

ENERGIEWENDE UND DIGITALE TRANSFORMATION

**Grundlagen
Fallbeispiele
Strategien**

Dirk E. Hebel, Felix Heisel
mit Andreas Wagner, Moritz Dörstelmann

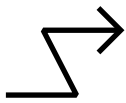


Besser

- 7 Vorwort**
- 10 Nachhaltigkeit – Strategien der Umsetzung**
Einleitung von Dirk E. Hebel und Felix Heisel
- 20 Die Energiewende im Kontext der Nachhaltigkeit**
Einleitung von Andreas Wagner
- 24 Digitale Transformation – Ein technik-optimistischer Ausblick**
Einleitung von Moritz Dörstelmann
- 28 Besser – Effizienz als Grundlage für das Gelingen der Energiewende**
Einleitung zur Energiewende von Andreas Wagner
- 30 Die Wucht der Wärmewende**
Wärmeschutz, erneuerbare Energien und soziale Gerechtigkeit zusammenbringen
Kommentar von Martin Peht
- 32 Wärmepumpen – Die Lösung für die Wärmewende?**
Beitrag von Sebastian Herkel und Peter Schossig
- 36 Beurteilung und Verbesserung der Hitzeresilienz von Wohngebäuden**
Eine Anpassungsstrategie für Fresno, Kalifornien, unter Anwendung von CityBES
Fallstudie von Tianzhen Hong, Max Wei und Kaiyu Sun
- 46 Besser – Digitale Strategien für die Wiederverwendung von Baustoffen**
Einleitung zur digitalen Transformation von Moritz Dörstelmann und Vincent Witt
- 49 Kollaboratives digitales Bauen**
Kommentar von Kathrin Dörfler
- 50 Parametrische Design-to-Fabrication-Plattformen für die skalierbare industrielle Fertigung**
Konvergenz von Technologien im Massivholzbau
Beitrag von Oliver David Krieg, Kristin Slavin und Oliver Lang

Weniger

- 58 Weniger – Rückbesinnung auf das Potenzial der Architektur**
Einleitung zur Energiewende von Andreas Wagner
- 60 Nachhaltige Architektur in der Effizienzfalle?**
Kommentar von Thomas Auer
- 62 Kontrollierte natürliche Lüftungssysteme für den Nichtwohnungsbau**
Fallstudie von Matthias Rudolph
- 70 Den Genius des Einfachen zelebrieren**
Das Konzept 2226 von Baumschlagler Eberle Architekten
Beitrag von Benjamin Weber und Andreas Wagner
- 75 Weniger – Digital maßgeschneidertes Bauen**
Einleitung zur digitalen Transformation von Moritz Dörstelmann
- 77 Mehr bauen mit weniger Material**
Integriertes computerbasiertes Planen und Bauen
Kommentar von Jan Knippers und Achim Menges



Anders

80 Anders – Systemgrenzen für die Energiewende neu denken

Einleitung zur Energiewende von Andreas Wagner

82 Treibhausgasemissionen als geeignete Ziel-, Planungs- und Bewertungsgröße

Kommentar von Thomas Lützkendorf und Alexander Passer

84 Nutzerzentrierte Gebäuderegulung

Die Rolle der Nutzer im Gebäudebetrieb
Beitrag von Matthias Berning

90 Klimaquartier Neue Weststadt, Esslingen

Konzept P2G&H – Grüner Wasserstoff mit Abwärmenutzung
Fallstudie von M. Norbert Fisch

100 Hochleistungsfähige Super-Cool Materials zur Eindämmung der urbanen Überhitzung

Beitrag von Mattheos Santamouris und Konstantina Vasilakopoulou

106 Anders – Innovation braucht Beschleunigung

Einleitung zur digitalen Transformation von Moritz Dörstelmann und Erik Zanetti

109 Eine andere architektonische Praxis

Zirkuläres Entwerfen, Fertigen und Leben mit biogenen und wiedergewonnenen Materialien
Kommentar von Martin Tamke und Mette Ramsgaard Thomsen

110 Digitales Handwerk und kreislaufgerechtes Bauen

Beitrag von Daniel Fischer, Erik Zanetti und Moritz Dörstelmann

116 Wiederverwendungspotenziale von Stahlprofilen für hybride Geschossbauweisen

Beitrag von Hilke Manot und Julian Lienhard

124 Gestalten mit dem Gegebenen

Beitrag von Oliver Tessmann, Max Benjamin Eschenbach, Christoph Kuhn und Anne-Kristin Wagner

132 Architektur der großen Zahl

Beitrag von Gilles Retsin

Besser + Weniger + Anders

142 Noch einmal: Kreislaufgerechtes Bauen

Das Projekt RoofKIT im Solar Decathlon Europe 21/22 als Beispiel einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung
Fallstudie von Elena Boerman, Dirk E. Hebel, Felix Heisel und Andreas Wagner

158 Dank

158 Über die Autoren

162 Abbildungsnachweis

163 Personenregister

164 Register der Firmen, Institutionen und Initiativen

165 Register der Projekte, Produkte und Publikationen

167 Impressum

KLIMA- QUARTIER NEUE WESTSTADT, ESSLINGEN

Konzept P2G&H – Grüner Wasserstoff mit Abwärmenutzung

Fallstudie von
M. Norbert Fisch

Grüner Wasserstoff ist ein Schlüsselement zum Erreichen der klimapolitischen Zielsetzung der Treibhausgasneutralität und der Dekarbonisierung aller Verbrauchssektoren. Im Reallabor „Klimaquartier Neue Weststadt“ wurde der Konzeptansatz P2G&H (Power to Gas and Heat) realisiert. Mit diesem Konzept wird grüner Wasserstoff verbrauchernah im urbanen Kontext produziert und die anfallende Abwärme genutzt. Das Konzept wurde entwickelt, geplant sowie wissenschaftlich begleitet – in der Umsetzung bis in die Betriebsphase – vom Steinbeis Innovationszentrum (SIZ) energieplus.

Die Ziele der Energiewende in Deutschland, formuliert durch das damalige Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Jahr 2010,¹ sowie der ambitionierte Reduktionspfad der Treibhausgasemissionen (THG) im Klimaschutzprogramm des Bundes² und auch des Green Deals der EU³ erfordern einen beschleunigten Ausbau der PV- und Windenergieanlagen. Die benötigte Kraftwerksleistung aus erneuerbaren Energien (EE) wird gegenüber dem heutigen Stand (ca. 110 GW in Deutschland) bis 2050 um mindestens das 5-Fache (> 500 GW) wachsen müssen (Abb. 1).

Damit werden auch die nicht nutzbaren Stromüberschüsse aus dem fluktuierenden Angebot der erneuerbaren Energiequellen erheblich zunehmen. Diese sollten bei Überkapazitäten nicht wie derzeit abgeregelt werden, sondern in den chemischen Energieträger Wasserstoff gewandelt werden (Power to Gas, P2G). Grüner Wasserstoff ist daher eines der Schlüsselemente der Energiewende. Er kann den Kohlenstoff in vielen chemischen Prozessen ersetzen, außerdem kann er wie Erdgas verlustfrei über längere Zeiten gespeichert und, nicht nur für die befürchteten „Dunkelflauten“, durch Rückverstromung (Brennstoffzellen-BHKW, Gasturbinenkraftwerke) genutzt werden.

Wissenschaftliche Studien bestätigen die zentrale Rolle des Wasserstoffs auf dem Weg zu einem klimaneutralen Energieversorgungssystem. In den nächsten zwei Dekaden wird der grüne Wasserstoff vorrangig zur Dekarbonisierung der Industrie und Mobilität benötigt. Ab etwa 2040 wird er auch direkt für den Gebäudesektor benötigt, um die nahezu 100%ige Klimaneutralität zu erreichen. Die Analyse des Forschungszen-

trums Jülich zu den „Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050“ (FZJ (2020))⁴ beziffert den zukünftigen Wasserstoffbedarf in Deutschland auf bis zu 12 Megatonnen (Mt) pro Jahr. Unter der Annahme, dass rund die Hälfte dieses Wasserstoffs in Deutschland hergestellt werden soll, resultieren erforderliche Erzeugungskapazitäten in Form von Elektrolyseanlagen mit einer elektrischen Leistung von rund 50 bis 60 Gigawatt (GW). Vorausgesetzt ist dabei eine energiewendefreundliche Betriebsweise der Elektrolyseure, bei der Strom speziell in den Zeiten mit hohem Anteil erneuerbarer Energien im Netz bezogen wird. Die mittlere Anzahl der jährlichen Vollbenutzungsstunden liegt bei diesem Betriebsansatz im Bereich von 4.000–5.000 Stunden. Das bei diesem Prozess resultierende Abwärmeaufkommen beläuft sich auf rund 110 Terawattstunden (TWh) pro Jahr. Diese Menge entspricht laut dem damaligen BMWi (2021) etwa der Fernwärme aus fossilen Energien in Deutschland (ca. 104 TWh im Jahr 2020)!⁵

Die strategische und wirtschaftspolitische Aufgabe besteht nun darin, den Hochlauf der Wasserstoffindustrie besonders effizient zu gestalten und die Abwärmepotenziale bestmöglich zu nutzen. Der Konzeptansatz P2G&H folgt diesem Anspruch. Ein Lösungsansatz sind dezentrale Elektrolyseanlagen mit zwei- bis dreistelligen MW-Leistungen im urbanen Kontext und in räumlicher Nähe zu den Abnehmern des grünen Wasserstoffs, zum Beispiel am Stadtrand mit unmittelbarer Nähe zu einer Autobahn (Schwerlastverkehr). Für eine hohe Effizienz wird die anfallende Abwärme zur Versorgung von Quartieren mit bestehenden oder neu zu errichtenden Wärmenetzen genutzt. Die Effizienz der Wasserstoffherstellung kann mit diesem Ansatz von ca. 55 % auf bis zu 85 % gesteigert werden (Abb. 2). Zusätzlich können bei der verbrauchernahen Herstellung lange Transportwege vermieden und eine hohe regionale Wertschöpfung erreicht werden.

1 Energiekonzept für eine umwelt-schonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU) (28. September 2010).

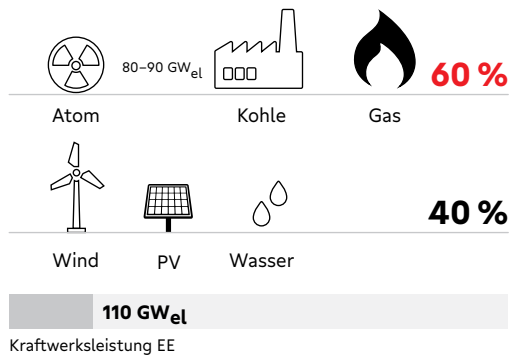
2 Deutscher Bundestag, Drucksache 19/13900, 2019.

3 European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions, European Commission, 2021, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541.

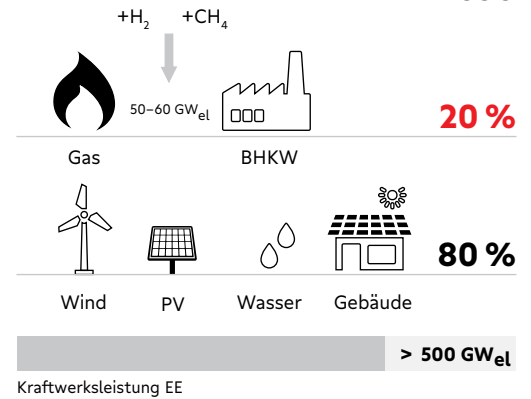
4 M. Robinius u. a., „Wege für die Energiewende. Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050“, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energie & Umwelt, Band 499, 2020.

