unter 60% gehalten werden. Bei den Messungen der Innenraumbehaglichkeit wurden die Besucherzeiten ausgespart. Sobald der Besucherverkehr vorüber war, hatten die Studierenden 30 Minuten Zeit, um die genannten Innenraumbedingungen wieder herzustellen.

3.3.3.2 Haushaltsgeräte

Kühl- und Gefrierschrank mussten innerhalb eines vorgegebenen Temperaturbereiches gehalten werden. Die Kühlschranktemperatur sollte zwischen 1 - 4°C liegen und für das Gefrierfach galt es, -29°C nicht zu unterschreiten bzw. -15°C nicht zu überschreiten. Darüber hinaus musste durch verschiedene Aufgaben die Geräteeffizienz unter Beweis gestellt werden. Es wurde achtmal Wäsche gewaschen und getrocknet. Eine Wäscheladung beinhaltete 6 Handtücher, die vom Auslober für alle Teams bereitgestellt wurden. Nach dem Trocknen der Wäsche musste wieder das Ausgangsgewicht hergestellt sein. Die Spülmaschine mit dem Inhalt von acht Geschirrsätzen wurde fünfmal in den Wettbewerbstagen eingeschaltet, wobei einmalig eine Wassertemperatur beim Waschgang von 49°C durch das Gerät erreicht werden musste. Bei der Aufgabe, die das Kochen simulierte, mussten 2 kg Wasser innerhalb von zwei Stunden zum Kochen gebracht und verdampft worden sein.

3.3.3.3 Unterhaltung und Beleuchtung

Die Studierenden hatten zwei Dinner Partys für je acht Gäste und eine Filmnacht im Haus zu organisieren. Zu bestimmten, vorgegebenen Zeiten wurde die komplette Innen- und Außenbeleuchtung des Hauses eingeschaltet und der Verbrauch wurde gemessen. Die Entertainmentgeräte (TV und Laptop) wurden ebenfalls gemessen. Mindestgröße und Bildschirmhelligkeit waren ebenfalls vorgegeben. Außerdem wurde der Warmwasserverbrauch simuliert. Insgesamt 16 mal wurde die Duscharmatur betätigt. Das ausströmende Wasser (max. 56,8 l) sollte innerhalb von 10 Minuten eine Temperatur von 43°C erreichen (Abb. 3-40).

3.3.3.4 Mobilität

Ein Elektroauto wurde von den Studierenden achtmal für mind. 25 Meilen (40,23 km) bewegt. Die Batterie musste zum Wettbewerbsende wieder voll beladen sein. Geladen wurde am Haus mittels PV-Strom oder dem vorhandenen *Smart-Grid* des Wettbewerbsgeländes.

Nachdem das Auto vollständig zu Wettbewerbsbeginn

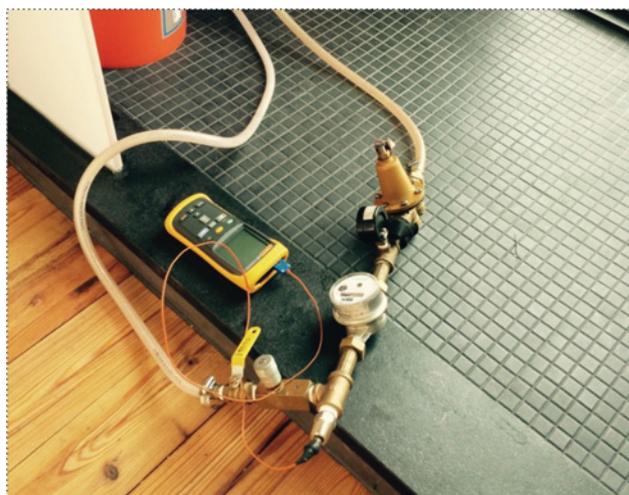


Abb. 3-40 Messung Warmwasser

Planungsparameter

geladen war begann der erste Ladevorgang am Abend des 4. Tages. Von dort an wurde meist in der Nacht über das Stromnetz geladen. Die vorgesehene Wallbox des BMWi 3, die für einen schnelleren Ladevorgang sorgt, kam nicht zum Einsatz, da diese fehlerhaft angeschlossen wurde. Stattdessen wurde direkt an das Hausnetz angeschlossen.

3.3.3.5 Energiebilanz

Der Gesamtverbrauch in den acht Wettbewerbstagen der vorgenannten Stromverbraucher musste unter 175 kWh

liegen, um die volle Punktzahl (je Kategorie 100 Punkte) zu erreichen.

Das Diagramm der Messungen des Innenraumklimas zeigt deutlich, dass die Temperatur- und relativen Luftfeuchteverhältnisse annähernd gleich mit denen des Außenraumes waren. Zurückzuführen ist das auf die Klimatechnik, welche zum Wettbewerbsbeginn nicht funktionsfähig hergestellt werden konnte, und auch im späteren Wettbewerbsverlauf nicht mehr zum Einsatz kam.

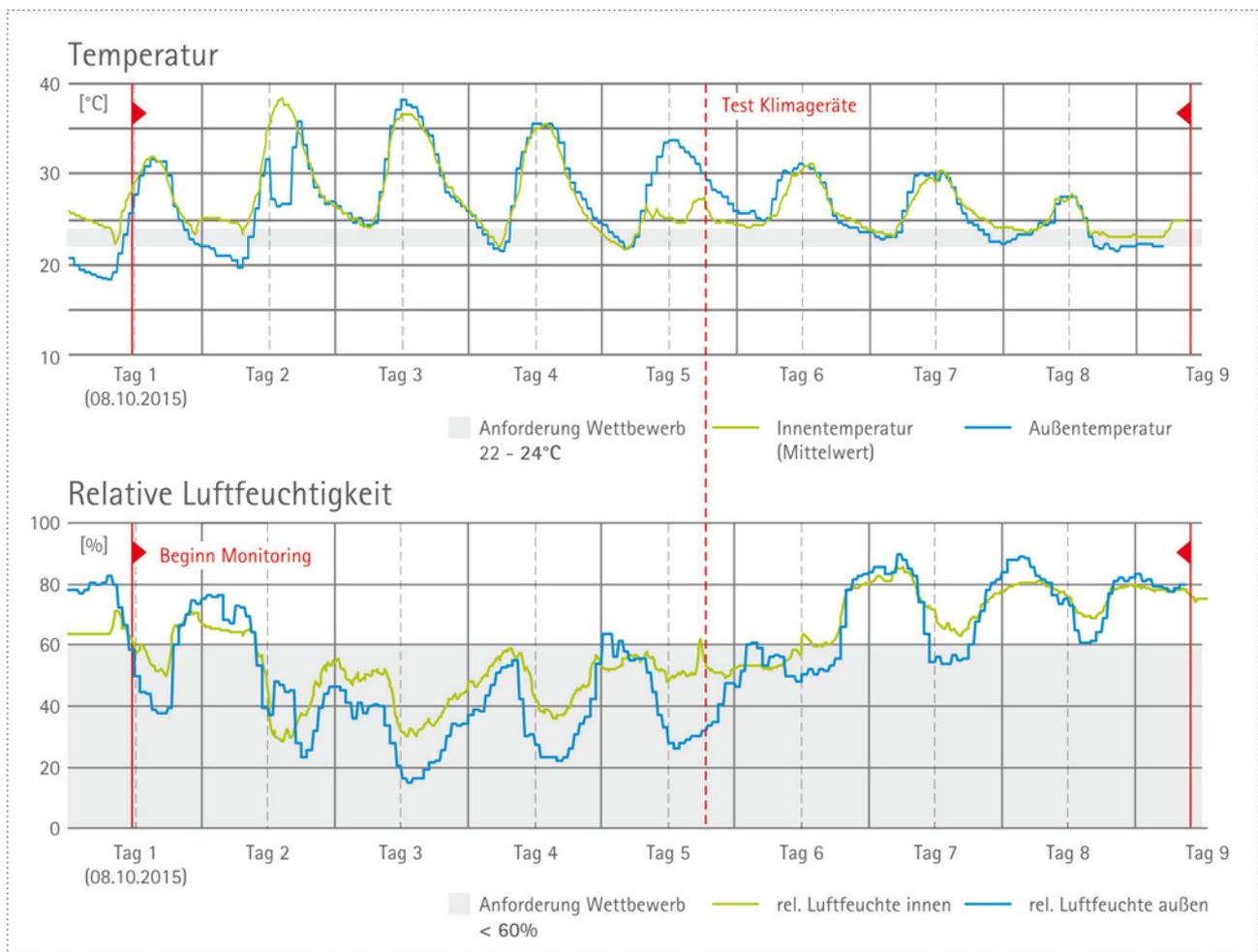


Abb. 3-41 Monitoring Innenraumtemperatur und -feuchte

3.3.3.6 Auswertung Wettbewerbsmonitoring

Das Monitoring des Wettbewerbes startete um 11:00 Uhr am Tag 1 (08.10.2015) und endete um 10:30 Uhr am Tag 9 (16.10.2015).

Für die oben genannten Aufgaben wurde ein Zeitplan erstellt, in dem Start und Ende der einzelnen Aktivitäten genau definiert waren. So wurde sichergestellt, dass alle Wettbewerbsteamts die gleichen Voraussetzungen für die Erfüllung der Aufgaben hatten. Die folgenden Abbildungen 3-42 bis 3-46 stellen den Verbrauch dem Stromertrag durch die Solarenergie gegenüber.

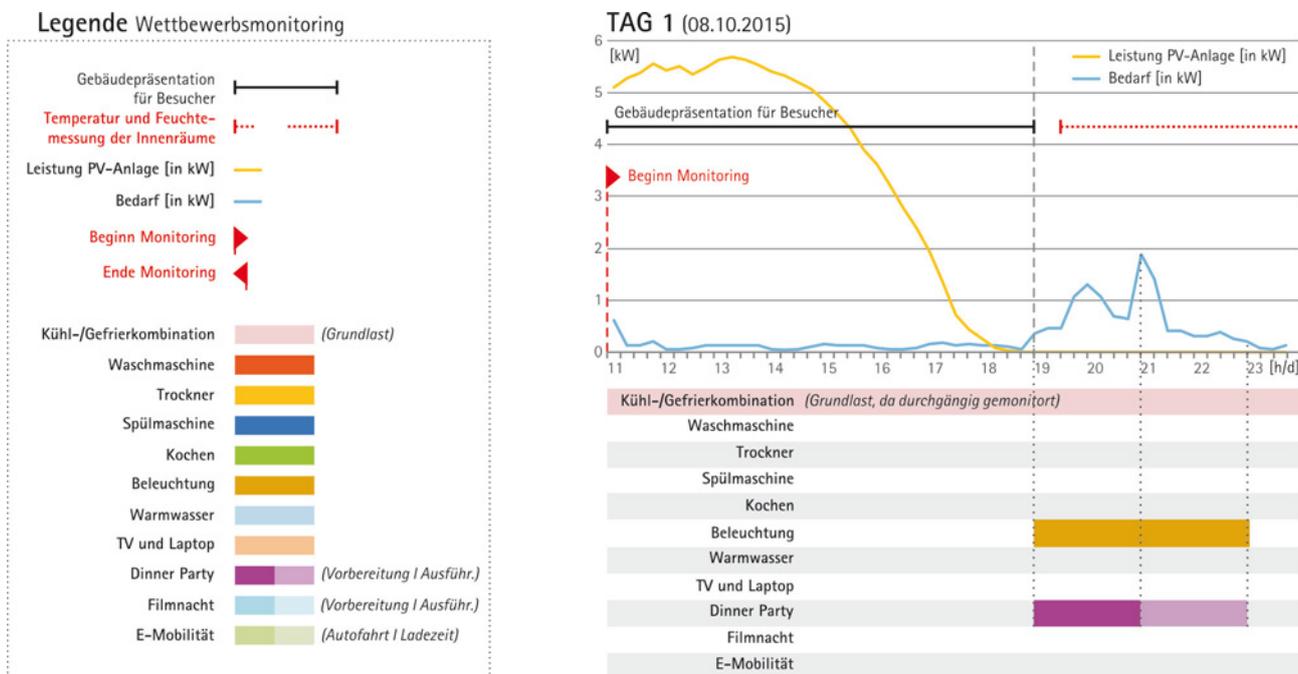
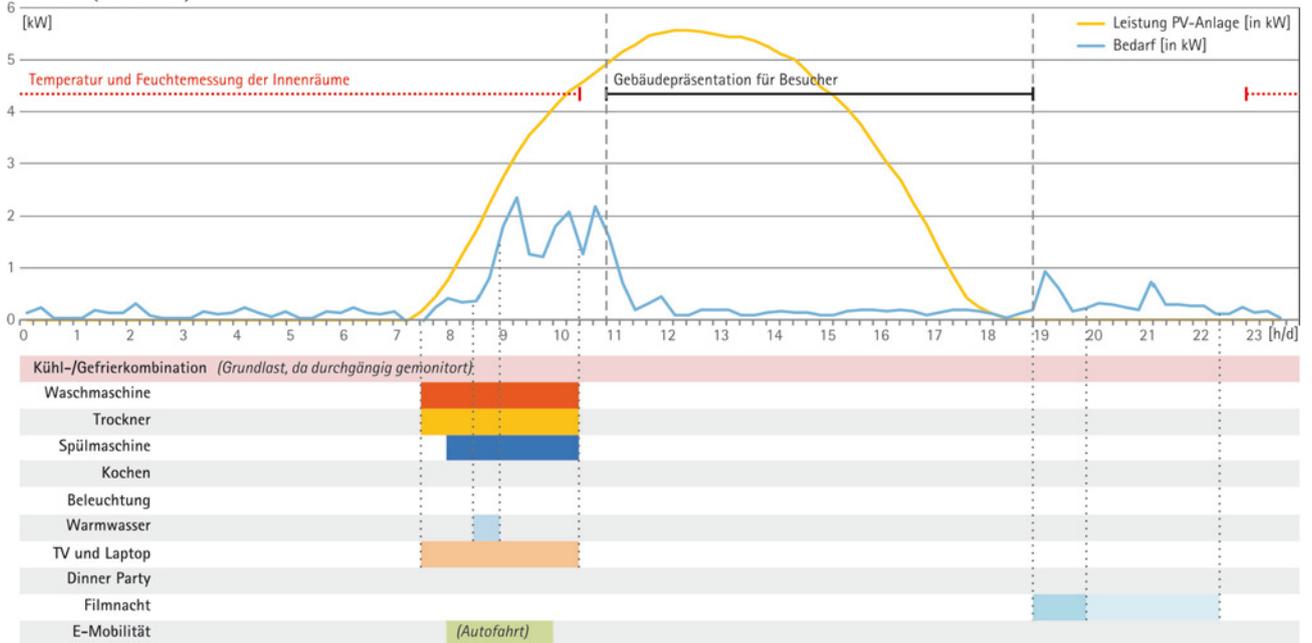


Abb. 3-42 Wettbewerbsmonitoring: Tag 1 [3.77] (Eigene Darstellung)

Planungsparameter

TAG 2 (9.10.2015)



TAG 3 (10.10.2015)

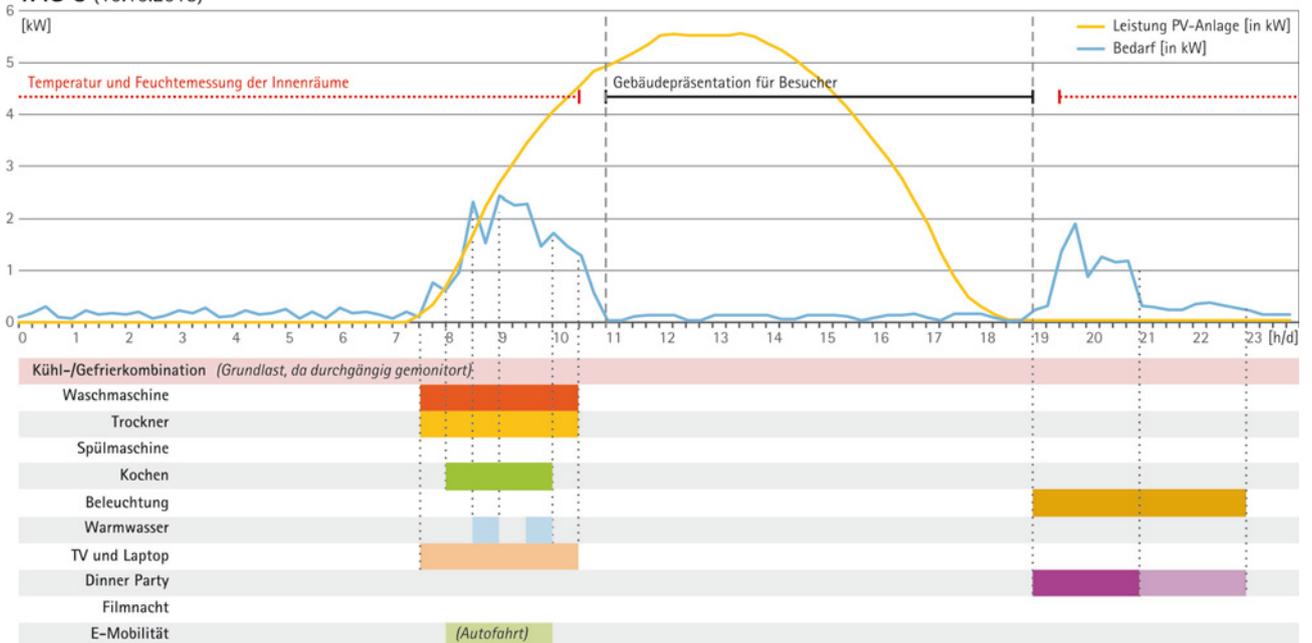
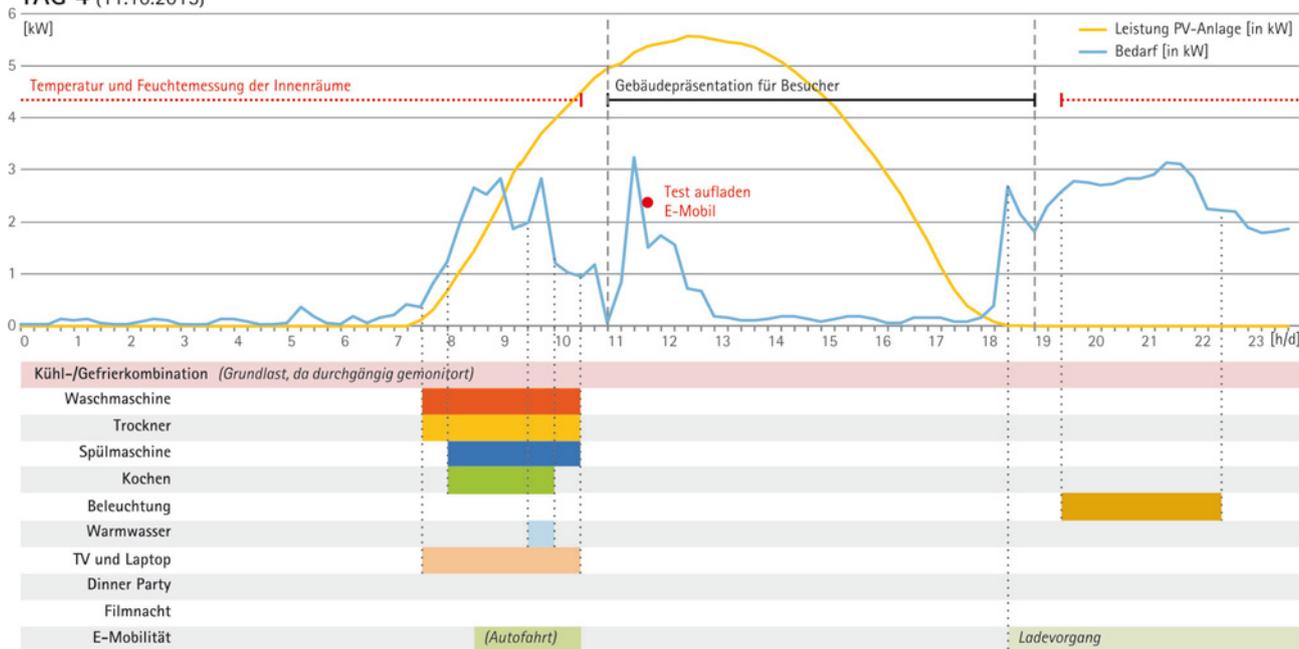


Abb. 3-43 Wettbewerbsmonitoring: Tag 2 (oben) und Tag 3 (unten) [3.77] (Eigene Darstellung)

TAG 4 (11.10.2015)



TAG 5 (12.10.2015)

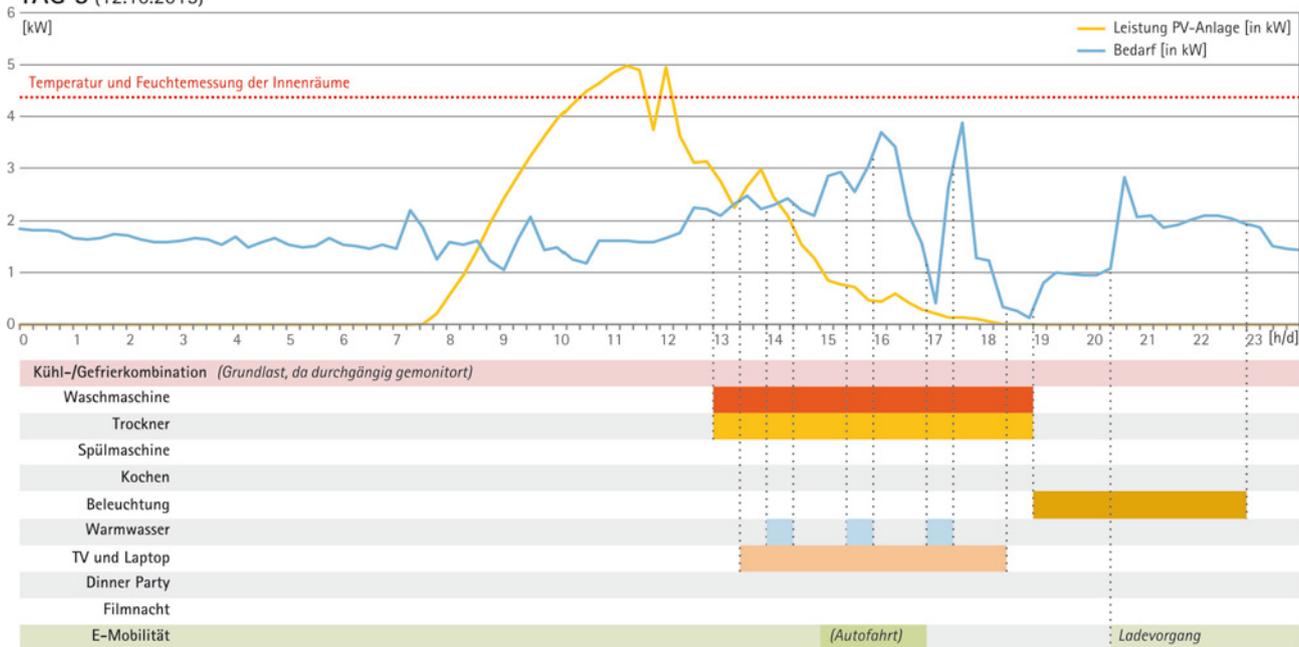


Abb. 3-44 Wettbewerbsmonitoring: Tag 4 (oben) und Tag 5 (unten) [3.77] (Eigene Darstellung)

Planungsparameter

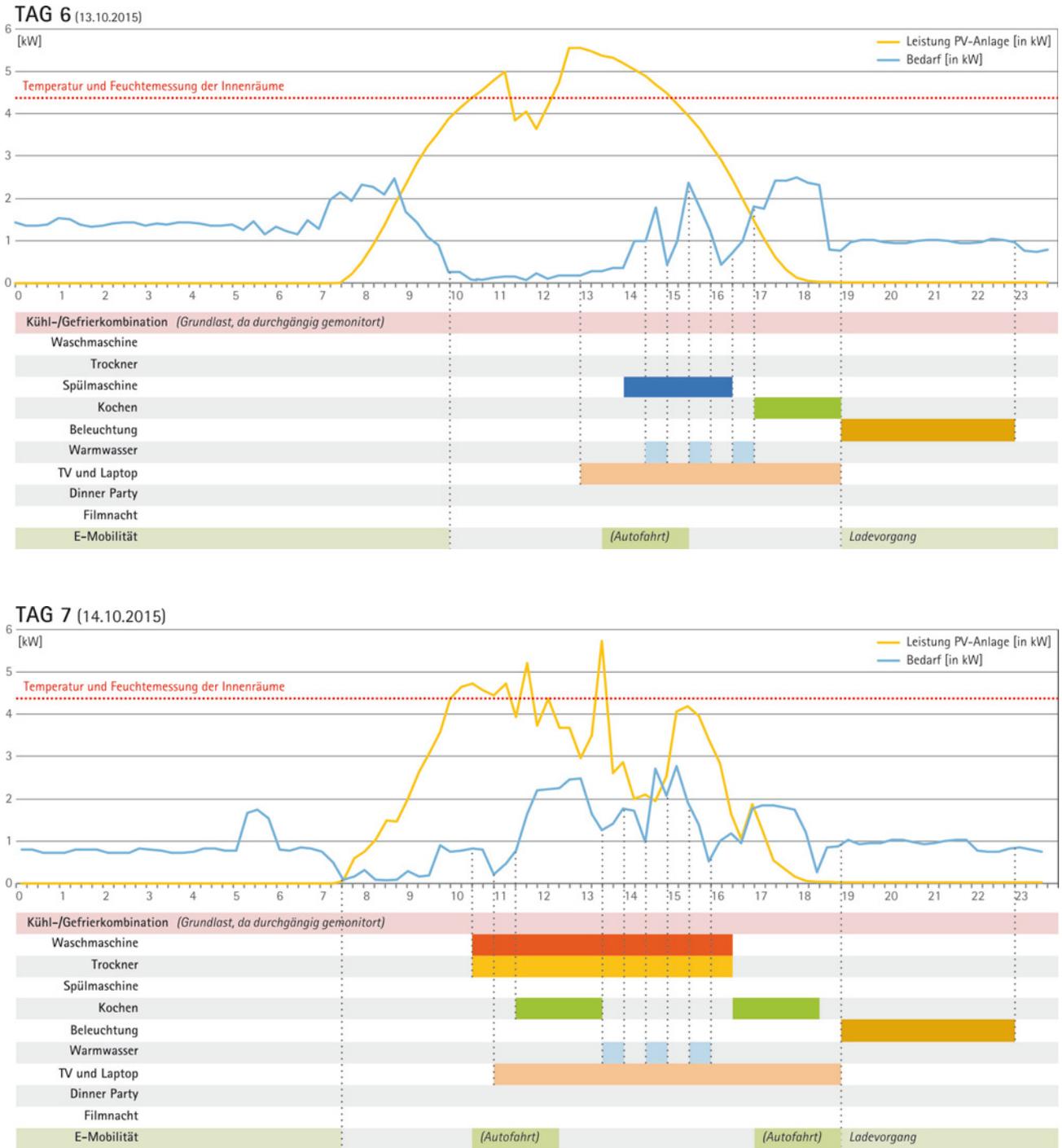


Abb. 3-45 Wettbewerbsmonitoring: Tag 6 (oben) und Tag 7 (unten) [3.77] (Eigene Darstellung)

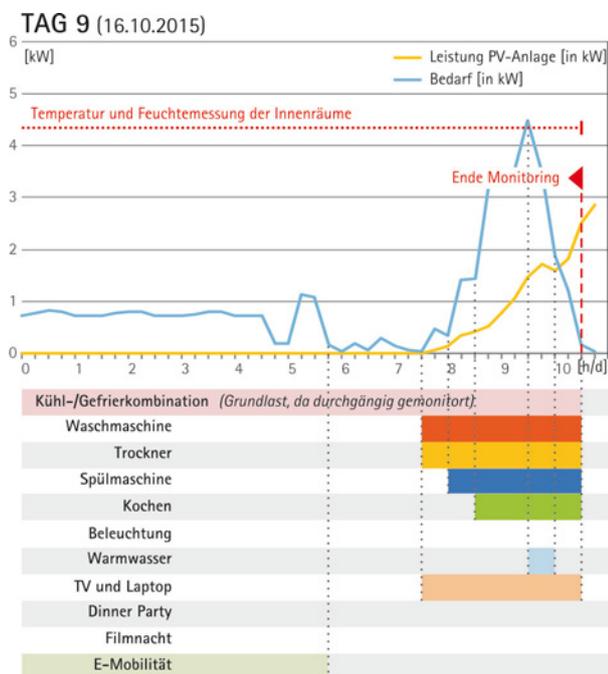
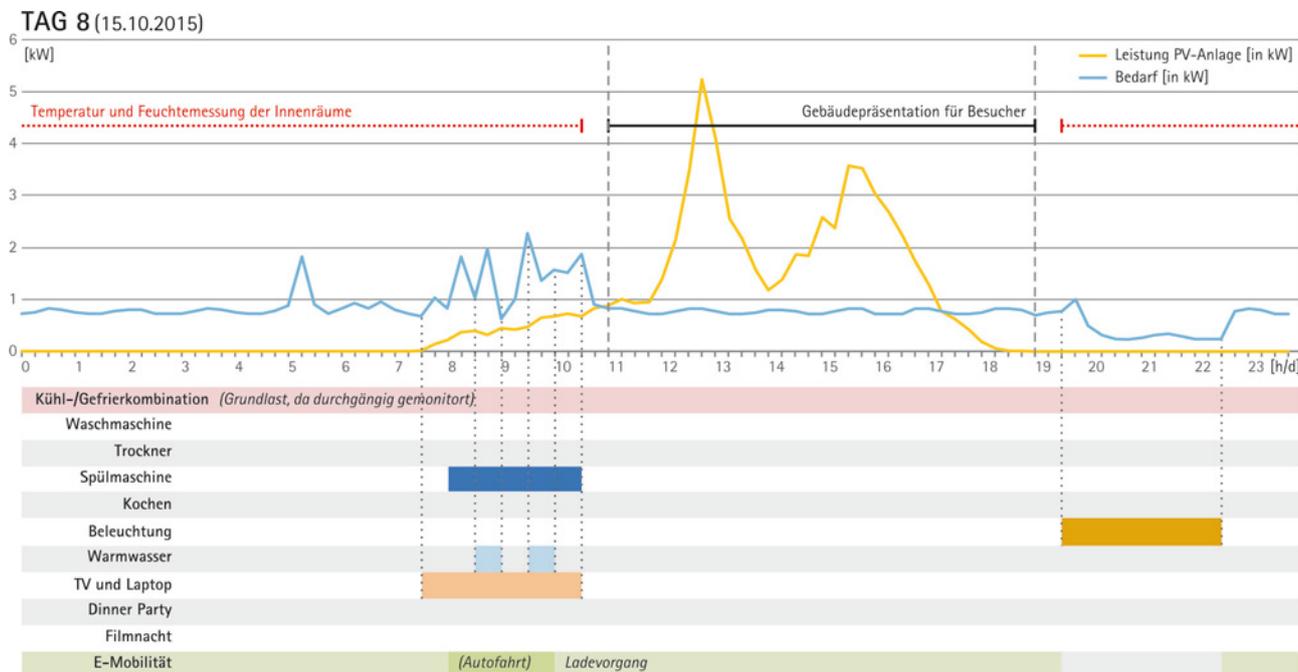


Abb. 3-46 Wettbewerbsmonitoring: Tag 8 (oben) und Tag 9 (unten) [3.77] (Eigene Darstellung)

Viele Aktivitäten des Wettbewerbes fanden zum späten Nachmittag/Abend oder auch am frühen Morgen statt. Zu diesen Zeiten konnte der PV-Strom noch nicht vollumfänglich ausgenutzt werden. Dies zeigt beispielsweise Tag 9, bei dem der Verbrauch durch die Haushaltsgeräte weit über dem Ertrag aus der Photovoltaikanlage liegt.

Um bestmöglichst von dem nachhaltigen Energieträger Sonne profitieren zu können ist es sinnvoll, bestimmte Aktivitäten, wie Wäsche waschen und trocknen, an die Sonnenstunden anzupassen.

Hilfestellung sollte bei dem Gebäudeentwurf das Smart-Home-System bieten, welches dem Nutzer den Ertrag aus der PV-Anlage grafisch aufzeigt und so aktiv reagiert werden kann. Neben dem Energiebedarf und -verbrauch konnte außerdem die Beleuchtung gesteuert werden. Anzeigen zu Füllständen des Regen- bzw. Grauwasserspeichers halfen beim nachhaltigen Wassermanagement.

3.3.4 Photovoltaik

Die Gegenüberstellung der Sonneneinstrahlung für die Standorte Austin, Irvine und München zeigt das jeweilige Potential der Verwendung von Sonnenenergie für den Gebäudebetrieb. Im Falle des nexushauses wurde die Sonnenenergie durch die installierten Photovoltaikmodulen in elektrischen Strom für den Gebäudebetrieb und die Beladung des Elektromobils umgewandelt. Die Nutzung der Sonne als natürliche Energiequelle hat bei der Umsetzung der C2C-Philosophie im Bauwesen einen hohen Stellenwert. Neben der Stromerzeugung bietet sich, unter Nutzung thermischer Solarkollektoren, auch die Warmwasserbereitstellung an. Beim nexushaus wurde das Warmwasser über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe aufbereitet. In diesem Kapitel liegt der Fokus auf der Stromerzeugung durch Photovoltaikmodule, wobei hier wieder die drei Standorte gegenübergestellt werden. Die unterschiedlichen Klimabedingungen können verschiedene Planungsprozesse zur Folge haben. Wie die nebenstehenden Diagramme zeigen, weist Austin die größte Sonneneinstrahlung mit 4724 Sonnenstunden auf, gefolgt von Irvine und München. Trotz der höheren Anzahl an Sonnenstunden liegt München mit durchschnittlich 243 Wh/m² an dritter Stelle im Standortvergleich. Nach Abschluss des Wettbewerbes wurde untersucht, in wie weit die installierte Photovoltaikanlage unter Einbezug verschiedener Nutzungsszenarien tatsächlich ein Plus an Energie, über das Jahr gerechnet, erwirtschaften kann [3.77]. Dabei sind die verschiedenen Standorte in die Bewertung mit eingeflossen.

