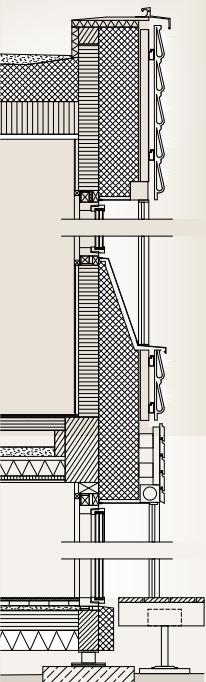


living lab nrw

22»26



nachhaltiges bauen
erforschen, erproben
und vermitteln.



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



LIVING LAB. NRW

Gefördert durch

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



living lab nrw

22»26

**nachhaltiges bauen
erforschen, erproben
und vermitteln.**



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Gefördert durch

**Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen**





Grußwort

Wie geht klimagerechtes Bauen der Zukunft? Klar ist: Wir wollen weiterhin in schönen, technisch ausgereiften und stabilen Häusern wohnen und arbeiten. Gleichzeitig muss der CO₂-Abdruck von Gebäuden weiter sinken. Es gilt, auch beim Bau Ressourcen stärker zu schonen und einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Dazu kommt die Anforderung, die Gebäude an das sich ändernde Klima anzupassen. Neben dem Schutz vor Überhitzung im Gebäude müssen wir heute auch den Umgang mit Starkregen und Hochwassern mitdenken.

Das Projekt Living Lab NRW zeigt eindrucksvoll, wie der Dreiklang aus Klimaschutz, Klimaanpassung und Ressourcenschonung gelingen kann. Besonders hervorheben möchte ich die enge Verbindung von Forschung, Lehre und Architektur, die dieses Projekt geprägt haben. Für die Zukunft des klimagerechten Bauens sind die Erkenntnisse und das erarbeitete Know-how in der Ausbildung der nächsten Generationen von Architekt*innen und Planer*innen von großer Bedeutung.

Die vorliegende Dokumentation zeigt die Bausteine und Forschungsergebnisse des Projekts. Die Auseinandersetzung mit solarem Bauen und der Umwelt schafft dabei ein Verständnis für die komplexen Wechselwirkungen zwischen Entwurf, Konstruktion und Nutzung.

Das Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen hat das Projekt mit viel Freude und Begeisterung begleitet. Mein Dank gilt allen Beteiligten, die mit ihrem persönlichen Engagement, ihrer fachlichen Expertise, und der großen Bereitschaft zum interdisziplinären Austausch zum Gelingen des Projekts Living Lab NRW beigetragen haben.

Katja Bettina Schmidt

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



Vorwort

Was passiert, wenn Wissenschaft den geschützten Raum verlässt und sich der Realität stellt? Wenn aus Ideen Gebäude werden, aus Forschung konkrete Erfahrungen – und wenn Menschen nicht nur über nachhaltiges Bauen sprechen, sondern es ausprobieren?

Das Living Lab NRW hat genau dafür einen Ort geschaffen. Entstanden aus dem Solar Decathlon Europe 21/22, wurde es zu einem Reallabor im besten Sinne: zu einem Ort des Forschens, Lehrens, Ausprobierens und Vermittelns. Studierende und Forschende haben hier gemeinsam mit vielen Partnerinnen und Partnern untersucht, wie wir künftig nachhaltiger bauen und wohnen können – technisch, architektonisch und immer auch mit Blick auf die Menschen, die diese Räume nutzen.

Gerade diese Vielfalt zeigt die vorliegende Publikation eindrucksvoll: Sie reicht von Energie, Bauphysik und Architektur über neue Lehrformate bis zur Frage, wie wissenschaftliche Erkenntnisse in die Gesellschaft getragen werden können.

Für eine Universität ist ein solcher Ort ein Glücksfall. Denn unsere Aufgabe besteht nicht allein darin, Wissen zu schaffen. Wir müssen Wissen teilen, zur Diskussion stellen und gemeinsam mit anderen daraus Neues entstehen lassen. Das Living Lab NRW hat gezeigt, wie produktiv genau dieses Zusammenspiel sein kann.

Ende 2026 endet das Forschungsprojekt. Aber ein gutes Projekt erkennt man vielleicht gerade daran, dass mit seinem formalen Ende nicht alles vorbei ist. Es bleiben Erkenntnisse, Erfahrungen, Netzwerke – und hoffentlich viele Ideen, die andernorts aufgegriffen und weitergedacht werden.

Mein herzlicher Dank gilt allen, die das Living Lab NRW mit Wissen, Neugier, Beharrlichkeit und sehr viel Engagement möglich gemacht haben.