5 Energiewende Direkt, <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2021/03/>.

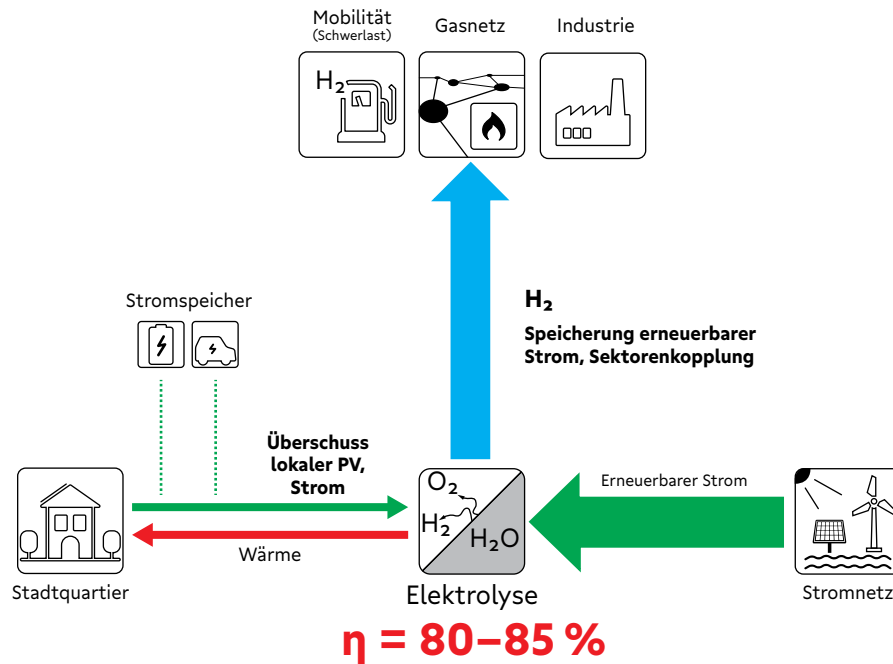
2020



2050



x5



GRÜNER WASSERSTOFF

Wasserstoff zur Substitution fossiler Energieträger entfaltet seine volle Klimaschutzwirkung nur dann, wenn für die Erzeugung erneuerbarer Strom eingesetzt wird. Grüner Wasserstoff ist damit das zentrale Element des Konzeptansatzes P2G&H. Demgemäß verpflichtet sich der Betreiber der Elektrolyseanlage, grünen Wasserstoff zu produzieren. Die Anforderungen an grünen Wasserstoff sind gesetzlich in §12i der Erneuerbare-Energien-Verordnung in der Fassung vom 14.07.2021 (BGBl. I, S. 2860)

geregelt: Der eingesetzte Strom muss aus Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien aus Deutschland stammen und über Herkunftsnachweise durch den Betreiber bescheinigt werden. Durch den Einsatz des erneuerbaren Stroms minimiert sich die Emissionslast des grünen Wasserstoffs. Besonders geeignet für die Erfüllung der Anforderungen, für die Akzeptanzsteigerung und für die Erhöhung der regionalen Wertschöpfung sind Abnahmeverträge mit in räumlichem Zusammenhang stehenden und geplanten Windkraft- oder Photovoltaikanlagen.

1 ↑

Erforderlicher Ausbau der PV- und Windenergiekapazitäten.

Nach: M. Norbert Fisch, 2019, Vortrag Zukunftsstadtkonferenz, Münster.

2 ↵

Konzeptansatz P2G&H – Effizienzsteigerung zur Herstellung und Verwertung des grünen Wasserstoffs.



3

**Neue Weststadt, Esslingen –
Wohnblöcke A bis D, Büroturm E
und Hochschulcampus.**

Die energiewendedenliche Betriebsweise der Elektrolyseanlage bringt zusätzlichen Mehrwert für das Energiesystem. Denn die Klimaneutralität bedingt ausreichend steuerbare Flexibilität für die Systemintegration der erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen. Laut der Strommarkt-Designstudie des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE)⁶ können Elektrolyseure zukünftig einen nennenswerten Beitrag zur System- und Marktstabilisierung leisten, indem sie als Flexibilitätsoption im Verbrauchsbereich dienen. Zentrales Ergebnis ist dabei, dass der systemdienliche Einsatz von bis zu 100 GW_{el} Elektrolysegesamtleistung in Deutschland zu einer volkswirtschaftlichen Optimierung des Gesamtsystems führen kann.

Aus der im Jahr 2022 vorhandenen Stromerzeugungsstruktur resultierte für Deutschland ein mittlerer THG-Emissionsfaktor von rund 400 g/kWh. Wird zugrunde gelegt, dass Elektrolyseure energiewendedenlich in Stunden mit hohem Anteil erneuerbarer Energien betrieben werden, ergibt sich für diese Zeiträume ein Emissionsfaktor von rund 275 g/kWh.⁷ Mit zunehmendem Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung werden die Emissionsfaktoren weiter sinken. Bei einem dekarbonisierten Stromsystem oder bei einem zertifizierten Bezug von 100 % erneuerbarem Strom ist der Emissionsfaktor nahe null.

⁶ Neues Strommarktdesign, Studie im Auftrag des BEE e.V., 2021, https://www.klimaneutrales-stromsystem.de/pdf/Strommarktdesignstudie_BEE_final_Stand_14_12_2021.pdf.

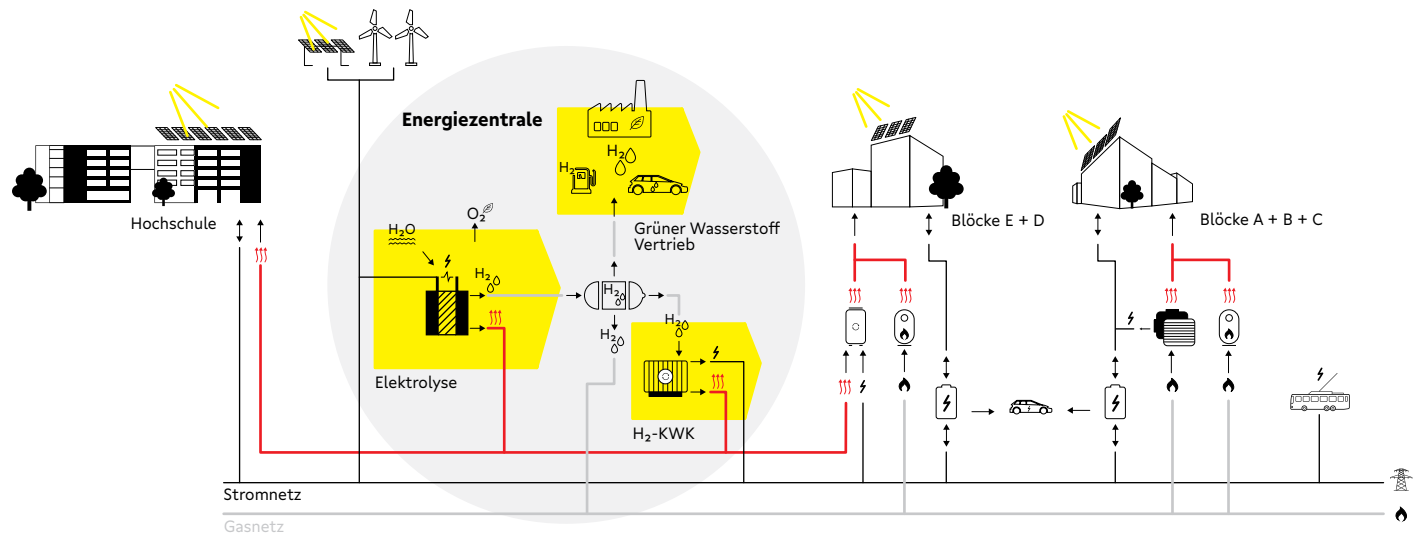
⁷ Eigene Berechnungen, SIZ energieplus, Stuttgart.

**LEUCHTTURMPROJEKT
ESSLINGEN**

Im schwäbischen Esslingen am Neckar entsteht seit 2016 auf einem innerstädtischen Areal von ca. 12 ha ein Reallabor der Energiewende. Das Leuchtturmprojekt wird im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Das Verbundvorhaben, mit der Stadt Esslingen als Hauptantragstellerin und insgesamt 13 Partnern, wird mit rund 12 Mio. EUR von 2016 bis 2024 gefördert. Die wissenschaftliche und organisatorische Gesamtkoordination liegt beim Steinbeis Innovationszentrum (SIZ) energieplus, Stuttgart. Die große Bandbreite der inhaltlichen und fachlichen Themen wurde durch ein interdisziplinäres Team aus den Bereichen Forschung (Technik und Sozialwissenschaften), Praxis, Anwendung und Partizipation von Bürgern abgedeckt.

Das neue Klimaquartier trägt durch die Abwärmenutzung aus der Wasserstoffproduktion dazu bei, einen jährlichen CO₂-Ausstoß von unter einer Tonne pro Bewohner für Wohnen und Mobilität zu erreichen und das erste städtische Klimaziel zu unterstützen: die CO₂-Emissionen auf der Esslinger Stadtmarkung um ein Viertel zu reduzieren. Auch bei der Fortschreibung des



Klimaziels der Stadt spielt das Klimaquartier eine wesentliche Rolle.

Der städtebauliche Entwurf (Lehen drei Architekten Stadtplaner SRL, Stuttgart, 2013) umfasst vier Wohnblöcke A bis D (70% Wohnen, 30% Gewerbe) mit insgesamt etwa 500 Wohneinheiten (Abb. 3). Westlich des zentralen Quartiersplatzes entstand der Neubau für die Hochschule Esslingen mit Vorlesungssälen, Seminarräumen, Büros, Mensa, Rechenzentrum sowie einer Bibliothek (ca. 18.500 m² Nutzfläche). Die Wohn- und Gewerbeblöcke des Quartiers sowie die Stadtmitte und der Bahnhof liegen in unmittelbarer Nähe des neuen Hochschulcampus. Als bautechnisches Highlight ist am Rande des Quartiersplatzes der Crystal Rock (Block E) geplant, ein Büro- und Geschäftsgebäude mit 12 Geschossen (ca. 7.500 m²).

Die architektonischen Entwürfe der Gebäudeblöcke sind das Ergebnis einzelner Architektenwettbewerbe unter Beteiligung der Stadt Esslingen und des Bauherrn (RVI GmbH, Saarbrücken). Bereits in dieser Phase wurden Bewertungskriterien für das übergeordnete Ziel „Klimaneutrales Quartier“ und die maximale Solarisierung der Dachflächen berücksichtigt. Die große Unterstützung durch die Stadt, speziell durch den Oberbürgermeister und die Stadtverwaltung, sowie die engagierte Mitwirkung des Bauherrn waren mitentscheidend für den Umsetzungserfolg.

ENERGIEKONZEPT

Das Energiekonzept verfolgt den ganzheitlichen Ansatz einer wirtschaftlichen Optimierung durch die Reduzierung des Wärme- und Strombedarfs und die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen. Eine gute wärmeschutztechnische Qualität der Gebäudehüllen (annähernd Effizienzhaus EH 55) bildet die Basis für einen niedrigen Heizwärmebedarf und hohen Wohnkomfort.

Die Wohnblöcke A bis C werden über das Erdgasnetz der Stadtwerke Esslingen virtuell (d. h. nicht physikalisch real, sondern indirekt im Bilanzkreis des Erdgasbeziehers) mit Biomethan versorgt. In diesen Gebäuden sind Blockheizkraftwerke (BHKW) und Gaskessel zur Wärme- und Stromversorgung installiert. Wohnblock D, Büroturm E und das Hochschulgebäude werden aus der Energiezentrale über ein Nahwärmenetz versorgt. Diese Aufteilung wurde durch die zeitliche Verschiebung der Förderbescheide für das innovative Reallabor bei schnell fortschreitender Quartiersentwicklung erforderlich. In der Energiezentrale unter dem Quartiersplatz sind neben dem Elektrolyseur (1.000 kW_{e,l}) unter anderem ein Gas-BHKW (Biomethan und H₂), eine elektrische Wärmepumpe zur Nutzung der Abwärme von Trafos und Wechselrichtern sowie ein Gaskessel installiert. Dank der innerstädtischen Lage kann die bei der Wasserspaltung im Elektrolyseur anfallende Abwärme aus der Stackkühlung (220 kW_{th}) genutzt werden, was eine signifi-

4

Energiekonzept – Abwärmee-nutzung aus Produktion von grünem Wasserstoff.



fikante Effizienzsteigerung impliziert: Der Wirkungsgrad der Elektrolyse wird von ca. 55% auf über 85% gesteigert. Die Abwärme der Elektrolyse (60–65 °C) deckt rund die Hälfte des jährlichen Wärmebedarfs von ca. 1.200 MWh/a der angeschlossenen Gebäude. Um die Wärme über ein Nahwärmenetz nutzbar zu machen, war gebäudeseitig die Installation von Niedertemperatursystemen (Flächenheizung) und Frischwasserstationen in den Wohnungen erforderlich.

Innovatives Herzstück der Energiezentrale ist ein alkalischer Elektrolyseur (30% Kalilauge), aufgeteilt in zwei Skids mit je 500 kW_{el}, der im Jahr rund 5.000 MWh erneuerbaren Strom in 85 t Wasserstoff umwandeln soll. Für die Produktion von 1 kg H₂ sind ca. 60 kWh grüner Strom und ca. 18 l Trinkwasser erforderlich. Für die Anfahrprozesse der Elektrolyse ist ein liegender zylindrischer Wasserstoffspeicher aus Edelstahl direkt neben dem Elektrolyseur eingebaut.