Die vorhandenen Messdaten aus dem Wettbewerb wurden aufbereitet und ein Standortvergleich mit der installierten Anlage erstellt. Die 28 monokristallinen Module wurden jeweils mit einem eigenen Wechselrichter ausgestattet. Nachdem das Gebäudekonzept für die städtische Nach-

verdichtung entworfen wurde und der Aufstellungsort in den rückwärtigen Grundstückslagen geplant war, konnte eine Verschattung durch Vegetation und angrenzende Nachbarbebauungen nicht ausgeschlossen werden. Mit einer Modulneigung von 7° können unter Berücksichtigung der Wetterdaten (Meteonorm), folgende Jahreserträge für die drei Standorte prognostiziert werden:

Austin:	9.275 kWh/a
Irvine:	10.945 kWh/a
München:	6.480 kWh/a

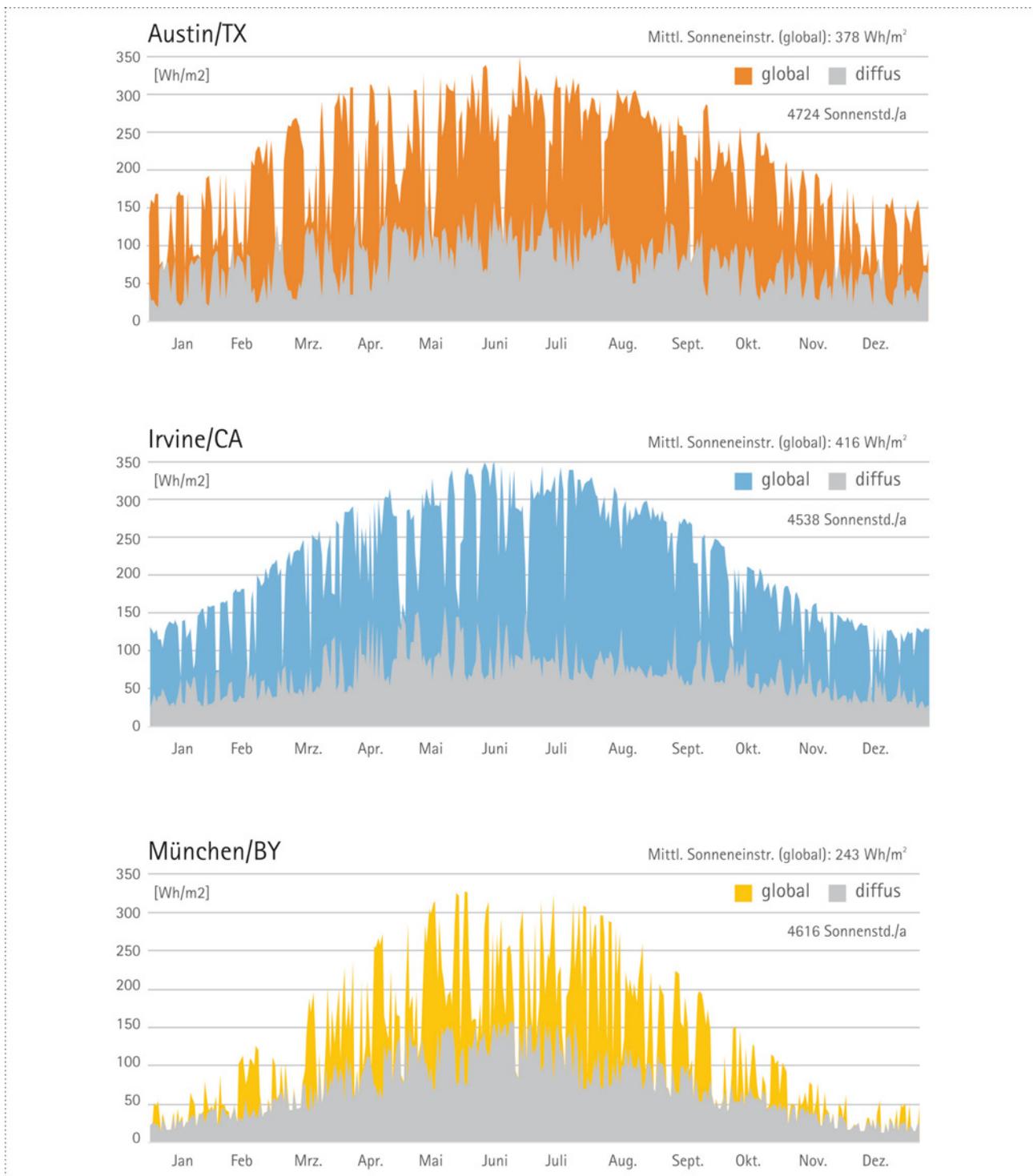
Ausgangsfall Photovoltaikmodule (M1-UK1-WR1):

Anzahl:	28
Leistung Gesamtleistung:	290 W 8120 Wp
Abmessung (LxBxH) Fläche:	1675x961x33 mm 1,61 m ²
Gesamtfläche Anlage:	45 m ²
Ausrichtung Modulneigung:	Süd 7,125°
Modultyp Wirkungsgrad:	Sunmodule Plus SW 290 17,3%
Wechselrichter:	Enphase M250 Microinverter

Bei einer Nettogrundfläche (NGF) von 56,13 m² entspricht das Verhältnis PV-Fläche zur NGF 0,8. Zum Vergleich: Bei einem durchschnittlichen Effizienzhaus Plus reicht ein Verhältnis von 0,32 - 0,47 [3.77 a].

In der Wettbewerbsphase sollte der kumulierte Stromverbrauch nicht über 175 kWh steigen, um die volle Punktzahl in der Kategorie Energiebilanz zu erreichen. Eine Gegenüberstellung der Verbraucher zeigte, dass dies nur gelang, weil der Stromverbrauch der Technik durch den Systemausfall geringer war. Die Auswertung des Monitorings zeigt einen Überschuss von 82,68 kWh und einem kumulierten Gesamtverbrauch von 168,68 kWh während des Wettbewerbs. Das Team lag daher knapp unter dem erlaubten Verbrauch und konnte die vollen 100 Punkte erzielen.

Abb. 3-47 Rechts: Sonneneinstrahlung (horizontal) für Austin, Irvine und München



3.3.4.1 Nutzerszenarien

Die größten Stromverbraucher waren dabei das Laden des Elektroautos (26%) und die übrigen Technikinstallati- onen mit 18%. Die Aktivitäten durch Wäschewaschen und -trocknen verbrauchten 17% des durch die Photovoltaik erwirtschafteten Strombedarfes. Die übrigen Verbraucher sind in Abbildung 3-48 dargestellt.

Nach Erstellung einer thermischen Gebäudesimulation konnte der anfallende Kühlbedarf des Hauses und der erforderliche Strombedarf ermittelt werden. Das Ergebnis zeigt einen kumulierten Stromverbrauch von 263,784 kWh, der weit über dem erlaubten Wettbewerbssoll liegt.

Im Anschluss an die Ist-Zustandsanalyse wurden die ver- schiedenen Vor- und Nachteile der betrachteten Standorte untersucht, um besonders für den Standort München Opti- mierungsvorschläge zu erarbeiten. Die geringe Neigung der Module sollte die Verschattung untereinander reduzieren. Untersucht man anhand der Sonnenstandsdiagramme die bestmögliche Neigung, so zeigt sich, dass für alle Stand- orte eine Neigung von ca. 30° optimal scheint. Aufgrund der gegenseitigen Verschattung der Module, hätte jedoch

die Anzahl stark reduziert werden müssen, was zu einer geringeren Modulneigung führte.

Für die Jahreshochrechnung wurden drei neue Nutzersze- narien angelegt, welche als Grundlage für den möglichen Jahresstromverbrauch dienten. Inhalte und Messdaten wurden zum Teil aus dem Wettbewerbsmonitoring über- nommen, jedoch hinsichtlich realer Bedingungen optimiert. So wurde für das Waschen und Trocknen der Wäsche der Stromverbrauch je nach Szenario von 1 bis max. 3-mal pro Woche ausgegangen. Während des Wettbewerbes wurde fast täglich gewaschen und getrocknet (siehe Wett- bewerbsmonitoring Abb. 3-42 bis 3-46).

Die drei Nutzerszenarien unterscheiden sich wie folgt:

Szenario Wohnen 1

Single-Haushalt, Vollzeit berufstätig

Szenario Wohnen 2

2-Personen-Haushalt, beide Vollzeit berufstätig

Szenario Wohnen 3

Familie (2 Erwachsene, 1 Kind), eine Person Vollzeit berufs- tätig, die andere Person arbeitet Teilzeit

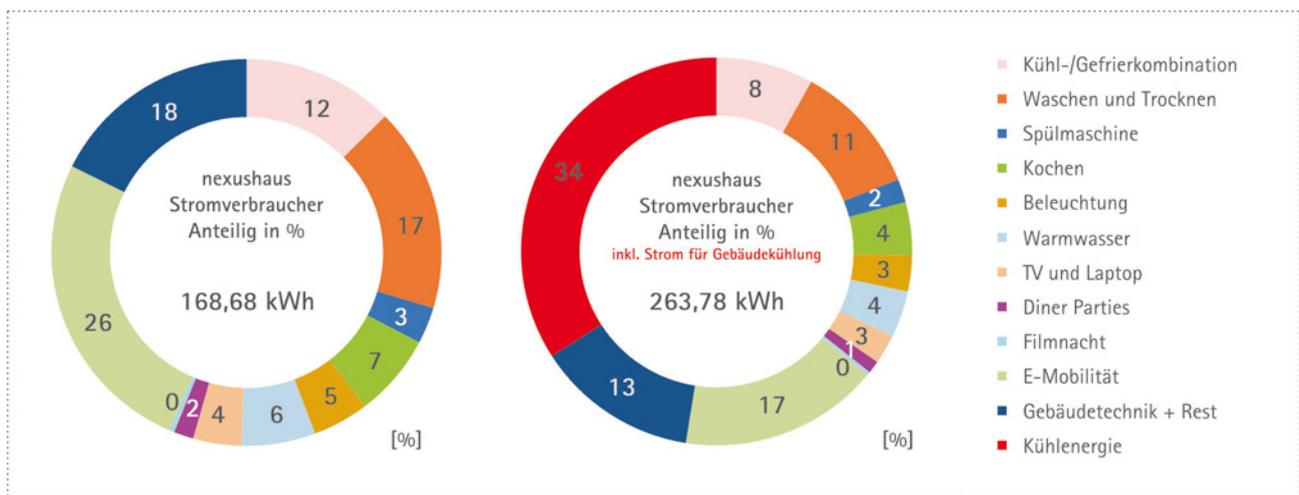


Abb. 3-48 Gegenüberstellung Einfluss Stromverbraucher während des Wettbewerbs [3.77] (Eigene Darstellung)

Ergänzend zu den Haushaltsaktivitäten wurde der Stromverbrauch für Beleuchtung, Gebäudetechnik und Elektromobilität kalkuliert. Die Abbildung 3-49 zeigt einen Überblick der betrachteten Varianten. Den Ausgangsfall stellt dabei die Konfiguration des Wettbewerbes dar.

Für die Ermittlung des Stromverbrauches der Beleuchtung wurden zwei Verhaltensszenarien unterschieden, Werktag und Feiertag bzw. Wochenende. Außerdem wurde die Tageslichtausnutzung für den Winter- und Sommerfall sowie die Übergangszeit einbezogen. Die Geräteinformationen des nexushauses dienen der übersichtlichen Kalkulation des Strombedarfes für die Gebäudetechnik. Auch beim Fahrverhalten wurde in Werktag- und Feiertag/Wochenende unterschieden. So werden beispielsweise an einem Wochentag bei mittlerer E-Mobilitätsausnutzung täglich 20 km mit dem Fahrzeug zurückgelegt, am Wochenende oder Feiertags hingegen nur 8 km am Tag.

Die Ergebnisse aus dem kalkulierten Stromverbrauch wurden den Erträgen aus der Photovoltaikanlage gegenübergestellt. Das Ist-System des Wettbewerbes (Ausgangsfall) wurde dabei mit verschiedenen Konfigurationen verglichen. Die nebenstehende Grafik stellt die unterschiedlichen Bewertungsparameter dar. Es wurden für die Gebäudeanalyse zwei verschiedene Modultypen untersucht, die sich außerdem in ihrer Leistung unterscheiden (M1-M4). Der vorhandene Wechselrichter pro Moduleinheit wurde dem eines zentralen Wechselrichters gegenübergestellt (WR1, WR2). Unterschiedliche Aufstellungsvarianten und Neigungen wurden ebenfalls untersucht (UK1-UK5). Der Strombedarf des Ausgangsfalls (Abb. 3-50), welcher das erweiterte Wettbewerbsszenario darstellt, zeigt anhand der Jahreshochrechnung deutlich, dass die installierten Module (M1-UK1-WR1) ausreichend Strom produzieren. Lediglich für den Standort München könnte ein Engpass bei der Stromversorgung durch die installierten Module des

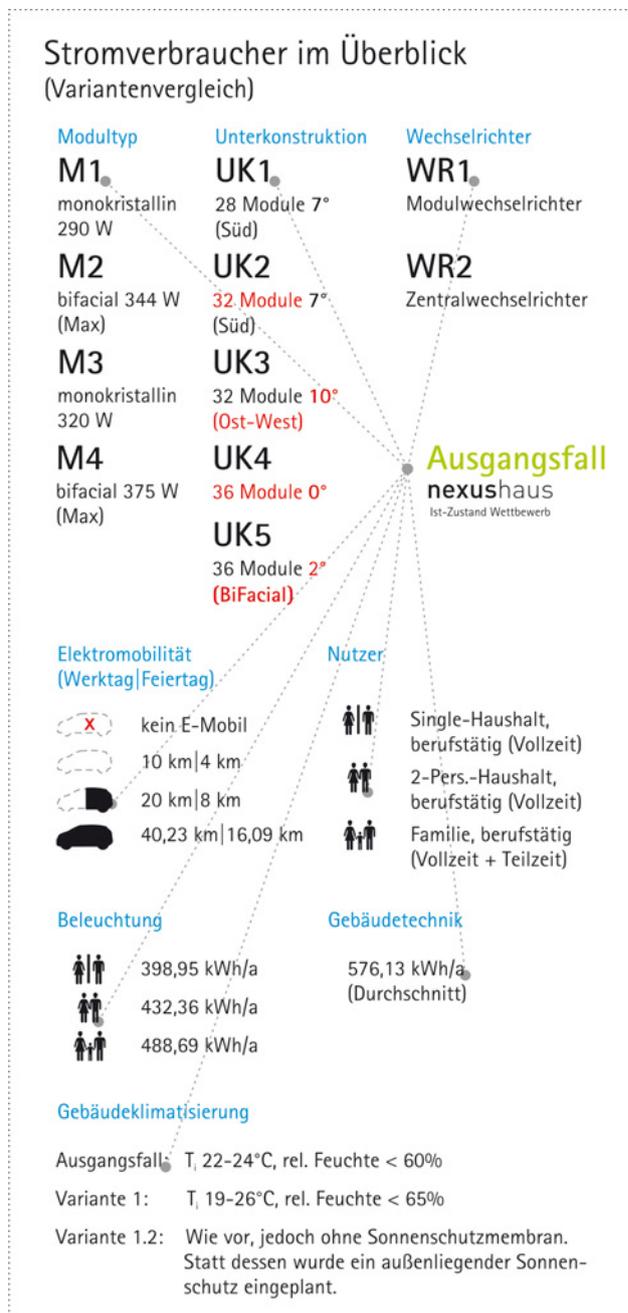
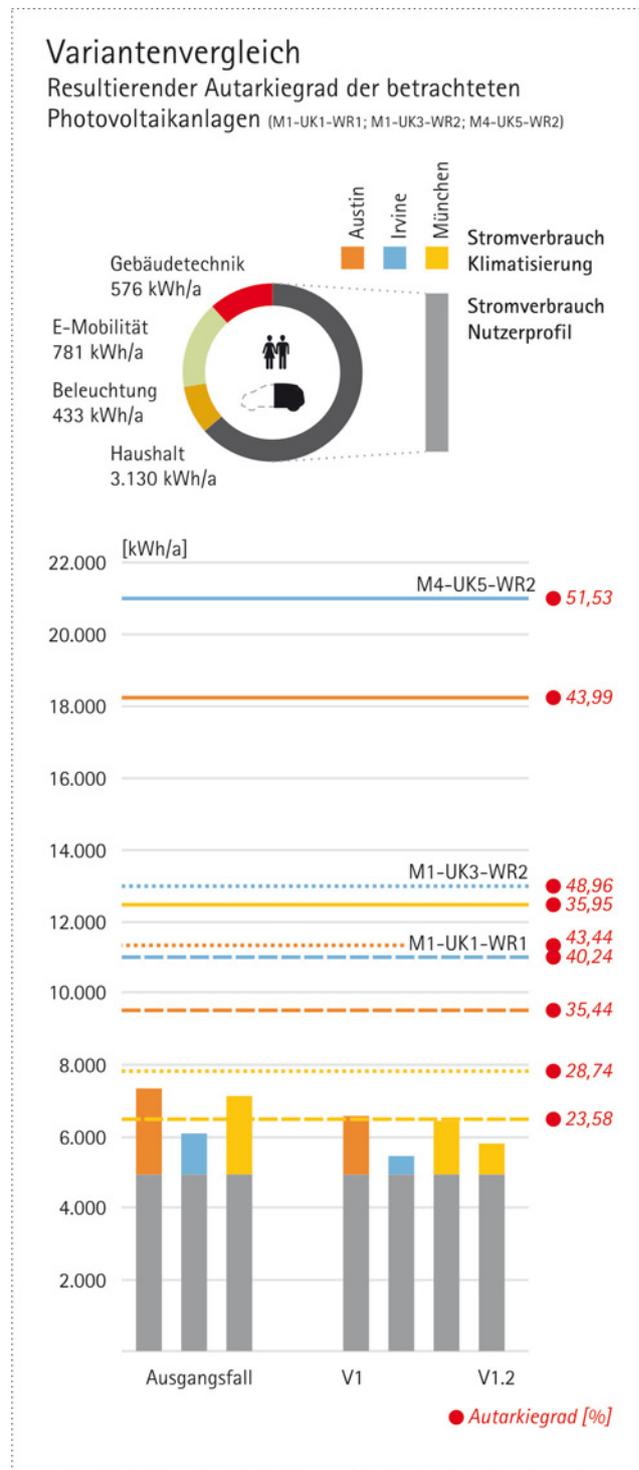


Abb. 3-49 Nutzerprofile und der erforderliche Strombedarf ohne Berücksichtigung der Gebäudeklimatisierung und den erford. Strombedarf für Kühlen bzw. Heizen [3.77] (Eigene Darstellung)

Ausgangsfalls entstehen.

Abbildung 3-50 zeigt den Variantenvergleich hinsichtlich des resultierenden Autarkiegrads der betrachteten Photovoltaikanlagen. Dabei wird der Stromverbrauch für das Nutzerprofil eines 2-Personen-Haushalts und eine durchschnittliche Nutzung der Elektromobilität angenommen. Ergänzend zu dem Nutzerprofil wird der Stromverbrauch für die Klimatisierung an den drei Standorten Austin (orange), Irvine (blau) und München (gelb) addiert (siehe Balkendiagramm, Abb. 3-50). Der Stromverbrauch des Ausgangsfalles wird dem Stromertrag der betrachteten Photovoltaikmodulvarianten gegenübergestellt. Der jährlich zu erreichende Stromertrag der drei Modulvarianten je Standort ist ebenfalls dargestellt. Die Gegenüberstellung zeigt, dass der erwirtschaftete Ertrag aus den installierten Photovoltaikmodulen zum Teil weit den jährlichen Strombedarf übertrifft. Bei gleichem Nutzerprofil unterscheidet sich der tatsächliche Strombedarf durch die notwendige Gebäudeklimatisierung der unterschiedlichen Standorte. Das Plusenergiegebäude erreicht durch die installierten Module einen Autarkiegrad von 23,58% für den Standort München, 35,44% für Austin und 40,24% bei einer Aufstellung in Irvine. Der fehlende Bedarfsdeckung muss über die städtische Infrastruktur bezogen werden. Ein höhere Stromautarkie lässt sich durch eine verbesserte Systemwahl erzielen. Wird die Anzahl der Module auf 32 erhöht, die Ausrichtung nach Ost-West mit einer Neigung von 10° (UK3) geändert und die Modulwechselrichter durch einen zentralen Wechselrichter (WR2) ersetzt, kann bspw. der Autarkiegrad für Austin um 8% erhöht werden. Wird der monokristalline Modultyp durch bifaciale Module ersetzt, welche zusätzlich Strom aus diffuser Strahlung auf der Modulrückseite generieren, könnte das Gebäude in Irvine

Abb. 3-50 Anlagenautarkiegrad für das Nutzerprofil „2-Personen-Haushalt, berufstätig (Vollzeit)“ (Eigene Darstellung)



über 50% des notwendigen Strombedarfes mit regenerativen PV-Strom decken.

Es wird deutlich, dass bei einer verbesserten Modulqualität der Autarkiegrad nur geringfügig verbessert wird. Der Verbraucherbezug bleibt annähernd konstant und es steigt lediglich der Ertrag aus der PV-Anlage, welcher als Überschuss in das Stromnetz eingespeist wird, so dass z.B. Nachbargebäude über den Smart-Grid davon profitieren können.

Neben dem Ausgangsfall wurden zwei weitere Varianten untersucht, um im Besonderen den Strombedarf für Heizen bzw. Kühlen des Standortes München weiter zu reduzieren (Abb. 3-50). Die Variante 1 (V1) nimmt eine Raumlufttemperatur von 19 - 26°C an. Außerdem soll die Raumluftfeuchte < 65% liegen.

Die Variante 2 unterscheidet sich von der V1 dahingehend, dass die festinstallierte Sonnenschutzmembran durch einen außenliegenden Sonnenschutz ersetzt wurde.

3.3.4.2 Speicherkapazität

Abschließend wurde untersucht, in wie weit mögliche elektrische Batteriespeicher den Autarkiegrad des nexushauses erhöhen können [3.77]. Die steigende Ausbeute an elektrischer Energie aus PV-Modulen, welche nur bedingt direkt als Nutzenergie verbraucht werden kann, erwägt den Einsatz eines elektrischen Energiespeichers. Es wurden drei Speichergrößen für das nebenstehende Beispiel eines 2-Personen-Haushaltes verglichen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3-51 dargestellt. Es zeigt sich, dass bereits eine Speicherkapazität von 8 kWh den Autarkiegrad deutlich erhöht.

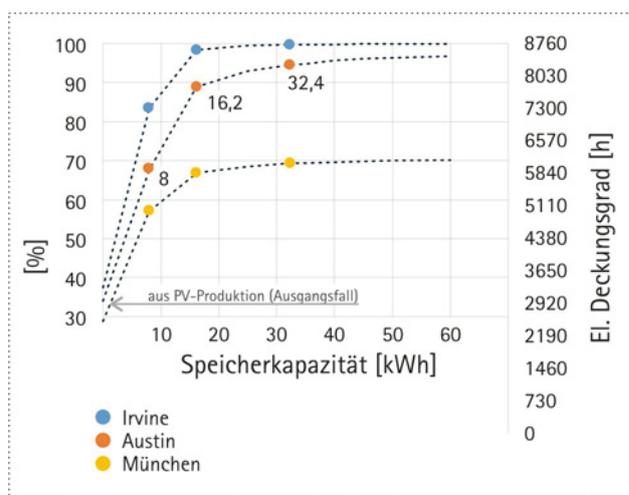


Abb. 3-51 Untersuchung verschiedener Batteriespeicher zur Erhöhung des Autarkiegrades [3.77] (Eigene Darstellung)

3.3.5 Thermische Gebäudesimulation

Zur genaueren Beurteilung des Entwurfsgebäudes wurde eine thermische Gebäudesimulation mit dem Programm TRNSYS durchgeführt [3.78]. Gemäß der DIN 18599 bilden in der Gebäudesimulation stündliche Wetterdaten des jeweiligen Standorts die Berechnungsgrundlage. Um den Kühl- und Heizwärmebedarf des Gebäudes anhand der thermischen Gebäudesimulation berechnen zu können, werden das Gebäude sowie die nutzungsspezifischen Randbedingungen so exakt wie möglich im Programm modelliert. Das thermische Verhalten eines Raumes ist sehr stark von der Konstruktion sowie der Ausrichtung der umfassenden Bauteile abhängig. Um die daraus resultierenden thermischen Gewinne bzw. Verluste berechnen zu können, werden die einzelnen Bauteilaufbauten unter Verwendung der hinterlegten Materialdatenbank aufgebaut und der jeweiligen Ausrichtung zugewiesen. Des Weiteren werden in der Energiebilanz die durch Nutzung und durch eintreffende solare Strahlung entstehenden internen Lasten berücksichtigt. In Abhängigkeit der Nutzungszeiten werden interne Wärmegewinne gemäß DIN 4108-2 mit $100 \text{ Wh/m}^2\cdot\text{d}$ angesetzt. Ebenfalls entsteht durch natürliche Infiltration und mechanische Belüftung eine Veränderung der Raumbilanz. Undichtigkeiten in der Gebäudehülle werden mit einem Luftwechsel von $0,6 \text{ h}^{-1}$ berücksichtigt. Das mechanische Belüftungssystem ist bedarfsorientiert und wird durch einen CO_2 -Sensor geregelt. Um thermische, lüftungsbedingte Verluste zu minimieren, sind die Lüftungsanlagen mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet. Die Konditionierung der beiden Räume wird durch Fan-Coils (Gebläsekonvektoren) geregelt. Die Wettbewerbsanforderungen an die thermische Behaglichkeit (wie in Abb. 3-36 Psychrometric Chart dargestellt) definieren eine Innenraumtemperatur zwischen $22 - 24 \text{ }^\circ\text{C}$. Des Weiteren ist eine

gute Luftqualität mit einer maximalen relativen Luftfeuchtigkeit von 60% zu gewährleisten. Die wichtigsten Parameter sind nachfolgend aufgelistet:

Eingabeparameter für die Gebäudesimulation:

Nutzungszeit Nacht-Modul:	22:00 Uhr bis 08:00 Uhr
Nutzungszeit Tag-Modul:	08:00 Uhr bis 22:00 Uhr
Interne Lasten:	$100 \text{ Wh/m}^2\cdot\text{d}$
Natürliche Infiltration:	$0,6 \text{ h}^{-1}$
Mechanische Lüftung:	bedarfsorientiert
Lufttemperatur:	$22 - 24 \text{ }^\circ\text{C}$
rel. Luftfeuchtigkeit:	$< 60 \%$

Unter den genannten Randbedingungen und den klimatischen Verhältnissen am jeweiligen Standort ergibt sich für den Entwurfsstandort Austin ein jährlicher Heizwärmebedarf von 4.273 kWh/a und ein Kühlbedarf von 7.574 kWh/a . Der Verlauf der über das Jahr auftretenden Heiz- und Kühllast für die drei Standorte Austin, Irvine und München ist in der Abbildung 3-52 sowohl für das Nacht- als auch für das Tag-Modul dargestellt. Die Heizlast ist als negativer Wert und die Kühllast als positiver Wert abgebildet.

Der Standort Austin weist aufgrund der außenklimatischen Bedingungen den größten Kühlbedarf auf. Der Standort München hingegen besitzt mit 14.721 kWh/a den größten Heizwärmebedarf und mit 652 kWh/a den geringsten Kühlenergiebedarf. Aufgrund des maritimen Klimas bildet der Standort Irvine sowohl im Heiz- als auch im Kühlbedarf ein Mittelmaß zwischen den beiden Standorten Austin und München. Der jährliche Heizwärmebedarf in Irvine liegt bei 3.927 kWh/a und der Kühlenergiebedarf bei 2.074 kWh/a . An der Abbildung 3-53 wird deutlich, wie sich die installierte Sonnenschutzmembran auf die notwendige Heiz- bzw. Kühllast auswirkt. Die Membran wurde als lichtundurchlässige Fläche simuliert.

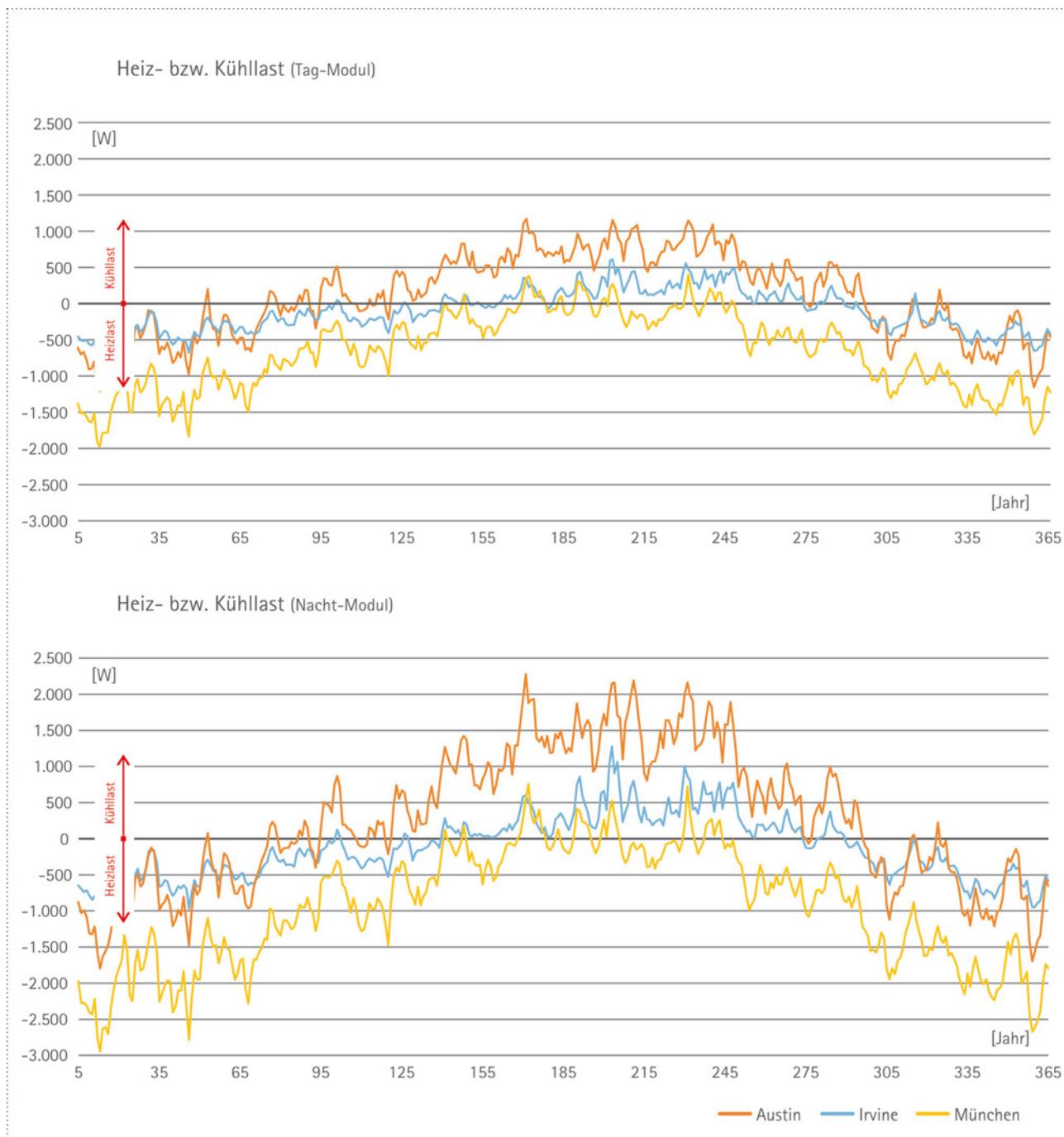


Abb. 3-52 Heiz- und Kühllast des Ist-Zustandes, jeweils für die drei Standorte Austin, Irvine und München.
 Oben: Tag-Modul; unten: Nacht-Modul; Die Kühllast ist hier positiv, die Heizlast negativ dargestellt. (Eigene Darstellung)

3.3.5.1 Standortvergleich

Durch die modulare Bauweise des nexushauses sollte sichergestellt werden, dass sich das Gebäude an die unterschiedlichsten Grundstückstypologien anpasst. Das hat zur Folge, dass sich die Orientierung der einzelnen Module ändern kann.

Der Wettbewerbsentwurf ist Nord-Süd ausgerichtet mit der vorgelagerten Sonnenschutzmembran. Die thermische Simulation zeigt, dass die Drehung des Gebäudes um -90° keinen gravierenden Einfluss auf den erforderlichen Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf hat. Eine Bestätigung für die Konzeptidee des nexushauses zur städtischen Nachverdichtung. Die Gebäudeeffizienz sollte gleich bleiben, unabhängig davon, wie die Module am Grundstück ausgerichtet werden. Würde auf die lichtundurchlässige Membran verzichtet werden und stattdessen eine automatisierte außenliegende Jalousie installiert, welche bei einer Flächeneinstrahlung von $\geq 300 \text{ W/m}^2$ geschlossen und bei $\leq 160 \text{ W/m}^2$ geöffnet wird, würde sich der Kühlbedarf des Hauses erhöhen. Der Heizbedarf würde sich durch die vermehrte Sonneneinstrahlung leicht reduzieren (Abb. 3-53). Nach-

dem der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der Fenster für deutsche Verhältnisse vergleichsweise niedrig war, sollte dieser für den Standort München nochmals optimiert werden, um den hohen Heizwärmebedarf in den Wintermonaten zu reduzieren. Für die Fenster wurde insgesamt ein U-Wert von $0,8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ und einem g-Wert von $0,6$ angenommen. Der positive Effekt zeigt sich am verringerten Heizwärmebedarf für den Standort. Nicht außer Acht gelassen werden darf der gestiegene Kühlbedarf unter Berücksichtigung des sommerlichen Wärmeschutzes. Der erforderliche sommerliche Wärmeschutz für den Standort München wird erreicht, indem zwei Fenster mit einem verbesserten g-Wert ausgestattet werden und bei starker Sonneneinstrahlung eine Vollverschattung gewährleistet wird. Nachdem der Kühlbedarf für die amerikanischen Standorte von größerer Bedeutung ist, zeigte die Gegenüberstellung, dass der Ausgangsfall mit dem opaken Sonnenschutz die richtige Lösung für das Gebäudekonzept ist. Eine bewegliche Membran könnte zudem den winterlichen Heizwärmebedarf reduzieren.