Die ursprüngliche Vermarktungsplanung des grünen Wasserstoffs sah den Bau einer H₂-Tankstelle auf dem nahe gelegenen Werksgelände der Stadtwerke Esslingen vor. Dort befindet sich bereits eine Erdgastankstelle für PKWs. Im Laufe des Vorhabens wurde die Entwicklung für den zukünftigen Individualverkehr rein auf batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) konzentriert, während sich die geplante Nutzung von grünem Wasserstoff aktuell auf Brennstoffzellenantriebe für den Schwerlastverkehr konzentriert. Der ursprünglich geplante Bau einer innerstädtischen H₂-Tankstelle wurde deshalb von den Investoren nicht umgesetzt.

Es wurde auch die Option untersucht, den Wasserstoff über eine Abfüllstation mittels LKW über die Straße zu Abnehmern in der Industrie oder bei Autobahntankstellen zu transportieren. Aufgrund der geringen Speicherkapazität eines Trailers von etwa 15 MWh (ca. 1.500 l Heizöläquivalent), des Fahrzeuggewichtes von 40 t, der hohen Investitionskosten für die Verdichterstation mit 500–800 bar sowie der sich daraus ergebenden hohen Preise des grünen im Vergleich zum grauen Wasserstoff wurde auch dieser Vermarktungspfad nicht weiterverfolgt.

Für die Verteilung von großen Wasserstoffmengen ist ein Gasnetz erforderlich. Im Rahmen eines vom Land Baden-Württemberg und der EU geförderten Projektes

(H₂ GeNeSiS) wird in den nächsten Jahren eine Wasserstoffpipeline zwischen Stuttgart und Esslingen errichtet, in die dann der gesamte grüne Wasserstoff aus der Energiezentrale eingespeist werden soll.

Als Übergangslösung wird der erzeugte grüne Wasserstoff (11,5 bar) vorerst über eine 180 m lange sandverlegte DN-40-Edelstahlleitung zu einer Gasdruckregel- und Messanlage geführt, wo er schließlich zur Dekarbonisierung des Gasnetzes dem städtischen Mittel- und Niederdrucknetz (0,85 bzw. 0,05 bar; max. 2,5 Vol.-%) beigemischt oder, im Forschungsbetrieb, in einem bivalenten Blockheizkraftwerk rückverstromt (Biomethan: 200 kW_{el}, H₂: 150 kW_{el}) wird.

Die einzelnen Versorgungskomponenten sind über ein sektorübergreifendes digitales Informationsnetz (Smart Grid) verbunden. Ein zentrales Energiemanagementsystem steuert die Energieflüsse je nach Strommarkt und Energiebedarf des Versorgungsgebietes.

Die maximale Solarisierung des Stadtquartiers wird durch ost-west-orientierte Photovoltaikmodule (Gesamtleistung ca. 1.400 kW) auf den Flachdächern erreicht. Der Solarstrom wird in erster Priorität in den Gebäuden direkt genutzt (Mietstrommodell, E-Mobilität). Die Stromüberschüsse werden entweder für die H₂-Produktion eingesetzt oder ins lokale Stromnetz eingespeist.

Im Klimaquartier wurde mit der Green Hydrogen Esslingen GmbH (GHE) eine eigene Betreiberstruktur aus dem Forschungskonsortium heraus gegründet. Neben ihrer Rolle als Investor der Anlage tritt die Gesellschaft in Esslingen auch als Hauptantragsteller der Genehmigung auf. Vorteilhaft für den erfolgreichen Betrieb sind dabei neben der Erfahrung im Umgang mit Gasen (Stadtwerke Esslingen) auch Kompetenzen im Strommarkthandel (Polarstern GmbH). Darüber hinaus ist eine Systemkenntnis der Elektrolyseanlage von Vorteil. Örtliche Strom- und Gasnetzkonzessionen vereinfachen spätere Antragsverfahren.

Das Klimaquartier Neue Weststadt wurde 2022 mit dem 1. Preis in der Kategorie Real Labor Nachhaltigkeit durch das BMWK ausgezeichnet.



5 ←

Einbringung der zwei Skids, mit je 500 kW_{el}-Elektrolyse-Stack in die Energiezentrale.

6 ◀







Energiezentrale unter dem Quartiersplatz – zwei Elektrolyse-Einheiten mit je 500 kW_{el}.

7 ↑

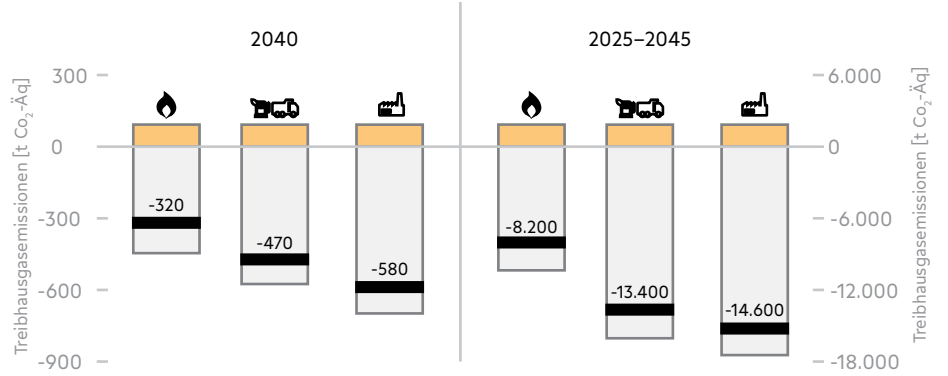
Wasserstoffspeicher (Volumen ca. 34 m³, max. 29 kg H₂, 11,5 bar), direkt neben dem Elektrolyse-raum installiert.

8

Klimaschutzwirkungen verschiedener H₂-Verwertungspfade auf die THG-Bilanz des Quartiers.

-  Emissionen Wasserstoffproduktion
-  Emissionsvermeidung
-  Netto-Bilanz
-  Mobilität (Kraftstoffmix)
-  Gasnetzeinspeisung (Referenz)
-  Industrie

1 MW_{el} Elektrolyse, 4.500 h/a, Grünstrom (Windkraft, PV)



Straßensperrung und Aufbruch

Verlegung im Sandbett

Sandbett-Schüttung

Warnstreifen

Versiegelung

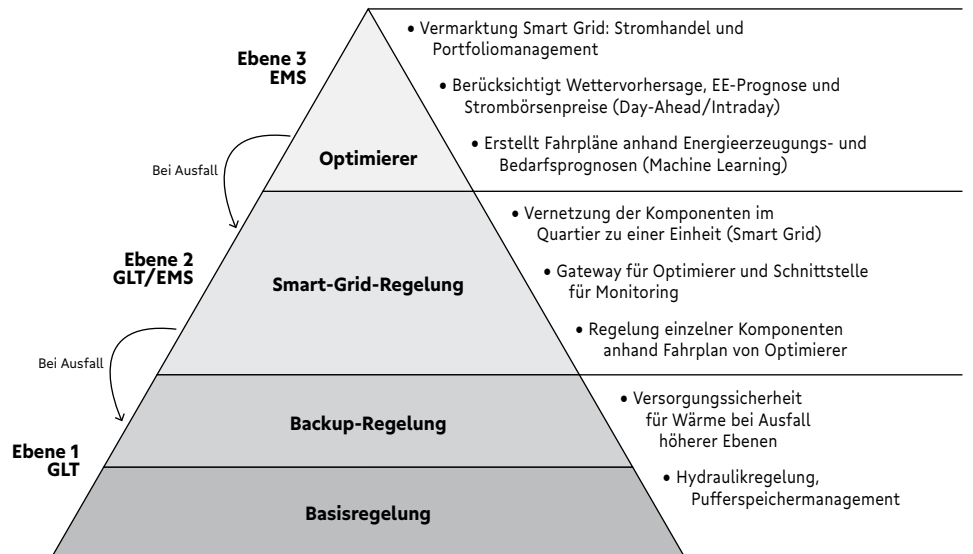
Gasdruckregel- und -messanlage

9 ↑

Bau der H₂-Leitung zum Erdgasnetz und Anschluss über Gasdruckregel- und -messanlage.

10 →

Regelebenen: Gebäudeleittechnik (GLT), Energiemanagementsystem (EMS) und Optimierer.





INBETRIEBNAHME – ERSTE BETRIEBSERFAHRUNGEN

Nach dem Aufbau der Komponenten in der Energiezentrale hat eine zugelassene Überwachungsstelle (TÜV Süd) die Anlagenmodule auf Basis der Betriebssicherheitsverordnung abgenommen. Neben dem Explosionsschutz wurden alle Sicherheitskreisläufe einer Gefährdungsbeurteilung (Hazard and Operability Study, HAZOP) unterzogen. Die Produktion von Wasserstoff mittels Elektrolyseverfahren ist grundsätzlich nach der 4. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig. Damit muss der Betreiber einen jährlichen Bericht zum Anlagenbetrieb (unter anderem Messungen zu Wasserentnahme, Abwasser sowie Lärm) an die zuständige Behörde zusammentragen. Die Zuständigkeit für den Vollzug des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) liegt in Baden-Württemberg bei den Regierungspräsidien.

Die Laufzeit des Elektrolyseurs im Betrieb richtet sich im Wesentlichen nach der Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom. Da der PV-Strom im Quartier prioritär den Bewohnern zur Verfügung steht (Mietstrom und E-Mobilität), bezieht die P2G-Anlage mehrheitlich Strom über das Stromnetz von außerhalb des Quartiers. Neben dem Direktbezug von dem Strom einer nahe geleg-

nen Windkraftanlage geben Fahrpläne die Betriebszeiten für den Bezug von grünem Netzstrom vor, indem mit Hilfe eines Algorithmus Prognosen des Strombörsenpreises als Indikator für den Anteil erneuerbarer Energien im Netz genutzt werden (Abb. 12). Für die H₂-Einspeisung ins Gasnetz wurden beim zuständigen Gasnetzversorger (Stadwerke Esslingen) ein Netzanschluss- und Anschlussnutzungsvertrag sowie ein Einspeisevertrag abgeschlossen.

Der Probetrieb der Elektrolyseanlage startete im März 2022. In den ersten Monaten wurden umfangreiche Mängel in der Hard- und Software festgestellt und in Zusammenarbeit mit den Herstellern behoben. Der eingesetzte Industrie-Elektrolyseur zeigte bei der volatilen Fahrweise erhebliche „Kinderkrankheiten“. Anpassungen bei der BImSchG-Genehmigung und die Nachrüstung eines Schalldämpfers bei der Sauerstoff-Abblaseleitung haben den Regelbetrieb weiter verzögert. Ein Regelbetrieb wie theoretisch vorgesehen – optimiert nach Day-Ahead-Stromeinkauf an der Leipziger Börse sowie Prognosen aus den eigenen PV- und Windkraftanlagen – war das Ziel für 2023.

Die 2022 eingetretenen explosionsartigen Preissteigerungen beim Strom haben die Aufnahme eines wirtschaftlichen Regelbetriebs der H₂-Produktion – trotz Förderung –

verhindert. Denn die Gestehungspreise des grünen Wasserstoffs werden in erster Linie durch den Preis des eingesetzten Stroms und weniger durch die Investitionskosten bestimmt (Abb. 13). In Esslingen liegt der H₂-Gestehungspreis bei ca. 6–8 €/kg oder 20–27 ct/kWh bei Strombezugspreisen um 8 ct/kWh (inkl. Förderung der Investitionskosten).

FAZIT – AUSBLICK

Grüner Wasserstoff ist ein Schlüsselement der Energiewende und essenziell für die Dekarbonisierung der Sektoren Industrie und Mobilität. Mit dem Konzept P2G&H wird grüner Wasserstoff verbrauchernah (Industrie, Schwerlastverkehr) produziert und kann im urbanen Kontext damit auch zur Wärmeversorgung von Quartieren genutzt werden. Durch die Abwärmenutzung und die kurzen Transportwege zu den Endabnehmern ist dieser Systemansatz höchst effizient. Die Wärmekunden sollten für die Abwärmenutzung möglichst über Systeme mit Betriebstemperaturen unter 65 °C verfügen, idealerweise mit ganzjährigem Wärmebedarf. Bestandsquartiere mit höheren Temperaturanforderungen können ergänzend die Abwärmtemperatur beispielsweise über Hochtemperatur-Wärmepumpen anheben.

Die klimapolitischen Zielsetzungen der Treibhausgasneutralität erfordern eine hohe Effizienz bei der Bereitstellung emissionsfreier Energieträger, um die notwendigen

Stromausbaumengen überhaupt realisieren zu können und die dafür nötige gesellschaftliche Akzeptanz zu erhalten. Der dezentrale Ansatz P2G&H, erstmals erprobt im Real-labor Klimaquartier Neue Weststadt, zeigt die Machbarkeit auf und verdeutlicht die Wertschöpfungspotenziale dieser regionalen Energiekreislaufwirtschaft.

Der Weg vom Reallabor zum Baustein unserer Energieinfrastruktur ist vorgezeichnet und darf nicht weiter in die Zukunft verschoben werden. Unter anderem wird in der Strommarkt-Designstudie des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE) klargestellt, dass der aktuelle Hochlauf an Elektrolyseanlagen forciert und gefördert werden muss. „Erstens sichert dies einen stärkeren Markthochlauf, der den Grundstein für die hohen jährlichen Zubauraten der Elektrolyse auch in den folgenden Dekaden legt. Zweitens führt dies zu einem industriepolitisch sinnvollen, vergleichmäßigeren Zubau“.⁸ Die größte Klimaschutzwirkung wird beim Konzept P2G&H durch die direkte Substitution fossiler Energieträger erreicht. Aus diesem Grund fördert das Land Baden-Württemberg in dem Projekt H₂ GeNeSiS den Aufbau einer H₂-Pipeline zwischen Esslingen und Stuttgart. Dieser neue Marktplatz für emissionsfreie Energie soll Erzeugungsanlagen, wie die Elektrolyse im Klimaquartier, mit den großen Verbrauchern von grauem Wasserstoff in der Industrie und von Diesel im Bereich Mobilität (ÖPNV, LKW-Tankstellen) verbinden.

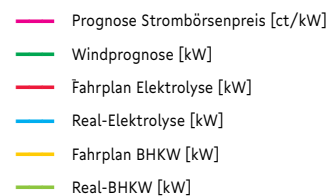
Weiterlesen

- ▶ Quartiersplanung, „Noch einmal: Kreislaufgerechtes Bauen“, S. 142
- ▶ Heterogenität, „Nachhaltigkeit – Strategien der Umsetzung“, S. 10
- ▶ Erneuerbare Energien, „Die Energiewende im Kontext der Nachhaltigkeit“, S. 20

⁸ Neues Strommarktdesign, Studie im Auftrag des BEE e. V., 2021, https://www.klimaneutrales-stromsystem.de/pdf/Strommarktdesignstudie_BEE_final_Stand_14_12_2021.pdf.

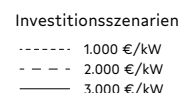
12 ↗

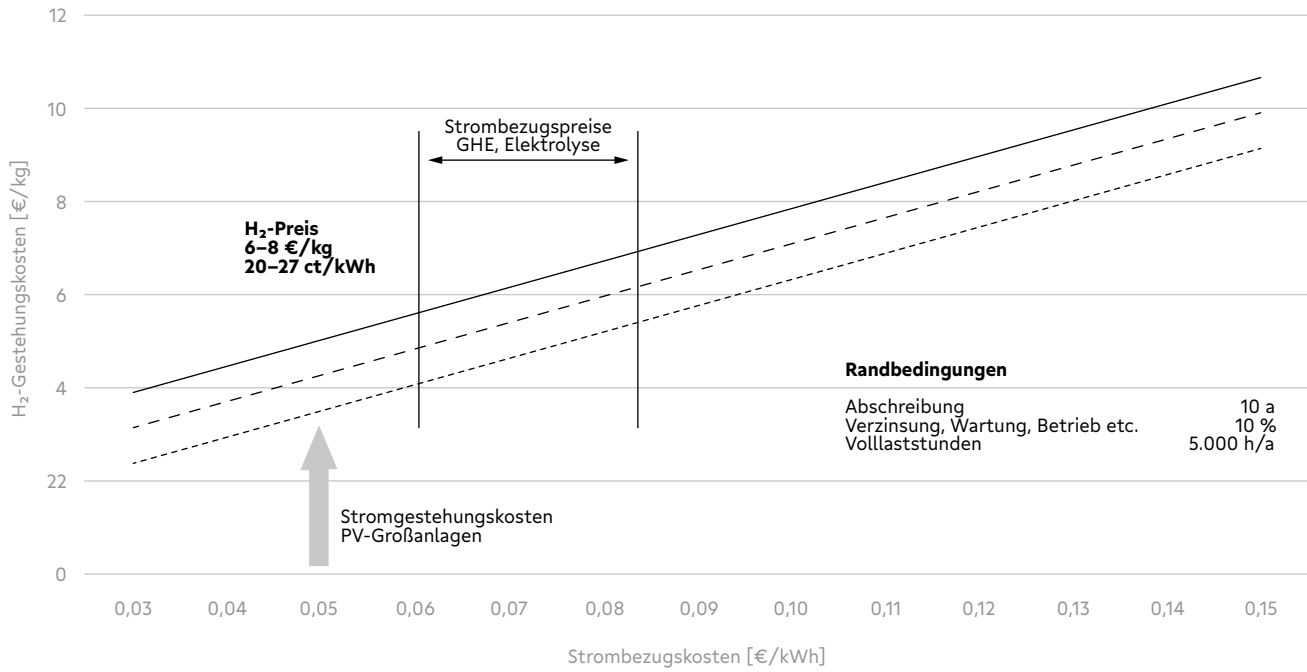
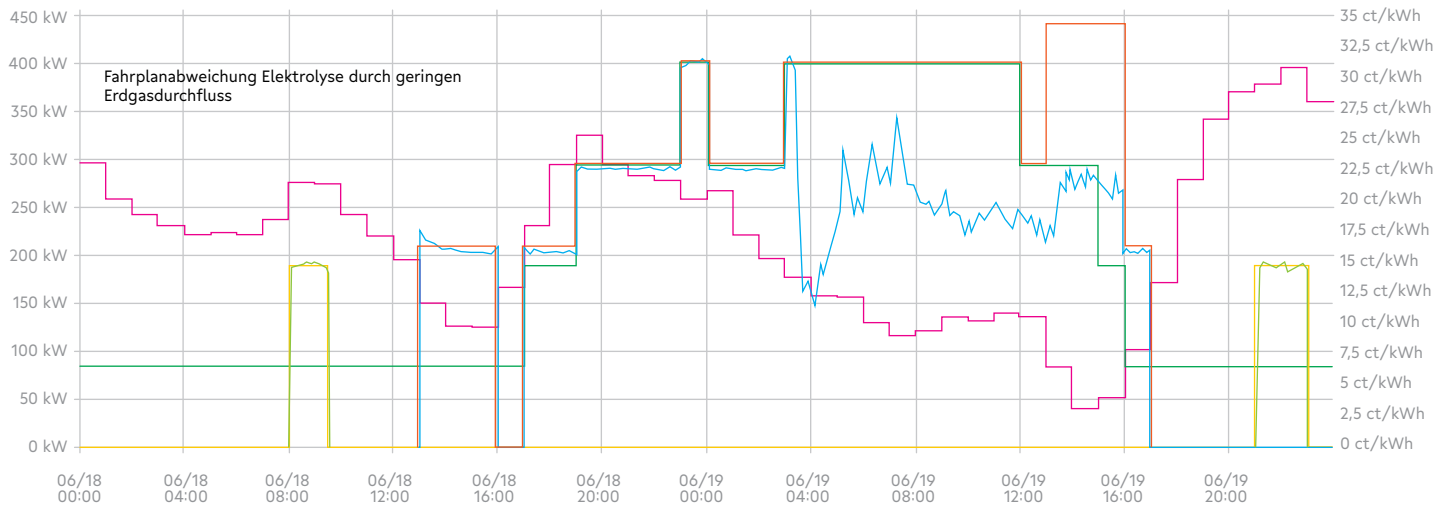
Fahrplan der Elektrolyse nach Strombörsenpreis und Prognose des Wind-Strom-Angebots, Sa. 18. und So. 19.6.2022.



13 ↗

Gestehungskosten für grünen Wasserstoff mittels Elektrolyse.





Anhang

DANK

Unser Dank gilt zuerst allen Autoren dieses Buchs, wie sie mit ihren Beiträgen erscheinen: Martin Pehnt, Sebastian Herkel und Peter Schossig, Tianzhen Hong, Max Wei und Kaiyu Sun, Vincent Witt, Kathrin Dörfner, Oliver David Krieg, Kristin Slavin und Oliver Lang, Thomas Auer, Matthias Rudolph, Benjamin Weber, Jan Knippers und Achim Menges, Thomas Lützkendorf und Alexander Passer, Matthias Berning, M. Norbert Fisch, Mattheos Santamouris und Konstantina Vasilakopoulou, Martin Tamke und Mette Ramsgaard Thomsen, Daniel Fischer und Erik Zanetti, Hilke Manot und Julian Lienhard, Oliver Tessmann, Max Benjamin Eschenbach, Christoph Kuhn und Anne-Kristin Wagner, Gilles Retsin sowie Elena Boerman. Ohne deren Bereitschaft, ihre Überzeugungen, Aufrufe, Visionen, Arbeiten, Recherchen und Forschungsergebnisse hier zu präsentieren, wären dieses Buch und der daraus entstehende Diskurs nicht möglich gewesen. Unser Dank geht zudem an die Teams des KIT in Karlsruhe und der Cornell University in Ithaca, insbesondere an Sebastian Kreiter und Luca Diefenbacher für ihren unermüdlichen Einsatz, die Grafiken zu zeichnen und anzupassen. Wir bedanken uns bei unseren Universitäten, dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und dem Cornell College of Architecture, Art, and Planning und deren Fakultäten für Architektur für die motivierende Unterstützung. Und ein besonderer Dank gilt unserem Lektor Andreas Müller und dem Birkhäuser Verlag, den beiden Übersetzern Julian Reisenberger und Steffen Walter sowie dem Grafiker dieses Buchs, Tom Unverzagt, für ihr Vertrauen, ihre Passion und ihre herausragende Kreativität.

Dirk E. Hebel, Felix Heisel, Andreas Wagner und Moritz Dörstelmann

ÜBER DIE AUTOREN

Dirk E. Hebel ist Professor für Nachhaltiges Bauen und Dekan der Fakultät für Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Er ist Mitbegründer und Partner von Zhs Architekten und Ingenieur Part GmbH Hebel Heisel Schlesier und praktiziert Architektur mit einem Fokus auf ressourcengerechtes Bauen und kreislaufgerechten Materialeinsatz. Seine Arbeiten wurden weltweit ausgestellt, 2022 in *Plastic: Remaking our world*, Vitra Design Museum, Weil am Rhein, und *Environmental Hangover* von Pedro Wirz (beide mit Nazanin Saeidi, Alireza Javadian, Sandra Böhm und Elena Boerman), Kunsthalle Basel, sowie *Sorge um den Bestand*, BDA, Berlin und andere Orte (2020–). Er publizierte zahlreiche Bücher im Themenfeld nachhaltiges Bauen, zuletzt *Besser – Weniger – Anders Bauen: Kreislaufgerechtes Bauen und Kreislaufwirtschaft* (Birkhäuser, 2022, mit Felix Heisel) und *Urban Mining und Kreislaufgerechtes Bauen* (Fraunhofer, 2021, mit Felix Heisel). Als Fakultätsverantwortlicher gemeinsam mit Prof. Andreas Wagner gewann er den ersten in Deutschland ausgetragenen Solar Decathlon Wettbewerb 2022 in Wuppertal als Teil des Teams RoofKIT (Regina Gebauer und Nicolás Carbonare).

Felix Heisel ist Assistenzprofessor an der Fakultät für Architektur und Direktor des Circular Construction Lab (CCL) am College of Architecture, Art, and Planning der Cornell University. Er ist Architekt und forscht an einer systematischen Neugestaltung unserer gebauten Umwelt als Rohstofflager in einem endlosen Kreislauf von Nutzung und Rekonfiguration. Heisel ist Gründungspartner des Netzwerks Circularity, Reuse, and Zero Waste Development (CROWD) im US-Bundesstaat New York sowie von Zhs Architekten und Ingenieur Part GmbH Hebel Heisel Schlesier in Deutschland, einem Büro, welches sich auf die Entwicklung kreislaufgerechter Prototypologien spezialisiert hat. Für seine Arbeit wurde er mehrfach ausgezeichnet, und er veröffentlichte zahlreiche Bücher und Fachartikel zum Thema, darunter *Besser – Weniger – Anders Bauen: Kreislaufgerechtes Bauen und Kreislaufwirtschaft* (Birkhäuser, 2022, mit Dirk E. Hebel), *Cultivated Building Materials* (Birkhäuser, 2017,

mit Dirk E. Hebel) und *Building from Waste* (Birkhäuser, 2014, mit Dirk E. Hebel und Marta H. Wisniewska). Felix Heisel ist Absolvent der Universität der Künste Berlin und lehrte und forschte international an Hochschulen wie dem Berlage-Institut, dem Ethiopian Institute of Architecture, Building Construction and City Development, dem Future Cities Laboratory in Singapur, der ETH Zürich, dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Harvard Graduate School of Design.