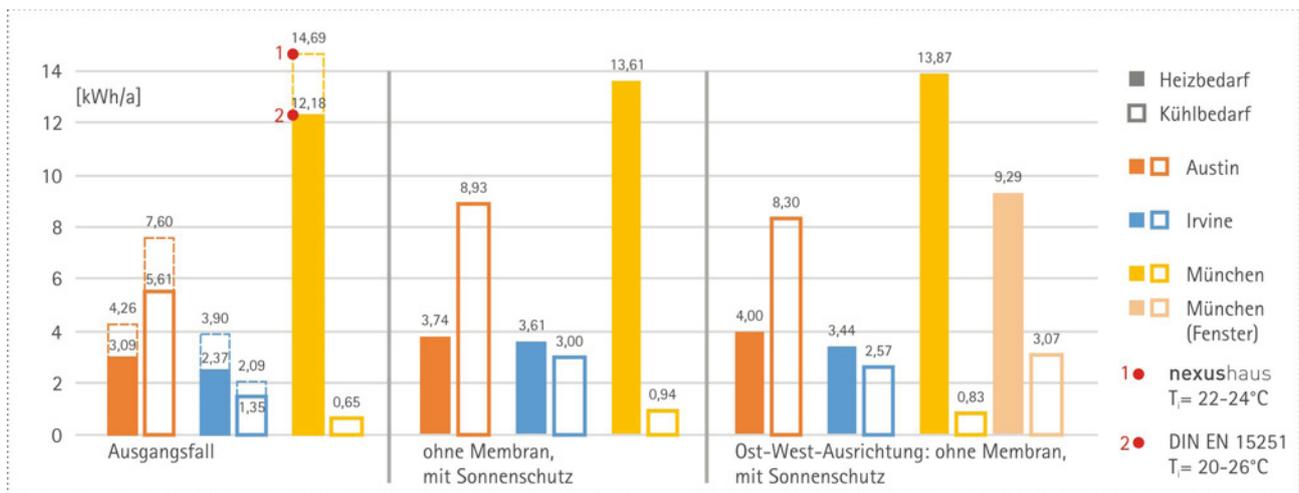


Abb. 3-53 Gegenüberstellung von Heiz- und Kühlbedarf der drei Standorte bei veränderten Parametern und gedrehter Gebäudeausrichtung (Ost-West-Ausrichtung); (Eigene Darstellung)

Wird das Behaglichkeitsfeld (Kat. II) des Temperaturbereiches gemäß der DIN EN 15251 vergrößert und statt der zulässigen Innenraumtemperatur (T_i) von 22-24°C des Wettbewerbes 20-26°C angenommen, reduziert sich ebenfalls der Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf, nachdem mehr Spielraum für den Technikeinsatz bleibt (Abb. 3-53).

Von den bereits genannten passiven Planungsmaßnahmen kann somit doppelt profitiert werden. Die großzügigen Fensterelemente ermöglichen die Nutzung von Tageslicht in den Innenräumen und den Ausblick nach draußen, beides wirkt sich positiv auf die Behaglichkeit der Bewohner aus. Um die Überhitzung der Wohnmodule zu vermeiden hilft zusätzlich ein installierter Sonnenschutz. Unabhängig der Gebäudeorientierung lassen sich verschiedene Passivmaßnahmen umsetzen.

3.3.5.2 Thermischer Regenwasserspeicher

Durch die thermische Gebäudesimulation des nexushauses sollte im Anschluss an den Solar Decathlon Wettbewerb untersucht werden, welchen Einfluss die Aktivierung des Regenwassertanks als thermischer Energiespeicher auf die Gebäudetemperierung und den Energieverbrauch hat. Das Fassungsvermögen des Tanks von 1895 Litern wurde hierbei festgelegt. Die in der Einleitung (3.3.5) beschriebenen Eingabeparameter zur Innenraumbehaglichkeit wurden aus den Angaben des Solar Decathlon Wettbewerbes übernommen. So wurde die Soll-Luftinnentemperatur der Module auf 22°-24°C festgelegt. Die Raumluftfeuchte sollte 60% nicht überschreiten. Im Rahmen des Wettbewerbs wurden für das Energiekonzept des Hauses drei Regelungsvarianten erarbeitet, die das Potential der installierten Photovoltaikanlage jedoch unberücksichtigt ließen. Primäres Ziel war es, die Stromkosten, welche für die Gebäudetemperierung anfallen, zu senken. Dabei sollte der Strombezug aus dem Netz, besonders zu Tageshöchsttemperaturen, auf ein

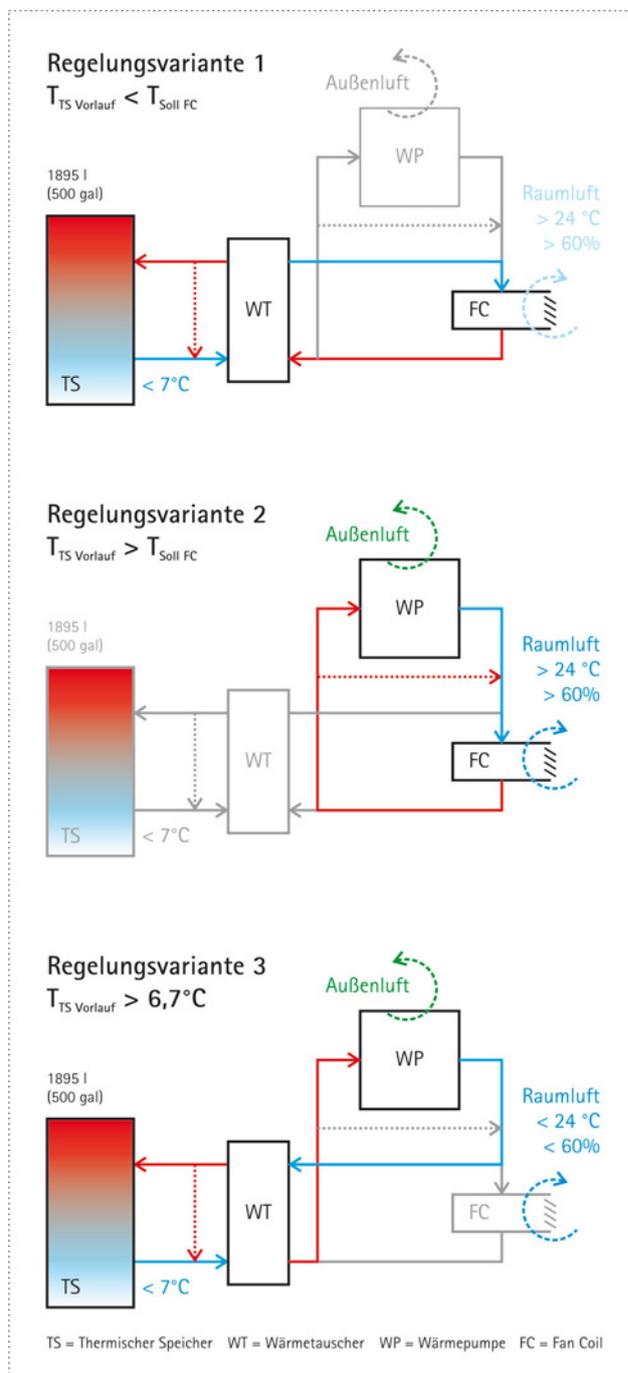


Abb. 3-54 Regelungsvarianten als Grundlage für die Gebäudesimulation des nexushauses [3.78] (Eigene Darstellung)

Minimum reduziert werden.

Die **Regelungsvariante 1** stellt die Gebäudetemperierung mittels des thermischen Energiespeichers dar. Übersteigt die Raumlufttemperatur das definierte Maximum von 24°C und liegt die Luftfeuchte über 60%, so wird der thermische Speicher für die Gebäudekühlung aktiviert. Dieser Entladevorgang des Speichertanks ist so lange möglich, wie auch die Vorlauftemperatur des Speichertanks unterhalb der erforderlichen Vorlauftemperatur der Fan Coils liegt (Abb. 3-54).

Die **Regelungsvariante 2** sieht die Gebäudetemperierung über die Luft-Wasser-Kompressionskältemaschine (KKM) vor. Auch hier gilt: Werden die definierten Behaglichkeitsanforderungen der Innenräume überschritten, wird über die KKM sowohl gekühlt als auch entfeuchtet.

Die **dritte Regelungsvariante** kommt zum Einsatz, wenn die Anforderungen an die Innenraumbehaglichkeit erfüllt und die Stromkosten geringer sind. In der Regel ist das Nachts der Fall. Hierbei wird durch die KKM das Wasser-

medium des Speichertanks auf die erforderliche Vorlauftemperatur heruntergekühlt. Diese Systemvariante wird nur aktiviert, wenn die Anforderungen an die Innenraumluft der Wohnmodule erfüllt ist. Solange das nicht der Fall ist läuft ausschließlich die Regelungsvariante 2. Bei der Konzeptidee ist es nicht möglich, parallel die Regelungsvariante 3 zu betreiben.

Das Konzept mit Grundlage der Wettbewerbsanforderungen wurde mit dem Planungswerkzeug TRNSYS erneut simuliert. Die Ergebnisse aus der Simulation werden im Folgenden kurz erläutert. Abbildung 3-55 stellt den Jahresstrombedarf im Tagesverlauf dar. Der Regelungsvariante 2 (Farbe Blau) wird die Regelungsvariante 1 (Farbe Orange) gegenübergestellt. Der Tagesverlauf zeigt, dass zwar am Tag von ca. 8:00 – 19:00 Uhr weniger Strom für den Betrieb erforderlich ist, jedoch in den Nachtstunden sehr viel mehr für die erneute Beladung des Speichertanks benötigt wird. In der Jahresübersicht überwiegt der Strombedarf beim Betrieb mit Speichertank einem Konzept ohne Speichertankaktivierung. Ergänzend sind zwei Optimierungsvorschläge erarbeitet worden [3.78].

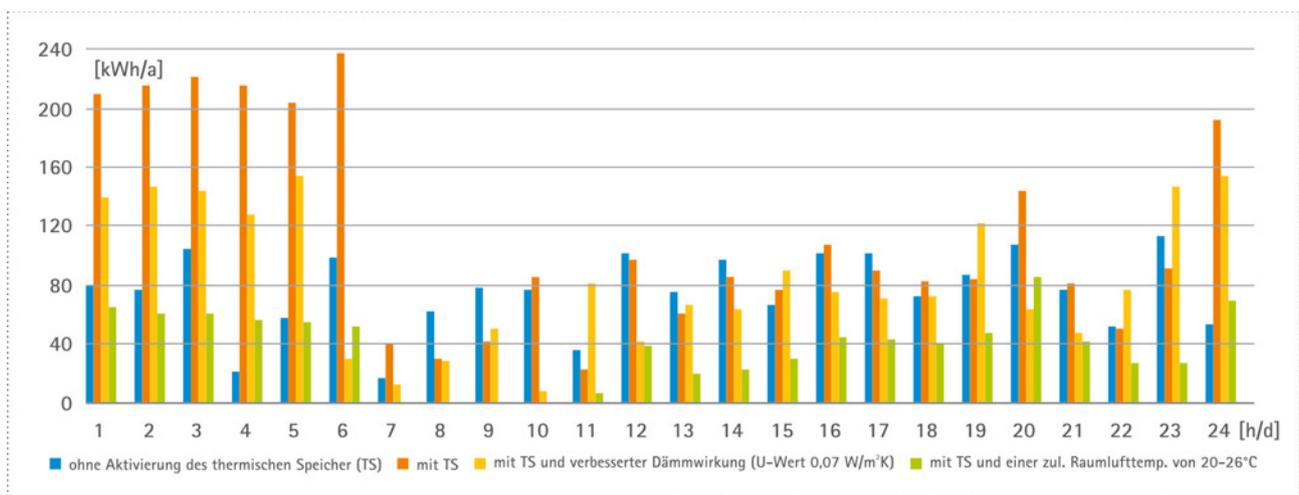


Abb. 3-55 Gegenüberstellung der Optimierungsvarianten zum Einsatz der Gebäudetemperierung mit dem thermischen Regenwasserspeicher [3.78] (Eigene Darstellung)

Im Jahresverlauf zeigt sich, dass das Wasser im Speichertank entsprechend der Außenlufttemperatur für den Standort Austin, aufgrund der mäßigen Dämmwirkung des Tankmantel um bis zu 18 K in den Spätsommermonaten ansteigen kann Abb. 3-56. Demzufolge steigt der Energieeinsatz, um den Speichertank auf die gewünschte Vorlauf-temperatur von $< 7^{\circ}\text{C}$ herunterzukühlen. Eine verbesserte Dämmung des Speichertanks (Farbe Gelb) führt zu einer Einsparung von bis zu 30% des Kühlenergiebedarfs.

Die leichte Gebäudekonstruktion des nexushauses führt mitunter dazu, dass im Sommer die Behaglichkeitskriterien des Innenraumes (Luftfeuchte $< 60\%$, $\Delta T 22^{\circ}\text{--}24^{\circ}\text{C}$) nicht eingehalten werden und somit das Signal für die Regelungsvariante 1 nicht gegeben wird (Abb. 3-56). Um die Innenraumbehaglichkeit beizubehalten ist es erforderlich, dass die KKM fast durchgängig in Betrieb ist. Als zweite Optimierungsvariante, neben der verbesserten Wärmedämmung für den Speichertank, wurde der Behaglichkeitsbereich der Innenräume gelockert. Der Temperaturbereich wurde um jeweils 2°C nach oben und unten erweitert ($20\text{--}26^{\circ}\text{C}$). Durch diese Variante kann der Stromverbrauch

erheblich reduziert werden (Abb. 3-55), da die Gebäudetechnik weniger zum Einsatz kommt.

Würde nun abschließend der Stromertrag aus den installierten PV-Modulen berücksichtigt, verbessert sich das gewählte Energiekonzept deutlich. Die Berücksichtigung der Sonnenenergie spart Betriebskosten ein, indem der städtische Strombezug zu Temperaturhöchstwerten reduziert oder gar vermieden wird.

Die Gegenüberstellung zeigt, dass bereits durch wenige Optimierungsmaßnahmen eine bedeutende Verbesserung des angedachten Energiekonzeptes hätte erzielt werden können. Die Entfeuchtung der Raumluft kann mit einem Split-Kühl-Gerät als Alternative zu den gewählten Fan Coils verbessert werden. Ein zusätzlich installierter Nacherhitzer ermöglicht, die Temperaturen für die Entfeuchtung stärker herunterzukühlen und im Anschluss wieder auf die gewünschte Raummindesttemperatur zu erhitzen. Die Fan Coils erlaubten lediglich die Temperaturreduktion auf ca. 22°C , um die Behaglichkeitsanforderungen beizubehalten.

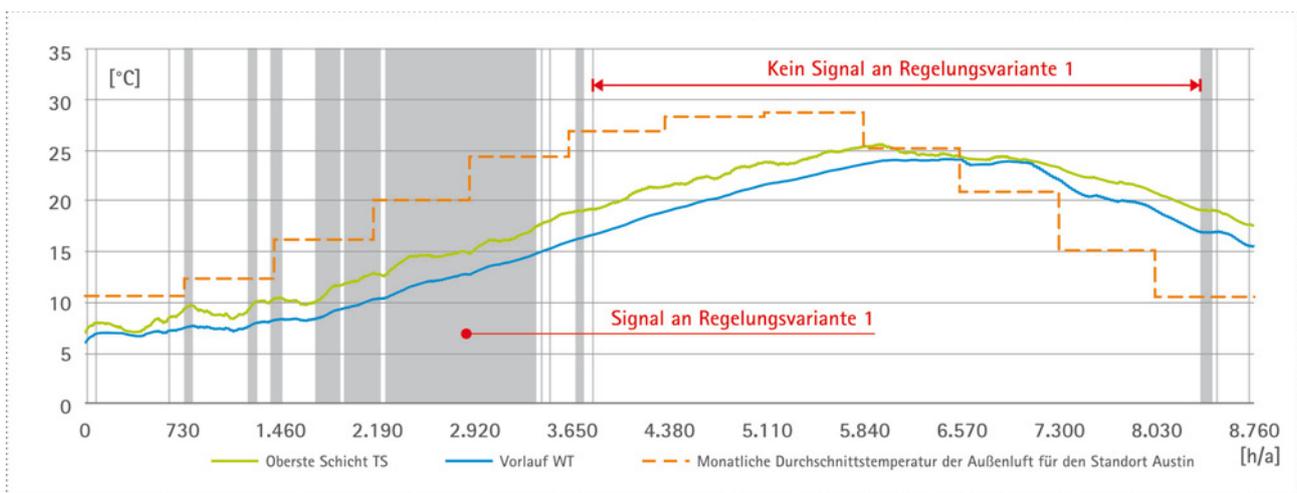


Abb. 3-56 Temperaturanstieg des Wassers im Speichertank sowie Darstellung der Aktivierungszeit des Speichertanks zur Gebäudetemperierung [3.78] (Eigene Darstellung)

3.3.6 Passive und aktive Maßnahmen zur Nutzung von Umweltenergien

Wie die Ergebnisse aus der Gebäudesimulation des nexushauses zeigen, bieten sich neben der Nutzung von Sonnenenergie auch andere Energiequellen für den Gebäudebetrieb an. Unterschieden wird dabei in Passiv- und Aktivmaßnahmen. Vier Grundparameter helfen dabei beim Verständnis:

3.3.6.1 Wärme bzw. Kälte erhalten

Ziel der Gebäudeplanung ist dabei die im Gebäude enthaltene, angestrebte Behaglichkeit zu erhalten. Passivmaßnahmen stellen dabei unter anderen eine kompakte Bauweise dar. Schnelle Energieflüsse werden durch einen niedrigen Energiedurchlassgrad der Gebäudehülle unterbunden. Darüber hinaus sorgt eine Dichtigkeitsprüfung dafür, dass die enthaltene Wärme/Kälte nicht über Infiltration und Gebäudeöffnungen verloren geht. Eine schwere Bauweise ermöglicht die Bauteilaktivierung zur Innenraumklimatisierung. Pufferzonen wie beispielsweise Windfänge und Korridore verhindern, dass zu schnell die Innenraumwärme an den Außenraum abgegeben wird. Der Nexus des nexushauses bildet diesen Transferraum dar. Besonders für den Standort München empfiehlt es sich, den Raum zu schließen, um an kalten Wintertagen den Wärmeverlust beim Übergang von Modul zu Modul zu minimieren.

Aktive Maßnahmen beinhalten beispielsweise Systeme mit integrierter Wärmerückgewinnung. Die Lüftungseinheit, welche in die Fassade des nexushauses integriert ist, verfügt über einen Keramik Kern, der die Wärme der nach außen strömenden Luft aufnimmt und bei umgekehrter Funktionsweise wieder an die Zuluft abgibt.

3.3.6.2 Wärme gewinnen

Großzügige Fensterflächen mit entsprechender Fensterqualität ermöglichen den Durchlass von Sonnenstrahlen in das Gebäudeinnere. Die richtige Ausrichtung der Räume im Gebäudegrundriss entsprechend der Nutzungszeiten ist dabei von Bedeutung, um vom direkten Wärmeeintrag zu profitieren. Konstruktive Maßnahmen ermöglichen die Bauteilaktivierung zur Speicherung von Wärme (z.B. Trombewand). Kollektorsysteme und Energiespeicher sorgen neben der Raumklimatisierung für eine Warmwasserbereitung.

3.3.6.3 Überhitzung vermeiden

Außenliegender Sonnenschutz sowie die Fensterqualität mit niedrigem Energiedurchlassgrad verhindern eine Überhitzung der Innenräume.

Im Falle des nexushauses wurde mittels thermischen Energiespeicher und Kompressionskältemaschine versucht ein behagliches Innenraumklima zu schaffen.

3.3.6.4 Tageslichtversorgung/Stromerzeugung

Lichtlenksysteme ermöglichen den Zugang von natürlichem Sonnenlicht ins Gebäudeinnere ohne dabei die Innenräume zu überhitzen. Aufenthaltsbereiche sollten sich entsprechend ihrer Funktion an den Himmelsrichtungen orientieren. Elektrische Energie, erzeugt bspw. durch Photovoltaikmodule, dient der Kunstlichtbeleuchtung. Strom aus Off-oder On-shore Windanlagen werden vermehrt für die Versorgung der städtischen Infrastruktur angewandt.

3.3.6.5 Energieeffizienz

Die verwendeten Haushaltsgeräte des nexushauses konnten durch eine hohe Energieeffizienz den Stromverbrauch stark reduzieren. Für die Beleuchtung des Hauses kamen ausschließlich LEDs zum Einsatz, die durch ihren niedrigen

Energieverbrauch und eine hohe Lebensdauer auszeichnen.

Effiziente Handlungsweisen erfordern, dass sich der Bewohner mit der installierten Technik vertraut macht. Eine Hausakte [3.79] sollte dabei alle technischen Geräteinformationen enthalten, außerdem sind die Oberflächen der Steuereinheiten bedienerfreundlich zu gestalten.

Nach C2C kann bei einer ausschließlichen Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen, diese in „Verschwendung“ [3.80] verbraucht werden. Das nexushaus ist in seiner Konzeption als Plusenergiegebäude definiert, das bedeutet, dass über den Jahresverlauf ein Energieüberschuss, bspw. durch die PV-Module, erzeugt wird. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass das Beispielgebäude zwar mehr Energie erzeugt, als es über das Jahr verbraucht, jedoch der Energiebedarf über das Jahr verteilt sehr unterschiedlich sein kann (siehe hierzu Abschnitt Photovoltaik).

3.3.6.6 Nutzersensibilisierung

Das installierte Smart-Home-System des nexushauses sollte den Nutzer für einen sorgsamen Umgang mit der

Ressource Energie sensibilisieren. Ziel der visuellen Oberfläche war es, den Energieverbrauch zu minimieren, in dem der Bewohner über seinen Verbrauch informiert wird und somit gezielt Einfluss nehmen. Hierzu wird der Verbrauch der Haushalts- und Technikgeräte aufgezeigt und den Erträgen aus den erneuerbaren Energiequellen gegenübergestellt. Außerdem wird der Nutzer über den (Strom-) Bezug aus dem öffentlichen Netz informiert. Empfehlungen zu möglichen Aktivitäten soll das Handeln des Nutzers dahingehend optimieren, dass Energie hauptsächlich dann verbraucht wird, wenn diese auf der Basis von Umweltenergien zur Verfügung steht.

Die LED-Beleuchtung der Module sollte zentral gesteuert werden, um eine bedarfsorientierte Beleuchtung zu ermöglichen. Bewegungsmelder, welche beim Wettbewerbsgebäude aufgrund der erforderlichen Messungen nicht möglich waren, reduzieren den Stromverbrauch. Die großzügigen Fassadenöffnungen ermöglichten zudem, dass weitgehend Tageslicht die Aufenthaltsräume erhellt und erst zu späten Abend- und frühen Morgenstunden Kunstlicht erforderlich ist.

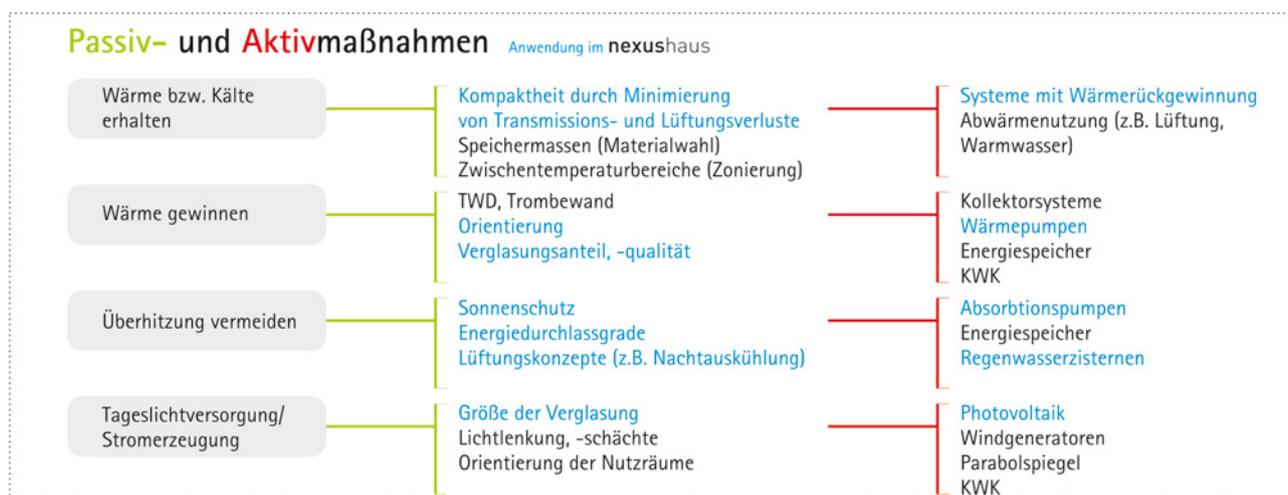
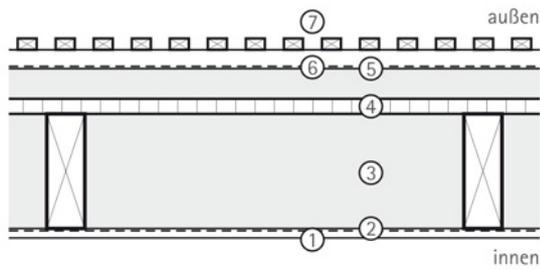


Abb. 3-57 Passiv- und Aktivmaßnahmen bei der Gebäudeklimatisierung

Anhang

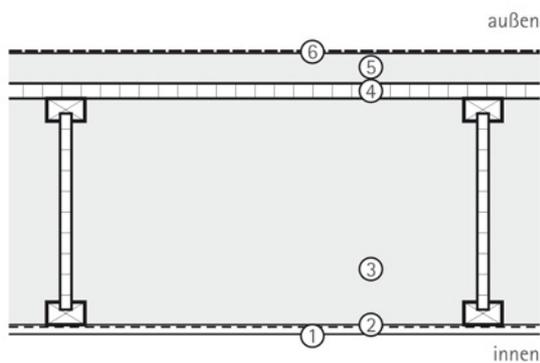
Die Konstruktionsaufbauten der Gebäudehülle des nexus-hauses dienten als Grundlage für die energetischen Berechnungen und die thermische Gebäudesimulation.

AUSSENWAND (U-Wert: 0,23 W/m².K)



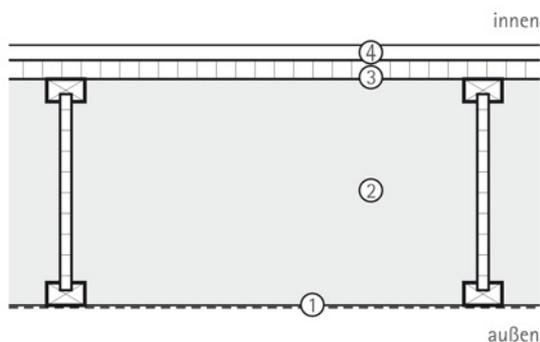
Material Bezeichnung	Dicke [mm]	λ [W/m.K]
① Gipskartonplatte	12,5	0,250
② Dampfhemme	-	2,300
③ Konstruktionsvollholz Zellulosedämmung	152	0,130
④ OSB-Platte	16,0	0,130
⑤ Expandierter Kork	40,0	0,045
⑥ Witterungsschutz	-	2,300
⑦ Hinterlüftete Fassadenlattung	-	-
	220,5	

DACH (U-Wert: 0,13 W/m².K)



Material Bezeichnung	Dicke [mm]	λ [W/m.K]
① Gipskartonplatte	15,0	0,250
② Dampfhemme	-	2,300
③ Holzstegträger (OSB-Platte) Zellulosedämmung	300	0,130
④ OSB-Platte	16,0	0,130
⑤ EPS-Dämmung (im Gefälle)	40,0	0,035
⑥ Dachbahn	4,00	0,500
	375,0	

BODEN (U-Wert: 0,13 W/m².K)



Material Bezeichnung	Dicke [mm]	λ [W/m.K]
① Witterungsschutz	-	2,300
Dampfhemme	-	2,300
② Holzstegträger (OSB-Platte) Zellulosedämmung	300	0,130
③ OSB-Platte	25,0	0,130
④ Holzbodenbelag	20,0	0,180
	345,0	

3

Planungsparameter
3.4 Diversität

3.4 Celebrate Diversity

Das Gebäudekonzept profitiert von der wertschöpfenden Vielfalt, die es umgibt. Bereits in den frühen Planungsphasen sollte auf unterschiedliche Expertisen zurückgegriffen werden, um optimale Lösungen im Hinblick auf die angestrebten Ziele und Meilensteine zu erarbeiten. Der Einbezug von Fachplanern öffnet die Sichtweisen und zeigt verschiedene Lösungsansätze auf, die zum angestrebten Ziel gemäß der Cradle to Cradle Idee führen:

„Das Wasser, welches das Gebäude nach Gebrauch wieder verlässt ist reiner, als es zuvor bezogen wurde.“

„Es wird mehr Energie produziert, als für den Eigenbedarf erforderlich ist.“ [3.81]

Celebrate diversity betrachtet dabei die konzeptionelle, kulturelle und die technologische Vielfalt sowie die Biodiversität. Unter Vielfalt fallen Aspekte, die bei der Gebäudeplanung von Bedeutung sind und dabei vom homogenen Planungsmuster (Vereinheitlichung) abweichen. Das Schaffen von unterschiedlichen Rückzugsorten im Innen- und Außenraum wäre dafür ein Beispiel. Grundrissstypen und technische Systeme sollen sich flexibel an die Nutzerbedürfnisse und Bewohnerzahlen anpassen können, Ästhetik und Gestalt des Bauvorhabens sind gleichwertig mit der barrierefreien Zugänglichkeit. Sichtbezüge und Kommunikationsflächen durch öffentliche, halböffentliche und private Bereiche sollen geschaffen werden. Auf Quartiersebene soll zusätzlich eine soziale Durchmischung stattfinden, die der Gentrifizierung entgegen wirkt. Die städtische Infra- und Versorgungsstruktur soll vielfältige Anschlussmöglichkeiten bieten. Das beinhaltet den Zugang zu verschiedenen Einrichtungen des öffentlichen Personennahverkehrs und ermöglicht die selbstgewählte Energieversorgung für den Gebäudebetrieb.

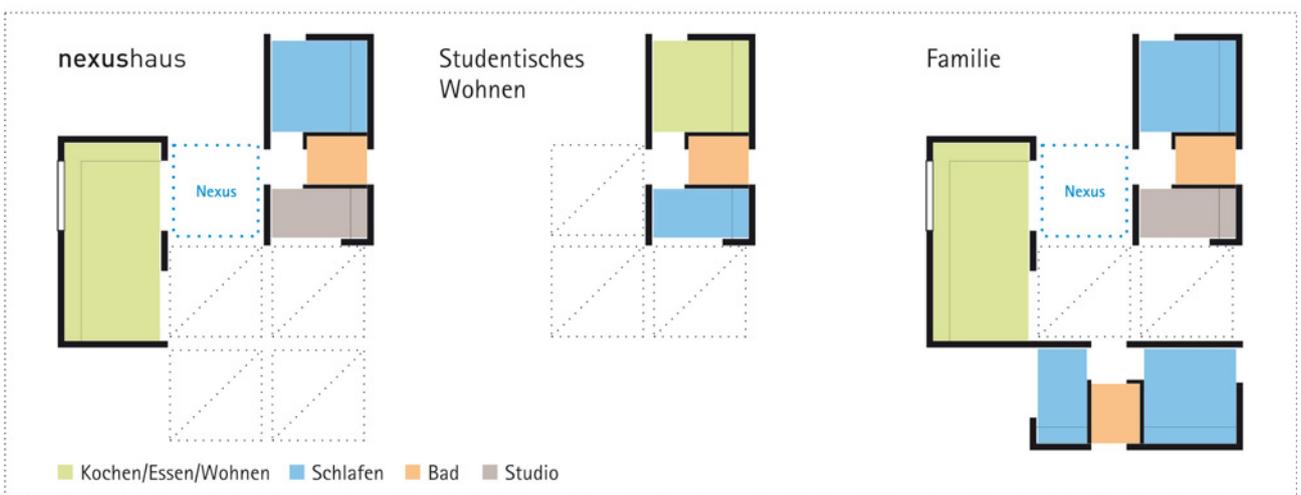
Bei der *ökologischen Vielfalt* soll berücksichtigt werden, dass es neben dem Menschen noch andere Lebewesen auf der Erde gibt, die das gleiche Daseinsrecht haben. Behaglichkeitskriterien in Innen- und Außenräumen sollen für Wohlbefinden sorgen. Suffiziente Verhaltensweisen werden durch eine Nutzersensibilisierung (z.B. Smart-Home-System) unterstützt, die auf eigene Verbräuche aufmerksam macht.

3.4.1 Konzeptionelle Diversität

Der Gebäudegrundriss sollte möglichst flexibel auf verschiedene Nutzeranforderungen reagieren können. Wohnraum muss sich dem Bedarf der Bewohner anpassen und auf Veränderungen der Bewohneranzahl reagieren können. Das nexushaus war für den Wettbewerb zum Solar Decathlon als 2-Personen-Haushalt angedacht, wobei es eine zusätzliche Schlafmöglichkeit im Studio gab. Durch die modulare Bauweise kann das Gebäude leicht durch ein Modul ergänzt werden, um zusätzlichen Wohnraum zu schaffen. Es gibt auch die Möglichkeit nur mit einem Wohnmodul, bspw. als studentisches Wohnen, auszukommen (Abb. 3-58). Die Aufstellung der Module ermöglicht das Schaffen von verschiedenen Raumzonen zur Steigerung der Aufenthaltsqualität. Es können geschützte, halböffentliche und öffentliche Bereiche geschaffen werden.