Andreas Wagner ist Professor für Building Science and Technology an der Fakultät für Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Er war nach Abschluss des Maschinenbaustudiums an der Universität Karlsruhe (TH) knapp zehn Jahre in der Solarforschung am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg tätig. Neben der Lehre im Bachelor- und Masterstudium mit besonderem Fokus auf energieoptimiertes Bauen, Lichtplanung und simulationsbasierte Planungswerkzeuge konzentriert sich seine Forschung auf Konzepte und Performance-Analyse für energieeffiziente Gebäude sowie Komfort und Nutzerverhalten in Bürogebäuden. Andreas Wagner ist (Co-)Autor von mehr als 150 Publikationen sowie sechs Büchern und hat bislang über 45 Promotionen begutachtet. Er wirkt als Mitglied in zahlreichen wissenschaftlichen Beiräten für internationale Zeitschriften und Konferenzen mit. Seit 2018 ist er Co-Operating Agent des IEA EBC Annex 79 und seit Februar 2023 einer der beiden Leiter der Arbeitsgruppe „Energiewende der bebauten Umwelt“ im Projekt ESYS der deutschen Wissenschaftsakademien. Er war von 2000 bis 2004 sowie von 2012 bis 2015 Dekan der Fakultät am KIT; weiterhin war er elf Jahre lang Mitglied des Lenkungsausschusses und Sprecher für den Bereich „Effiziente Energienutzung“ im KIT-Zentrum Energie. Seit 2021 ist er einer der Sprecher der KIT-Graduiertenschule ENZO.

Moritz Dörstelmann ist Tenure Track Professor für Digital Design and Fabrication (DDF) an der Fakultät für Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Gründungsgesellschafter der FibR GmbH, die sich mit dem robotergestützten Bauen befasst. In seiner wissenschaftlichen Arbeit untersucht er digitale kreislaufgerechte Bauweisen

an der interdisziplinären Schnittstelle von Forschung und Lehre durch die Erprobung innovativer Materialsysteme und Konstruktions-technologien im Realmaßstab in anwendungsorientierten Demonstratorprojekten. Sein Bauunternehmen FibR realisiert ressourceneffiziente Faserverbund-Leichtbaukonstruktionen für Tragwerke, Fassaden und Innenausbauten in Architekturprojekten mittels computerbasierter Entwurfsmethoden und robotischer Fertigung im industriellen Maßstab. An der Schnittstelle von anwendungsorientierter akademischer Forschung und forschungsorientierter industrieller Praxis zeigt Moritz Dörstelmann, wie digitale Entwurfs- und Fertigungsstrategien genutzt werden können, um den Wandel zur Kreislaufwirtschaft im Bauwesen zu ermöglichen, gesellschaftlich relevante Lösungen zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs zu entwickeln und dabei ein neuartiges architektonisches Gestaltungs- und Konstruktionsrepertoire zu erschließen.

Thomas Auer ist Professor für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen an der Technischen Universität München (TUM) und Partner bei Transsolar. Basierend auf einem fundierten Verständnis der architektonischen Integration von Energie- und Komfortstrategien arbeitet er mit namhaften Architekturbüros an zahlreichen Projekten weltweit. Die individuell abgestimmten Strategien zeichnen sich durch ihren integralen Ansatz und Innovation aus und wurden hierfür mit zahlreichen Preisen ausgezeichnet. Thomas Auer lehrte an der Yale University und vielen anderen Universitäten und wurde 2014 als ordentlicher Professor an die TUM berufen. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Dekarbonisierung des Gebäudesektors sowie die Klimaadaptation und deren Auswirkung auf die Aufenthaltsqualität. Grundlage der Forschung ist die robuste Optimierung auf Raum-, Gebäude- und Stadtebene. Er ist Mitglied der Akademie der Künste, Berlin, und im Konvent der Bundesstiftung Baukultur.

Matthias Berning ist Senior Scientist und Projektmanager bei ABB Corporate Research in Deutschland. Er ist Mitglied des Teams Sensor Solutions mit Forschungsschwerpunkt auf verteilter Sensorik und Informationsverarbeitung in unterschiedlichen Bereichen, darunter der Gebäudeautomation. Mit über zehn

Jahren Erfahrung im Monitoring von Gebäudenutzern und Innenräumen ist er bestrebt, diese Informationen im Gebäudebetrieb für die Optimierung der Energieeffizienz und des Komforts zu nutzen. Während seines Studiums der Elektrotechnik und Informationstechnik an der TU Kaiserslautern beschäftigte er sich erstmals mit drahtlosen Sensornetzwerken. Diese setzte er auch während seiner Promotion in der TECO-Forschungsgruppe am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) im Bereich des Pervasive Computing ein.

Elena Boerman ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in Lehre, Forschung und Innovation an der Professur für Nachhaltiges Bauen der Fakultät für Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Sie studierte dort Architektur und erlangte 2021 ihren Masterabschluss. Für ihre Abschlussarbeit, in der sie sich mit städtebaulichen und architektonischen Strategien im Umgang mit bestehenden Baustrukturen aus der Nachkriegsmoderne beschäftigte, erhielt sie eine Anerkennung des Friedrich-Weinbrenner-Preises. Sie ist gemeinsam mit Sandra Böhm verantwortlich für den Aufbau einer neuartigen Materialbibliothek an der Fakultät für Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mit dem Fokus auf kreislaufgerechte Konstruktionsweisen. Ehrenamtlich engagiert sie sich in der Ortsgruppe Karlsruhe von Architects for Future, die im Jahr 2020 von Alisa Schneider und ihr gegründet wurde.

Kathrin Dörfler ist Architektin, Forscherin und Dozentin im Bereich computergestützter Entwurf und robotische Fertigung. Sie erwarb ihren Masterabschluss in Architektur an der TU Wien und promovierte an der ETH Zürich zum Dr.-Ing. im Bereich digitale Fabrikation. Gemeinsam mit Romana Rust gründete sie das Architekturkollektiv dorfundrust. Ihren Doktorgrad erlangte sie bei Gramazio Kohler Research, ETH Zürich, am Nationalen Forschungsschwerpunkt (NFS) Digitale Fabrikation. 2019 wechselte Kathrin Dörfler als Professorin an die School of Engineering and Design der Technischen Universität München (TUM SoED), um an der Fakultät für Architektur eine Forschungsgruppe für digitale Fabrikation aufzubauen. Die Forschungsinteressen ihrer Gruppe liegen an der Schnittstelle zwischen computerbasierten Entwurfsme-

thoden und robotergestützter Fertigung, wobei der Schwerpunkt auf kollaborativen Fertigungsprozessen, mobiler Robotik und fertigungsgerechtem Entwurf liegt. Neben ihrer Forschungstätigkeit lehrt Kathrin Dörfler in Wien, Zürich und München in Architekturstudiengängen sowie in spezialisierten Postgraduierensprogrammen für Architektur und digitale Fabrikation (MAS DFAB ETH Zürich).

Max Benjamin Eschenbach forscht im Bereich computerbasiertes Design und konzentriert sich auf die Entwicklung digitaler Prozessketten sowie interaktiver und kollaborativer Werkzeuge für die digitale Konstruktion, Planung und Fertigung. Er ist derzeit wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand in der Digital Design Unit (DDU) der Technischen Universität Darmstadt und arbeitet dort an computergestützten Werkzeugen für den architektonischen Entwurf mit wiederverwendeten Komponenten. Er studierte Produktdesign an der Kunsthochschule Kassel, wo er von 2019 bis 2021 auch in der Studienwerkstatt für digitale Entwurfs- und Fertigungsmethoden (digitale 3D-Technik) in Forschung und Lehre tätig war.

M. Norbert Fisch ist Leiter des Steinbeis-Innovationszentrums energieplus (SIZ), Braunschweig und Stuttgart, Geschäftsführer der EGS-plan Ingenieurgesellschaft, Stuttgart, sowie Mitgründer und Gesellschafter von Green Hydrogen Esslingen. Nach seinem Maschinenbaustudium mit Schwerpunkt Energietechnik an der Universität Stuttgart baute er dort die Abteilung für Rationelle Energienutzung und Solartechnik am Institut für Thermodynamik auf und leitete sie. 1984 promovierte er zum Dr.-Ing. Als Abteilungsleiter setzte er zukunftsweisende Impulse und etablierte zahlreiche F&E-Projekte zur technischen Nutzung der Sonnenenergie. 1996 nahm er einen Ruf auf eine ordentliche Professur an der Technischen Universität Braunschweig an und leitete anschließend 22 Jahre lang das Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS). In dieser Zeit bearbeitete er weit über 20 Forschungs- und Entwicklungsprojekte in den Bereichen energieeffiziente Gebäude, Wärme- und Kältespeicherung, Methoden zur Betriebsoptimierung von Nichtwohngebäuden sowie Entwicklung und Realisierung klimaneutraler Quartiere. Seit 2020

ist er Leiter der F&E-Projekte am SIZ energieplus, einem An-Institut der TU Braunschweig.

Daniel Fischer studierte Architektur in Karlsruhe, Tampere und Delft. Nach Praktika in Basel und Karlsruhe schloss er 2018 sein Studium in Digital Design & Architecture an der TU Delft mit dem Prädikat cum laude ab. Nach mehreren Jahren als Projektarchitekt begann er 2021 seine Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Digital Design and Fabrication (DDF) an der Fakultät für Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), mit besonderem Forschungsinteresse an digitalem Holzbau und digitaler Kreislaufwirtschaft. Seit 2022 ist er zugelassener und eingetragener Architekt.

Sebastian Herkel leitet die Abteilung Energieeffiziente Gebäude am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE). Dort arbeitet er als Wissenschaftler in der angewandten Forschung in den Bereichen Energieeffizienz und erneuerbare Energiesysteme in Gebäuden. Seine Schwerpunkte liegen auf der Transformation des Gebäudebestands, der effizienten Wärmeversorgung von Gebäuden, integralen Energiekonzepten für Gebäude sowie wissenschaftlichen Analysen der Gebäudeperformance und der Digitalisierung von Planungsprozessen.

Tianzhen Hong ist leitender Wissenschaftler in der Building Technology and Urban Systems Division des Lawrence Berkeley National Laboratory im US-Bundesstaat Kalifornien. Seine Forschung konzentriert sich auf neuartige Methoden, Daten, Datenverarbeitung, Nutzerverhalten und politische Leitlinien für die Planung und den Betrieb von energieeffizienten und resilienten Gebäuden und nachhaltigen urbanen Systemen. Dr. Hong trug aktiv zu internationalen Kooperationen wie IEA EBC Annex 53, 66, 79 und 81 bei. Er leitete die Forschungsprojekte zur Entwicklung der beiden Gebäudeenergieprogramme CBES und CityBES, die 2019 bzw. 2022 mit dem R&D 100 Award ausgezeichnet wurden. Er ist IBPSA Fellow und ASHRAE Fellow. Er hat über 180 Artikel in Fachzeitschriften veröffentlicht und ist ein „Highly Cited Researcher“.

Jan Knippers hat an der TU Berlin Bauingenieurwesen studiert und dort 1992 promoviert (Dr.-Ing.).

Danach war er für mehrere Jahre in einem Ingenieurbüro tätig, bevor er 2000 als Professor zum Leiter des Instituts für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen an die Universität Stuttgart berufen wurde. 2001 gründete er zunächst Knippers Helbig Advanced Engineering und 2018 Jan Knippers Ingenieure in Stuttgart. Jan Knippers beschäftigt sich in Lehre, Forschung und Praxis mit computerbasierten Planungs- und Fertigungsprozessen sowie mit faserbasierten Werkstoffen und Bionik für ressourceneffiziente Tragwerke in der Architektur. Er ist stellvertretender Sprecher des Exzellenzclusters „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“ (IntCDC) und Dekan der Fakultät für Architektur und Stadtplanung der Universität Stuttgart.