Ein weiterer Vorteil der Modulbauweise ist es, auf verschiedene Grundstückstypologien reagieren zu können. Die Studierenden haben im Vorfeld des Wettbewerbes unterschiedliche Grundstücke in Austin untersucht, da die Konzeptidee der städtischen Nachverdichtung in den rückwärtigen Grundstückslagen alternative Lösungsvorschläge verlangte. Die nachverdichteten Wohnmodule können

Abb. 3-58 Lageplanausschnitt Austin (ohne Massstab)
Grundrissvarianten entsprechend Bewohneranzahl



untereinander im Smart-Grid vernetzt werden, um voneinander zu profitieren (Abb. 3-58, Lageplan). Überschüssiger Strom aus den Photovoltaikmodulen kann so auch den Nachbargebäuden bereitgestellt werden oder vorhandene Bestandbebauungen mit regenerativem Strom versorgen, wodurch die Stadtinfrastruktur entlastet wird.

Der Zugang von natürlichem Licht in Innenräumen sorgt für menschliches Wohlbefinden. Diffuses Licht durch transluzente Oberflächen bietet dabei einen Sichtschutz. Das Spiel von Licht und Schatten regt das Auge an und sorgt für Ästhetik und Gestaltung bei dem Gebäudeentwurf. Licht in konzentrierter Form setzt Akzente und hebt Objekte hervor. Entsprechende Lichtfarben sorgen für warme oder kühle Empfindungen. Unterschiedliche Raumhöhen und -größen im Gebäudeentwurf verhindern Monotonie. Sichtbezüge verknüpfen den Innen- mit dem Außenraum, fördern die Kommunikation der Quartiersbewohner und sorgen für ein sicheres Wohnumfeld.

Die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten von Licht und Raum sind Teil der konzeptionellen Vielfalt. Auch das nexushaus hatte zu einer hohen Behaglichkeit der Besucher und Studierenden beigetragen.

Das Wettbewerbsgebäude konnte in vielen der vorgenannten Aspekte durch eine hohe Gestaltungsqualität überzeugen. Die großen Fensterflächen ermöglichten den Zugang von natürlichem Licht und ließen in geöffnetem Zustand den Wohnraum mit dem Freibereich verschmelzen. Diffuses Sonnenlicht sorgte durch die installierten Sonnenschutzmembranen für eine hohe Aufenthaltsqualität im Außenbereich. Der Versatz der Wohnmodule zueinander schuf verschiedene Aufenthaltsbereiche im Freien, deren Einsehbarkeit zum Teil bewusst eingeschränkt war. Die vorgelagerte Terrasse war von überall einsehbar und förderte daher die Kommunikation der Quartiersbewohner des

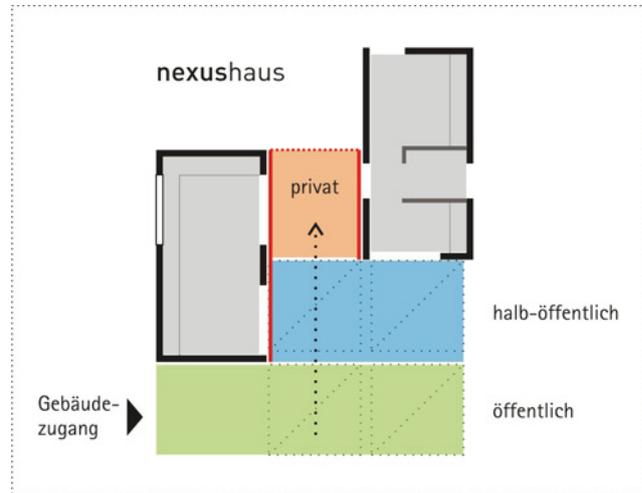


Abb. 3-59 Kommunikationsflächen des nexushauses

Wettbewerbsgeländes. Auch der barrierefreie Gebäudezugang über die Rampe schloss an dieser Stelle an.

Die vertikale Begrenzung der Modulwände nahm zum Nexus hin zu, der als privater Zugang und Transferraum zu den Modulen geplant war. Aus Sicherheitsgründen gab es die Option den Raum abzuschließen, wobei Schiebeelemente und Rolltore in der Diskussion waren. Der Nexus erlaubt Ausblicke und schützt dabei aber die Bewohner vor Einblicken aus der Umgebung.

3.4.2 Kulturelle Diversität

Der Planungsbezug zum Standort spielte beim Gebäudeentwurf des nexushauses eine entscheidende Rolle. Die Verwendung lokaler Materialien unterstrich dabei die hohe Nutzerakzeptanz. Der großzügige Freibereich und die autarke Nahrungsmittelproduktion entstanden aus dieser Idee des Ortsbezuges heraus. Durch den partizipativen Planungsansatz lernten die Studierenden beider Herkunftsländer voneinander und optimierten den Gebäudeentwurf gemeinsam. Auf Quartiersebene wird ebenfalls die Akzep-

tanz des Gebäudes durch die Anwohner einer Bauaufgabe gestärkt, wenn sie bei Planung mit einbezogen werden. Mit der entsprechenden Fachexpertise lassen sich schließlich die Konzeptideen nachhaltig umsetzen.

Die soziale Durchmischung integriert verschiedene Gesellschaftsgruppen und fördert die Toleranz untereinander. Der Gentrifizierung wird dabei entgegengewirkt sowie profitiert das Umfeld von der kulturellen Vielfalt eines Quartiers.

Durch eine barrierefreie Gebäudekonzeption wird älteren und körperlich eingeschränkten Personen den Zugang ermöglicht.

3.4.3 Technologische Diversität

Die technologische Vielfalt lässt zu, dass Änderungen der Anlagentechnik, bspw. bedingt durch einen Nutzerwechsel, ohne großen Aufwand möglich sind. Vereinbarte Ziele und Meilensteine zur technischen Gebäudeausstattung nach Cradle to Cradle lassen sich so zu einem späteren Zeitpunkt umsetzen und die Technik kann leicht angepasst werden. Die vielfältige Nutzung der Sonnenenergie ermöglicht die Stromerzeugung mittels Photovoltaikmodulen sowie die Warmwasseraufbereitung durch die Installation von thermischen Solarkollektoren. Darüber hinaus ist es durch geeignete Anordnung und Ausrichtung der Fensteröffnungen möglich, die Sonnenenergie über den Wärmeeintrag zur Raumtemperierung zu verwenden. Regenerative Energiequellen ermöglichen unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten, die bei der Gebäudeplanung zu berücksichtigen sind. Die Mischung aus Passiv- und Aktivmaßnahmen ermöglichen einen robusten Gebäudebetrieb. Bei sinnvoller Planung können hier zudem Betriebskosten eingespart werden. Kann der Bewohner auf den Betrieb des Hauses Einfluss nehmen, steigert das die Nutzerakzeptanz. Jedoch sollte der Nutzer, bspw. durch ein Smart-

Home-System, für die Auswirkungen seiner Handlungsweisen sensibilisiert werden.

3.4.4 Biodiversität

Die Biodiversität setzt voraus, dass neben dem Wohnraum für den Menschen auch Habitate für andere Lebewesen durch die Planungen bereitgestellt werden. Bauwerksbegrünungen bieten, über den Unterschlupf im Gebäude, z.B. in kleinen Öffnungen und Hohlräumen, eine gute Möglichkeit Habitate für Tiere bereitzustellen. Die Klimaerwärmung hat enormen Einfluss auf die Flora und Fauna. Der städtische Wärmeinseleffekt wird durch die natürliche Verdunstungskühlung durch Bauwerksbegrünungen reduziert. Die Bindung von Staub und anderen Partikeln durch Blätter verbessert zudem die Luftqualität [3.82].

3.4.4.1 Dachbegrünung

Dachbegrünungen dienen, neben dem Behalten von Tieren und Mikroorganismen, als zusätzlicher thermischer Speicher für die Gebäudehülle. Je nach Dachaufbau (extensiv oder intensiv) reduziert das Dämmpaket den Wärme- bzw. Kälteübergang und unterstützt ein behagliches Innenraumklima. Anfallendes Regenwasser wird im Substrat gespeichert und verzögert an die Kanalisation abgegeben, wodurch der Kanal – besonders bei Starkregenfall – entlastet wird. Außerdem wird das Regenwasser bereits von grobem Schmutz und Schadstoffen aus der Umgebungsluft (z.B. Feinstaub) befreit und gefiltert dem Speichertank zugeführt. Der Ertrag von Photovoltaikmodulen steigt durch den Kühleffekt der darunterliegenden Bepflanzung [3.83]. In der Planung ist die erhöhte Auflast, je nach Substrataufbau, zu berücksichtigen. Die Speicherkapazität von Regenwasser im Pflanzensubstrat ist für das Überleben der Flora besonders in Trockenperio-

den von Bedeutung, sorgt jedoch für eine hohe Auflast auf der Dachkonstruktion. Dachgärten bieten den Bewohnern eine zusätzliche Aufenthaltsfläche und stellen einen guten Ausgleich der durch das Bauwerk verursachten Flächenversiegelung dar. Je größer die Pflanzenvielfalt, aber auch die unterschiedlichen Dachformen, desto abwechslungsreicher die Dachlandschaft. Verschiedene Blühzeiten und der unterschiedliche Wasserbedarf der Pflanzen im Jahresverlauf lassen unterschiedliche Lebensräume zu.

Das trockene Klima in Austin und Irvine stellte für die Studierenden bei der Planung des nexushauses eine zu hohe Herausforderung bei der Pflanzenauswahl dar, weshalb auf eine Dachbegrünung verzichtet wurde. Es ist stattdessen eine weiße Dachmembran aufgebracht worden, die durch ihre Farbe möglichst viel Solarstrahlung reflektieren sollte, um eine Überhitzung zu vermeiden.

3.4.4.2 Fassadenbegrünung

Bei der Fassadenbegrünung wird in bodengebundene (bg) und wandgebundene (wg) Systeme unterschieden, wobei die bg Begrünung mit Kletterpflanzen die kostengünstigere Lösung ist [3.84]. Wandgebundene Begrünungen erfordern meist ein Bewässerungssystem, das mit recyceltem Grauwasser bewirtschaftet werden kann. Je nach Pflanzenart kann im Sommer Schatten gespendet werden. Im Winter hingegen kann durch das fehlende Laub Sonnenlicht in die dahinterliegenden Aufenthaltsräume gelangen.

Ursprünglich war eine bodengebundene Fassadenbegrünung als Sonnen- und Sichtschutz an der Ost- und Westfassade des nexushauses geplant. Als Ergänzung sollte der Nexus mit zusätzlichen Nutzpflanzen als Vertical Garden begrünt werden. Die Kletterpflanzen hätten für den Wettbewerb jedoch weit im Voraus kultiviert werden müssen, um dem heißen Klima in Irvine stand zu halten. Die Begrünung des Wettbewerbsgebäudes erfolgte schließlich mit unter-

schiedlich großen Topfpflanzen, die zum Wettbewerbsgelände transportiert wurden und leicht auf- und abgebaut werden konnten. Die oben beschriebenen positiven Effekte einer Gebäudebegrünung konnten in dem kurzen Wettbewerbszeitraum nicht erreicht werden, jedoch sorgte die realisierte Begrünung für eine verbesserte Aufenthaltsqualität.

3.4.4.3 Tiere und Mikroorganismen

Neben der Vielfalt an Flora bieten Gebäudebegrünungen Lebensraum und Nahrung für Tiere und Mikroorganismen. Bei Dachbegrünungen ist eine mind. 15 cm hohe Substratschicht vorzusehen, um den darin lebenden Organismen langfristig Habitate bereitzustellen, wodurch sich „Nährstoffkreisläufe und Nahrungsbeziehungen bilden“ können [3.82].

Fledermäuse, welche bereits auf der roten Liste gefährdeter Tierarten stehen [3.85], ernähren sich von Insekten der Bauwerksbegrünung. Blühendes Grün an Dach und Fassade ist Nektarquelle für Bienen. Fassadenbegrünungen dienen außerdem als Brutstätte für Vögel.

Baumaßnahmen können durch die Flächenversiegelung Lebensraum von Flora und Fauna zerstören. Hierbei stellen Bauwerksbegrünungen eine gute Möglichkeit dar, wieder neuen Lebensraum für Flora und Fauna zu schaffen. Bei der Gebäudeplanung sollte zudem auf mögliche Gefahren für Tiere geachtet werden. Transparente Glasflächen können für Vögel nur schwer wahrgenommen werden [3.86]. Schadstoffe in Baumaterialien zur Schädlingsbekämpfung sollten durch konstruktive Maßnahmen ersetzt und damit komplett vermieden werden.

3.4.4.4 CO₂-Kompensation

Ein weiterer Vorteil von Gebäudebegrünungen liegt in der CO₂-Kompensation der für Konstruktion und Gebäudebetrieb anfallenden Treibhausgasemissionen.

Bei den vier Nutzungsphasen (Herstellung, Nutzung, Instandhaltung und Rückbau) des Gebäudes fallen Emissionen an, die einen erheblichen Einfluss auf die Umwelt haben können. Gebäudebegrünungen haben die Möglichkeit CO₂ aus der Luft zu binden. Eine Gegenüberstellung des kalkulierten Treibhauspotentials zeigt, wie nach Cradle to Cradle anfallende Emissionen im Gebäudezyklus für Konstruktion und Betrieb kompensiert werden können. Für die verbauten Materialien im Gebäude (KG 300) fallen bei einem festgelegten Betrachtungszeitraum von 50 Jahren 1,35 kg CO₂ Äqv./m²_{NGF} *a an. Im Vergleich dazu sind es für den Betrieb des Hauses 53,03 kg CO₂ Äqv./m²*a (Ausgangsfall 2-Pers.-Haushalt mit E-mobilität abzügl. 23,58% PV-Strom). Der Gebäudebetrieb ist somit für ein vielfaches des Emissionsausstoßes des nexushauses verantwortlich. In der Literatur werden unterschiedliche Speicherkapazitäten von Begrünungen beschrieben. Für die Gegenüberstellung in Abbildung 3-61 wurden daher folgende Annahmen getroffen:

Die jährliche Aufnahme an CO₂ einer durchschnittlich gewachsenen Buche mit einer Höhe von 23 m und einem

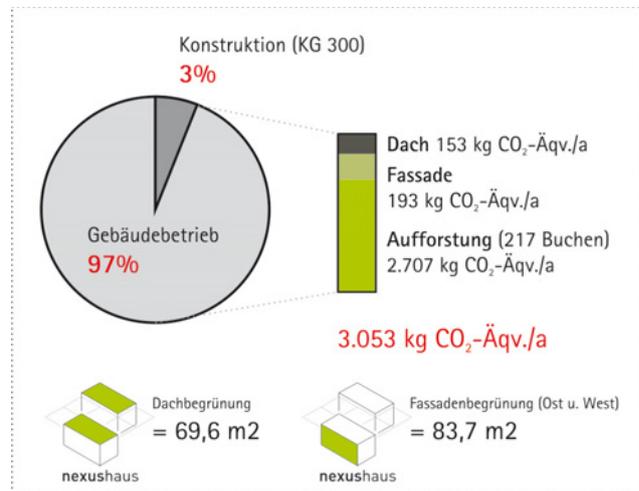


Abb. 3-61 CO₂-Ausgleich durch Gebäudebegrünung und Aufforstung

Stammdurchmesser von 0,3 m beträgt 12,5 kg CO₂ [3.87]. Dachbegrünungen (intensiv) in Form von Moosen können laut Frahm [3.88] 2,2 kg CO₂/m² * a aufnehmen. Bei Fassadenbegrünungen mit einer 20 cm tiefen Begrünung kann von 2,3 kg CO₂/m² * a ausgegangen werden [3.89]. Bei einem Lebenszyklus des Gebäudes von 50 Jahren fallen für die Baukonstruktion rechnerisch jährlich 76 kg CO₂-Äqv.



Abb. 3-60 CO₂-Kompensation durch die Pflanzung von 1.300 Bäumen [3.90]

Planungsparameter

und für den Gebäudebetrieb 2.977 kg CO₂-Äqv. pro Jahr an (Insgesamt 3.053 kg CO₂-Äqv.* a). Würde die Dachfläche (69,6 m²) für den Standort München begrünt, so würden hierfür nach Frahm 153 kg CO₂* a eingespeichert [3.88]. Würden bspw. die Ost- und Westfassaden zusätzlich mit einer Begrünung versehen (83,7 m²) können weitere 193 kg CO₂ pro Jahr eingelagert werden. Die Differenz von 2.707 kg CO₂* a könnte durch einmalige Aufforstung von mind. 217 Buchen erfolgen. Die Studierenden hatten im Wettbewerbszeitraum zum Solar Decathlon 2015 die Möglichkeit anfallende Emissionen durch eigenständiges Engagement zu kompensieren. Gemeinsam haben sie innerhalb eines Tages 1.300 Bäume gepflanzt, darunter Buchen, Lärchen und Linden, und somit den respektvollen Umgang mit der Natur bewiesen (Abb. 3-60).

Welchen Einfluss die Photovoltaikmodule des nexushauses auf die Umwelt haben wird am folgenden Beispiel der Kohlenstoffdioxidamortisation aufgezeigt. Als Datengrundlage der folgenden Bewertung diente die deutsche Baustoffdatenbank Ökobau.dat des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).

Die Herstellung und Beseitigung der PV-Module setzt, bei einem angesetzten Lebenszyklus von 20 Jahren, 185,79 kg CO₂ Äqv./m²*20a frei, somit insgesamt 8.360 kg CO₂ Äqv. (Abb. 3-62).

Der Anlagentyp M1-UK1-WR1 (Erläuterung zu den Modultypen siehe Kapitel Energie), welcher auch beim Wettbewerbsgebäude nexushaus installiert wurde, erwirtschaftet einen Stromertrag von 6.480 kWh/a für den Standort München. Die Ost-West ausgerichtete PV-Anlage M1-UK3-WR2 hat einen Ertrag von 7.818 kWh/a; die bifaciale Modulvariante M4-UK5-WR2 generiert einen Stromertrag von 12.604 kWh/a. Für die Eigenbedarfsdeckung wird der Autarkiegrad der Anlagenvarianten mit berücksichtigt. Im Falle der

nexushaus-Anlage erreicht der Autarkiegrad 23,58% und deckt den Eigenstrombedarf des 2-Personen-Haushaltes mit 1.528 kWh/a der tatsächlich erforderlichen 7.097 kWh/a. Die Differenz muss aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen werden.

Der überschüssige PV-Strom, welcher nicht direkt genutzt werden kann, wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Emissionsausstoß bzw. -einsparung werden mit dem Strommix (2015) von 0,5345 kg CO₂/kWh verrechnet, wobei die Differenz in nebenstehender Abbildung 3-62 dargestellt ist.

Ziel der Bundesregierung ist der klimaneutrale Gebäudebetrieb bis zum Jahr 2050 [3.91]. Im Optimalfall wird bis dahin die Stromerzeugung zu mind. 80% aus erneuerbaren Energieträgern gedeckt [3.92]. Der Datensatz der GEMIS [3.93] prognostiziert eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes auf 0,256 kg CO₂ Äqv./kWh für das Jahr 2030. In einer Abschätzung werden die anfallenden Emissionen für das Jahr 2050 angenommen, mit dem nebenstehenden Ergebnis (Abb. 3-62).

Die Modulkombinationen M1-UK1-WR1 spart im Vergleich zu einem Gebäudebetrieb ohne die Installation einer PV-Anlage, 79.623 kg CO₂-Äqv. ein. Eine Amortisation der Anlage ist jedoch bis in das Jahr 2050 nicht möglich. Der eingespeiste Stromüberschuss aus der nachhaltigen Erzeugung ist geringer als der Strombedarf des angenommenen 2-Personen-Haushaltes. Bereits nach wenigen Jahren beginnt für alle Modulvarianten der C2C-Effizienzbereich, in dem die Systeme effizienter als der Ausgangsfall werden.

Die Varianten M1-UK3-WR2 und M4-UK5-WR2 schaffen nach gut 27 bzw. knapp 3 Jahren der Installation, durch den erwirtschafteten Strom, die CO₂-Amortisation der PV-Anlage. Für die nebenstehende Betrachtung wurden die gleichen CO₂ Äqv.-Emissionen aus dem Produktlebenszyk-

lus angenommen.

Die Anlage M1-UK3-WR2 (Abb. 3-62, pinke Linie) spart 1,4 Tonnen CO₂-Emissionen bis zur geplanten Klimaneutralität ein. Reduziert sich der angenommene CO₂-Ausstoß bis zum Jahr 2050 stärker als angenommen, verlängert sich die Amortisationszeit der Photovoltaikanlagen und es kann weniger CO₂ kompensiert werden. Wird angenommen, dass durch eine Zunahme der erneuerbaren Energieträger bei der Stromerzeugung nur noch 50 g äquivalente Treibhausgase in 34 Jahren verursacht werden, so amortisiert

sich die Anlage M1-UK3-WR2 erst zu einem sehr viel späteren Zeitpunkt.

Die klimaneutrale Produktherstellung und das Zurückführen der Photovoltaikmodule in den technischen Stoffkreislauf nach Cradle to Cradle könnte zu einer enormen Verbesserung der Abschätzung führen. Eine höhere Eigenbedarfsdeckung könnte zusätzlich den Strombezug aus dem öffentlichen Netz reduzieren. Verminderter Strombedarf durch verbessertes Nutzerverhalten könnte ebenfalls einen positiven Beitrag leisten.

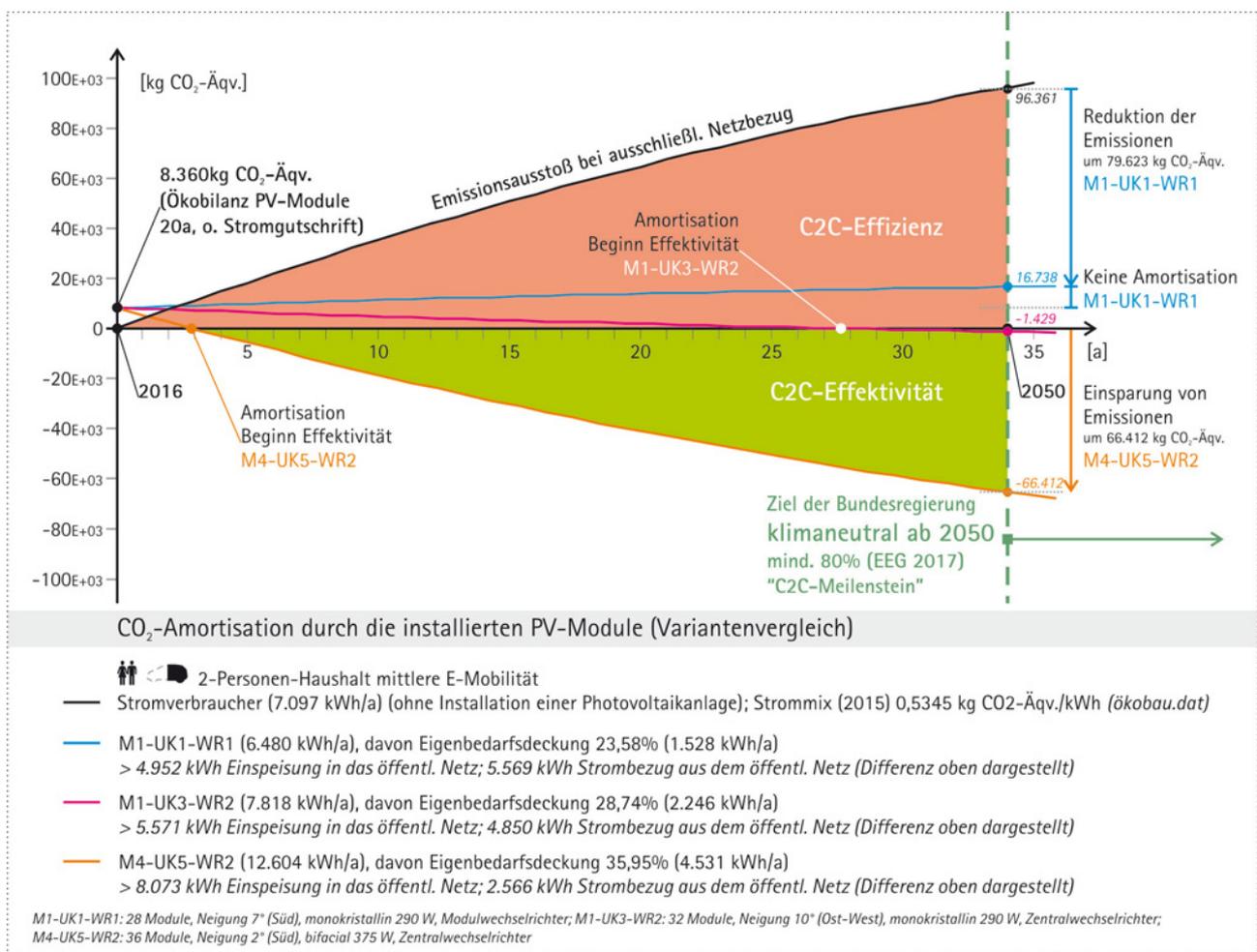


Abb. 3-62 Amortisationszeit des Treibhausgaspotential aus der Herstellung (A1-A3) und Beseitigung (C4) der PV-Module unter Berücksichtigung des Autarkiegrades.

3.4.5 Behaglichkeitsanforderungen

3.4.5.1 Lärmschutz

Wie der Leitfaden „Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen“ der Autoren Pfoser, et al. [3.82] zeigt, mindern Gebäudebegrünungen mögliche Lärmentwicklungen, z.B. Verkehrslärm. Der Lärm verfängt sich dabei im Substrat oder im Blattwuchs und kann durch minimierte Schallreflektion reduziert werden. Bei Fassadenbegrünungen ist dabei ein dichter Bewuchs sowie die Entkopplung des Montagesystems zur Außenhaut des Gebäudes erforderlich, um Schallübertragungen in das Gebäudeinnere zu vermeiden. Dachbegrünungen haben durch ihren homogenen Aufbau einen leichten Vorteil gegenüber Fassadenbegrünungen, die durch heterogene Öffnungen Schwachstellen aufzeigen. Ein weiterer Vorteil zur Schallreduktion liegt in der Wasserspeicherkapazität der Begrünungen, wodurch die erhöhte Masse einen positiven Effekt hat (Abb. 3-63). Auch in Innenräumen können Wandbegrünungen zu einer besseren Raumakustik beitragen. Darüber hinaus gilt es, konstruktionsbedingte

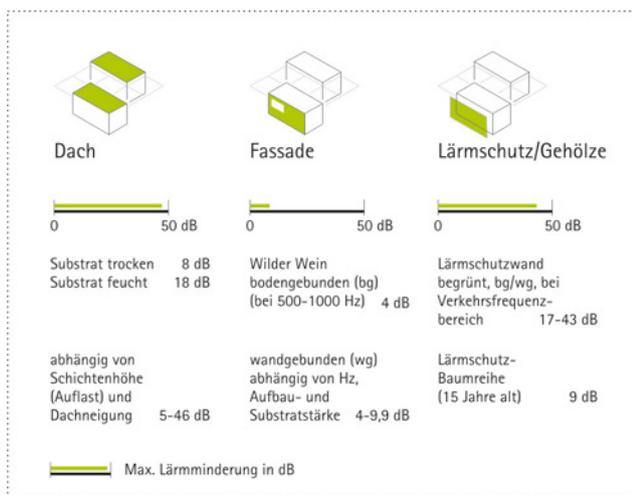


Abb. 3-63 Lärmreduzierung durch Gebäudebegrünung [3.82] (Eigene Darstellung)

Schallübertragungen zu vermeiden, bspw. durch eine Trittschalldämmung im Fußbodenaufbau und einem Randdämmstreifen zur Entkopplung an aufgehenden Wänden. Die Raumakustik trägt erheblich zum Wohlbefinden der Bewohner bei. Je nach Raumgröße und Oberflächenbeschaffenheit der Umschließungsflächen sind Vorkehrungen zur Geräuschreduktion zu treffen, z.B. durch schallabsorbierende Materialien.

Die Geräuschentwicklung von festinstallierten Haushaltsgeräten kann ebenfalls Unbehagen auslösen. Die Produktezertifizierung Blauer Engel schreibt bspw. für Spülmaschinen (Breite ≤ 45 cm) eine Unterschreitung des Schalleistungspegels von < 44 dB(A) vor [3.94]. Auch technische Einbauten, wie Lüftungseinheiten sollten eine geringe Geräuschentwicklung aufweisen.

3.4.5.2 Luftqualität

Eine saubere Innenraumluft steigert die Behaglichkeit von Aufenthaltsräumen. Neben dem Einsatz schadstofffreier Materialien für den Innenausbau sorgen Begrünungen für einen natürlichen Luftfilter. Die CO_2 -Konzentration in Wohn- und Arbeitsräumen kann durch den Prozess der Photosynthese reduziert werden, wobei Sauerstoff (O_2) freigesetzt wird. Auf den Blattoberflächen der Bepflanzungen kann sich Staub und feine Stoffpartikel aus der Innenluft ablagern [3.84].

Bei trockener Raumluft tragen Pflanzen zur Befeuchtung bei. Im Sommer profitiert der Gebäudenutzer von einem angenehmen Kühleffekt durch den eingeschlossenen Feuchtegehalt der Wandbegrünung.

3.4.5.3 Thermischer Komfort

Temperatur und -luftfeuchte sind Einflussgrößen für die thermische Behaglichkeit in Innenräumen. Beide werden im Kapitel Energie genauer erläutert. Außerdem tragen die

Luftgeschwindigkeit durch aktive Steuerung des Innenraumklimas und die Strahlungs- bzw. Oberflächentemperatur der Umfassungsflächen zum Bewohnerkomfort bei. Eine gute Innenraumbehaglichkeit vermeidet die Entstehung von möglichen Bauschäden durch eine zu hohe Raumlufffeuchte und ungenügendes Lüften.

3.4.5.4 Naturbezug

Ausblicke in die Natur, Geräusche, Gerüche, Vegetation, natürliche Oberflächen und Materialien steigern den Bezug zur Natur und fördern das Wohlbefinden sowie das Heimatgefühl der Gebäudenutzer und Bewohner. Frank Lloyd Wright hat in seinen Gebäudeentwürfen stets Wert auf natürliche Materialien und Formgebungen gelegt. Falling Water ist dabei das bekannteste Beispiel. Richard Neutra, der stark von der Architekturidee Frank Lloyd Wrights geprägt war, legte in der Umsetzung seiner Wohnhäuser großen Wert auf den Bezug zur Natur. Großzügige Fensterflächen, wie beim Lovell Houses in Los Angeles oder dem Pitcairn House in Philadelphia, bieten Ausblick in die Natur und stellen einen fließenden Übergang von Innen-

und Außenraum her. Oftmals sind angelegte Wasserflächen Teil seiner Gebäudekonzepte. Natürliche Materialien und deren Haptik gestalteten die Oberflächen der Häuser. Der finnische Architekt Alvar Alto ermöglichte durch raumhohe Verglasungen den Patienten des Paimio Sanatorium den barrierefreien Zugang nach draußen. Sonnenlicht galt als natürliche Therapieform. Die Decken der Patientenzimmer wurden in einem dunklen Grün gestrichen, um Blendung durch zu helle Oberflächen bei den bettlägerigen Patienten zu vermeiden.

Welchen positiven Einfluss eine gut gestaltete Umgebung auf die Nutzer auswirken kann, zeigt untenstehende Grafik (Abb. 3-64). Kellert et al zeigen wie der Ausblick aus dem Fenster, die natürliche Belüftung und eine Innenraumbegegrünung den Rückgang von Symptomen des sog. Sick-Building-Syndroms (SBS) beeinflussen [3.95]. Zu den Symptomen zählen u. a. Kopfschmerzen, Konzentrationschwächen und Übelkeit, bedingt durch das Arbeits- und Wohnumfeld.

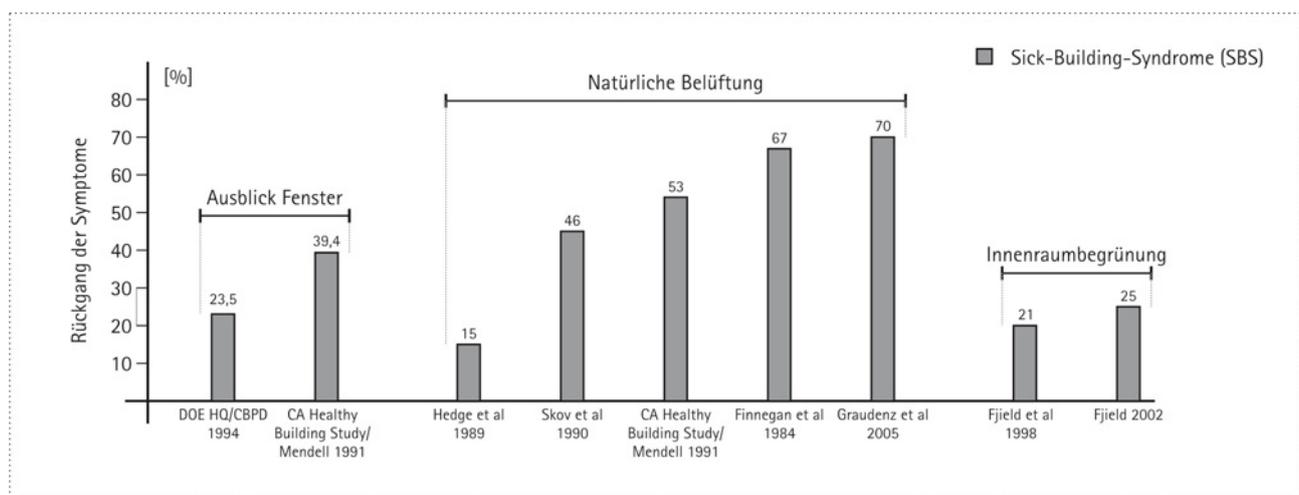


Abb. 3-64 Rückgang von Symptomen des SBS [3.95], (Eigene Darstellung)

3.4.6 Nutzersensibilisierung

Zur Nutzersensibilisierung wurden im Rahmen des Wettbewerbs unterschiedliche Überlegungen und Konzepte untersucht. Auf Grund der zeitlichen Rahmenbedingungen konnten sie nicht final umgesetzt werden. Nachfolgend werden die erarbeiteten Konzepte kurz vorgestellt.