Christoph Kuhn ist Architekt und Professor an der Technischen Universität Darmstadt, wo er das Fachgebiet Entwerfen und Nachhaltiges Bauen (ENB) leitet. In Lehre und Forschung beschäftigt er sich mit dem Entwurf, der Planung, dem Bau und dem Betrieb von nachhaltigen Gebäuden. Nach freiberuflicher Tätigkeit und als Partner in verschiedenen Architekturbüros ist er seit 2015 Mitgründer und Inhaber von Kuhn und Lehmann Architekten in Freiburg. Von 2010 bis 2013 war er Universitätsprofessor an der Fakultät für Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), nachdem er dort zuvor zwei Jahre lang eine Assistenzprofessur innehatte. Von 2007 bis 2013 war er Dozent am Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg (INSA).

Oliver Lang + Oliver David Krieg + Kristin Slavin, Intelligent City. Oliver Lang ist CEO und Mitgründer, Dr.-Ing. Oliver David Krieg Chief Technology Officer und Kristin Slavin Director of Product von Intelligent City, einem technologiegestützten Unternehmen für den städtischen Wohnungsbau. Das Unternehmen arbeitet seit über einem Jahrzehnt an einer tiefgreifenden Technologie- und Prozessintegration, um nachhaltige städtische Mehrfamilienhäuser mit Netto-Null-Bilanz zu niedrigeren Kosten für Eigentümer, Betreiber und Mieter zu entwerfen und zu bauen. Das System umfasst Massivholzelemente, Konstruktionstechnik, Passivhausstandard, automatisierte Fertigung und firmeneigene para-

metrische Software. Das Unternehmen bezeichnet dieses Modell als Platforms for Life (P4L). Dabei handelt es sich um eine skalierbare und anpassungsfähige Technologieplattform, die für die Schaffung von attraktivem städtischem Wohnraum entwickelt wurde.

Julian Lienhard ist Gesellschafter der str.ucture GmbH, eines Stuttgarter Ingenieurbüros für Sonderkonstruktionen, Leichtbau und digitale Bauprozesse. Nach Abschluss seiner mehrfach ausgezeichneten Promotion (Dr.-Ing.) über biegeaktive Tragwerke am Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen (itke) der Universität Stuttgart im Jahr 2014 lehrte Lienhard an diversen Hochschulen im In- und Ausland. 2016 und 2017 war er Gastprofessor an der HafenCity Universität Hamburg (HCU). Seit der Berufung 2019 zur Professur für Tragwerksentwurf an die Universität Kassel widmet sich Julian Lienhard der Forschung an neuen hybriden Konstruktionen und etabliert das interdisziplinäre Arbeiten in digitalen Wertschöpfungsketten.

Thomas Lützkendorf ist seit 2000 Professor für Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus an der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Er vertritt in Lehre und Forschung Themen der Umsetzung von Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung im Bau- und Gebäudereich. Thomas Lützkendorf studierte an der heutigen Bauhaus-Universität Weimar, wo er 1985 auch promovierte und 2000 habilitierte. Sowohl als Obmann beim DIN und Experte in der Normung bei CEN und ISO als auch bei der Entwicklung und Erprobung von Nachhaltigkeitsbewertungssystemen engagiert er sich im Bereich der Erarbeitung sowie Verbreitung von Grundlagen und Hilfsmitteln für die Erfassung, Bewertung und planungsbegleitende Beeinflussung der ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Performance von Gebäuden. Er ist Gründungsmitglied der Internationalen Initiative für eine nachhaltig gebaute Umwelt (iisBE).

Hilke Manot promoviert seit 2022 am Fachgebiet Tragwerksentwurf, Universität Kassel, in dem sie bereits während ihres Architekturstudiums als studentische Hilfskraft gearbeitet hat. Ihr Interesse gilt dem Entwurf und der Konstruktion nachhaltiger Konzepte und Lösungen mit Schwerpunkt auf Urban-Mining-Strategien und der Wiederverwendung bestehender Gebäudeelemente, um eine zirkuläre Bauweise voranzutreiben. Der besondere Schwerpunkt ihrer Forschung liegt auf der Wiederverwendung von Baustahl in hybriden Systemen mit natürlichen Materialien.

Achim Menges hat an der Architectural Association School of Architecture in London diplomiert. Er ist Architekt in Frankfurt und Professor an der Universität Stuttgart. Dort leitet er seit 2008 das von ihm neu gegründete Institut für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung (ICD) und seit 2019 das Exzellenzcluster „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“ (IntCDC). Ebenfalls war er für sechs Jahre Gastprofessor an der Harvard University sowie an verschiedenen anderen Universitäten in den USA und Europa. In Praxis und Forschung untersucht Achim Menges einen integrativen Ansatz zum computerbasierten Entwerfen, Fertigen und Bauen sowie hierdurch ermöglichte, genuin digitale Bauweisen für eine zukunftsfähige Architektur.

Alexander Passer ist Professor für Nachhaltiges Bauen an der TU Graz. Seit 2011 leitet er die gleichnamige Arbeitsgruppe, die sich mit Themen des Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA), dessen Anwendung im Entwurfsprozess und der Optimierung der Lebenszyklus-Performance von Gebäuden unter Berücksichtigung systemischer Wechselwirkungen beschäftigt. Forschungsschwerpunkte zur Operationalisierung der Nachhaltigkeit im Bauwesen sind Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Cost Analysis (LCCA), multi-kriterielle Entscheidungsmodelle (MCDM) und Building Information Modeling (BIM). Alexander Passer ist österreichischer Delegierter in Komitees des CEN/TC350 und CEN/TC 442 sowie weiteren nationalen und internationalen Fachausschüssen. Seit 2018 ist er Vorsitzender des Nachhaltigkeitsbeirats der TU Graz. Ebenfalls seit 2018 ist er im Vorstand des Climate Change Centre Austria (CCCA), dem Klimaforschungsnetzwerk Österreich. 2014 war er Gastprofessor am Lehrstuhl Nachhaltiges Bauen der ETH Zürich. Seit 2013 ist er Subject Editor des *International Journal of Life Cycle Assessment* für den Themenbereich Baumaterialien und Gebäude.

Martin Peht ist wissenschaftlicher Geschäftsführer und Vorstand des ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Seit über 25 Jahren setzt er sich für eine nachhaltige und gerechte Energiewende und gesellschaftliche Transformation ein. Peht studierte Physik, Energietechnik und -management in Tübingen, Boulder, Berlin und Stuttgart und forschte zuvor am National Renewable Energy Laboratory in den USA und am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. In zahlreichen Projekten analysiert er energiepolitische Instrumente und Strategien für erneuerbare Energien und Energieeinsparung. Er untersucht Technikfolgen, Ökobilanzen und energiewirtschaftliche Auswirkungen und begleitet Pilotprojekte. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei der Wärmewende mit nachhaltigen Gebäuden und klimaschonenden Heizungssystemen. Peht ist in zahlreichen Beiräten, Genossenschaften und Gremien für die Energiewende aktiv, unter anderem im Klimarat Hamburg und im Klimasachverständigenrat Baden-Württemberg.

Mette Ramsgaard Thomsen untersucht die Schnittstellen von Architektur und computerbasierten Entwurfsprozessen und erforscht den tiefgreifenden Wandel, den digitale Technologien in der Konzeptualisierung, Planung und Realisierung von Architektur bewirken. Im Jahr 2005 gründete sie die Forschungsgruppe Centre for Information Technology and Architecture (CITA) an der Königlich Dänischen Kunstakademie, Hochschulen für Architektur, Design und Denkmalpflege, wo sie einen Forschungsschwerpunkt auf die neuen digital-materiellen Beziehungen legte. Das CITA spielte eine zentrale Rolle bei der Etablierung eines internationalen Forschungsfeldes, das die veränderte Materialpraxis in der Architektur untersucht. Dazu dienten eine Reihe von Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Konzepten und Technologien sowie strategische Projekte wie das mit Mitteln aus dem EU-Programm Marie Curie geförderte internationale ETN-Netzwerk InnoChain und das Projekt „An Eco-Metabolic Framework for Sustainable Architecture“ des Europäischen Forschungsrats (ERC), das den interdisziplinären Austausch und die Verbreitung von Fachwissen fördert und neue Kooperationen in den Bereichen Architektur, Ingenieurwesen und Fertigung

unterstützt. Derzeit ist Professor Ramsgaard Thomsen Generalbe-richterstatterin und Leiterin des wissenschaftlichen Bereichs für den UIA2023CPH-Weltkongress „Sustainable Futures – Leave No One Behind“, der sich mit dem Beitrag der Architektur zu den nachhaltigen Entwicklungszielen der Vereinten Nationen (UN SDGs) befasst. 2022 wurde sie zur Cret-Gastprofessorin an der University of Pennsylvania Weitzman School of Design ernannt.

Gilles Retsin ist Mitgründer und CTO/Chefarchitekt des britischen Start-up-Unternehmens AUAR Ltd., das ein dezentrales Mikrofabrik-Netzwerk für regenerative Wohngebäude aus Holz aufbaut und bis 2032 die Errichtung von 10.000 Netto-Null-Häusern pro Jahr anstrebt. Er studierte Architektur in Belgien, Chile und Großbritannien, wo er an der Architectural Association School of Architecture promovierte. Seine Entwurfsarbeiten und sein kritischer Diskurs fanden internationale Anerkennung durch Auszeichnungen, Vorträge und Ausstellungen in bedeutenden Kultureinrichtungen wie dem Museum of Arts and Design in New York, der Royal Academy in London und dem Centre Pompidou in Paris. Er ist Herausgeber von Büchern zu den Themen Architektur, computergestütztes Entwerfen und Robotik sowie Associate Professor an der Bartlett School of Architecture des University College London. Dort ist er einer der Leiter des AUAR Labs, eines Forschungslabors, das sich auf die Innovation der gesamten Wertschöpfungskette im Wohnungsbau konzentriert.

Matthias Rudolph ist Professor für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Entwerfen in der Fachgruppe Architektur an der Staatlichen Akademie der Bildenden Künste Stuttgart. Der Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Arbeit liegt auf der Erforschung der Wechselwirkung zwischen Ökologie, Standort, Raum und Formfindung sowie der mikroklimatischen Anpassung urbaner Räume. Er verfügt über mehr als 20 Jahre Praxiserfahrung als Klimaingenieur. In interdisziplinärer Zusammenarbeit mit renommierten Architekten entwickelt er im Rahmen der Firma Transsolar Strategien für klimaneutrale Gebäude und Stadtentwicklungen im internationalen Kontext. Matthias Rudolph ist zudem gefragter Referent auf internationalen Konferenzen und

Branchenveranstaltungen. Seit 2017 ist er Mitglied des Präsidiums der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB).

Mattheos Santamouris ist Scientia Distinguished Professor für High Performance Architecture an der University of New South Wales (UNSW) und ehemaliger Professor an der Universität Athen. Er war Gastprofessor am Cyprus Institute, der Metropolitan University London, der Tokyo Polytechnic University, der Universität Bozen, der Brunel University London, der Universität Seoul, der National University of Singapore und der UiTM Malaysia. Er ist ehemaliger Präsident des Nationalen Zentrums für erneuerbare Energien und Energieeffizienz in Griechenland. Mattheos Santamouris ist Autor von 400 Fachartikeln, Herausgeber und Autor von 20 Büchern sowie Herausgeber zahlreicher internationaler Fachzeitschriften. Er ist Gutachter für Forschungsprojekte in vielen Ländern, darunter den USA, Großbritannien, Frankreich, Deutschland, Kanada und Schweden. Im Ranking-System der Stanford University wurde er für die Jahre 2019-2021 als weltweit meistzitatierter Forscher im Bereich Bauwesen eingestuft und ist in vielen anderen akademischen Rankings prominent vertreten.

Peter Schossig ist seit über 25 Jahren am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) im Bereich Thermie tätig. Seit 2017 leitet er den Bereich „Wärme und Gebäude“, in dem auch die Arbeiten am Thema Wärmepumpen angesiedelt sind. Nach dem Studium der Physik an der Universität Freiburg promovierte er an der Universität Karlsruhe (TH) zum Thema gebäudeintegrierte Wärmespeicher. In den letzten Jahren baute er das Thema Entwicklung von Wärmepumpen, insbesondere mit natürlichen Kältemitteln, deutlich aus und erweiterte das Forschungsfeld des ISE in Richtung netzgekoppelte Großwärmepumpen und Hochtemperatur-Wärmepumpen für industrielle Anwendungen.

Kaiyu Sun ist leitende Ingenieurwissenschaftlerin an der Building Technology and Urban Systems Division des Lawrence Berkeley National Laboratory in Kalifornien. Ihre Forschungsschwerpunkte sind die Energiemodellierung von Gebäuden und die Entwicklung von Simulationswerkzeugen, die Verknüpfung von Energieeffizienz und thermischer

Resilienz von Gebäuden, die automatisierte Modellkalibrierung sowie die Modellierung des Nutzerverhaltens. Sie ist Cheftwicklerin der Software CBES: Commercial Building Energy Saver, die 2019 mit dem R&D 100 Award ausgezeichnet wurde.

Martin Tamke ist Associate Professor am Centre for Information Technology and Architecture (CITA) in Kopenhagen. Er betreibt entwurfsorientierte Forschung zu den Schnittstellen und Auswirkungen von computerbasierten Entwurfsmethoden und deren Materialisierung. Er kam 2006 zum damals neu gegründeten CITA und prägte dessen entwurfsbasierte Forschungspraxis mit starkem interdisziplinärem Fokus in Projekten wie Durable Architectural Knowledge (DURAARK) oder dem internationalen, mit Mitteln aus dem EU-Programm Marie Curie geförderten ETN-Netzwerk InnoChain. Seine neueste Forschung konzentriert sich auf computerbasierte Strategien und Technologien für die Transformation der Bauindustrie hin zu einer nachhaltigen und kreislaufgerechten Praxis auf der Grundlage von Biomaterialien. 2019 wurde er zum Generalberichterstatter für den wissenschaftlichen Bereich des UIA2023 Copenhagen World Congress of Architects ernannt, 2022 zum Gastprofessor im Exzellenzcluster „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“ (IntCDC) an der Universität Stuttgart. Er ist an dem aus Dänemark finanzierten Forschungsprojekt Predicting Response, dem EU-Projekt Exskallerate, dem ERC-Projekt „Eco-Metabolic Framework for Sustainable Architecture“ und mehreren Industriekooperationen beteiligt.

Oliver Tessmann ist Architekt und Professor an der Technischen Universität Darmstadt, wo er die Digital Design Unit (DDU) leitet. Er forscht und lehrt in den Bereichen computerbasiertes Entwerfen, digitale Fabrikation und Robotik in der Architektur. Von 2012 bis 2015 war er Assistenzprofessor an der Fakultät für Architektur der Königlichen Technischen Hochschule (KTH) in Stockholm. Von 2008 bis 2011 war er Gastprofessor an der Städelschule Architecture Class (SAC) und arbeitete mit dem Ingenieurbüro Bolinger+Grohmann in Frankfurt zusammen. Im Jahr 2008 promovierte Oliver Tessmann an der Universität Kassel zum Dr.-Ing. mit einer Dis-

sertation zum Thema „Collaborative design procedures for architects and engineers“. Seine Arbeiten wurden in Europa, Asien und den USA veröffentlicht und ausgestellt.

Konstantina Vasilakopoulou ist Dozentin mit Schwerpunkt Forschung an der School of the Built Environment der University of New South Wales. Sie ist amtierende Leiterin des Home Modification Information Clearinghouse und leitet das Livability Lab des Fachbereichs. Ihre Forschungsinteressen konzentrieren sich unter anderem auf Universal und Inclusive Design, Licht und Beleuchtung, Energieeffizienz in der gebauten Umwelt und Techniken zur Minderung der Überhitzung im urbanen Kontext. Ihr Team erforscht die Auswirkungen der gebauten Umwelt auf das Wohlbefinden der Menschen, wobei der Fokus auf älteren Menschen und Menschen mit Behinderungen liegt.

Anne-Kristin Wagner ist Architektin und forscht und lehrt auf dem Gebiet des nachhaltigen Bauens. Ihre aktuelle Forschung konzentriert sich auf Wiederverwendungsstrategien und die Ökobilanzierung von Materialien und Gebäuden. Ihr großes Interesse gilt zudem Nachhaltigkeitsstrategien im Bausektor und auf Quartiersebene – mit dem Ziel einer Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks. Sie ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und Doktorandin im Fachgebiet Entwerfen und Nachhaltiges Bauen (ENB) an der Technischen Universität Darmstadt. Seit ihrem Studienabschluss an der TU Kaiserslautern arbeitete sie in der Energieberatung und Nachhaltigkeitszertifizierung für Gebäude bei der ee concept GmbH in Darmstadt.

Benjamin Weber studierte Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und gewann dort als Mitglied des Teams RoofKIT den Solar Decathlon Europe. In seiner Masterarbeit, die sich als Fortführung des Wettbewerbs versteht, beschäftigte er sich mit dem Begriff der Baukultur und historischen ländlichen Bauformen, die als Inspiration für kreislaufgerechte, klimaangepasste Konstruktionen aus lokal verfügbaren Materialien und ein klimaneutrales Low-Tech-Konzept im Bestand dienen. Er war Stipendiat des Norman Foster Foundation Energy Workshops und arbeitet nach seinem Studium nun bei haascookzemmrich Studio2050, Mitbe-

gründer des DGNB, an innovativen, ressourcenschonenden Projekten weltweit.

Max Wei ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Sustainable Energy and Environmental Systems Department des Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) in Kalifornien. In seiner Forschung konzentriert er sich auf die Schaffung einer höheren Resilienz und Chancengerechtigkeit in der gebauten Umwelt durch Gebäudemodellierung im urbanen Maßstab sowie Strategieentwicklung. Er leitete die Arbeitsgruppe Resilienz am LBNL, deren Ziel in der Erhöhung der Resilienz am LBNL-Laborstandort bestand, und führte Teams zur Entwicklung von Modellierungsinstrumenten und zur Quantifizierung der Vorteile verschiedener passiver und aktiver Maßnahmen zur Steigerung der Widerstandsfähigkeit gegen extreme Hitze. Zudem war er zuständig für die innovative integrierte Modellierung von Szenarien zur Dekarbonisierung des Wohnsektors in den Bereichen Energieversorgung, Gebäude und Verkehr. Dr. Wei verfügt über mehr als zehn Jahre Erfahrung in der technisch-ökonomischen Modellierung von neuen Technologien und der Analyse von politischen Vorgaben für Dekarbonisierungspfade in Kalifornien. Er war führend beteiligt an zwei früheren Studien zu Möglichkeiten für Kalifornien, die langfristigen Klimaziele für 2050 zu erreichen, und führte Untersuchungen zur Quantifizierung der Vorteile der Klimatisierung mit Kältemitteln mit geringem Treibhauseffekt und der Gesamtbetriebskosten von brennstoffzellenbasierter Kraft-Wärme-Kopplung in Gewerbebauten durch.

Vincent Witt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Digital Design and Fabrication (DDF) an der Fakultät für Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Er erwarb dort kürzlich seinen Master of Science in Architektur. Im Rahmen seines Studiums absolvierte er ein Praktikum in Basel. In seiner Masterarbeit untersuchte er digitale Entwurfs- und neuartige Fertigungsverfahren in Bezug auf Urban Mining sowie deren Integration in den architektonischen Entwurfsprozess.

Erik Zanetti ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Digital Design and Fabrication (DDF) an der Fakultät für Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Er verfügt über Abschlüsse als Master of Science mit Spezialisierung auf computergestütztes Entwerfen (Technische Universität Delft) und als Bachelor of Science in Architektur (Politecnico di Milano). Vor seiner Tätigkeit am DDF arbeitete er im computerbasierten Entwurf und als Spezialist für digitale Fabrikation bei der FibR GmbH in Stuttgart sowie als externer Dozent an der Universität Innsbruck. Seine Forschung konzentriert sich auf kreislaufgerechte Bauverfahren und Materialien, die er unter Anwendung von digitalen Entwurfs- und Fertigungsmethoden untersucht.

ABBILDUNGSNACHWEIS

- Agentur Blumberg GmbH und Steinbeis Innovationszentrum (SIZ) energieplus 93: 4 (Anpassungen Sebastian Kreiter)
- architectenbureau cepezed, Delft (Anpassungen Hilke Manot) 121: 5c
- AUAR (Automated Architecture) 135: 2; 137: 3
- Baumschlagler Eberle Architekten 72: 2
- Berning, Matthias 85: 1, 2 (Anpassungen Sebastian Kreiter); 86: 3
- Braun, Zooley, Stuttgart 149: 7; 150: 8–10; 151: 11, 14; 153: 19, 20
- Diefenbacher, Luca 13: 2
- Dürr, René 72: 3, 4; 73: 5, 6
- Element · A 66: 5 unten
- Eschenbach, Max Benjamin (Digital Design Unit DDU, TU Darmstadt) 126: 2; 127: 3; 128: 5
- Gramazio Kohler Research, Department Architektur, ETH Zürich 111: 1
- Green Hydrogen Esslingen GmbH 94: 5, 6; 96: 10 (Anpassungen Sebastian Kreiter); 99: 12 (Anpassungen Sebastian Kreiter)
- Green Hydrogen Esslingen GmbH und Maximilian Kamps, Agentur Blumberg GmbH 95: 7; 96: 9 (Anpassungen Sebastian Kreiter)
- Hebel, Dirk E. 151: 13
- Herkel, Sebastian (Anpassungen Sebastian Kreiter) 33: 1
- Huber, Eduard, archphoto © Baumschlagler Eberle Architekten 71: 1
- Hufton + Crow 68: 7
- Institute for Computational Design and Construction, Universität Stuttgart 111: 2
- Intelligent City Inc. 51: 1; 52: 2; 53: 3; 54: 4
- Kaden + Lager, Berlin (Anpassungen Hilke Manot) 121: 5a
- Khan, Ansar, Laura Carlosena, Samiran Khorat, Rupali Khatun, Quang-Van Doan, Jie Feng, Mattheos Santamouris (Anpassungen Sebastian Kreiter) 102: 2, 3
- KIT-Fakultät für Architektur 144: 2; 145: 3; 146: 4, 5 (Sebastian Kreiter); 148: 6; 152: 12, 15–18
- Kleinschmitt, Carla, Emilia Kühn (Digital Design Unit DDU, TU Darmstadt) 125: 1
- Kreiter, Sebastian 15: 3; 17: 4; 18: 5
- Liu, Yuxi 129: 7; 130: 8, 9
- Manot, Hilke, Julian Lienhard (Anpassungen Sebastian Kreiter) 117: 1, 2; 118: 3; 119: 4; 121: 6; 122: 7, 8
- NAARO, photography & creative direction studio 133: 1; 138: 4
- O'Brien, William, Andreas Wagner, Marcel Schweiker, Ardeshir Mahdavi, Julia Day, Mikkel Baun Kjærgaard, Salvatore Carlucci, Bing Dong, Farhang Tahmasebi, Da Yan, Tianzhen Hong, H. Burak Gunay, Zoltan Nagy, Clayton Miller, Christiane Berger (Anpassungen Sebastian Kreiter) 89: 4
- Olsen Kundig, Seattle 67: 6; 69: 10
- Professur Design of Structures dos, KIT-Fakultät für Architektur 114: 6
- Professur Digital Design and Fabrication DDF, KIT-Fakultät für Architektur 113: 3–5; 115: 7–10
- Santamouris, Mattheos, Jie Feng (Anpassungen Sebastian Kreiter) 101: 1; 105: 4
- SDE Wuppertal 155: 21
- Solar Decathlon Europe 22/23 143: 1
- Steinbeis Innovationszentrum (SIZ) energieplus 91: 1, 2 (Anpassungen Sebastian Kreiter); 92: 3 (Luftbild Maximilian Kamps, Agentur Blumberg GmbH); 96: 8; 97: 11 (Foto Maximilian Kamps, Agentur Blumberg GmbH); 99: 13 (Anpassungen Sebastian Kreiter)
- Sun, Kaiyu, Wannan Zhang, Zhaoyun Zeng, Ronnen Levinson, Max Wei, Tianzhen Hong (Anpassungen Sebastian Kreiter) 37: 1; 40: 4, 5; 41: 6; 43: 7
- Sun, Kaiyu, Wannan Zhang, Zhaoyun Zeng, Ronnen Levinson, Max Wei, Tianzhen Hong (nach: City of Fresno, Restore Fresno) 37: 2
- Transsolar GmbH, Stuttgart 63: 1; 64: 2 (PK Odessa, Lanz und Schels); 65: 3, 4 (Anpassungen Sebastian Kreiter); 66: 5 oben (PK Odessa, Lanz und Schels); 68: 8; 68: 9 (Anpassungen Sebastian Kreiter); 69: 11 (Anpassungen Sebastian Kreiter)
- Unger, Malcolm 128: 4
- Unverzagt, Tom 11: 1
- Wagner, Anne-Kristin 129: 6
- Waugh Tristleton Architects + Storey, London 121: 5b (Anpassungen Hilke Manot)
- Witt, Vincent 19: 6 (N Scale People: Scottsmodelsremixes-andrescales, CC BY 4.0; Uline Sticky Note Pallet Scale Forklift: SamPerry, CC BY 4.0; Conveyor Belt: Cianon, CC BY 4.0; Le Corbusiers Maison Domino: Morgen, 3dwarehouse; Truck Turntable 10000mm Diameter: Australian Turntable Company, 3dwarehouse)