Wo mögliche nutzerbedingte Einsparungspotentiale von Ressourcen im Gebäudebetrieb liegen, kann durch ein Monitoring anfallender Stoffströme aufgezeigt werden. Der Bewohner kann die Auswirkungen seiner Aktivitäten (z.B. Kochen oder Duschen) auf den Ressourcenverbrauch (Wasser und Energie) anhand eines installierten Smart-Home-Systems, wie im Falle des nexushauses, einsehen. Das Bewusstsein über den Einfluss eigener Handlungen auf den Ressourcenverbrauch kann zu einem sparsameren Umgang mit bspw. Wasser oder Strom führen.

Die Studierenden haben beim Gebäudeentwurf des nexushauses versucht ein System zu entwickeln das den Bewohnern des Hauses Informationen zu Verbrauch und Ertrag (aus der Photovoltaik) aufzeigt. Darüber hinaus sollten zusätzliche Informationen zum Wetter, Raumbehaglichkeit (Lufttemperatur und -feuchte) und ein Terminkalender bereitgestellt werden. Die visuelle Umsetzung im Wettbewerb erfolgte über ein iPad. Die entworfene Bedienoberfläche der Applikation ist in Abbildung 3-66 dargestellt. Zudem wurden die Besucher durch Poster über die Konzeptidee informiert.

Zur Quantifizierung der Cradle to Cradle Prinzipien werden in den „Criteria for the built environment“ [3.81] verschiedene Messmethoden beschrieben. Folgende Möglichkeiten des Monitorings werden u.a. hierbei genannt: Erträge und –verbräuche der erneuerbaren Energien, Wasser- und Luftqualität und Bestimmung der Artenvielfalt (Gebäudebe-

grünung). Darüber hinaus können finanzielle Einsparungen durch Wasserrecycling oder die Produktivitätssteigerung durch verbesserte Luftqualität ermittelt werden. Die bilanzierten Ergebnisse zeigen die verbesserten Wohn-, Arbeits- und Produktionsbedingungen auf und schaffen Anreiz für Stakeholder und Interessierte.

3.4.6.1 Material

Zu Beginn des Gebäudeentwurfes entstanden bereits erste Vergleiche als Entscheidungshilfe für die Materialwahl des Hauses. Die Materialien Mauerwerk, Beton und Holz sind mit dem Plug-in Tool „tally“ [3.96] für das CAD-Programm Revit (Autodesk) bewertet worden. *thinkstep* liefert dabei die Datenbank zu möglichen Umwelteinflüssen.

Die Bewertungsergebnisse wurden durch die Studierenden grafisch aufbereitet und sollten den Wettbewerbsbesucher durch angebrachte QR-Codes an den Materialien des Hauses und eine Handy-App vermittelt werden. Abbildung 3-65 zeigt daraus ein Beispiel zum entstehenden Treibhauspotential (GWP). Die Grafik links verdeutlicht die CO₂-Einsparung des alternativen Baustoffes über eine Ver-



Abb. 3-65 Gegenüberstellung von Umwelteinflüssen, bedingt durch die Materialwahl [3.97]

gleichsrechnung mit eingesparten KFZ-Fahrmeilen (1 Meile = 1,6 km). Die Umweltauswirkung des bei der Gebäudekonstruktion verbauten Holzes liegt somit, im Vergleich zum Ziegelbaustoff, um 11.900 gefahrene Meilen und den daraus entstandenen Treibhausemissionen niedriger. Alternativ können 889 Gallonen (1 gal = 3,8 l) fossiler Treibstoff eingespart werden.

3.4.6.2 Wasser, Energie und Nahrungsmittelproduktion

Die Wasserströme des nexushauses sollten über das Smart-Home-System für den Bewohner ersichtlich sein. Darüber hinaus sollte Auskunft über aktuelle Füllstände der Regen- und Grauwasserspeicher gegeben werden. Der tägliche Bedarf an Frischwasser für Körperhygiene, Waschen oder Kochen, sollte dabei den Wasserrecyclingvorräten, mit dem Ziel gegenübergestellt werden, Bewohneraktivitäten entsprechend der Ressourcenverfügbarkeit zu sensibilisieren.

Die Stromverbräuche der Haushaltsgeräte und des Home Entertainment sollten durch das Smart-Home-System veranschaulicht werden. Zudem hätten aus der Vergan-

genheit jederzeit Informationen abgerufen werden können, um Verbesserungen im Ressourcenverbrauch durch veränderte Verhaltensweisen aufzuzeigen. Die Summe der Stromverbräuche sollte den Erträgen aus der Photovoltaikanlage gegenübergestellt werden. Außerdem strebte man an, die Innen- und Außenbeleuchtung zentral zu steuern. Programmierte Beleuchtungsszenarien und der EcoMode sollten dazu dienen, den Stromverbrauch zu senken.

Hinweise und Empfehlungen (z.B. Öffnung und Schließung der Fenster) am Bedienungstableau sollten den Bewohnern bei der Optimierung ihrer Aktivitäten helfen. Informationen zu überschüssigem PV-Strom könnten für den Ladevorgang des Elektroautos oder das bewusste Anstellen der Waschmaschine verwendet werden.

Welche positiven Auswirkungen die Handlungen der Bewohner haben, sollte durch die Piktogramme „Geld“ und „Bäume“ (Abb. 3-66, Stand-by-Oberfläche) hervorgehoben werden. So reduziert die Eigenverbrauchsdeckung den Strombezug aus der städtischen Infrastruktur und spart Kosten ein („Geld“). Die regenerative Energiebereitstellung durch die Photovoltaikmodule reduziert den Emissionsaus-

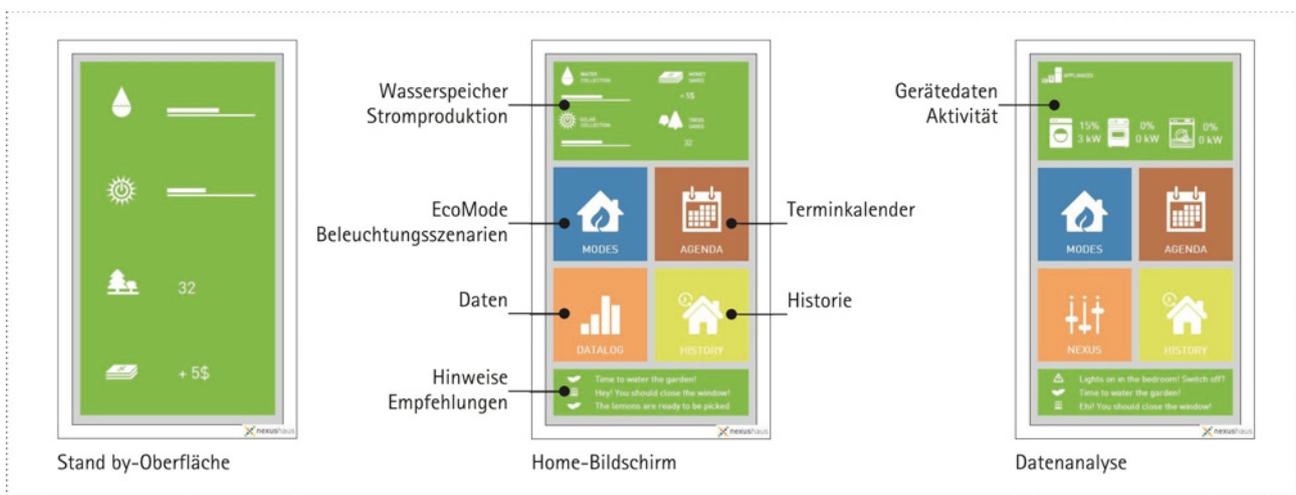


Abb. 3-66 Grafische Oberfläche des Smart-Home-Monitors [3.98]

Planungsparameter

stoß. Dies sollte im Smart-Home-System mit der Anzahl an Bäumen als Äquivalent der städtischen Stromversorgung dargestellt werden, deren Strommix bislang zum Großteil aus fossilen Energieträgern bereitgestellt wird.

Welche Gemüse geerntet werden und ob noch ausreichend (Kondens-) Wasser im Aquaponiktank enthalten ist, kann ebenfalls über das Smart-Home-System eingesehen werden.

4

Planungsprozess

4 Planungsprozess

4.1 Planungsziele nach C2C

Zu Beginn der Planungen eines Gebäudekonzeptes wird nach Cradle to Cradle empfohlen [4.1], Planungsziele und Absichten (Meilensteine) zu formulieren. Die C2C-Roadmap wird als Ergänzung zur Terminplanung bei der Projektvorbereitung (LPH 2) verstanden und setzt Termine fest, die nach der Gebäudefertigstellung erfolgen, um das finale Ziel, den ganzheitlich positiven Fußabdruck, durch die Bauaufgabe umzusetzen.

4.1.1 C2C-Roadmap am Beispiel Wasser

Am Beispiel der häuslichen Wasserversorgung eines Gebäudeneubaus wird das mögliche Planungsziel „Mehr Wasser auf dem Grundstück bereitzustellen, als von den Bewohnern verbraucht wird“ anhand dreier Meilensteine dargestellt.

Abbildung 4-1 zeigt die drei Meilensteine im Überblick. Am Beispiel des nexushauses wird die Umsetzung mit Zahlenwerten belegt. Der Trinkwasserbedarf des nexushauses wurde mit 230,59 l/Tag für einen 3-Personen-Haushalt bilanziert (siehe hierzu auch Kapitel 3.2.3.2), was 84,32 m³/a entspricht. Dem hinzugefügt wird der Wasserbedarf für die Gartenbewässerung einer Fläche von 40 m². In Summe werden jährlich 97,6 m³ Trinkwasser benötigt. Der erste Meilenstein soll bereits mit der Gebäudeerstellung realisiert werden. Ziel ist es den Wasserverbrauch zu senken. Dafür werden wassersparende Armaturen vorgesehen und Wasserrecyclingkonzepte eingeplant. Regenwasser wird gespeichert und für die Gartenbewässerung verwendet. Durch die Herstellung eines separaten Leitungssystems für anfallendes Grauwasser aus Dusche, Badwaschtisch und

C2C-Roadmap

Planungsziel: *„Mehr Wasser auf dem Grundstück bereitstellen, als von den Bewohnern verbraucht wird.“*

Meilenstein 1

(realisiert mit dem Gebäudeneubau)

Wasserverbrauch senken

- Wassersparende Armaturen
- Wasserrecycling

Trinkwasserbedarf



Einsparung um -29%



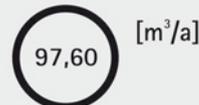
Meilenstein 2

(wird 10 Jahre nach Gebäudeerstellung realisiert)

Wasserverbrauch = Wasserertrag

- Regenwasseraufbereitung zu Trinkwasserqualität
- Grauwasserrecycling für WM* + WC

Trinkwasserbedarf



Einsparung um -100%



Meilenstein 3

(wird 15 Jahre nach Gebäudeerstellung realisiert)

Wasserverbrauch < Wasserertrag

- Regenwasseraufbereitung zu Trinkwasserqualität
- Grauwasserrecycling für WM + WC

Trinkwasserbedarf



Einsparung um -155%



WM: Waschmaschine, WC: Toilettenspülung

Abb. 4-1 Beispiel Planungsziel „Autarke Wasserversorgung“

Waschmaschine (WM) kann dieses gesammelt und für die Waschmaschine und Toilettenspülung wiederverwendet werden. Durch diese Maßnahme werden 29% des Trinkwasserbedarfes eingespart.

Zweites Etappenziel (Meilenstein 2) ist, so viel anfallendes Regen- bzw. Grauwasser zu sammeln, dass der Eigenverbrauch gedeckt wird. Um das realisieren zu können wird das Regenwasser zu Trinkwasserqualität aufbereitet. Ein ausreichend dimensionierter Regenwasserspeicher stellt dabei das notwendige Wasservolumen aus gesammeltem Niederschlagswasser bereit. Die Umsetzung und somit der finanzielle Aufwand für Zisterne, Wasseraufbereitung, Leitungsführung und Herstellung erfolgt bspw. 10 Jahre nach der Gebäudeerstellung. C2C verfolgt dabei das Ziel den Bauherrn zu entlasten, indem die Kosten für die Realisierung des Meilensteins 2 zu einem späteren Zeitpunkt anfallen. Durch die Bereitstellung des Trinkwassers aus Regenwasser sowie das Grauwasserrecycling können 100% des Wasserbedarfes am Wohnstandort (hier kalkuliert mit dem Standort München) erzeugt werden. Die Abwassergebühr entfällt.

Zum Erreichen des Planungsziels soll mit Umsetzung des dritten Meilensteins der Überschuss an Wassererträgen aus Niederschlag und Grauwasser weiterverwendet werden. Hierfür bieten sich vielfältige Möglichkeiten an:

- Nach der Abwasserreinigung (naturnah oder technisch) erfolgt die Rückführung in Oberflächengewässer. Eine Alternative wäre die Versickerung über Retentionsflächen zur Grundwasserneubildung.
- Anlegen eines Badeteichs für die Allgemeinheit. Darüber hinaus kann das örtliche Mikroklima verbessert werden.
- Bewässerung von angrenzenden Grünflächen
- Unterstützung der Biodiversität

Die Definition der Planungsziele am Anfang des Gebäudeentwurfs ist erforderlich, um die einzelnen Etappenziele planerisch und bei der Ausführung zu berücksichtigen. Die Meilensteine sollten ohne zusätzlichen Aufwand und mit wenigen Eingriffen realisierbar sein.

4.1.2 Umsetzung im Planungsprozess

Das Leistungsbild für Gebäude und Innenräume sieht neun Leistungsphasen (LPH) nach der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) vor [4.2]. Diese werden bei der Bewertung des Planungsprozesses unter Berücksichtigung der C2C-Philosophie um die Nutzungsphase und mögliche Erneuerungen bzw. den Gebäuderückbau erweitert (Abb. 4-2). Die Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes (RBBau) ergänzen die Leistungsphasen ebenfalls um die Projektentwicklung (Phase 0) sowie die Phase 10 „Nutzung/Objektbetreuung“ und 11 „Planung/Objektbetr. Rückbau“: [4.3]

Der Unterschied in der folgenden Betrachtung setzt jedoch voraus, dass die Planungen für eine mögliche Gebäude-



Abb. 4-2 Leistungsbild der HOAI

transformierung bereits in den LPH 3-5 berücksichtigt werden. Aufbau- und Rückbauschritte müssen frühzeitig im Planungsprozess dargestellt werden, um einen reibungslosen Rückbau zu gewährleisten und das Materialrecycling möglich zu machen. Die Projektentwicklung (PH 0) wird hier nicht separat berücksichtigt und ist Teil der Grundlagenermittlung. Der richtigen Umgang und die Pflege von Material, Bauteilkomponente und Anlagentechnik in der Nutzungsphase ermöglicht die Rezyklierbarkeit nach den definierten Nutzungsdauern.

Um aufzuzeigen, welche Schritte konkret bei der Berücksichtigung der C2C-Kriterien im Planungsprozess erforderlich sind, wird hier nochmals auf das vorgenannte Beispiel der Roadmap zur Wasserversorgung (Abb. 4-1) Bezug genommen. In der Grundlagenermittlung (LPH 1) sind mittels der Standortanalyse anfallende Niederschläge zu recherchieren, die im Späteren für die Auslegung von Tankgrößen und die Bilanzierung der Bedarfsdeckung erforderlich sind. Für die Bedarfsermittlung zum möglichen Trinkwasserverbrauch sollte die Bewohnerzahl bekannt sein. Es folgt die Erstellung eines Raumprogramms in dem der Flächenbedarf für die Technik bzw. Tanks von Grauwasser- und Regenwasserrecycling berücksichtigt wird. Die Planungsziele und Meilensteine sind mittels C2C-Roadmap in der Vorplanung (LPH 2) aufzustellen. Ein Zeitplan beinhaltet neben der festgelegten Lebenszeit des Gebäudes die Nutzungsdauern der verwendeten Materialien, um den Hersteller über die Rückführung von Materialien und Komponenten für das technische oder biologische Nährstoffrecycling in Kenntnis zu setzen. Eine Kostenschätzung und die Aufstellung eines Finanzierungsplanes zeigen die finanziellen Belastungen des Bauherrn entsprechend der definierten Meilensteine auf. Spätestens zur Entwurfserstellung (LPH 3) ist das Hinzuziehen von Fachplanern unerlässlich, um spätere Überarbeitungen in der Gebäude-

planung zu vermeiden. Um alle Meilensteine nacheinander umsetzen zu können, sind beim genannten Beispiel der Platzbedarf und die Lage der Zisterne in der Entwurfs- und Ausführungsplanung (LPH 5) vorzusehen. Darüber hinaus sind Anschlüsse und Leitungsführungen so anzuordnen, dass ein späteres Nachrüsten ohne Probleme vorstattegehen kann. Eine detaillierte Beschreibung der Aufbau- und möglichen Rückbauschritte ist in den Planungsunterlagen zu ergänzen. Bei der Vorbereitung der Vergabe (LPH 6) ist auf die Prinzipien der Materialwahl nach C2C zu achten und eine mögliche Rezyklierbarkeit zu beschreiben. Wassersparsame Armaturen sind für das genannte Beispiel vorzusehen. Auf die entsprechende bauliche Ausführung ist in der Leistungsphase 8 (Objektüberwachung) zu achten. Sie stellt sicher, dass Materialien ihre definierte Nutzungsdauer, durch die richtige konstruktive Ausführung bei der Gebäudeerstellung erreichen und gewährleistet, bspw. durch das Einhalten von Toleranzen und Bewegungsfugen, die Zugänglichkeit bei der Gebäudetransformation. Die abschließende Dokumentation (LPH 9) der Baumaßnahme sollte Wartungs- und Pflegehinweise für den Bauherrn in der Nutzungsphase bereitstellen. Ergänzend helfen Monitoringeinheiten bei der Kontrolle der im Vorfeld bilanzierten Verbräuche und ermöglichen ggf. die Betriebsoptimierung sowie helfen bei der Nutzersensibilisierung.

Insgesamt verlangt die Integration der C2C-Prinzipien hauptsächlich den Arbeitsumfang der besonderen Leistungen nach der Honorarordnung.

Im Kapitel 5 wird an das Ende jedes Abschnittes nochmals der Bezug zum Planungsprozess und den Leistungsphasen (LPH) der HOAI hergestellt. In den zusammenfassenden Abbildungen 5-1 bis 5-4 wird zusätzlich die Zuordnung der einzelnen LPH durch die farbige Markierung aus Abb. 4-2 dargestellt. Diese Informationen dienen als Hilfestellung und sollen aufzeigen, in welchen Phasen des Planungs-

prozesses die erarbeiteten Planungsparameter für neue C2C inspirierte Bauaufgaben beachtet werden sollten. Der detaillierte Leistungsumfang nach HOAI für Grundleistungen im Leistungsbild Gebäude und Innenräume, besondere Leistungen, ist dem Anhang zu entnehmen [4.2].

4.1.3 Planungsprozess Solar Decathlon Wettbewerb

Der Vollständigkeit halber wird hier der Planungsprozess des Solar Decathlon Wettbewerbes 2015 dargestellt. Das U.S. Department of Energy Solar Decathlon setzte für die Fertigstellung der Planungen Abgabetermine fest, die den Planungsfortschritt dokumentierten. Die Planungen waren in verschiedene Abgabephasen unterteilt, ähnlich wie die Leistungsphasen für Architekten und Ingenieure nach HOAI. Nach der Vorplanung (Schematic Design Summary) begann die Konzeptentwicklung in der Entwurfsphase (Design Development Phase), die Ausführungs- und Detailplanung (Construction Documentation Phase) und schließlich die Gebäudedokumentation (As-Built Phase), welche nach der Gebäudefertigstellung erstellt wurde. Mit einem finalen Bericht, vier Wochen nach Wettbewerbsende, waren alle Planungen und die Dokumentation des Hauses abgeschlossen. Begleitet wurden die Abgabeleistungen unter anderen von den Fertigstellungsterminen für die Gebäudeanimation, den Präsentationsmedien für die Ausstellung und die Homepage.

Abgabeleistungen zum Solar Decathlon Wettbewerb

2014

13. März 2014: Team Excitement Video
 24. April : Schematic Design Summary
 Target Construction Cost (preliminary)

27. Mai: Schematic Design Webinar
 28. August: Preliminary Website
 09. Oktober: **Design Development Phase**
 BIM, Drawings, Project Manual,
 Health & Safety Plan (preliminary)
 Target Construction Cost (revised)
 18. Dezember: Computer-Animated-Walkthrough
 Computer-Generated Renderings

2015

9./10. Januar: Design Development Meeting
 12. Februar: **Construction Documentation Phase**
 BIM, Drawings, Project Manual,
 Health & Safety Plan (95% complete)
 Target Construction Cost (final)
 Stamped Structural Drawings and Calc.
 23. April: Project Summary
 25. Juni: Public Exhibit Materials
 Final Safety Plan
 17. August: **As-Built Phase** (6 Wo. vor Aufbau)
 BIM, Drawings, Project Manual,
 Audivisual Presentation
 Jury Narratives
 Final Public Exhibit Materials
 Final website
 25. November: Final Report (4 Wo. nach Rückbau)

4.2 Planungswerkzeuge

4.2.1 Building Information Modelling

Das Building Information Modeling (BIM) bietet die Möglichkeit neben der Gebäudeplanung Informationen zu den C2C-Prinzipien in das 3D-Modell zu integrieren.

Das EU-Projekt Buildings as Material Banks (BAMB) versucht aktuell, notwendige Planungsparameter, die für eine Kreislaufwirtschaft von Materialien und Komponenten erforderlich sind, zu ermitteln [4.4].

Die Datenimplementierung erfolgt in der Regel mit Hilfe von sogenannten Objektattributen. Materialinformationen (z.B. Feuerwiderstandsklassen) können hinterlegt und beginnend mit der Entwurfsphase in den folgenden Planungsphasen nachgeführt oder ergänzt werden. Bisher sind hauptsächlich Informationen hinterlegt, die dem Gebäudemanagement dienen. Zukünftiges Ziel sollte es sein, die nachfolgenden Informationen bei der Gebäudeplanung zu integrieren. Um den zusätzlichen Informationsaustausch zu ermöglichen, müssen im CAD-Programm neue Objektattribute definiert werden, die speziell für den Datenaustausch (z.B. IFC) angelegt werden.

In der Bearbeitung des Forschungsberichtes ergaben sich die folgenden Empfehlungen zur planerischen Umsetzung der C2C-Prinzipien.

Die Inhalte des Kapitels Material (3.1) lassen sich am besten mit Hilfe des BIM darstellen. Information des Gebäudeauf- und -rückbaus nach Durmisevic (Kapitel 3.1.5) sollten in dem 3D-Modell ergänzt werden. Kantenausbildung, Verbindungsmittel und die Aufbaurichtung (z.B. layered assembly) wären mögliche Objektattribute der Gebäudetransformation. Eine grafische Darstellung der Aufbau- und Rückbauschritte sollte in der Gebäudedokumentation enthalten sein, ergänzt durch die definierten Nutzungs-

dauern von Materialien und Gebäudekomponenten. Konstruktionsbedingte Umweltauswirkungen, wie sie bereits mit dem Plug-in Tool „tally“ [4.5] für das CAD-Programm Revit (Autodesk) von den Studierenden aufgezeigt wurden, helfen bei der abschließenden Materialwahl für die Gebäudekonstruktion.

Die Zuordnung der Materialinhaltsstoffe einem Nährstoffkreislauf stellen weitere notwendige Objektattribute für das Stoffrecycling dar.

4.2.2 Visualisierungen/Renderings

Eine Abgabeleistung des Solar Decathlon Wettbewerbes war der „Animated Walkthrough“. Durch die Gebäudeanimation konnten die einzelnen Konzeptideen erläutert sowie das Design des Hauses durch Farbe und Oberflächentextur verdeutlicht werden. Zusätzlich wurden durch die Studierenden aussagekräftige Renderings der Innen- und Außenräume angefertigt.

Durch Visualisierungen der Inhalte aus dem Kapitel Diversität (3.4) können den Nutzern Kernaussagen des Gebäudekonzeptes verständlich vermittelt werden. Unter anderem sind das Raumgrößen, Aus- und Einblicke, Grundrissflexibilität, Erweiterungs- bzw. Rückbaupotential, Versiegelungs- und Grünflächen.

Informationen zur Barrierefreiheit sowie Fluchtpläne zum Schutz der Bewohner sind ebenfalls Inhalt des C2C-Prinzips.

4.2.3 Gebäudesimulation

Potentiale des energetischen Konzepts mit passiven und aktiven Planungsmaßnahmen können anhand einer Gebäudesimulation überprüft werden. Die Ergebnisse aus dem Energiekapitel 3.3 wurden u.a. mit dem Simulationstool TRNSYS ermittelt [4.6]. Ein Planungswerkzeug, das die Anlagentechnik und die Effizienz der Gebäudehülle bewertet. Die Ertrag aus den installierten Photovoltaikmodule wurde mit dem Tool PV*Sol Expert 6.0 ermittelt [4.7]. Noch während des Gebäudeentwurfes des nexushauses wurden parallel zur Planung Tageslichtsimulationen mit dem Programm Relux erstellt, um die natürliche Belichtung der Innenräume durch die Anordnung und Größe der Fenster zu bewerten. Auch der Einfluss der Sonnenschutzmembranen auf die Innenraumbelichtung wurde überprüft.

Die Umsetzung des C2C-Prinzips Use Current Solar Income (Kapitel Energie 3.3) und die Erarbeitung eines nachhaltigen Energiekonzeptes erfordert fachliche Expertise. Die Inhalte von Simulationstools können schnell sehr komplex werden, wobei die Interpretation der Ergebnisse ein tieferes Verständnis der Materie verlangt.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Planungswerkzeuge sicherlich einen großen Beitrag zur Potentialabschätzung von Energie- und Ressourceneffizienz leisten. Zudem erfordert die Planung eines C2C-inspirierten Plusenergiehauses einen maßvollen Umgang mit den Ressourcen. So kann die Kreislaufwirtschaft nur umgesetzt werden, wenn der Materialeinsatz sinnvoll gewählt und aufeinander abgestimmt wird.

5

Leitfaden

5 Leitfaden

Dieser Leitfaden wurde für den Wohngebäudebereich entwickelt und zeigt auf, wie die Planungskriterien der Cradle to Cradle Philosophie auf den Wohnungsbau übertragen werden und Anwendung finden können. Der Leitfaden bezieht sich hierbei auf den Neubau. Zusammenfassend werden die einzelnen Planungsparameter nochmals kurz erläutert und auf die jeweiligen Kapitel im Forschungsbericht verwiesen. Anhand des nexushauses wird beispielhaft die Umsetzung der Planungsparameter beschrieben.

Am Anfang eines Cradle to Cradle Bauvorhabens steht die Bedarfsermittlung nach dem Suffizienzgedanken. Die Anforderungen des Nutzers werden kritisch hinterfragt und im Sinne der Suffizienz auf das notwendige Maß beschränkt. Darüber hinaus wird der Standort für die Baumaßnahme auf mögliche Umwelteinwirkungen geprüft, das vorhandene Wohnumfeld betrachtet und eine Klimaanalyse durchgeführt.

5.1 Bedarfsanalyse

Die Bedarfsanalyse beinhaltet die Festlegung der Anzahl der Hausbewohner, die Erstellung eines Raumprogramms und die daraus folgende überschlägige Ermittlung von Strom- und Wasserverbrauch. Mit Hilfe des Raumprogramms kann die Kubatur und der Flächenbedarf der Bauaufgabe definiert werden. Strom- und Wasserbedarf helfen bei der Dimensionierung von regenerativer Energiebereitstellung und Tankspeichergößen. Außerdem ergeben sich aus der Klimaanalyse die Behaglichkeitsanforderungen für den Innenraum.

5.1.1 Nutzeranforderung

Die Teilnahme am Solar Decathlon Wettbewerb gab die Bewohnerzahl des Gebäudes von mind. 2 Personen und die Bruttogeschossfläche, welche zwischen 600 - 1000 ft² (ca. 56 - 93 m²) liegen sollte, vor. Die Wohnraumgröße des nexushauses lag schließlich bei knapp 70 m². Die flexible Raumnutzung des Studios ermöglichte die Unterbringung von 3 Bewohnern. Aus der Bewohnerzahl und den benötigten Haushaltsgeräten konnte der zu erwartende Stromverbrauch errechnet werden, der als Grundlage für die Bemessung der Photovoltaikmodule diente. Darüber hinaus wurde das mögliche, anfallende Grauwasser für die Gartenbewässerung kalkuliert. Die Behaglichkeitsanforderungen für die Innenräume wurden ebenfalls vom Wettbewerbauslober im Vorfeld festgelegt. Die Wohnraumtemperatur sollte gemäß Wettbewerbsvorgabe im Bereich von 22 - 24°C liegen. Die Luftfeuchte durfte die 60%-Grenze nicht überschreiten.

Das Raumprogramm des nexushauses war von überschaubarer Größe mit einem offenen Koch-, Ess- und Wohnbereich im Tagmodul und einem Schlafraum, Bad und Studio/Gästezimmer im Nachtmodul.

5.1.2 Definition von Planungszielen und Meilensteinen

Ein weiterer Aspekt der Bedarfsermittlung ist die Definition von Planungszielen und Meilensteinen zur Erfüllung der C2C-Prinzipien für Wohngebäude. Planungsziel kann eine Energiebereitstellung aus 100% erneuerbaren Quellen oder gar ein Überschuss an Stromerzeugung für die zukünftige Elektromobilität sein. Eine ausschließlich regenerativer Gebäudebetrieb kann zu Beginn der Baumaßnahme für den Bauherren ein zu hohes finanzielles Risiko darstellen. Die Definition von Meilensteinen minimiert dabei das finan-

zielle Risiko, indem die Umsetzung schrittweise und die Erfüllung des Planungsziels zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt. Die „Roadmap“ gibt dabei den vorgesehenen zeitlichen Rahmen vor, in dem die vorab definierten Ziele und Meilensteine umgesetzt sein sollen. Bei der Definition von Planungszielen und Meilensteinen helfen die folgenden fünf Elemente, die in den „*Hannover Principles*“ [5.1] beschrieben wurden:

- Anteil von erneuerbaren Energiequellen für den Gebäudebetrieb (*Feuer*)
- Wasserqualität, -recycling und -speicherung (*Wasser*)
- Luftqualität der Innenräume und die Vermeidung schadstoffhaltiger Emissionen an die Außenluft (*Luft*)
- Materialeinsatz und Energieeffizienz bei der Gebäudeerstellung und Instandhaltung sowie kein Schadstoffausstoß (VOCs) in der Nutzungsphase. (*Erde*)
- Diversität fördern durch die Verknüpfung von Mensch und Natur. Herstellung von Dach- und Wandbegrünungen zur Unterstützung der Biodiversität. Angemessenes Verhältnis von bebauter und unbebauter Grundstücksfläche zur Möglichkeit der Grundwasserneubildung. Barrierefreie Zugänglichkeiten und flexible Wohnungsgrundrisse sowie soziale Durchmischung im Wohnquartier. (*Spirit*)

Im Falle des nexushauses können folgende Planungsziele festgehalten werden, die im Vorfeld von den Studierenden und Professoren definiert wurden:

- Erstellung eines Plusenergiehauses
- Sonne als Energielieferant
- Modularität und Anpassungsfähigkeit
- Gesteigerte Wohnqualität durch die Verwendung innovativer Materialien und flexible Grundrissgestaltung

- Barrierefreier Zugang
- Kostengünstige Gebäudeerstellung und -betrieb
- Autarke Nahrungsmittelversorgung
- Förderung der Elektromobilität
- Schaffen von Kommunikationsflächen zum Austausch mit den Nachbarn

5.2 Standortanalyse

Bei der Standortanalyse des Grundstückes sind mögliche Umwelteinflüsse sowie Potentiale regenerativer Energiequellen zu erarbeiten. Außerdem wird das Wohnumfeld hinsichtlich Infra- und Versorgungsstruktur betrachtet. Folgende Planungsparameter fließen hierbei ein:

- Klimaanalyse: Temperatur, Luftfeuchte, Niederschlag und Windverhältnisse
- Regenerative Energiequellen: Solarstrahlung, Wind- und Wasserenergie, Geothermie
- Mögliche Umwelteinwirkungen: Erdbeben, Hochwasser, Sturm usw.
- Bodengutachten: Tragfähigkeit, Schadstoffgehalt, Grundwasserstand, Geothermiepotential
- Biodiversität: Flora und Fauna
- Wohnumfeld: Infra- und Versorgungsstruktur, soziale Durchmischung

5.2.1 Klimaanalyse des nexushauses

Für die Konzeption des nexushauses wurde durch die Studierenden eine Klimaanalyse des Standortes in Austin/Texas durchgeführt. Die Ergebnisse aus der Untersuchung haben das Energiekonzept maßgeblich beeinflusst. Die Temperaturen in Austin sind durch relativ heiße Sommer (bis > 35°C) und kalte Winter mit Temperaturen bis an den Gefrierpunkt

geprägt. Darüber hinaus gibt es starke Schwankungen der Tag- und Nachttemperaturen. Die Recherche des zu erwartenden jährlichen Niederschlags half bei der Auslegung des Wasserspeichers zur Trinkwasseraufbereitung und Grünanlagenbewässerung. Die örtlichen Windverhältnisse waren für die Passivmaßnahme zur Querlüftung des Außenbereiches und für die Nachtauskühlung der Wohnmodule von Bedeutung. Die relative Luftfeuchte des Gebäudestandortes gibt Auskunft über eine notwendige Be- und Entfeuchtung durch die Gebäudetechnik. Die Klimaanalyse half bei der Auswahl von passiven und aktiven Planungsstrategien. Das Sonnenstandsdiagramm und die Ermittlung der Strahlungsintensität diente der Auslegung der Photovoltaikmodule für die Stromerzeugung. Gewählt wurde hierbei eine flache Modulneigung ($< 7^\circ$) und eine Anlagengröße von ca. 8,7 kWp.