PERSONENREGISTER

- Andersson, David 155
 Auer, Thomas 60–61
 Babadi, Zahra 131
 Belousov, Boris 131
 Berning, Matthias 84–89
 Binzel, Dominik 131
 Block, Philippe 18
 Blümke, Katharina 155
 Boerman, Elena 142–155
 Böhret, Tobias 131
 Cache, Bernard 134
 Carbonare, Nicolás 155
 Carpo, Mario 134
 Claypool, Mollie 134
 Crutzen, Paul J. 10
 Disch, Rolf 20
 Dörfler, Kathrin 49
 Dörstelmann, Moritz 24–25, 46–47,
 75, 106–107, 110–115
 Dutschke, Mirko 131
 Eichhorn, Maria 142
 Ernst, Jonas Benjamin 155
 Eschenbach, Max Benjamin 124–131
 Esmaeili, Mehrzad 131
 Fisch, M. Norbert 90–99
 Fischer, Daniel 110–115
 Gaudillière-Jami, Nadja 131
 Gebauer, Regina 155
 Gehry, Frank 18
 Gerschenfeld, Neil 133
 Gille-Sepehri, Marc 131
 Gropius, Walter 132
 Gültekin, Aysenur 131
 Guterres, António 12
 Hasselmann, Johannes 155
 Hebel, Dirk E. 10–19, 142–155
 Heisel, Felix 10–19, 142–155
 Herkel, Sebastian 32–35
 Herzog, Thomas 20
 Hosch, Michael 155
 Hoss, Hanna 155
 Kautzsch, Martin 155
 Kloft, Harald 131
 Knippers, Jan 77
 Kretschmann, Winfried 154
 Krieg, Oliver David 50–55
 Kuhn, Christoph 124–131
 La Magna, Riccardo 155
 Lang, Oliver 50–55
 Ledderose, Lukas 131
 Lenz, Daniel 155
 Lienhard, Julian 116–123
 Lokko, Lesley 142
 Lützkendorf, Thomas 82–83
 Lynn, Greg 134
 Manot, Hilke 116–123
 Menges, Achim 77
 Mino Rodriguez, Isabel 155
 Müller, Kerstin 154
 Passer, Alexander 82–83
 Pehnt, Martin 30–31
 Peters, Jan 129, 131
 Pfafferott, Jens 155
 Ramsgaard Thomsen, Mette 109
 Raupp, Julian 155
 Rausch, Manuel 155
 Retsin, Gilles 132–139
 Rohlffs, Klaus 155
 Rudolph, Matthias 62–69
 Santamouris, Mattheos 100–105
 Schlesier, Karsten 155
 Schneider, Tim 131
 Schossig, Peter 32–35
 Shih, Shen-Guan 128
 Slavin, Kristin 50–55
 Sobek, Werner 152
 Stoermer, Eugene Filmore 10
 Sun, Kaiyu 36–45
 Tamke, Martin 109
 Tessmann, Oliver 124–131
 Tianzhen Hong 36–45
 Vasilakopoulou, Konstantina 100–105
 Wachsmann, Konrad 132
 Wagner, Andreas 20–23, 28–29,
 58–59, 70–74, 80–81, 142–155
 Wagner, Anne-Kristin 124–131
 Weber, Benjamin 70–74, 155
 Wei, Max 36–45
 Witt, Vincent 46–47
 Wohlfeld, Denis 131
 Wölfle, David 155
 Wortmann-Vierthaler, Martin 155
 Wright, Frank Lloyd 132
 Yuxi Liu 131
 Zanetti, Erik 106–107, 110–115
 Zollinger, Friedrich 18

REGISTER DER FIRMEN, INSTITUTIONEN UND INITIATIVEN

35. Internationaler Geologischer Kongress, Kapstadt 10
Arch+ 142
Architektenbureau Cepezed 120, 121
Architekturbüro Engelbrecht 66
Automated Architecture (AUAR) 133, 135–139
Baumschlagel Eberle Architekten 70–74
Bergische Universität Wuppertal 142
Biennale Architettura 2023 (18. Internationale Architekturausstellung) Venedig 142
Bundesgartenschau Mannheim 2023 114
Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) 97
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) 131
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 92, 131
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 92, 95
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 90
Bundesverband Erneuerbare Energie (BEE) 92, 98
Bundesverband Wärmepumpe 32
Büro Juliane Greb 142
California Global Warming Solutions Act 14
California Green Building Standards Code (CGBSC), CALGreen 14
Center for Bits and Atoms, Massachusetts Institute of Technology (MIT) 134
Climate Emergency Action Plan, Vancouver 50
Club of Rome 58
Concular 120, 155
COP21: 21. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 12
COP27: 27. Weltklimakonferenz 12
Dassault Systems 18
DAV e. V. 64
Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) 120
Digital Building Fabrication Laboratory (DBFL), TU Braunschweig 128
DIN 1050-2 1947-06 Altstahl im Hochbau 120
Element · A Architekten 64
EN 1090 Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Stahltragwerken 120
Energieeinsparverordnung (EnEV) 20
Erneuerbare-Energien-Verordnung 91
Europäische Gebäuderichtlinie (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) 13, 14, 16, 21, 22, 29, 82, 83
Europäische Kommission 13
Europäische Union (EU) 11–14, 19, 22
Europäischer Green Deal 11, 12, 22, 90
Europäisches Patentamt 19
Fachgebiet Digitales Gestalten (DDU), TU Darmstadt 129, 131
Fachgebiet Entwerfen und Nachhaltiges Bauen (ENB), TU Darmstadt 131
Fachhochschule Offenburg 145, 155
FARO Europe GmbH 127, 131
„Fit for 55“-Programm 12, 13
Forschungszentrum Jülich 90
FZI Forschungszentrum Informatik 155
General Panel Corporation 132
Geological Society of London 10
Grasshopper 129
Green Hydrogen Esslingen GmbH (GHE) 93
Greenest City Action Plan, Vancouver 50
HafenCity Universität Hamburg (HCU) 155
Heinrich-Meidinger-Berufs- und Meisterschule 145, 155
hiendl_schneis architektenpartnerschaft 64
Institut für Tragwerksentwurf (ITE), TU Braunschweig 128, 131
Intelligent Autonomous Systems Group (IAS), TU Darmstadt 130, 131
Intelligent City 50–55
International Building Code (IBC) 14
International Energy Agency (IEA) 82
International Energy Conservation Code (IECC) 14, 38
International Green Construction Code (IgCC) 14
ip5 155
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 22
Ithaca Green New Deal 15
Jüdisches Museum Berlin 66
Kaden + Lager 116, 120, 121
Kältemittelverordnung der EU (F-Gas Directive) 34
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) 111, 112, 144, 154, 155
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Fakultät für Architektur 144, 155
Kaufmann Zimmerei und Tischlerei GmbH 155
Kommission für Stratigraphie 10
Lehen drei Architekten Stadtplaner SRL 92
Local Law 97 (LL97), New York 14
Olson Kundig 66
Organisation der erdölexportierenden Länder (OPEC) 16, 20
Peter Rieger Historische Baustoffe 155
Polarstern GmbH 95
Rotor DC 155
RVI GmbH 93
Schweizer Bauteilbörse 155
Solar Decathlon Europe 21/22 22, 142, 143, 154
„Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ 92
Stadtwerke Esslingen 93, 95
Steinbeis Innovationszentrum (SIZ) energieplus 90, 92
Summacumfemmer 142
Thing Technologies GmbH 128, 131
U. S. Green Building Council 42
Vereinte Nationen, UNO 12
Wärmeschutzverordnung (WSchVO/WärmeschutzV) 20
Waugh Thistleton Architects + Storey 120, 121
Zirkular 154

**REGISTER DER PROJEKTE,
PRODUKTE UND
PUBLIKATIONEN**

- 2226 70–74
2G Magazine 132
 ANOHA – Kinderwelt des Jüdischen
 Museums Berlin 64, 66–69
Arquitectura Viva 132
 AUAR Garden Studio, Bristol 133
 AUAR-Roboterzelle, Milton
 Keynes 135
Besser – Weniger – Anders Bauen
 18, 22, 25, 142, 154
 Building D(emountable), Delft
 120, 121
 Building Information Modeling
 (BIM) 36
 CalEnviroScreen 38
 CATIA 18
 CBECC-RES 38
 CBES SDK 36, 37
 Circular Production, Entwurfsstudio
 126, 127, 131
 City Buildings, Energy, and Sustaina-
 bility (CityBES) 36–38, 44
 City Geography Markup Language
 (CityGML) 36, 37
 DAV-Bundesgeschäftsstelle,
 München 64–66
 Digital Rubble 124–131
 DigitalWicker 115
El Croquis 132
 Energieautarkes Solarhaus, Freiburg
 20
 EnergyPlus 36
 Evaluierung von Energiekonzepten
 (EVA) 62
 Fertigteil 2.0 126–128, 131
 GeoJSON 36, 37
 H2 GeNeSiS 98
 House Block, Hackney 139
 IEA EBC Annex 57 82
 IEA EBC Annex 72 82
 IEA EBC Annex 89 83
 InterTwig 115
 Klimaquartier Neue Weststadt,
 Esslingen 90–99
 KonLuft 62
*Kreislaufgerechtes Bauen und Kreis-
 laufwirtschaft* 7, 19
 „Level(s)“ 13, 83
 OpenStudio 36
 Orsman Road Workspace, London
 120, 121
Oxford Dictionary 110
 P2G&H 80, 90–99
 Passivhaus, Darmstadt 20
 Pruitt-Igoe, St. Louis 133
 ReGrow 114, 115
 RoofKIT 22, 142, 145–155
 SKAIO, Heilbronn 118, 120, 121
 SL-Block 130
 Super-Cool Materials 100–105
 Tactile Robotic Assembly 131
 Textile Block Houses 132
 „The ‚Anthropocene‘“ 10
 „Transformationsstrategien für das
 deutsche Energiesystem bis zum
 Jahr 2050“ 90
 Urban Building Energy Modeling
 (UBEM) 36
 Usonian Automatic Houses 132
 Wasp 129
 WikiHouse 134
 WillowWeave 115
 Zollinger-Gitterschale 18

IMPRESSUM

Layout, Covergestaltung und Satz:
Tom Unverzagt

Übersetzung der Texte von Tianzhen Hong/Max Wei/Kaiyu Sun, Oliver David Krieg/Kristin Slavin/Oliver Lang, Matthias Berning, Mattheos Santamouris/Konstantina Vasilakopoulou, Martin Tamke/Mette Ramsgaard Thomsen, Daniel Fischer/Erik Zanetti/Moritz Dörstelmann, Moritz Dörstelmann/Erik Zanetti, Oliver Tessmann/Max Benjamin Eschenbach/Christoph Kuhn/Anne-Kristin Wagner und Gilles Retsin ins Deutsche: Steffen Walter

Lektorat: Andreas Müller

Herstellung: Anja Haering

Druck: Grafisches Centrum Cuno GmbH

Papier: 120 g/m² Amber Graphic

Dieses Buch ist auch in englischer Sprache (Print ISBN 978-3-0356-2117-4, e-book PDF ISBN 978-3-0356-2717-6) erschienen.

Library of Congress Control Number:
2023944975

Bibliografische Information der
Deutschen Nationalbibliothek

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts.

Für eine leichtere Lesbarkeit wird in diesem Buch die männliche Sprachform bei personenbezogenen Substantiven und Pronomen verwendet. Dies ist im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen.

In diesem Buch werden etwa bestehende Patente, Gebrauchsmuster, Warenzeichen u. ä. in der Regel nicht erwähnt. Wenn ein solcher Hinweis fehlt, heißt das nicht, dass eine Ware oder ein Warenname frei ist.

ISBN 978-3-0356-2116-7

e-ISBN (PDF) 978-3-0356-2718-3

© 2023 Birkhäuser Verlag GmbH, Basel

Im Westfeld 8, 4055 Basel, Schweiz

Ein Unternehmen der Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston

9 8 7 6 5 4 3 2 1
www.birkhauser.com