Grundsätzlich bietet sich ein Bodengutachten an, auf das beim nexushaus verzichtet wurde, da der verbleibende Standort noch nicht bekannt war und das Wettbewerbsgelände eine asphaltierte Parkplatzfläche eines ehemaligen Flughafens in Irvine war. Bodengutachten geben Auskunft über Schadstoffe im Untergrund (z.B. Radon) und die Versickerungsfähigkeit des Bodens. Die Optionen für die Nutzung von Geothermie für den Gebäudebetrieb können ebenfalls durch ein Bodengutachten ermittelt werden. Zudem erhält man Informationen zur Tragfähigkeit des Untergrundes. Das Planungsteam entschied sich für die Gebäudekühlung/-erwärmung durch einen thermischen Regenwasserspeicher mit Luft-Wasser-Kompressionskältemaschine, neben der Installation von PV-Modulen auf dem Dach. Betriebsspitzen in der Wettbewerbsphase wurden durch das vorhandene Stromnetz (Smart-Grid) abgedeckt, auf welches im Besonderen bei spezifischen Kontexten, wie Beleuchtung und für die Beladung des Elektroautos am Abend zurückgegriffen wurde. Ein Batterie-

speicher war wettbewerbsbedingt nicht erlaubt, ist jedoch empfehlenswert, da überschüssiger PV-Strom gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt verwendet werden kann, was den Autarkiegrad des Hauses erhöht.

5.2.2 Flora und Fauna

Beim Grünkonzept des Hauses lag der Schwerpunkt im sparsamen Umgang mit dem Element Wasser. So wurde eine Bepflanzung gewählt, die ohne intensive Bewässerung auskommt. Das Aquaponik-System zur autarken Nutzpflanzenbewässerung gilt ebenfalls als innovatives Beispiel, wie auch in wasserarmen Regionen nachhaltig eine Gebäudebegrünung umgesetzt werden kann. Das verwendete Kondenswasser der installierten Fan Coils wäre ohnehin angefallen und so kann, ganz nach dem Cradle to Cradle-Prinzip „waste equals food“, aus einem Abfallprodukt, dem Kondensat, Nahrung für die Bewohner erzeugt werden.

Der Einbezug von Begrünung bei der Gebäudeplanung bietet neben der Steigerung der Wohnqualität enormes Potential. Dach- und Fassadenbegrünungen haben einen natürlichen Kühleffekt in dicht besiedelten Stadtstrukturen und sie dienen als thermischer Puffer oder Schattenspender bei der Gebäudekonzeption. Anfallendes Regenwasser kann bei Starkregenereignissen durch die Substratschicht der Dachbegrünung zurückgehalten werden und wird zeitversetzt über die Entwässerungsleitungen abgeleitet. Darüber hinaus filtert die Substratschicht das Niederschlagswasser bevor es zur Weiterverwendung in die Speichertanks fließt. In Innenräumen dienen Begrünungen als natürlicher Luftfilter und verbessern die Luftqualität.

5.2.3 Wohnumfeld

Das Wohnumfeld ist vor jeder neuen Bauaufgabe hinsichtlich der umgebenen Infrastrukturen zu analysieren. Vorhandene öffentliche Einrichtungen oder notwendige Maßnahmen zur Quartiersaufwertung können so in die Planungen mit einbezogen werden. Eine soziale Durchmischung soll der Gentrifizierung entgegenwirken. Außerdem sollen Begegnungsflächen geschaffen werden, die den Kontakt mit anderen Quartiersbewohnern und die Kommunikation untereinander fördern. Die Versorgungsinfrastruktur gibt Auskunft über die Art der städtischen Energiebereitstellung sowie Abwasserentsorgung.

Der Zugang zum öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) entlastet den Individualverkehr und reduziert daraus folgende Umweltbelastungen.

Der barrierefreie Zugang zum großzügigen Außenbereich des nexushauses bietet ausreichend Platz für Kommunikation. Durch den Stromüberschuss aus der PV-Anlage wurde die Elektromobilität unterstützt. In einem weiteren Schritt wurde angedacht, den anfallenden Energieüberschuss angrenzenden Nachbarn bereitzustellen, um zukünftig durch Energieaustausch Ressourcen einzusparen.

Die modulare Bauweise des nexushauses lässt eine flexible Anpassungsfähigkeit bei Nutzerveränderung zu.

5.2.4 Bedarfs- und Standortanalyse - Bezug zum Planungsprozess

Die Grundlagenermittlung beinhaltet hauptsächlich die Leistungsphasen 1 und 2, wobei die Bedarfsermittlung, das Aufstellen eines Raumprogramms, die Standortanalyse, die Bestandsaufnahme und das Prüfen der Umwelterheblichkeit als Besondere Leistungen zu erbringen sind. Terminpläne, Planungsziele und Meilensteine sind bis

Grundlagenermittlung	
Bedarfs- und Standortanalyse	
Planungsparameter	Kapitel
• Nutzeranforderung	5.1.1
<i>Anzahl Bewohner, Raumprogramm, Energie- und Wasserbedarf</i>	
• Planungsziele und Meilensteine	5.1.2
<i>Feuer, Wasser, Luft, Erde, Spirit</i>	
• Standort-/Klimaanalyse	5.2.1
<i>Regenerative Energiequellen, Umwelteinwirkungen</i>	
• Flora und Fauna	5.2.2
<i>Bestandsaufnahme, Dach- und Fassadenbegrünungen, innovative Konzeptideen (Aquaponiksystem)</i>	
• Wohnumfeld	5.2.3
<i>Versorgungsinfrastruktur, Anbindung an das ÖPNV, soziale Durchmischung</i>	
Planungsprozess	Leistungsphasen (LPH)
• Nutzeranforderung	⊕ ⊕
• Planungsziele und Meilensteine	⊕ ⊕
• Standort-/Klimaanalyse	⊕ ⊕
• Flora und Fauna	⊕ ⊕
• Wohnumfeld	⊕ ⊕
⊕ Besondere Leistungen	

Abb. 5-1 Leitfaden: Bedarfs- und Standortanalyse

zur Gebäudedokumentation fortzuschreiben. Das Ende von Nutzungsdauern und die mögliche Rückgabe an den Hersteller sind kenntlich zu machen. Meilensteine, die zu einem späteren Zeitpunkt realisiert werden sollten ebenfalls Inhalt der Dokumentationsunterlagen sein. Der vorhandene Pflanzen- und Baumbestand sowie die Fauna ist bei den Entwurfsplanungen zu berücksichtigen und ggf. durch Ausgleichsmaßnahmen zu kompensieren. Welche positiven Effekte des Bauvorhabens für das Wohnquartier bereitgestellt werden können soll evaluiert werden.

5.3 C2C-Prinzipien

5.3.1 Waste equals Food

Inhaltsstoffe und Gesundheit (Kapitel 3.1.1)

Sensibilisiert für die Grundanforderungen an Bauteile sind nach C2C die Inhaltsstoffe der Materialien zu definieren. Es ist sicherzustellen, dass Grenzwerte (z.B. $< 9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Formaldehyd) nicht überschritten werden und Stoffverbote entsprechend der Kreislaufzuordnung (biologisch oder technisch) eingehalten werden.

Stoffströme (Kapitel 3.1.2 und 3.1.3)

Mit Hilfe einer Materialliste werden die gewählten Materialien, Elemente und Komponenten des Bauvorhabens einem der Nährstoffkreisläufe zugeordnet bzw. als Serviceprodukt deklariert. Informationen über das Ende von Nutzungsdauern sind in den Planungen zu dokumentieren.

Umwelteinwirkungen (Kapitel 3.1.4)

Die Wahl der Baustoffe kann unter Zuhilfenahme einer Ökobilanz evaluiert werden. Die Umweltindikatoren geben dabei Auskunft über den möglichen Einfluss der Materialwahl auf das Ökosystem. Um die negativen Umweltfol-

gen durch die Baumaßnahme gering zu halten, sollten die Ergebniswerte der Indikatoren (z.B. GWP, PE ges, ADP, usw.) möglichst niedrig sein (Effizienz). Ein negatives Vorzeichen bei den Indikatoren entspricht dem Ziel der Effektivität nach Cradle to Cradle, da keine Auswirkungen bzw. ein positiver Fußabdruck bilanziert wurde. Durch Offsetmaßnahmen können Umweltauswirkungen (z.B. äquival. Treibhausgasemissionen) kompensiert werden. Durch den Einsatz von regenerativen Energieträgern für den Gebäudebetrieb wird die entstandene Gesamtprimärenergie für die Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung bzw. das Recycling der Gebäudekonstruktion in einem bestimmten Zeitraum amortisiert. Über die Ökobilanz hinaus ist eine nachhaltige Materialwirtschaft erforderlich, wobei auch lokale Materialien bei der Gebäudekonstruktion bevorzugt eingesetzt werden sollten.

Rückbau- und Recyclingpotentiale (Kapitel 3.1.5)

Eine durchdachte Konstruktionsweise ermöglicht die Gebäudetransformierung bei veränderten Nutzeranforderungen. Alternativ kann durch die Rückführung und die Wieder- und Weiterverwertung der Materialien, Elemente und Komponenten der Komplett Rückbau ermöglicht werden. Hieraus ergibt sich zudem die Möglichkeit, das Baugrundstück zu renaturieren.

Wasserfußabdruck (3.2.2)

Welchen Einfluss die Material- und Produktherstellung auf das Ökosystem hat, kann anhand des Wasserfußabdruckes der Gebäudekonstruktion überprüft werden. Darüber hinaus sollten die lokalen Wasserverhältnisse (z.B. Wassermangel) bekannt sein.

Wasserkreisläufe (3.2.3)

Im Gebäudesektor werden hauptsächlich Trinkwasser-,

Schwarzwasser-, Grauwasser- und Regenwasserkreisläufe realisiert. Recyceltes Grau- und Regenwasser findet überwiegend Anwendung bei der Gartenbewässerung. Als Brauchwasser wird behandeltes Grauwasser aus Dusche, Badwaschtisch und Waschmaschine für die Toilettenspülung oder erneut als Waschmaschinenwasser weiter- bzw. wiederverwendet.

Wasserqualität (3.2.4)

Wie auch bei den Materialien gilt es das Abwasser von schädlichen Inhaltsstoffen zu befreien. Bei der Behandlung von Abwasser wird zwischen naturnaher und technischer Reinigung unterschieden. Um das Trinkwasser nicht unnötig mit Chemikalien zu belasten, helfen biologisch abbaubare Wasch- und Reinigungsmittel.

Innovation (3.2.5)

Das Aquaponik-System stellt durch die Weiterverwendung des anfallenden Kondenswassers der Kühleinheiten ein innovatives Konzept zur Nahrungsmittelproduktion dar. Die Verwendung der Abwärme aus dem Abwassers dient der Vorwärmung von Frischwasser und spart dadurch Energie ein.

5.3.2 Waste equals Food - Bezug zum Planungsprozess

Grundlagen zu Materialinhaltsstoffen und erforderlichen Richtwerten sind in der Vorplanung zu recherchieren. Auf eine konkrete Beschreibung der Materialanforderungen ist bei der Erstellung von Leistungsverzeichnissen zu achten. Die Bauüberwachung stellt sicher, dass keine Kontamination durch die ausgewählten Materialien erfolgt. Ein Beispiel stellt Montageschaum dar, der als Füllstoff unter anderem potentielle Wärmebrücken (z.B. Laibungsanschluss beim Fenstereinbau) abdichtet. Die im Monta-

Cradle to Cradle® Prinzip Waste equals Food	
Planungsparameter	Kapitel
• Inhaltsstoffe und Gesundheit	3.1.1
<i>Grundanforderungen, Grenzwerte, Stoffverbote</i>	
• Stoffströme	3.1.2/3.1.3
<i>Materialliste, Nährstoffzuordnung</i>	
• Umwelteinwirkungen	3.1.4
<i>Indikatorenauswertung, Offsetmaßnahmen, Materialherkunft, nachhaltige Bewirtschaftung</i>	
• Rückbau- und Recyclingpotentiale	3.1.5
<i>Gebäudetransformation, Aufbau- und Rückbauszenarien, Wieder- und Weiterverwertung</i>	
• Wasserfußabdruck	3.2.2
<i>Wassereinsatz bei der Produktherstellung</i>	
• Wasserkreisläufe	3.2.3
<i>Trinkwasser, Regenwasser, Grauwasser</i>	
• Wasserqualität	3.2.4
<i>Abwasserbehandlung</i>	
• Innovation	3.2.5
<i>Abwärmennutzung, Aquaponik-System</i>	
Planungsprozess	Leistungsphasen (LPH)
• Inhaltsstoffe und Gesundheit	⊕ ⊕ ⊕
• Stoffströme	⊕
• Umwelteinwirkungen/Wasserfußabdruck	⊕ ⊕ ⊕
• Rückbau- und Recyclingpotentiale	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕
• Wasserkreisläufe, -qualität, Innovation	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕
⊕ Besondere Leistungen	

Abb. 5-2 Planungsparameter „Waste equals Food“

geschaum enthaltenen Isocyanate gelten als Risikostoffe und können gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen zur Folge haben. Das Rauchen auf Baustellen ist nur in gekennzeichneten Bereichen außerhalb des Gebäudes erlaubt [5.2]. Die Zuordnung der Nährstoffkreisläufe von Materialien und das Hinterlegen der Daten durch Building Information Modeling (BIM) gilt als besondere Leistung der LPH 2 in der HOAI. Der Umwelteinfluss, bedingt durch die Materialwahl kann, beginnend mit der Vorplanung evaluiert werden und ist in den folgenden Leistungsphasen fortzuschreiben.

Mögliche Rückbauszenarien sind mit Fachplanern bereits im Entwurf abzustimmen und planerisch ergänzend in der Ausführungsplanung darzustellen. Das Einhalten von Bau-toleranzen ist durch die Bauüberwachung sicherzustellen. Zudem sind die entsprechenden Aufbauschnitte zu dokumentieren. Die Dokumentation gibt Auskunft über Rückbauschnitte und Rezyklierbarkeit. Der Wasserverbrauch der Gebäudekonstruktion ist Teil der Ökobilanzierung. Die Realisierung von Wasserkreisläufen erfordert ein entsprechendes Fachwissen bei der Planung. Die Bauüberwachung stellt die bauliche Umsetzung sicher. Die abschließende Gebäudedokumentation enthält die geplante Ausführung der Meilensteine, die zu einem späteren Zeitpunkt verwirklicht werden.

5.3.3 Use Current Solar Income

Regenerative Energiequellen (3.3.1.2/3.3.1.3)

Regenerative Energiequellen lassen vielfältige Nutzungsmöglichkeiten zu. Eine Windrose bspw. stellt örtliche Windstärken und -richtungen grafisch dar, mithilfe derer sich Fassadenöffnungen sinnvoll anordnen lassen, um interne Raumwärme durch Querlüftung nach außen zu transportieren. Vegetation und Wasserflächen, über die der Wind vor

dem Eintritt in das Gebäude streicht, erhöhen dabei den empfundenen Kühleffekt.

Planungsgrundlagen und Gebäudetechnik (3.3.2)

Der Gesetzgeber gibt Energieeffizienzmaßnahmen vor, die den Ressourcenverbrauch und Emissionsausstoß, ausgelöst durch die Energiebereitstellung, reduzieren sollen. Kompakte Bauweisen verringern Transmissionswärmeverluste. Der Einsatz von regenerativer Energieerzeugung wird durch Fördermittel vom Bund bezuschusst. International werden in ähnlicher Weise Maßnahmen zur Umsetzung der Klimaschutzziele verfolgt, z.B. durch eine Einspeisevergütung des PV-Stroms.

Nutzerszenarien (3.3.4.1)

Eine Gegenüberstellung unterschiedlicher Nutzerszenarien zeigt die Systemflexibilität bei veränderten Bewohneranforderungen auf.

Energiespeicher (3.3.4.2/3.3.52)

Im Kapitel Energie 3.3 werden Potentiale von elektrischen und thermischen Energiespeichern anhand des nexushauses aufgezeigt. Der Autarkiegrad bei der Stromversorgung kann durch einen elektrischen Energiespeicher deutlich verbessert werden. Überschüssige Energie kann thermisch gespeichert und zeitversetzt abgerufen werden.

Passive und aktive Planungsmaßnahmen (3.3.6)

Die technologische Vielfalt setzt voraus, dass bei der Gebäudeplanung sowohl Passiv- als auch Aktivmaßnahmen zur Erfüllung der Behaglichkeitsanforderungen der Innenräume berücksichtigt werden. Um Wärme im Gebäude zu behalten ist der Transmissionsverlust durch die Konstruktion zu minimieren und eine luftdichte Bauweise zu realisieren. Eine Gebäudezonierung sowie Trans-

Cradle to Cradle® Prinzip Use Current Solar Income	
Planungsparameter	Kapitel
• Regenerative Energiequellen	3.3.1.2/3.3.1.3
<i>Solarenergie, Windenergie, Speichermassen</i>	
• Planungsgrundlagen und Gebäudetechnik	3.3.2
<i>Regelwerke und Gesetze, Gebäudehülle, Stellschrauben</i>	
• Nutzerszenarien	3.3.4
<i>Variantenvergleich</i>	
• Energiespeicher	3.3.4.2/3.3.5.2
<i>Elektrische und thermische Energiespeicher</i>	
• Passive und aktive Planungsmaßnahmen	3.3.6
<i>Wärme bzw. Kälte erhalten, Wärme gewinnen, Überhitzung vermeiden, Tageslichtnutzung, Energieeffizienz</i>	
Planungsprozess	Leistungsphasen (LPH)
• Regenerative Energiequellen	●+ ● ● ● ●
• Planungsgrundlagen u. Gebäudetechnik	●+ ●+
• Nutzerszenarien	●+ ●
• Thermische und elektr. Energiespeicher	●+ ●+ ●+ ●+ ●+
• Passive und aktive Planungsmaßnahmen	●+ ●+
⊕ Besondere Leistungen	

ferräume als Pufferzone (z.B. Windfang) unterstützen den Wärmeerhalt. Den Himmelsrichtungen angepasste Fenstergrößen und -anordnungen sorgen für eine natürliche Beleuchtung und sparen Strom für Kunstlicht ein.

5.3.4 Use Current Solar Income - Bezug zum Planungsprozess

Mit der Standortanalyse (siehe 5.2), die Teil der Grundlagenermittlung ist, wird das Potential verschiedener regenerativer Energieformen evaluiert. Das Energiekonzept wird, beginnend mit der Vorplanung, in Zusammenarbeit mit Fachplanern entwickelt. Als besondere Leistung gilt das Mitwirken bei der Kredit- und Fördermittelbeschaffung beschrieben [5.3]. Mit Hilfe von Planungswerkzeugen können verschiedene Nutzerszenarien und Anlagentechniken sowie Passiv- und Aktivmaßnahmen für das Energiekonzept bewertet werden. Außerdem kann die Flexibilität eines Gebäudesystems bei Nutzerveränderung aufgezeigt werden. Die Planungsgrundlagen sind, abhängig vom Klimastandort, in der Grundlagenermittlung zu recherchieren. In der Vorplanung können verschiedene Lösungsansätze zur Maximierung der Gebäudeeffizienz untersucht werden. Elektrische Energiespeichersysteme und die Bereitstellung der Elektromobilität sind in der Vorplanung mit Fachplanern zu erarbeiten. Die Systemfunktion kann durch ein Monitoring in der Nutzungsphase geprüft und ggf. an die Nutzeranforderungen angepasst werden. Bei der Gebäudetechnik ist mögliches Nachrüsten oder der Anlagenaustausch, bedingt durch geringere Nutzungsdauern, zu berücksichtigen.

Abb. 5-3 Planungsparameter „Use Current Solar Income“

5.3.5 Celebrate Diversity

Konzeptionelle Diversität (3.4.1)

Die Anordnung der Räume, der Bezug von Innen- und Außenraum und eine abwechselnde Belichtung sind Planungsparameter, welche die Aufenthaltsqualität der Bewohner steigern. Räume sollten, besonders bei kleiner Wohnfläche, unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten zulassen, um einen Mehrwert zu schaffen.

Kulturelle Diversität (3.4.2)

Ein barrierefreier Zugang zu den Wohneinheiten ist sicherzustellen. Außerdem sollte bei Wohnquartieren durch eine soziale Durchmischung und heterogene Bauformen der Vereinheitlichung entgegengewirkt werden. Die gestalterische Qualität und Ästhetik der Bauaufgabe trägt zum Wohlbefinden der Bewohner bei und steigert die Aufenthaltsqualität im Innen- und Außenraum.

Technologische Diversität (3.4.3)

Die Zugänglichkeit zu den technischen Geräten sollte gegeben sein. Die Einflussnahme des Nutzers auf die Steuerung der Haustechnik und die Möglichkeit des Nachrüstens bei veränderten Nutzungsanforderungen steigern die Flexibilität eines Gebäudegrundrisses.

Biodiversität (3.4.4)

Wohnraum soll auch anderen Erdbewohnern zur Verfügung gestellt werden. Durch den anthropogenen Eingriff in das Ökosystem wird Lebensraum für Flora und Fauna zerstört. Maßnahmen der Gebäudebegrünung stellen wieder neue Habitate bereit.

Behaglichkeitsanforderungen (3.4.5)

Immissionen durch Lärmentwicklung der Gebäudetechnik

(z.B. Lüftungseinheiten) oder ausgelöst von Haushaltsgeräten sowie Emissionen, z.B. durch Luftschadstoffe in Innenräumen, beeinflussen das Behaglichkeitsgefühl der Bewohner. Eine den Klimabedingungen des Wohnumfeldes angepasste Gebäudetemperierung fördert das thermische Behaglichkeitsgefühl.

Nutzersensibilisierung (3.4.6)

Kann der Bewohner Einfluss nehmen auf die Gebäudesteuerung und werden die eigenen Handlungen anhand eines Monitorings veranschaulicht, bspw. über ein Smart-Home-System, fördert das den nachhaltigen Umgang mit den eingesetzten Ressourcen.

5.3.6 Celebrate Diversity - Bezug zum Planungsprozess

Die konzeptionelle Diversität erfolgt bereits in den frühen Planungsphasen. Die Grundlagenermittlung evaluiert dabei die Bedarfsplanung des Auftraggebers. Die spätere Nutzungsphase sollte vielfältige Nutzungsmöglichkeiten der Innen- und Außenräume zulassen. Durch eine Bestandsanalyse des Wohnumfeldes können Schwächen und Potentiale des Quartiers in der Planung positiv berücksichtigt werden. Eine barrierefreie Zugänglichkeit des Gebäudes und der öffentlichen Bereiche ist vorzusehen. Die technologische Vielfalt zeichnet sich durch die Mischung von passiven und aktiven Energiekonzepten aus, die im Anschluss an die Standortanalyse als Teil der Grundlagenermittlung entwickelt wurden und in den folgenden Planungsphasen detaillierter ausgearbeitet werden. Die Zugänglichkeit der Anlagentechnik muss für eine mögliche Nachrüstbarkeit oder Systemoptimierung gewährleistet sein. Welche Möglichkeiten es zur Förderung von Biodiversität am Standort gibt, gilt es in der Grundlagenrecherche herauszufinden. Fachplaner helfen bei der Pflanzenauswahl und der bau-

Cradle to Cradle® Prinzip Celebrate Diversity	
Planungsparameter	Kapitel
• Konzeptionelle Diversität	3.4.1
<i>Grundrissanpassung, Gestaltungsvielfalt, Außenräume, Blickbezüge, Flexibilität</i>	
• Kulturelle Diversität	3.4.2
<i>Barrierefreiheit, Ortsbezug, soziale Durchmischung</i>	
• Technologische Diversität	3.4.3
<i>Nachrüstbarkeit, Zugänglichkeit, Energiebereitstellung</i>	
• Biodiversität	3.4.4
<i>Lebensraumerweiterung, Dach- und Fassadenbegrünung,</i>	
• Behaglichkeitsanforderungen	3.4.5
<i>Lärmschutz, Luftqualität, Thermischer Komfort, Naturbezug</i>	
• Nutzersensibilisierung	3.4.6
<i>Einfluss von Handlungen, Verbräuche und Erträge</i>	
Planungsprozess	Leistungsphasen (LPH)
• Konzeptionelle Diversität	● ● ● +
• Kulturelle Diversität	● ● ● ● ●
• Technologische Diversität	● ● ● ● +
• Biodiversität	● ● ● ● ● +
• Behaglichkeitsanforderungen	● ● ● ● ● +
• Nutzersensibilisierung	● ● ● ● +
⊕ Besondere Leistungen	

Abb. 5-4 Planungsparameter „Celebrate Diversity“

lichen Umsetzung von bspw. Dach- oder Fassadenbegrünungen. Welche positiven Auswirkungen durch die Maßnahme entstehen, kann nach C2C in der Nutzungsphase durch die Steigerung der Artenvielfalt am Standort, evaluiert werden. Bei der baulichen Umsetzung des Hauses sind Behaglichkeitsanforderungen zu beachten. Zugscheinungen können durch die richtige Planung der Lüftungstechnik vermieden werden. Einrichtungen für das Gebäudemonitoring helfen dabei, den Bewohnern Verbräuche und Erträge aufzuzeigen. Bereits in der Vorplanung sollte der Umfang des Gebäudemonitorings mit dem Bauherrn abgestimmt werden. Die Messeinheiten müssen im Gebäude richtig platziert werden. Dabei hilft das Hinzuziehen von Fachplanern bei Entwurfs- und Ausführungsplanung.

Nachdem die Meilensteine und Planungsziele zeitversetzt umgesetzt werden, ist es erforderlich, dass alle Informationen zu den C2C-Planungsparameter in einem Handbuch gesammelt und an den Bauherrn übergeben wird.

Die Leistungsphase 9 nach HOAI beinhaltet zudem die Dokumentation der C2C-Planungsparameter in einer Hausakte. Ziel ist es dabei, den Bauherrn über alle relevanten C2C-Kriterien, auch während der Gebäudenutzung, zu informieren. Nur so kann sichergestellt werden, dass das Gebäude über seinen gesamten Lebenszyklus hinweg einen ganzheitlich positiven Fußabdruck erhält. Dazu dient ferner die entwickelte Roadmap inkl. der Darstellung aller relevanten Meilensteine.

5.4 Schlusswort

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde die Übertragbarkeit und Umsetzbarkeit der Grundprinzipien des C2C auf das „nexushaus“ geprüft und dargestellt. Es wurde eine Studie durchgeführt, die zeigt, dass im Einfamilienhausbau die C2C-Prinzipien bereits heute größtenteils

umgesetzt werden können.

Basierend auf den Dokumentationen der Wettbewerbsteilnahme am Solar Decathlon 2015 des U.S. Department of Energy sind im Rahmen dieses Projektes alle Entwurfs-, Planungs- und Bauprozesse analysiert worden. Die Architektur des „nexushaus“ wurde so konzipiert, dass die C2C-Prinzipien theoretisch umgesetzt werden können. Mit der Dokumentation und Auswertung der Planungs-, Bau- und Wettbewerbsphase wurden Planungshinweise erarbeitet, die die jeweiligen C2C-Ansätze für den Wohngebäudebereich aufzeigen. Ferner wurde aufgezeigt, in welchen Bereichen die Prinzipien noch intensiver behandelt werden müssen, damit Wohngebäude in Zukunft einen positiveren Beitrag zu unserem Ökosystem leisten können und ein nachhaltiger Umgang mit Ressourcen gewährleistet werden kann. Dabei wurde der Fokus auf eine praxisgerechte Ausformulierung gelegt. Dazu wurden die erforderlichen Gebäudeeigenschaften dahingehend qualitativ und quantitativ bewertet. Die qualitative Bewertung erfolgte auf Grundlage der C2C-Prinzipien: Zur Verdeutlichung wurden an entsprechenden Stellen Bezüge zu vorhandenen Gebäude- und Produktzertifizierungssystemen hergestellt. Quantitative Bewertungen finden sich hauptsächlich bei der Betrachtung des Energiekonzeptes des nexushauses. Zudem wurden verschiedene Kompensationsmaßnahmen als Ausgleich für die enthaltene Graue Energie und Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion bzw. des –betriebes untersucht.

Die ökologische Bewertung des Gebäudes basiert auf einer LCA-Analyse der Materialien und der installierten Photovoltaikmodule als Teil der Gebäudetechnik. Technische und biologische Nährstoffkreisläufe wurden definiert und in der Materialliste zusammen mit den genannten Umweltindikatoren dargestellt. Ein gesundes Wohnumfeld durch schadstofffreie Materialien wird am Beispiel des Formalde-

hyds diskutiert, wobei auch auf die Bemessungsmethode zu Produktinhaltsstoffen nach C2C eingegangen wird. Es folgte eine intensive Auseinandersetzung mit der Rezyklierbarkeit des nexushauses. Handlungsempfehlungen werden im Bericht dargestellt und anhand des nexushauses überprüft. Die Wahl der Verbindungsmittel wird diskutiert und es wird auf die End-of-Life-Szenarien der Materialwahl eingegangen. Wichtige Planungs- und Ausführungsansätze werden im Forschungsbericht bewertet und anhand verschiedener Analysen und Illustrationen abgebildet. Potentiale einer flexiblen Grundrissgestaltung werden anhand des „nexushauses“ beschrieben.

Ferner wird aufgezeigt, wie im Hinblick auf den steigenden Bedarf an innerstädtischem Wohnraum Konzepte zur Nachverdichtung zu entwickeln sind. Die Grundlagenmittlung beinhaltet Standortanalysen von München/Deutschland, Austin/Texas und Irvine/Kalifornien und somit von drei verschiedenen Klimata. Es wird auf die am Standort verfügbaren regenerativen Energiequellen hingewiesen, die die Grundlage für nachhaltige, innovative Energiekonzepte darstellen. Die energetische Bedarfsdeckung durch eigene Stromerzeugung wurde mit Hilfe verschiedener Gebäudesimulationen analysiert. Hierbei wurden die thermischen Randbedingungen der unterschiedlichen Standorte erläutert.

Die Gegenüberstellung von unterschiedlichen Nutzerprofilen zeigt, wie flexibel sich ein Anlagensystem bei veränderten Bedingungen (z.B. Bewohnerzahl) verhält. Energiespeicher erhöhen die Systemautarkie, da Überschüsse aus der regenerativen Energiebereitstellung gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt verwendet werden können.

Die Wasserrecyclingkonzepte des „nexushauses“ werden um Gedanken der C2C-Philosophie erweitert. So wird der Wasserfußabdruck der Gebäudekonstruktion betrachtet und Handlungsmöglichkeiten aufgezeigt, die einen suffi-

zienten Umgang mit der Ressource Wasser ermöglichen. Grauwasserrecycling spart Trinkwasser ein und kann der Bewässerung von Grünanlagen dienen. Die Weiterverwendung des anfallenden Kondenswassers unterstützt die autarke Nahrungsmittelproduktion.

Darüber hinaus bietet die Architektur des Hauses weitere kulturelle Vorteile: Barrierefreie Zugänglichkeit sowie unterschiedliche Aufenthaltsqualitäten im Innen- und Außenraum durch Aus- und begrenzte Einblicke, die Rückzugsorte erlauben. Die Biodiversität findet insgesamt zu wenig Beachtung beim nexushaus. Zusätzlicher Lebensraum für Tiere und Pflanzen kann durch eine Dach- und Fassadenbegrünung bereitgestellt werden.

Wie die Analyse und Bewertung des realisierten „nexushauses“ zum Solar Decathlon Wettbewerb 2015 zeigt, ist es grundsätzlich möglich, die C2C-Philosophie in die Praxis des Bauwesens zu überführen. Der Planungsaufwand ist durch die Integration des Kreislaufgedankens, besonders in den ersten Planungsphasen, größer. Das Ökosystem profitiert jedoch langfristig von dieser nachhaltigen Herangehensweise. Die Auseinandersetzung mit der

Rezyklierbarkeit der Baustoffe und Produktkomponenten kommt bislang in der Praxis zu kurz, auch sollten Wasserkreisläufe als selbstverständlich angesehen und in jedem Projekt umgesetzt werden. Ein begrüntes, heterogenes Wohnumfeld kann mit regenerativen Energieformen betrieben werden und sollte im Sinne der Generationengerechtigkeit realisiert werden.

5.5 Ausblick Mehrfamilienhausbau

Abschließend soll die Übertragbarkeit der C2C-Prinzipien auf den Mehrfamilienhausbau erwähnt werden. Die beschriebenen Themen des Forschungsberichtes, aufbauend auf der C2C-Philosophie, lassen sich auch auf den mehrgeschossigen Wohnungsbau übertragen. Die Herausforderungen steigen durch den erhöhten Materialbedarf, wobei die Vorgehensweise der Analyse von Inhaltsstoffen gleich bleibt. Die Umweltauswirkungen erhöhen sich durch den gestiegenen Ressourcenbedarf, der durch Kompensationsmaßnahmen ausgeglichen werden muss.

Das Grauwasserrecycling bietet sich für größere Wohnein-



Abb. 5-5 Aktiv-Stadthaus in Frankfurt: Photovoltaikmodule an Dach und Fassade. [5.5]

heiten an, da die Kosten für die Installation entsprechend der Bewohnerzahl verringert werden. Jedoch ist der größere Platzaufwand für die Speichertank zu berücksichtigen. Der Planungsaufwand vergrößert sich durch die komplexeren Systembezüge und Anschlussdetails, die eine Gebäudetransformierung zulassen. Die Modulbauweise im Holzbau ist bereits aus der Erstellung von Hotels (z.B. BMW-Hotel Alpenhof [5.4]), studentischem Wohnraum und Flüchtlingsunterkünften bekannt, jedoch besteht dringend Forschungsbedarf bei der Rückbaubarkeit und dem Materialrecycling. Die Anpassungsfähigkeit an veränderte Nutzerbedürfnisse können durch eine flexible Grundrissgestaltung realisiert werden. Zentrale Leitungsführungen und die Zugänglichkeit von Installationen erleichtern die Nachrüstbarkeit der Anlagentechnik. Der Strombedarf steigt mit der Bewohnerzahl, wobei sich die nutzbaren Flächen für die Installation von Photovoltaikmodulen im städtischen Umfeld reduzieren. Das Aktiv-Stadthaus in Frankfurt ergänzt die Module auf dem Dach durch PV-Komponenten an der Fassade (Abb. 5-5) [5.5]. Der Mehrfamilienhausbau sollte durch unterschiedlich große Wohneinheiten zu einem angemessenen Preis eine soziale Durchmischung sicherstellen und über einen barrierefreien Zugang verfügen. Gerade im städtischen Kontext ist bei mehrgeschossigem Wohnungsbau der Naturbezug der Bewohner erschwert, wobei Gebäudebegrünungen, die im Übrigen mittels Grauwasserüberschuss bewässert werden können, die Aufenthaltsqualität aufwerten und das Mikroklima verbessern. Darüber hinaus wird die Biodiversität gefördert.

5.6 Weiterführung

5.6.1 Nutzen aus dem vorliegenden Forschungsbericht

Das Forschungsprojekt stellt eine ideale Grundlage für Folgeprojekte dar. In einem nachfolgenden Schritt wäre zu untersuchen, wie sich die Ergebnisse im Quartierbereich anwenden und quantitativ bewerten lassen. Interessant wäre, wie sich die entwickelten und getesteten Prinzipien auf andere Nutzungsbereiche, wie z.B. der Verwaltungsbau, oder andere Maßstäbe, wie z.B. den Hochhausbau, übertragen lassen.

In Deutschland können sich aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen bereits bestehende Bauweisen weiterentwickelt werden. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse kann eine schnelle Marktdurchdringung unterstützen und die Bauindustrie positiv beeinflussen.

5.6.2 Forschungsbedarf

Die Bearbeitung des Forschungsberichtes hat gezeigt, dass bei der Umsetzung eines Cradle to Cradle inspirierten Plusenergiehauses noch Forschungsbedarf in einzelnen Themengebieten besteht. Der Wasserfußabdruck von Produkten und die bislang verfügbaren Datensätze zum möglichen Wasserverbrauch bei Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung und Recycling sind sehr lückenhaft. Am Beispiel der OSB-Platte konnte im Kapitel 3.2.2 aufgezeigt werden, dass die hinterlegten Datensätze sich bei gleicher Produktauswahl enorm unterscheiden. Mögliche Systemgrenzen bei der Bilanzierung sind kaum transparent und somit nicht nachvollziehbar.

Das Wasserrecycling und die Wieder- bzw. Weiterverwendung für den häuslichen Gebrauch und zur Nahrungsmittelproduktion steht noch in den Anfängen. Es konnten

kaum Informationen zur baulichen Umsetzung und zu Pilotprojekten gefunden werden. Nach bisherigem Wissensstand ist die Verwendung des aufbereiteten Grauwassers zur Nutzpflanzenbewässerung zwar möglich, es konnten aber keine geeigneten Beispielprojekte zur Referenz gefunden werden. Auch eine sinnvolle, ästhetisch ansprechende Integration der Elemente (Wassertank, Pumpe, usw.) zur autarken Nahrungsmittelproduktion durch Hydroponik- bzw. Aquaponik-Systeme im Gebäude konnte zwar grundsätzlich nachgewiesen werden, die detaillierte Umsetzung ist jedoch noch offen. Aufgrund der hohen Einzelinvestitions- und Energiekosten wäre hierbei die Integration im Mehrfamilienhausbau ein spannendes Forschungsgebiet.

Wie bereits erwähnt fehlen Pilotprojekte, die den Gebäuderückbau und das Materialrecycling fokussieren. Der steigende Ressourcenbedarf durch die wachsende Weltbevölkerung fordert die Auseinandersetzung mit der Gebäudetransformierung. Sie ermöglicht, dass Wohnraum erweitert und bei Bedarf zurückgebaut werden kann, wobei die Materialien einem Nährstoffkreislauf (biologisch oder technisch) zurückgeführt und für neue Bauaufgaben aufbereitet werden können. Ohne die kreislaufgeführte Produktentwicklung wird es schwer, in Zukunft ein Gebäude mit einem ganzheitlich positiven Fußabdruck zu realisieren.

Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) Anlage 10 (zu § 34 Absatz 4, § 35 Absatz 7)
Grundleistungen im Leistungsbild Gebäude und Innenräume, Besondere Leistungen, Objektlisten

10.1 Leistungsbild Gebäude und Innenräume

(Fundstelle: BGBl. I 2012, 2333 - 2340)

• Grundleistungen

• Besondere Leistungen

LPH 1 Grundlagenmittlung

- Klären der Aufgabenstellung auf Grundlage der Vorgaben oder der Bedarfsplanung des Auftraggebers
- Ortsbesichtigung
- Beraten zum gesamten Leistungs- und Untersuchungsbedarf
- Formulieren der Entscheidungshilfen für die Auswahl anderer an der Planung fachlich Beteiligter
- Zusammenfassen, Erläutern und Dokumentieren der Ergebnisse

- Bedarfsplanung
- Bedarfsermittlung
- Aufstellen eines Funktionsprogramms
- Aufstellen eines Raumprogramms
- Standortanalyse
- Mitwirken bei Grundstücks- und Objektauswahl, -beschaffung und -übertragung
- Beschaffen von Unterlagen, die für das Vorhaben erheblich sind
- Bestandsaufnahme
- technische Substanzerkundung
- Betriebsplanung
- Prüfen der Umwelterheblichkeit
- Prüfen der Umweltverträglichkeit
- Machbarkeitsstudie
- Wirtschaftlichkeitsuntersuchung
- Projektstrukturplanung
- Zusammenstellen der Anforderungen aus Zertifizierungssystemen
- Verfahrensbetreuung, Mitwirken bei der Vergabe von Planungs- und Gutachterleistungen

LPH 2 Vorplanung (Projekt- und Planungsvorbereitung)

- Analysieren der Grundlagen, Abstimmen der Leistungen mit den fachlich an der Planung Beteiligten
- Abstimmen der Zielvorstellungen, Hinweisen auf Zielkonflikte
- Erarbeiten der Vorplanung, Untersuchen, Darstellen und Bewerten von Varianten nach gleichen Anforderungen, Zeichnungen im Maßstab nach Art und Größe des Objekts
- Klären und Erläutern der wesentlichen Zusammenhänge, Vorgaben und Bedingungen (zum Beispiel städtebauliche, gestalterische, funktionale, technische, wirtschaftliche, ökologische, bauphysikalische, energiewirtschaftliche, soziale, öffentlich-rechtliche)
- Bereitstellen der Arbeitsergebnisse als Grundlage für die anderen an der Planung fachlich Beteiligten sowie Koordination und Integration von deren Leistungen
- Vorverhandlungen über die Genehmigungsfähigkeit
- Kostenschätzung nach DIN 276, Vergleich mit den finanziellen Rahmenbedingungen
- Erstellen eines Terminplans mit den wesentlichen Vorgängen des Planungs- und Bauablaufs
- Zusammenfassen, Erläutern und Dokumentieren der Ergebnisse

- Aufstellen eines Katalogs für die Planung und Abwicklung der Programmziele
- Untersuchen alternativer Lösungsansätze nach verschiedenen Anforderungen einschließlich Kostenbewertung
- Beachten der Anforderungen des vereinbarten Zertifizierungssystems – Durchführen des Zertifizierungssystems
- Ergänzen der Vorplanungsunterlagen auf Grund besonderer Anforderungen
- Aufstellen eines Finanzierungsplanes
- Mitwirken bei der Kredit- und Fördermittelbeschaffung
- Durchführen von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen
- Durchführen der Voranfrage (Bauanfrage)
- Anfertigen von besonderen Präsentationshilfen, die für die Klärung im Vorentwurfsprozess nicht notwendig sind, zum Beispiel: Präsentationsmodelle, Perspektivische Darstellung, Bewegte Darstellung/Animation, Farb- und Materialcollagen, digitales Geländemodell

Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) Anlage 10 (zu § 34 Absatz 4, § 35 Absatz 7)

Grundleistungen im Leistungsbild Gebäude und Innenräume, Besondere Leistungen, Objektlisten

10.1 Leistungsbild Gebäude und Innenräume

(Fundstelle: BGBl. I 2012, 2333 - 2340)

• Grundleistungen

• Besondere Leistungen

LPH 2 Vorplanung (Projekt- und Planungsvorbereitung)

- 3-D oder 4-D Gebäudemodellbearbeitung (Building Information Modelling BIM)
- Aufstellen einer vertieften Kostenschätzung nach Positionen einzelner Gewerke
- Fortschreiben des Projektstrukturplanes
- Aufstellen von Raumbüchern
- Erarbeiten und Erstellen von besonderen bauordnungsrechtlichen Nachweisen für den vorbeugenden und organisatorischen Brandschutz bei baulichen Anlagen besonderer Art und Nutzung, Bestandsbauten oder im Falle von Abweichungen von der Bauordnung

LPH 3 Entwurfsplanung (System- und Integrationsplanung)

- Erarbeiten der Entwurfsplanung, unter weiterer Berücksichtigung der wesentlichen Zusammenhänge, Vorgaben und Bedingungen (zum Beispiel städtebauliche, gestalterische, funktionale, technische, wirtschaftliche, ökologische, soziale, öffentlich-rechtliche) auf der Grundlage der Vorplanung und als Grundlage für die weiteren Leistungsphasen und die erforderlichen öffentlich-rechtlichen Genehmigungen unter Verwendung der Beiträge anderer an der Planung fachlich Beteiligter. Zeichnungen nach Art und Größe des Objekts im erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen, zum Beispiel bei Gebäuden im Maßstab 1:100, zum Beispiel bei Innenräumen im Maßstab 1:50 bis 1:20
- Bereitstellen der Arbeitsergebnisse als Grundlage für die anderen an der Planung fachlich Beteiligten sowie Koordination und Integration von deren Leistungen
- Objektbeschreibung
- Verhandlungen über die Genehmigungsfähigkeit
- Kostenberechnung nach DIN 276 und Vergleich mit der Kostenschätzung
- Fortschreiben des Terminplans
- Zusammenfassen, Erläutern und Dokumentieren der Ergebnisse
- Analyse der Alternativen/Varianten und deren Wertung mit Kostenuntersuchung (Optimierung)
- Wirtschaftlichkeitsberechnung
- Aufstellen und Fortschreiben einer vertieften Kostenberechnung
- Fortschreiben von Raumbüchern

HOAI: LPH 1 - LPH 3 [5.3] (Eigene Darstellung)

Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) Anlage 10 (zu § 34 Absatz 4, § 35 Absatz 7)
Grundleistungen im Leistungsbild Gebäude und Innenräume, Besondere Leistungen, Objektlisten

10.1 Leistungsbild Gebäude und Innenräume

(Fundstelle: BGBl. I 2012, 2333 - 2340)

• Grundleistungen

• Besondere Leistungen

LPH 4 Genehmigungsplanung

- Erarbeiten und Zusammenstellen der Vorlagen und Nachweise für öffentlich-rechtliche Genehmigungen oder Zustimmungen einschließlich der Anträge auf Ausnahmen und Befreiungen, sowie notwendiger Verhandlungen mit Behörden unter Verwendung der Beiträge anderer an der Planung fachlich Beteiligter
- Einreichen der Vorlagen
- Ergänzen und Anpassen der Planungsunterlagen, Beschreibungen und Berechnungen

- Mitwirken bei der Beschaffung der nachbarlichen Zustimmung
- Nachweise, insbesondere technischer, konstruktiver und bauphysikalischer Art, für die Erlangung behördlicher Zustimmungen im Einzelfall
- Fachliche und organisatorische Unterstützung des Bauherrn im Widerspruchsverfahren, Klageverfahren oder ähnlichen Verfahren

LPH 5 Ausführungsplanung

- Erarbeiten der Ausführungsplanung mit allen für die Ausführung notwendigen Einzelangaben (zeichnerisch und textlich) auf der Grundlage der Entwurfs- und Genehmigungsplanung bis zur ausführungsfähigen Lösung, als Grundlage für die weiteren Leistungsphasen
- Ausführungs-, Detail- und Konstruktionszeichnungen nach Art und Größe des Objekts im erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen, zum Beispiel bei Gebäuden im Maßstab 1:50 bis 1:1, zum Beispiel bei Innenräumen im Maßstab 1:20 bis 1:1
- Bereitstellen der Arbeitsergebnisse als Grundlage für die anderen an der Planung fachlich Beteiligten, sowie Koordination und Integration von deren Leistungen
- Fortschreiben des Terminplans
- Fortschreiben der Ausführungsplanung auf Grund der gewerkeorientierten Bearbeitung während der Objektausführung
- Überprüfen erforderlicher Montagepläne der vom Objektplaner geplanten Baukonstruktionen und baukonstruktiven Einbauten auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung

- Aufstellen einer detaillierten Objektbeschreibung als Grundlage der Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm*
- Prüfen der vom bauausführenden Unternehmen auf Grund der Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm ausgearbeiteten Ausführungspläne auf Übereinstimmung mit der Entwurfsplanung*
- Fortschreiben von Raumbüchern in detaillierter Form
- Mitwirken beim Anlagenkennzeichnungssystem (AKS)
- Prüfen und Anerkennen von Plänen Dritter, nicht an der Planung fachlich Beteiligter auf Übereinstimmung mit den Ausführungsplänen (zum Beispiel Werkstattzeichnungen von Unternehmen, Aufstellungs- und Fundamentpläne nutzungsspezifischer oder betriebstechnischer Anlagen), soweit die Leistungen Anlagen betreffen, die in den anrechenbaren Kosten nicht erfasst sind

*Diese Besondere Leistung wird bei Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm ganz oder teilweise Grundleistung. In diesem Fall entfallen die entsprechenden Grundleistungen dieser Leistungsphase.

LPH 6 Vorbereitung der Vergabe

- Aufstellen eines Vergabeterminplans
- Aufstellen von Leistungsbeschreibungen mit Leistungsverzeichnissen nach Leistungsbereichen, Ermitteln und Zusammenstellen von Mengen auf der Grundlage der Ausführungsplanung unter Verwendung der Beiträge anderer an der Planung fachlich Beteiligter

- Aufstellen der Leistungsbeschreibungen mit Leistungsprogramm auf der Grundlage der detaillierten Objektbeschreibung*
- Aufstellen von alternativen Leistungsbeschreibungen für geschlossene Leistungsbereiche

Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) Anlage 10 (zu § 34 Absatz 4, § 35 Absatz 7)

Grundleistungen im Leistungsbild Gebäude und Innenräume, Besondere Leistungen, Objektlisten

10.1 Leistungsbild Gebäude und Innenräume

(Fundstelle: BGBl. I 2012, 2333 - 2340)

• Grundleistungen	• Besondere Leistungen
<i>LPH 6 Vorbereitung der Vergabe</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Abstimmen und Koordinieren der Schnittstellen zu den Leistungsbeschreibungen der an der Planung fachlich Beteiligten • Ermitteln der Kosten auf der Grundlage vom Planer bepreister Leistungsverzeichnisse • Kostenkontrolle durch Vergleich der vom Planer bepreisten Leistungsverzeichnisse mit der Kostenberechnung • Zusammenstellen der Vergabeunterlagen für alle Leistungsbereiche 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufstellen von vergleichenden Kostenübersichten unter Auswertung der Beiträge anderer an der Planung fachlich Beteiligter <p>*Diese Besondere Leistung wird bei einer Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm ganz oder teilweise zur Grundleistung. In diesem Fall entfallen die entsprechenden Grundleistungen dieser Leistungsphase.</p>
<i>LPH 7 Mitwirken bei der Vergabe</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Koordinieren der Vergaben der Fachplaner • Einholen von Angeboten • Prüfen und Werten der Angebote einschließlich Aufstellen eines Preisspiegels nach Einzelpositionen oder Teilleistungen, Prüfen und Werten der Angebote zusätzlicher und geänderter Leistungen der ausführenden Unternehmen und der Angemessenheit der Preise • Führen von Bietergesprächen • Erstellen der Vergabevorschläge, Dokumentation des Vergabeverfahrens • Zusammenstellen der Vertragsunterlagen für alle Leistungsbereiche • Vergleichen der Ausschreibungsergebnisse mit den vom Planer bepreisten Leistungsverzeichnissen oder der Kostenberechnung • Mitwirken bei der Auftragserteilung 	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfen und Werten von Nebenangeboten mit Auswirkungen auf die abgestimmte Planung • Mitwirken bei der Mittelabflussplanung • Fachliche Vorbereitung und Mitwirken bei Nachprüfungsverfahren • Mitwirken bei der Prüfung von bauwirtschaftlich begründeten Nachtragsangeboten • Prüfen und Werten der Angebote aus Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm einschließlich Preisspiegel* • Aufstellen, Prüfen und Werten von Preisspiegeln nach besonderen Anforderungen <p>*Diese Besondere Leistung wird bei Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm ganz oder teilweise Grundleistung. In diesem Fall entfallen die entsprechenden Grundleistungen dieser Leistungsphase.</p>
<i>LPH 8 Objektüberwachung (Bauüberwachung) und Dokumentation</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Überwachen der Ausführung des Objektes auf Übereinstimmung mit der öffentlich-rechtlichen Genehmigung oder Zustimmung, den Verträgen mit ausführenden Unternehmen, den Ausführungsunterlagen, den einschlägigen Vorschriften sowie mit den allgemein anerkannten Regeln der Technik • Überwachen der Ausführung von Tragwerken mit sehr geringen und geringen Planungsanforderungen auf Übereinstimmung mit dem Standsicherheitsnachweis 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufstellen, Überwachen und Fortschreiben eines Zahlungsplanes • Aufstellen, Überwachen und Fortschreiben von differenzierten Zeit-, Kosten- oder Kapazitätsplänen • Tätigkeit als verantwortlicher Bauleiter, soweit diese Tätigkeit nach jeweiligem Landesrecht über die Grundleistungen der LPH 8 hinausgeht

HOAI: LPH 4 - LPH 8 [5.3] (Eigene Darstellung)

Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) Anlage 10 (zu § 34 Absatz 4, § 35 Absatz 7)
Grundleistungen im Leistungsbild Gebäude und Innenräume, Besondere Leistungen, Objektlisten

10.1 Leistungsbild Gebäude und Innenräume

(Fundstelle: BGBl. I 2012, 2333 - 2340)

• Grundleistungen

• Besondere Leistungen

LPH 8 Objektüberwachung (Bauüberwachung) und Dokumentation

- Koordinieren der an der Objektüberwachung fachlich Beteiligten
- Aufstellen, Fortschreiben und Überwachen eines Terminplans (Balkendiagramm)
- Dokumentation des Bauablaufs (zum Beispiel Bautagebuch)
- Gemeinsames Aufmaß mit den ausführenden Unternehmen
- Rechnungsprüfung einschließlich Prüfen der Aufmäße der bauausführenden Unternehmen
- Vergleich der Ergebnisse der Rechnungsprüfungen mit den Auftragssummen einschließlich Nachträgen
- Kostenkontrolle durch Überprüfen der Leistungsabrechnung der bauausführenden Unternehmen im Vergleich zu den Vertragspreisen
- Kostenfeststellung, zum Beispiel nach DIN 276
- Organisation der Abnahme der Bauleistungen unter Mitwirkung anderer an der Planung und Objektüberwachung fachlich Beteiligter, Feststellung von Mängeln, Abnahmeempfehlung für den Auftraggeber
- Antrag auf öffentlich-rechtliche Abnahmen und Teilnahme daran
- Systematische Zusammenstellung der Dokumentation, zeichnerischen Darstellungen und rechnerischen Ergebnisse des Objekts
- Übergabe des Objekts
- Auflisten der Verjährungsfristen für Mängelansprüche
- Überwachen der Beseitigung der bei der Abnahme festgestellten Mängel

LPH 9 Objektbetreuung

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Fachliche Bewertung der innerhalb der Verjährungsfristen für Gewährleistungsansprüche festgestellten Mängel, längstens jedoch bis zum Ablauf von fünf Jahren seit Abnahme der Leistung, einschließlich notwendiger Begehungen • Objektbegehung zur Mängelfeststellung vor Ablauf der Verjährungsfristen für Mängelansprüche gegenüber den ausführenden Unternehmen • Mitwirken bei der Freigabe von Sicherheitsleistungen | <ul style="list-style-type: none"> • Überwachen der Mängelbeseitigung innerhalb der Verjährungsfrist • Erstellen einer Gebäudebestandsdokumentation, • Aufstellen von Ausrüstungs- und Inventarverzeichnissen • Erstellen von Wartungs- und Pflegeanweisungen • Erstellen eines Instandhaltungskonzepts • Objektbeobachtung • Objektverwaltung • Baubegehungen nach Übergabe • Aufbereiten der Planungs- und Kostendaten für eine Objektdatei oder Kostenrichtwerte • Evaluieren von Wirtschaftlichkeitsberechnungen |
|---|--|

6

Anhang

6.1 Glossar

Plusenergiehaus

Bezeichnung für ein Gebäude das über das Jahr mehr Energie erzeugt, als es verbraucht. Der „Plus-Energie-Haus-Standard“ ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf vorliegen.

L. Hölscher und F.J. Radermacher. (Hrsg.) Klimaneutralität - Hessen geht voran. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013

Erneuerbare Energien

Energie aus einer Quelle, deren Vorrat sich durch die Entnahme nicht verringert, wie z. B. (thermische und photovoltaische) Solarenergie, Wind, Wasserkraft, regenerative Biomasse.

DIN V 18599-1, 2011: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

Nutzenergie

Oberbegriff für Nutzwärmebedarf, Nutzkältebedarf, Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasser, Beleuchtung, Befeuchtung.

DIN V 18599-1, 2011: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

Endenergiebedarf

berechnete Energiemenge, die der Anlagentechnik (Heizungsanlage, raumluftechnische Anlage, Warmwasser-

bereitungsanlage, Beleuchtungsanlage) zur Verfügung gestellt wird, um die festgelegte Rauminnen-temperatur, die Erwärmung des Warmwassers und die gewünschte Beleuchtungsqualität über das ganze Jahr sicherzustellen
DIN V 18599-1, 2011: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

Primärenergiebedarf

berechnete Energiemenge, die zusätzlich zum Energieinhalt des notwendigen Brennstoffs und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik auch die Energiemengen einbezieht, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe bzw. Stoffe entstehen.

DIN V 18599-1, 2011: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

Heizwärmebedarf

rechnerisch ermittelter Wärmebedarf, der zur Aufrechterhaltung der festgelegten thermischen Raumkonditionen innerhalb einer Gebäudezone während der Heizzeit benötigt wird.

DIN V 18599-1, 2011: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

Graue Energie

Die Graue Energie bezeichnet die Energiemenge, die für den kompletten Lebensweg (Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung) eines Produktes direkt und indirekt aufgewendet wird.

M. Hegger, C. Fafflok, J. Hegger, und I. Passig. Aktivhaus - Das Grundlagenwerk vom Passivhaus zum Energieplus-haus. München: Callweg GmbH & Co. KG, 2013

Lebensweg

aufeinander folgende und miteinander verbundene Stufen eines Produktsystems von der Rohstoffgewinnung oder Rohstoffherzeugung bis zur endgültigen Beseitigung.

DIN EN ISO 14040, 2009: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006);

Ökobilanz

Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges.

DIN EN ISO 14040, 2009: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006);

Wirkungsabschätzung

Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf des Lebensweges des Produktes dient.

DIN EN ISO 14040, 2009: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006);

Wasser-Fußabdruck

Kennzahl(en) zur quantitativen Bestimmung der potenziellen Umweltwirkungen im Zusammenhang mit Wasser.

DIN EN ISO 14046, 2016: Umweltmanagement – Wasser-

Fußabdruck – Grundsätze, Anforderungen und Leitlinien (ISO 14046:2014);

Grauwasser

Gering verschmutztes und fäkalienfreies Abwasser. Wasser u.a. aus Dusche, Badwaschtisch und Waschmaschine.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA). (Hrsg.). Neuartige Sanitärsysteme - „Tabelle 2.1: Technische Begriffsdefinitionen - Stoffströme“. Hennef: Druckhaus Köthen, 2008

Schwarzwasser

Fäkalienhaltiges und Spülwasser. Abwasser aus der Toilettenspülung sowie der Küchenspüle.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA). (Hrsg.). Neuartige Sanitärsysteme - „Tabelle 2.1: Technische Begriffsdefinitionen - Stoffströme“. Hennef: Druckhaus Köthen, 2008

Gebäude, sehr schadstoffarm

Gebäude, bei denen ein außerordentlicher Aufwand betrieben wurde, um Baustoffe zu wählen, die Verunreinigungen nur in geringem Maße freisetzen und bei denen Tätigkeiten verboten sind, bei denen Verunreinigungen freigesetzt werden und keine älteren Verunreinigungsquellen (z. B. Tabakrauch) vorhanden sind.

DIN EN 15251, 2012: Eingangparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik;

Design for Dissassembly

Der Entwurfs- und Ausführungsprozess ist darauf ausgerichtet, dass Produkte oder Systeme einfach zerlegt werden können, um Instandhaltung, Reparatur und die Wie-

der Verwendung der Materialien zu fördern.

Design for Adaptability

Im Entwurfsprozess werden vielfältige Arten der Nutzung berücksichtigt, um die Langlebigkeit der Produkte oder Systeme zu erhöhen.

Amortisationszeit

ist der Zeitraum, der vergehen muss bis eine getätigte Investition sich durch Einsparungen im Betrieb refinanziert hat.

M. Hegger, C. Fafflok, J. Hegger, und I. Passig. Aktivhaus - Das Grundlagenwerk vom Passivhaus zum Energieplushaus. München: Callwey GmbH & Co. KG, 2013

6.2 Abkürzungsverzeichnis

ADU

Accessory Dwelling Unit

AIR

Ausschuss für Innenraumrichtwerte

AgBB

Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten

ALARA

„So niedrig wie (vernünftigerweise) erreichbar.“ (engl. as low as reasonably achievable)

bg

bodengebunden

BIM

Building Information Modeling

BN

Biologischer Nährstoffkreislauf

CAD

Computer-aided design

C2C

Cradle to Cradle

C2CPII

Cradle to Cradle Products Innovation Institute

CMR

Kanzerogen, mutagen, reproduktionstoxisch

CSI

Construction Specification Institute

DfA

Design for Adaptability

DfD

Design for Disassembly

DoE

U.S. Department of Energy

EnEV

Energieeinsparungsverordnung

EoL

End-of-Life

EPEA

Environmental Protection Encouragement Agency

GWP

Treibhausgaspotential (engl. global warming potential)

HERS Index

Home Energy Rating System Index

HOAI

Honorarordnung für Architekten und Ingenieure

IECC

International Energy Conservation Code

KKM

Kompressions-Kältemaschine

LAI

Landesamt für Immissionsschutz

LED

Leuchtdiode (engl. *light-emitting diode*)

LPH

Leistungsphase (HOAI)

LZA/LCA

Lebenszyklusanalyse

M1-UK1-WR2, M1-UK3-WR2, M4-UK5,WR2, usw.

Modulvarianten, siehe S.141 (Abb. 3-49)

MBDC

McDonough Braungart Design Chemistry

MBO

Musterbauordnung

NIK

Niedrigste interessierte Konzentration

PV

Photovoltaik

SBS

Sick-Building-Syndrom

SHGC

Solar Heat Gain Coefficient

TN

Technischer Nährstoffkreislauf

TrinkwV

Trinkwasserverordnung

TRNSYS

Transient System Simulation Tool

TS

Thermischer Speicher

TUM

Technische Universität München

UTA

University of Texas at Austin

VOC

Leicht flüchtige organische Substanzen (engl. *Volatile Organic Compound*)

WEI

Water Exploitation Index

wg

wandgebunden

6.3 Literatur- und Internetverzeichnis

1 Einleitung

- [1.1] United Nations, Environment Programme. *Buildings*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 09.06.2014 von: www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/9.0_Buildings.pdf
- [1.2] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.241*. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf

2 Grundlagenermittlung

2.1 Cradle to Cradle

- [2.1] EPEA. (o.J.). *Über Cradle to Cradle®*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://epea-hamburg.org/de/content/%C3%BCber-cradle-cradle%C2%AE>
- [2.2] TU Delft. (2016). *Projects: Leasing Facade, Horizon 2020*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://www.bk.tudelft.nl/en/about-faculty/departments/architectural-engineering-and-technology/organisation/design-of-construction/facade-research-group/projects/>
- [2.3] Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2014). *Get Cradle to Cradle Certified*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification>
- [2.4] S. R. Kellert, J. H. Heerwagen, und M. L. Mador, *Biophilic Design: The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [2.5] W. McDonough and Partners. (1992). *The Hannover Principles: Design for Sustainability*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://www.mcdonough.com/wp-content/uploads/2013/03/Hannover-Principles-1992.pdf>
- [2.6] EPEA. (o.J.). *Cradle to Cradle® for the built environment*. [Online]. Zuletzt abgerufen 27.09.2016 von: <http://epea-hamburg.org/en/books/cradle-cradle®-built-environment>
- [2.7] Technical University of Munich. (2016). *C2C The Registry: C2C Inspired Projects*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://www.c2c-buildings.org/c2c-projects/>
- [2.8] W. McDonough, und M. Braungart, *Intelligente Verschwendung: The Upcycle: Auf dem Weg in eine neue Überflusgesellschaft*. München: oekom Verlag, 2013, S. 183.
- [2.9] Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2013). *Cradle to Cradle Certified: Product Standard, Version 3.0*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: http://s3.amazonaws.com/c2c-website/resources/certification/standard/C2CCertified_Product_Standard_V3_Amended_Nov2015.pdf
- [2.10] natureplus. (o.J.). *Bauprodukte*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://www.natureplus-database.org/produkte.php>

- [2.11] Bundesanstalt für Materialforschung. (Hrsg.). (2007). *Bauprodukte: Schadstoffe und Gerüche bestimmen und vermeiden*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/PDF_weitere_leitfaeden/bauprodukte-schadstoffe-gerueche.pdf
- [2.12] Koninklijke Mosa. (2012). *Cradle-to-Cradle®-Fliesen von Mosa*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://www.mosa.nl/files/6313/8970/4737/Cradle-to-Cradle-Broschure-MosaTiles-DU.pdf>
- [2.13] Koninklijke Mosa. (2014). Sustainability Report 2014. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://www.mosa.com/en-gb/mosa/sustainability/sustainability-report-2014/responsible-production/something-hanging-air>
- [2.14] natureplus. (2011, Mai). *Vergaberichtlinie 0000: Basiskriterien*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: http://www.natureplus.de/fileadmin/user_upload/pdf/cert-criterias/RL00Basiskriterien.pdf
- [2.15] W. McDonough and Partners. (o.J.). *Flow House*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von <http://www.mcdonoughpartners.com/projects/flow-house/#big-image>
- [2.16] Make It Right Foundation. (o.J.). Our Homes in New Orleans. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://makeitright.org/see/new-orleans/>

2.2 Solar Decathlon

- [2.17] Austin Community Design & Development Center. (o.J.). *The Alley Flat Initiative*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://www.thealleyflatinitiative.org/>
- [2.18] Autor n.b. (o.J.) Fotos des nexushauses. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <https://www.flickr.com/photos/119810696@N06/>

3 Planungaparameter

3.1 Material

- [3.1] Jurion. (o.J.). *Musterbauordnung*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <https://www.jurion.de/Gesetze/MBO/3>
- [3.2] P. Bachmann und M. Lange, Mit Sicherheit gesund bauen, 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2012.
- [3.3] G. Zwiener und F.-M. Lange (Hrsg.), *Handbuch Gebäudeschadstoffe und gesunde Innenraumluft*. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co, 2011
- [3.4] Bundesministerium für Umwelt Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). (2014). *wecobis: Erkenntnisprozess zur Toxizität von Formaldehyd*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://www.wecobis.de/service/sonderthemen-info/formaldehyd-info/erkenntnisprozess-formaldehyd-info.html>
- [3.5] C. Boehme, Berichte aus der Holz- und Forstwirtschaft: *Über die Formaldehydabgabe von Holz und ihre Veränderung während technischer Prozesse der Holzwerkstoffherstellung*. Aachen: Shaker Verlag, 2000
- [3.6] World Health Organization. (2000). *WHO Regional Publications, European Series, No. 91. Air Quality*

- Guidlines for Europe*, Second Edition. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf
- [3.7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMUB). (2002, Juli). *Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/taluft.pdf, Zugriff am 06.09.2016
- [3.8] Landesamt für Immissionsschutz. (2015, Dez.). *Vollzugsempfehlung Formaldehyd*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 06.09.2016 von: http://www.lai-immissionsschutz.de/servlet/is/20172/2015-12-09_Vollzugsempfehlung_Formaldehyd%20mit%20Anh%C3%A4ngen.pdf?command=downloadContent&filename=2015-12-09_Vollzugsempfehlung_Formaldehyd%20mit%20Anh%E4ngen.pdf
- [3.9] Springer Berlin Heidelberg (Hrsg.), „Richtwerte für Formaldehyd in der Innenraumluft“, *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, vol. 59, SS. 1040-1044, August, 2016. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00103-016-2389-5>
- [3.10] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (Hrsg.), *Grenzwerteliste 2015 - Sicherheit und Arbeitsschutz am Arbeitsplatz, IFA Report4/2015*. Rheinbreitbach : Medienhaus Plump, 2015
- [3.11] RAL gGmbH (2011, April). *Der Blaue Engel: Vergabegrundlage für Umweltzeichen, Emissionsarme Holzwerkstoffplatten, RAL-UZ 76*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.eco-institut.de/fileadmin/contents/Nationale_Pruefzeichen/BlauerEngel/076-1104-d.pdf
- [3.12] M. Braungart (17. Juni 2013). *Leben im Überfluss mit Cradle to Cradle*. (Interview der Heinrich-Böll-Stiftung). [Videodatei]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <https://www.youtube.com/watch?v=Kg9O6AkbXxw>
- [3.13] Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2016). *Cradle to Cradle Certified™: Product Standard, Version 3.1*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://s3.amazonaws.com/c2c-website/resources/certification/standard/C2CCertified_ProductStandard_V3.1_160107_final.pdf
- [3.14] MBDC (Ed.). (2012). *Material Health Assessment Methodology: Cradle to Cradle Certified™ Product Standard, Version 3.0*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.c2ccertified.org/images/uploads/C2CCertified_Material_Health_Methodology_121112.pdf
- [3.15] Bau EPD (Hrsg.) (2014, Sept.). *EPD - Environmental Product Declaration: Gipsplatten (Rigips)*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.bau-epd.at/wp-content/uploads/2014/12/EPD_RIGIPSBauplatten_Ecoinvent_20140930.pdf
- [3.16] Arendt, M.: „Kreislaufwirtschaft im Baubereich: Steuerung zukünftiger Stoffströme am Beispiel von Gips“, *Wiss.Berichte FZKA 6572*, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 284 S., Karlsruhe 2001
- [3.17] Institut Bauen und Umwelt e.V. (Hrsg.). (2011, Dez.). *Umwelt-Produktdeklaration: Unkaschierte Glaswolle-Platten und -Filze*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.isover.de/Portaldaten/1/Resources/unternehmen/umwelt/nachhaltigkeit/ISOVER_Umweltproduktdeklaration_Glaswolle.pdf
- [3.18] K. Feireiss (Hrsg.), *Architecture in Times of Need: Make it Right - Rebuilding New Orleans' Lower Ninth Ward*

- Flow House*, 1. Auflage. München: Prestel Verlag, 2009
- [3.19] U.S. Department of Energy Solar Decathlon 2015. (2015, März) *nexushaus - Project Manual*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.solardecathlon.gov/2015/competition-team-texas-germany.html>
- [3.20] Mittelstandskreis Handels-GmbH. (o.J.) Mieten statt kaufen: Mietgeräte von Bosch und Siemens. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.mietenstattkaufen.info>
- [3.21] DRESO (o.J.). *Schüco Fassaden rezyklierbar konstruieren*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 20.11.2015 von: <http://www.dreso.com/de/metanavi/presse/presseinformationen/detail/aktuell/immobilien-als-wertvolle-rohstofflager-experten-des-ersten-cradle-to-cradle-forums-fordern-umdenken/>
- [3.22] EPEA Switzerland. (o.J.). Giroflex Bürostuhl. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: <https://epea.switzerland.com/giroflex/>
- [3.23] NL Agency - Ministry of Infrastructure and the Environment. (2011, Dez.). Usability of Life Cycle Assessment for Cradle to Cradle purposes: Position Paper. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Position_paper_Usability_of_LCA_for_C2C_purposes-.pdf
- [3.24] atmosfair.de (o.J.). Homepage. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <https://www.atmosfair.de/kompensieren/flug?departure=MUC&arrival=BSM>
- [3.25] E. Durmisevic, *Green design and assembly of buildings and systems: Design for Disassembly a key to Life Cycle Design of buildings and building products*. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller, 2010
- [3.26] S. Brand, *How buildings learn: What happens after they are built*. New York: Penguin Books, 1994
- [3.27] M. Eekhout, *Methodology for Product Development in Architecture*. Amsterdam: IOS Press, 2008
- [3.28] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (o.J.) *Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.nachhaltiges-bauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html>
- [3.29] D. Mulhall and M. Braungart (Hrsg.). (2010). *Cradle to Cradle: Criteria for the built environment*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.epeaparis.fr/FICHIERS/C2C-Inspired/C2C%20Criteria%20eBook.pdf>
- [3.30] Baufritz (o.J.). *Homepage: HOIZ®-Hobelspandämmung*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <https://www.baufritz.com/de/service-und-qualitaet/wertvolle-bauweise/>
- [3.31] Loughborough University. (o.J.) *Homepage: Adaptablefutures, Framecycle*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://adaptablefutures.com/toolkit/d11-framecycle/>
- [3.32] Autor n.b. (o.J.) *nexushaus: Wiederaufbau in Fort Davis*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <https://www.flickr.com/photos/utsoa/sets/72157666217853531/>
- [3.33] U.S. Green Building Council (Hrsg.). (o.J.) *LEED v4 for Homes Design and Construction*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://greenguard.org/uploads/images/LEEDv4forHomesandMidriseBallotVersion.pdf>

- [3.34] natureplus (2015, Juni). *Vergaberichtlinie 0203: OSB-Platten für das Bauwesen*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 27.09.2016 von: http://natureplus.org/fileadmin/user_upload/pdf/cert-criterias/RL0203.pdf
- [3.35] U.S. Department of Energy (o.J.). *U.S. Department of Energy Solar Decathlon 2015 Time-Lapse*. [Videodatei]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.solardecathlon.gov/2015/photos-time-lapse.html>

3.2 Wasser

- [3.36] Mosa. (o.J) *Sustainability report 2014* „Mosa water consumption in 2014“. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.mosa.com/en-gb/mosa/sustainability/sustainability-report-2014/responsible-production/doing-more-less>, Zugriff am 08.09.2016
- [3.37] Statistisches Amt der Landeshauptstadt München (Hrsg.). (2015). [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <https://www.muenchen.de/rathaus/dam/jcr:a0f662d6-8906-42af-abb6-fd0f079131b3/mb150301.pdf>.
- [3.38] U.S. climate data. (2016). *Climate Austin - Texas*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.usclimatedata.com/climate/austin/texas/united-states/ustx2742>
- [3.39] München:
Arbeitskreis KLIWA. (2008, März). *Langzeitverhalten von Sonnenscheindauer und Globalstrahlung sowie von Verdunstung und Klimatischer Wasserbilanz in Baden-Württemberg und Bayern*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.kliwa.de/download/KLIWAHeft12.pdf>
Los Angeles:
City of Los Angeles. (2011, April). *City of Los Angeles Irrigation Guidelines*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.water.ca.gov/wateruseefficiency/landscapeordinance/Model-Water-Efficient-Landscape-Ordinance/Local-Ordinances/Los_Angeles_Irrigation_Guidelines_Complete_Package.pdf
Austin:
Texas A&M AgriLife Extension. (2016). *Historic ET Reference „Austin“*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://texaset.tamu.edu>
- [3.40] Bundesverband deutscher Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2016, Mai). *Trinkwasserverwendung im Haushalte 2015*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/3852C5217E9FD4E1C125786C004274E7/\\$file/Trinkwasserverwendung%20im%20HH%202015-Anteile_Mk_o_online_20160824.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/3852C5217E9FD4E1C125786C004274E7/$file/Trinkwasserverwendung%20im%20HH%202015-Anteile_Mk_o_online_20160824.pdf)
- [3.41] M.M. Mekonnen and A.Y. Hoekstra. (2011, Mai). *National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption - Volume 1: Main Report*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report50-NationalWaterFootprints-Vol1.pdf>
- [3.42] M.A. Maupin, J.F. Kenny, S.S. Hutson, J.K. Lovelace, N.L. Barber, und K.S. Linsey. (2014). *2014, Estimated use of water in the United States in 2010*: U.S. Geological Survey Circular 1405, 56 p. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://pubs.usgs.gov/circ/1405/>
- [3.43] Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2016). *Trinkwasserverbrauch*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016

- von: http://www.lfu.bayern.de/wasser/trinkwasserversorgung_oeffentlich/trinkwasserverbrauch/index.htm
- [3.44] Süddeutsche Zeitung. (2015, August). *Dürre in Kalifornien - Plastikbälle gegen Verdunstung*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.sueddeutsche.de/panorama/duerre-in-kalifornien-kugelbad-gegen-den-wassernotstand-1.2607100-3>
- [3.45] California Environmental Protection Agency. (2016) State Water Resource Control Board. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.waterboards.ca.gov>
- [3.46] Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2016). *Cradle to Cradle Certified™: Product Standard, Version 3.1*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://s3.amazonaws.com/c2c-website/resources/certification/standard/C2CCertified_ProductStandard_V3.1_160107_final.pdf
- [3.47] statista. (2016). *Wassernutzung - Entnommene Menge nach Sektoren in Deutschland 2010*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/12358/umfrage/wasserressourcen-in-deutschland-nach-nutzung/>
- [3.48] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.). (2016). Prozess-Datensatz: Oriented Strand Board (Durchschnitt DE). [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.oeko-baudat.de/datenbank/browser-oekobaudat/daten/3.2.04/Holz/Holzwerkstoffe/OSB-Platte.html>
- [3.49] Portal München Betriebs GmbH & Co. KG. (2016). *Bericht zur Versiegelungskartierung 2011*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Gesundheit-und-Umwelt/Wasser_und_Boden/Versiegelung.html
- [3.50] W. Ansel, J. Zeidler, Dr., und T. Esch (DDV). (2015, November). Fernerkundliche Identifizierung von Vegetationsflächen auf Dächern zur Entwicklung des für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbaren Flächenpotenzials in den Städten. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-30299.pdf>
- [3.51] The National Drought Mitigation Center. (2016). *United States Drought Monitor*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://droughtmonitor.unl.edu>
- [3.52] D. Glücklich. (Hrsg.), *Ökologisches Bauen - Von Grundlagen zu Gesamtkonzepten*, München: Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, 2005
- [3.53] RAL gGmbH. (2013, Februar). *Der Blaue Engel: Vergabegrundlage für Umweltzeichen, Sanitärarmaturen, RAL-UZ 180*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/haushalt-wohnen/sanitaerarmaturen>
- [3.54] European Commission. (2016). *The EU Ecolabel for Flushing toilets and urinals*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/Flushing%20Toilet%20Factsheet%20Template.pdf>
- [3.55] B.D. Inskeep und S.Z. Attari. (2014, August). *The Water Short List: Most Effective Action U.S. Households Can Take to Curb Water Use*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: file:///Volumes/sisas%20Passport%20for%20Mac/P18_ZukunftBau_Solar%20Decathlon_C2C/5_Berichte/Abschlussbericht/3%20

- Planungsparameter/3.2%20Wasser/wasserverbrauch%20usa_Environment%20Magazine%20-%20July-August%202014.webarchive
- [3.56] T. Jacob. (o.J.). Gartengröße für vegetarische Ernährung - Selbstversorgergarten. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.derkleingarten.de/nutzgarten-kleingarten/selbstversorgung/selbstversorgergarten-groesse-2.html>
- [3.57] Bayerisches Landesamt für Umwelt. (Hrsg.). (2013, Juli). *Verfahren der biologischen Abwasserreinigung*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: https://www.lfu.bayern.de/wasser/abwasser_kommunale_anlagen/biologische_behandlung/doc/verfahren_biologische_abwasserreinigung.pdf
- [3.58] F. Hartmann. (2016, Juli). Grauwassernutzung im Wohnungsbau. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.sbz-online.de/SBZ-2016-7/Grauwassernutzung-im-Wohnungsbau,QUIEPTcwNzc1MCZNSUQ9MTAxOTAy.html?UID=77CA81D7DFEA8995B85238C3F6E88E81E35B6F39F99329>
- [3.59] O. Ringelstein. (2015). *Trinkwasser aus Regenwasser erzeugen und Wärme rückgewinnen*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.tga-praxis.de/fachartikel/trinkwasser-aus-regenwasser-erzeugen-und-waerme-rueckgewinnen>
- [3.60] Aqua2use®. (2010). *Greywater Diverter - Grey Water Recycling*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.aqua2use.com/products/gwdd.html>
- [3.61] VIQUA™. (2016). *Integrated UV Water Treatment System*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://viqua.com/product/ihs22-d4/?sf_action=get_results&_sft_product-tags=home,home-plus
- [3.62] N. Thamling, Dr. M. Pehnt, und Dr. J. Kirchner. (2015, Dezember). *Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energieeffizienzstrategie-hintergrundinformation-gebäude,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- [3.63] Joulia®-Inline. (2016, Juli). *Duschen mit Wärmerückgewinnung*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://joulia.com/wp-content/uploads/2016/07/Joulia_TECHNIK_Juli2016_DE_vers07_unicode.pdf
- [3.64] F. Well. (2017, März). *Aquaponik als gebäudeintegrierte Nahrungsmittelproduktion*. (Nicht veröffentlichte Masterarbeit). Technische Universität München, Deutschland
- [3.65] ZINEG. (o.J.). *Zukunftsinitiative Niedrigenergiegewächshaus*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://zineg.net/index.html>
- [3.65 a] Institute für Stadt- und Regionalplanung, Fachgebiet Städtebau und Siedlungswesen. (o.J.). *Roof Water Farm*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.roofwaterfarm.com/ueber/>
- [3.66] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. (2016). *Gewichtung der Kriterien: Neubau Wohngebäude, Version 2015*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.dgnb-system.de/fileadmin/de/dgnb_system/Nutzungsprofile/Kriterienuebersicht/Kriterienbersicht_NWO15_150511_geschtzt.pdf
- [3.67] U.S. Green Building Council (Hrsg.). (o.J.). *LEEDv4 Homes Design and Construction*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://greenguard.org/uploads/images/LEEDv4forHomesandMidriseBallot>

Version.pdf

- [3.68] United Nations Environmental Programme. (Hrsg.). (2015). *Economic valuation of wastewater - The cost of action and the cost of no action*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Mail.pdf>
- [3.69] European Environment Agency (Hrsg.).(o.J.) *Indicator Fact Sheet: Water exploitation index*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-exploitation-index/water-exploitation-index>

3.3 Energie

- [3.70] W. McDonough and Partners. (1992). *The Hannover Principles: Design for Sustainability*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.mcdonough.com/wp-content/uploads/2013/03/Hannover-Prinipiges-1992.pdf>
- [3.71] KOS Wulff Immobilien GmbH. (2012). *BIQ Das Algenhaus*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.biq-wilhelmsburg.de/die-fassade/biologie.html>
- [3.72] pv-magazin. (2014) *Photovoltaik-Förderung weltweit*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.pv-magazine.de/marktuebersichten/photovoltaik-foerderung-weltweit/foerderung-in-10-verschiedenen-laendern/>
- [3.73] City of Austin. (o.J.). *International Energy Conservation Code*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.austintexas.gov/sites/default/files/files/Development_Services/Inspections/2015_IECC_Final_Ordinance.pdf
- [3.74] U.S. Green Building Council (Hrsg.). (o.J.). *LEEDv4 Homes Design and Construction*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://greenguard.org/upload/images/LEEDv4forHomesandMidriseBallotVersion.pdf>
- [3.75] Residential Energy Services Network (RESNET). (2016). *Home Energy Rating: Home Energy Rating System (HERS) Index*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.resnet.us/energy-rating>
- [3.76] C.R. Upshaw, J.D. Rhodes, und M.E. Webber. (2015, April). *Modeling peak load reduction and energy consumption enabled by an integrated thermal energy and water storage system for residential air conditioning system in Austin, Texas*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.researchgate.net/publication/274838944_Modeling_peak_load_reduction_and_water_storage_system_for_residential_air_conditioning_system_in_Austin_Texas
- [3.77] M. Plata Gröber. (2016, September). *Auslegung der Photovoltaikanlage des Wettbewerb Beitrages „nexus-haus“ zum Solar Decathlon 2015*. (Nicht veröffentlichte Masterarbeit). Technische Universität München, Deutschland.
- [3.77 a] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.). *Wege zum Effizienzhaus Plus*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/effizienzhaus_plus_broschuere_bf.pdf

- [3.78] P. Wissel. (2016, September). *Thermische Gebäudesimulation des Wettbewerbsbeitrages „nexushaus“ zum Solar Decathlon 2015*. (Nicht veröffentlichte Masterarbeit). Technische Universität München, Deutschland.
- [3.79] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. (Hrsg.). (o.J.). *Hausakte*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/KostenguenstigQualitaetsbewusstBauen/Downloads/Hausakte.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- [3.80] W. McDonough and M. Braungart. *Intelligente Verschwendung: The Upcycle: Auf dem Weg in eine neue Überflusgesellschaft*. München: oekom Verlag, 2013

3.4 Diversität

- [3.81] Cradle to Cradle®. (2010). Criteria for the built environment. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://epea-hamburg.org/en/books/cradle-cradle@-built-environment>
- [3.82] N. Pfoser, N. Jenner, J. Henrich, J. Heusinger, und S. Weber. (2013, August). Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.irbnet.de/daten/rswb/13109006683.pdf>
- [3.83] Bundesbaublatt. (2016). Gründach und Solar - Energetisch sinnvolle Ergänzung. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_2010-03_Gruendach_und_Solar_Energetisch_sinnvolle_Ergaenzung_851390.html
- [3.84] M. Köhler (Hrsg.). *Handbuch Bauwerksbegrünung*. Köln: Rudolf Müller, 2012
- [3.85] Landesbund für Vogelschutz in Bayern e.V. (2011, August). LBV Info - Fledermäuse. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.lbv.de/ratgeber/tipps-fuer-haus-und-garten/fledermaus.html?gclid=CLPT-Pbsss8CFcUy0wodjI4leQ>
- [3.86] Landesverbund für Vogelschutz in Bayern e.V. und NABU-Bundesverband. (2010). Glasflächen und Vogelschutz. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.lbv.de/fileadmin/www.lbv.de/Ratgeber/Haus_und_Garten/Vogel_am_Haus/LBV_Vogelschlagbroschüre_wwwversion.pdf
- [3.87] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. (2011, Juli). Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.lwf.bayern.de/service/publikationen/lwf_merkblatt/022680/index.php
- [3.88] S. Herfort, S. Tschuikowa, A. Ibanez. (2012). CO₂-Bindungsvermögen der für die Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.iasp.asp-berlin.de/bilder/co2-2012.pdf>
- [3.89] Helix Pflanzensysteme. (2016). Grüne Sofortlösungen für den Urbanen Raum. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://helix-pflanzensysteme.de/media/block_downloads/569/gruene-sofortloesungen-2016-auflage-3.pdf
- [3.90] A. Padilla, L. Jones. (2014, Oktober). One tree at a time. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <https://nexushaus.wordpress.com/2014/10/13/one-tree-at-a-time/>

- [3.91] Umweltbundesamt (Hrsg.). (2015, November). Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_06_2016_klimaneutraler_gebaeudebestand_2050.pdf
- [3.92] Gesetzesbeschluss des Deutschen Bundestages. (2016, Juli) Gesetz zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien „EEG 2017“. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2016/0301-0400/355-16.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- [3.93] Umweltbundesamt. (2016). *Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme (ProBas) „Strom-Bonus-el-mix-DE-2030“*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id={98E01637-257E-468C-A204-ACDD9DC304DC}>
- [3.94] Der Blauer Engel. (2013, Februar). *Geschirrspülmaschinen für den Hausgebrauch „RAL-UZ 152“*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/elektrogeraete/geschirrspueler>
- [3.95] S. R. Kellert, J. Heerwagen, und M. Mador. *Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life*. John Wiley & Sons, 2008
- [3.96] KT Innovations. (2016). tally®. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.choosetally.com/>
- [3.97] P. Schneider, M. Heissler, A. Krestiniti, P. Liedl. (2015). *Integrated Life Cycle Analysis „Materials“* (Nicht veröffentlichte Semesterarbeit). Technische Universität München, Deutschland.
- [3.98] J. Park, L. Sgubbi. (2015). *NexSmart Home* (Nicht veröffentlichte Semesterarbeit). Technische Universität München, Deutschland

4 Planungsprozess

- [4.1] D. Mulhall and M. Braungart (Hrsg.) Cradle to Cradle: Criteria for the built environment. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.epeaparis.fr/FICHIERS/C“C-Inspired/C2C%20Criteria%20eBook.pdf>
- [4.2] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2016). *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure* „§ 34 Leistungsbild Gebäude und Innenräume“. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: https://www.gesetze-im-internet.de/hoai_2013/anlage_10.html
- [4.3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). (2016, Februar). *Leitfaden Nachhaltiges Bauen - Zukünftiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nachhaltiges_bauen_leitfaden_broschuere_bf.pdf
- [4.4] BAMB 2020. (2016). *Buildings as Material Banks*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.bamb2020.eu>
- [4.5] KT Innovations. (2016). tally®. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.choosetally.com>

- [4.6] Transsolar Energietechnik GmbH (o.J.). TRNSYS - Das universelle Werkzeug für Klimaengineering. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: http://www.trnsys.de/docs/trnsys/trnsys_uebersicht_de.htm
- [4.7] Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH. (2013, Berlin). *PV*Sol Expert Version 6.0 - Auslegung und Simulation von Photovoltaikanlagen*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.valentin-software.com/sites/default/files/downloads/handbuecher/de/manual-pvsol-de.pdf>

5 Leitfaden

- [5.1] W. McDonough and Partners. (1992). The Hannover Principles: Design for Sustainability. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.mcdonough.com/wp-content/uploads/2013/03/Hannover-Prinipiges-1992.pdf>
- [5.2] U.S. Green Building Council (Hrsg.). (o.J.). LEEDv4 for Homes Design and Construction. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://greenguard.org/uploads/images/LEEDv4forHomesandMidriseBallotVersion.pdf>
- [5.3] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2016). *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure* „§ 34 Leistungsbild Gebäude und Innenräume“. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: https://www.gesetze-im-internet.de/hoai_2013/anlage_10.html
- [5.4] Kaufmann Bausysteme. BMW-Hotel Alpenhof. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.kaufmannbausysteme.at/de/BMW-Hotel-Alpenhof-Ammerwald/>
- [5.5] HHS Planer + Architekten AG. *Aktiv-Stadthaus in Frankfurt*. [Online]. Zuletzt abgerufen am 28.09.2016 von: <http://www.hhs.ag/projekte.html?projekt=aktiv-stadthaus-frankfurt&typologie=>

6.4 Abbildungsverzeichnis

Projektbeteiligte Solar Decathlon 2015

Abb. 1-0 Gruppenfoto der teilnehmenden Studierenden (© E. Robert Pallo)..... 9

1 Einleitung

Abb. 1-1 Anwendung der C2C-Prinzipien bei der Erstellung des Wettbewerbsgebäudes „nexushaus“ (Eigene Darstellung) 14

2 Grundlagenermittlung

2.1 Cradle to Cradle

Abb. 2-1 Technischer und biologischer Stoffkreislauf..... 19

Abb. 2-2 Auszug Literatur „Use Current Solar Income“ [2.5,2.6]..... 23

Abb. 2-3 Gleichung zur Bewertung des Recyclinganteiles der Bodenfliese von Mosa.Tiles. [2.9]..... 25

Abb. 2-4 C2C-Bewertungskategorien der Produktzertifizierung am Bsp. der Floor Tiles des Unternehmens Mosa.Tiles. 26

Abb. 2-5 Vergleich der C2C Produktzertifizierung mit dem natureplus-Qualitätszeichen und mögliche Verknüpfungen der Inhalte. Auszug aus der EU-Bauprodukteverordnung auf welche im Text verwiesen wird.... 28

Abb. 2-6 Links: Flow Haus Konzept von William McDonough + Partners [2.15]; Rechts: Gebaute Häuser des Lower 9th Viertels. [2.16] 29

Abb. 2-7 Außenansichten des Netherlands Institute of Ecology (NIOO)..... 30

2.2 Solar Decathlon

Abb. 2-8 Konzeptidee Density des Solar Decathlon Beitrages „nexushaus“. Flexible Anordnung der Wohnmodule und des Terrassenfreibereiches. (Eigene Darstellung)..... 35

Abb. 2-9 Konzeptideen „nexushaus“ zum Solar Decathlon Wettbewerb. Einordnung C2C Planungskriterien. (Eigene Darstellung)..... 37

Abb. 2-10 Ablaufplan des Solar Decathlon Wettbewerbes 2015 38

Abb. 2-11 Perspektive und Schnitt nexushaus..... 40

Abb. 2-12 Grundriss des nexushauses mit dem Tagmodul im Westen und dem Nachtmodul nach Osten orientiert; Links oben: Isometrie des nexushauses, links unten: Schnitt 41

Abb. 2-13 1 Ankunft der Wohnmodule in Irvine; 2 Aufmaß des Wettbewerbgeländes; 3 Übersicht Wettbewerbsgelände (Parkfläche) [2.18] 43

Abb. 2-14 Erstellung des Gebäudes in Austin. 4 Stahlchassis für den Gebäudetransport; 5 Herstellung Terrassenunterkonstruktion; 6 Herstellung Fassadenelemente; 7 Fußbodenbelag Wohnmodule; 8 Holzrah-

Anhang

menkonstruktion Nachtmodul [2.18]	44
Abb. 2-15 Die Bilder zeigen den Gebäudeaufbau in Irvine. 9 Montage Stahlträger; 10 Lamellenfassade; 11 Unterkonstruktion Terrassenbereich; 12 Montage in der Dämmerung [2.18]	45
Abb. 2-16 Flyer mit Vorder- (oben) und Rückseite (unten)	46
Abb. 2-17 Finale Platzierung mit Gesamtpunktzahl sowie Darstellung der einzelnen Bewertungskategorien	47
Abb. 2-18 Außen- und Innenaufnahmen des fertiggestellten nexushauses zum Solar Decathlon Wettbewerb 2015; 1 Terrassenfreibereich mit Blick in den Transferraum Nexus; 2 Blick in die Küche; 3 Studio mit Schlafgelegenheit	50
Abb. 2-19 4 Blick von Süd-West mit dem thermischen Regenwasserspeicher und der Technikbox im Vorder- grund; 5 Innenraum des Tagmoduls mit geöffneten Faltschiebefenstern	51

3 Planungsparameter

3.1 Material

Abb. 3-1 Umrechnungsfaktoren für Formaldehyd.....	55
Abb. 3-2 Richt- und Grenzwerte für den Formaldehydgehalt in Bauprodukten und der Innenraumluft.....	56
Abb. 3-3 Bewertungsschema zu Inhaltsstoffen in der C2C-Produktezertifizierung „Material Health“ [3.14] (Eigene Darstellung).....	57
Abb. 3-4 ABC-X Rating System der C2C Produktezertifizierung [3.14] (Eigene Darstellung, ins Deutsche übersetzt) ...	59
Abb. 3-5 Konstruktionsbeschreibung nach MasterFormat 2014 Edition.....	60
Abb. 3-6 Materialliste des nexushauses sowie Auswertung der Umweltindikatoren für die Materialentsorgung (EoL) ..	62
Abb. 3-7 Zuordnung der verwendeten Materialien des nexushauses einem technischen oder biologischen Stoffkreislauf, Deklaration als Serviceprodukt (siehe auch www.phormin.com)	65
Abb. 3-8 Beispiel des Produktrecyclings am giroflex Bürostuhl [3.22]	67
Abb. 3-9 Umweltindikatoren	69
Abb. 3-10 Fertigstellung: nexushaus.....	71
Abb. 3-11 Aufbausequenz 1: Anlieferung der Wohnmodule und Gründung.....	72
Abb. 3-12 Unterteilung Modulkonstruktion und Betrachtung der Umwelteinwirkungen durch GWP und PE n. ern.....	73
Abb. 3-13 Materialvergleich Stahl- vs. Holzträger.....	74
Abb. 3-14 Aufbausequenz 2: Montage Haupt- und Nebenträger des Terrassenbelages; Setzen der Stahlstüt- zen und -träger des Sonnenschutzes; Anbringen der Absturzsicherung.....	75
Abb. 3-15 Aufbausequenz 3: Verlegen des Terrassenbelages und Herstellung der Festeinbauten im Innenbereich.....	76
Abb. 3-16 Holzkonstruktion: Betrachtung des Holzgerüsts und den möglichen Umweltauswirkungen	77
Abb. 3-17 Materialvergleich Zellulose- vs. PUR-Dämmung.....	78
Abb. 3-18 Anteil nicht erneuerbarer Primärenergie.....	79
Abb. 3-19 Kostenentwicklung durch selektiven Rückbau [3.25].....	80

Abb. 3-20 Von rechts nach links: „Hierarchy of building products“ [3.27], „Shearing layers of change“ [3.26] und Fassadenschnitt des nexushauses mit den Nutzungsdauern laut BNB [3.28]. (Eigene Darstellung)	81
Abb. 3-21 Einflussfaktoren bei der Qualität der Gebäudetransformierung. Angelehnt an die Darstellungen von Elma Durmisevic [3.25].....	84
Abb. 3-22 Montagearten nach Durmisevic. (Eigene Darstellung)	86
Abb. 3-23 Aufbauschnitte der Außenwand des nexushauses	87
Abb. 3-24 Aufbauschnitte Terrassenfreibereich des nexushauses während des Wettbewerbes	89
Abb. 3-25 Wiederaufbau des nexushauses in Fort Davis, Texas [3.32].....	91

3.2 Wasser

Abb. 3-26 Niederschlagsmengen [3.37] [3.38] und Verdunstung (Evapotranspiration) [3.39] der Standorte München, Irvine und Austin.....	105
Abb. 3-27 Wasserfußabdruck des nexushauses auf Datengrundlage der Ökobau.dat 2016-I	106
Abb. 3-28 Gegenüberstellung der Regenwasserspeicherkapazität an den ausgewählten Standorten.	108
Abb. 3-29 Trockenheit in Kalifornien und Texas [3.51].....	110
Abb. 3-30 Grauwasseranfall und mögliche Grünflächenbewässerung.....	111
Abb. 3-31 Gegenüberstellung Grauwasseranfall und -bedarf für eine Gartenfläche von 40 m ²	112
Abb. 3-32 Skizze zum Aquaponik-Konzept des nexushauses	115
Abb. 3-33 Übersicht Wasserthemen bei der Gebäudezertifizierung. Am Beispiel des DGNB- und LEED-Systems.....	116
Abb. 3-34 Übersicht der Handlungsmöglichkeiten von häuslichen Wasserkreisläufen.....	117

3.3 Energie

Abb. 3-35 Übersichtskarte der drei Standorte	123
Abb. 3-36 Psychrometric Charts.....	125
Abb. 3-37 Vergleich der Hauptwindrichtungen	126
Abb. 3-38 oben: Gegenüberstellung der standortbedingten Anforderungen an die Gebäudehülle; unten: Ergebnis aus der EnEV-Bewertung	128
Abb. 3-39 Schaufenster Technikbox (Warmwasseraufbereitung)	130
Abb. 3-40 Messung Warmwasser	131
Abb. 3-41 Monitoring Innenraumtemperatur und -feuchte	132
Abb. 3-42 Wettbewerbsmonitoring: Tag 1 [3.77] (Eigene Darstellung).....	133
Abb. 3-43 Wettbewerbsmonitoring: Tag 2 (oben) und Tag 3 (unten) [3.77] (Eigene Darstellung).....	134
Abb. 3-44 Wettbewerbsmonitoring: Tag 4 (oben) und Tag 5 (unten) [3.77] (Eigene Darstellung).....	135
Abb. 3-45 Wettbewerbsmonitoring: Tag 6 (oben) und Tag 7 (unten) [3.77] (Eigene Darstellung).....	136
Abb. 3-46 Wettbewerbsmonitoring: Tag 8 (oben) und Tag 9 (unten) [3.77] (Eigene Darstellung).....	137

Abb. 3-47 Rechts: Sonneneinstrahlung (horizontal) für Austin, Irvine und München.....	139
Abb. 3-48 Gegenüberstellung Einfluss Stromverbraucher während des Wettbewerbs [3.77] (Eigene Darstellung).....	140
Abb. 3-49 Nutzerprofile und der erforderliche Strombedarf ohne Berücksichtigung der Gebäudeklimatisierung und den erford. Strombedarf für Kühlen bzw. Heizen [3.77] (Eigene Darstellung)	141
Abb. 3-50 Anlagenautarkiegrad für das Nutzerprofil „2-Personen-Haushalt, berufstätig (Vollzeit)“ (Eigene Darstellung)	142
Abb. 3-51 Untersuchung verschiedener Batteriespeicher zur Erhöhung des Autarkiegrades [3.77] (Eigene Darstellung)	143
Abb. 3-52 Heiz- und Kühllast des Ist-Zustandes, jeweils für die drei Standorte Austin, Irvine und München. Oben: Tag-Modul; unten: Nacht-Modul; Die Kühllast ist hier positiv, die Heizlast negativ dargestellt. (Eigene Darstellung).....	145
Abb. 3-53 Gegenüberstellung von Heiz- und Kühlbedarf der drei Standorte bei veränderten Parametern und gedrehter Gebäudeausrichtung (Ost-West-Ausrichtung); (Eigene Darstellung).....	146
Abb. 3-54 Regelungsvarianten als Grundlage für die Gebäudesimulation des nexushauses [3.78] (Eigene Darstellung)	147
Abb. 3-55 Gegenüberstellung der Optimierungsvarianten zum Einsatz der Gebäudetemperierung mit dem thermischen Regenwasserspeicher [3.78] (Eigene Darstellung)	148
Abb. 3-56 Temperaturanstieg des Wassers im Speichertank sowie Darstellung der Aktivierungszeit des Spei- chertankes zur Gebäudetemperierung [3.78] (Eigene Darstellung).....	149
Abb. 3-57 Passiv- und Aktivmaßnahmen bei der Gebäudeklimatisierung.....	151
 3.4 Diversität	
Abb. 3-58 Lageplanausschnitt Austin (ohne Massstab) Grundrissvarianten entsprechend Bewohneranzahl.....	157
Abb. 3-59 Kommunikationsflächen des nexushauses	158
Abb. 3-60 CO ₂ -Kompensation durch die Pflanzung von 1.300 Bäumen [3.90]	161
Abb. 3-61 CO ₂ -Ausgleich durch Gebäudebegrünung und Aufforstung.....	161
Abb. 3-62 Amortisationszeit des Treibhausgaspotential aus der Herstellung (A1-A3) und Beseitigung (C4) der PV-Module unter Berücksichtigung des Autarkiegrades.	163
Abb. 3-63 Lärminderung durch Gebäudebegrünung [3.82] (Eigene Darstellung).....	164
Abb. 3-64 Rückgang von Symptomen des SBS [3.95], (Eigene Darstellung)	165
Abb. 3-65 Gegenüberstellung von Umwelteinflüssen, bedingt durch die Materialwahl [3.97]	166
Abb. 3-66 Grafische Oberfläche des Smart-Home-Monitors [3.98]	167

4 Planungsprozess

Abb. 4-1 Beispiel Planungsziel „Autarke Wasserversorgung“ 172
Abb. 4-2 Leistungsbild der HOAI 173

5 Leitfaden

Abb. 5-1 Leitfaden: Bedarfs- und Standortanalyse 183
Abb. 5-2 Planungsparameter „Waste equals Food“ 185
Abb. 5-3 Planungsparameter „Use Current Solar Income“ 187
Abb. 5-4 Planungsparameter „Celebrate Diversity“ 189
Abb. 5-5 Aktiv-Stadthaus in Frankfurt: Photovoltaikmodule an Dach und Fassade. [5.5]..... 191