Prof. Dr. Birgitta Wolff

Rektorin der Bergischen Universität Wuppertal

inhalt

Grußwort	003	2 Vermitteln	043
Vorwort	005	Informieren und sensibilisieren der Öffentlichkeit	044
1 Living Lab NRW	009	Campusführungen	046
Gesellschaftlichen Herausforderungen begegnen –der Wettbewerb Solar Decathlon Europe 21/22	010	Das virtuelle Living Lab NRW	050
Living Lab NRW	014	Veranstaltungsformate im Living Lab NRW	054
Der Living Lab NRW Campus	016	Networking - regionale Verankerung und überregionale Präsenz	058
LOCAL+ - Aachen, Deutschland	020	3 Lehre	063
X4S - Biberach, Deutschland	022	Kinder erforschen klimafreundliches Bauen	064
SUM - Delft, Niederlande	024	so-lary-se – künstlerische Interventionen	068
MIMO - Düsseldorf, Deutschland	026	Sommerakademie „Wert der Dinge“	070
Lungs of the City - Pécs, Ungarn	028	Wertediskurse im Kontext nachhaltiger Transformation	
FIRSTLIFE - Prag, Tschechien	030	Gebäude als Materiallager der Zukunft	072
One House for All - Taipeh, Taiwan	032	T*R*A*S*H	
Azalea - Valencia, Spanien	034	Transforming Recycled Architecture for Sustainable Habitats	074
Energiezentrale	036	Licht und Beleuchtung	076
Inbetriebnahme des Living Lab NRW	038	Thermische Gebäudesimulation – vereinfachte Werkzeuge für die universitäre Lehre	080
SDE 21/22 goes Living Lab NRW - Staffelübergabe	040		

4 Forschungskolleg 087

Nutzerzentrierte und funktionsbasierte Bewertung von Gebäudedesign und Platzmanagement in Wohngebäuden 088

Wieder- und Weiternutzung von Gebäudeenergiesystemen mittels zirkulärer Wertschöpfungsmethoden 092

Potentiale innovativer System- und Betriebsführungskonzepte für Wärmepumpen in Kombination mit Hybridkollektoren für Mehrfamilienhäuser und Quartiere 096

Practical Control (practicon): praxistaugliche Optimierung des Gebäudebetriebs mit modellbasierten Methoden und künstlicher Intelligenz 100

5 Bauphysikalische Forschung 105

Ortsbezogene Klimamessungen und ihre Anwendung im Living Lab NRW 106

Temperaturen im Umfeld einer Außenluftwärmepumpe 108

Luftdichtes Bauen 112

Sommerliches Mikroklima im nahen Gebäudeumfeld 114

Tageslicht in Innenräumen 120

Gebäudeintegrierte Photovoltaik – Modultemperaturen 124

Thermische Eigenschaften von Verglasungen 128

Gebäudeautarkie und Stromnetze 132

In-situ Messungen der Wärmetechnischen Eigenschaften von Gebäuden 136

Temperaturen unter den Gebäuden 140

Feuchteausbreitung zwischen unterschiedlich konditionierten Räumen 144

6 Architekturforschung 149

Wohnen im Reallabor 150

Wohnen auf kleiner Fläche: Erfahrungen aus den Wohnphasen im Living Lab NRW 152

Raumwahrnehmung in Realität und Virtual Reality (VR) 160

Alterungsverhalten von Fassadenoberflächen 166

Rückbau als Ressource 170

7 Nutzungsperspektiven 175

Neue Orte, neue Aufgaben: die Nachnutzung der Demonstrationsgebäude des Living Lab NRW 176

Der Verbleib aller Wettbewerbsgebäude – eine Übersicht 178

RoofKit in Karlsruhe 180

Collab - von Wuppertal nach Erkheim 186

Haus Grenoble – eine Vision findet eine neue Heimat am Innovationsstandort :metabolon 190

8 Fazit 195

Bilanz und Resonanz des Living Lab NRW 196

Das Team 202

Die Herausgeber 203

Die Autoren 203

Veröffentlichungen 204

Vorträge 205

Impressum 207

Danksagung 208



1 Living Lab NRW

Das Living Lab NRW war eine vom Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE) geförderte Forschungs- und Bildungseinrichtung an der Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen der Bergischen Universität Wuppertal. Es befasste sich mit der Entwicklung und dem Betrieb eines Reallabors in Wuppertal, bestehend aus acht Demonstrationsgebäuden und einer Energiezentrale. Gegenstand des Reallabors war die Erforschung, Erprobung, Demonstration und Kommunikation innovativer Konzepte für klimagerechtes, insbesondere energieeffizientes Bauen und Wohnen in der Stadt. Die Demonstrationsgebäude entstanden im Kontext des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten internationalen Wettbewerbs Solar Decathlon Europe 21/22 (SDE 21/22).

gesellschaftlichen herausforderungen begegnen – der wettbewerb solar decathlon europe 21/22

Katharina Simon, Karsten Voss



Klimaschutz und Klimaanpassung zählen zu den zentralen Aufgaben aktueller gesellschaftlicher Transformationsprozesse. Neben ökologischen Fragestellungen gewinnen dabei zunehmend Aspekte der Ressourcenverfügbarkeit, Energieeffizienz sowie der Versorgungssicherheit an Bedeutung. Diese Entwicklungen führen zu einem Spannungsfeld zwischen dem notwendigen Wandel bestehender Strukturen und dem Wunsch nach Kontinuität gesellschaftlicher Lebens- und Wirtschaftsformen. Besonders deutlich zeigt sich dieser Transformationsdruck im Umgang mit der gebauten Umwelt.

Vor diesem Hintergrund stehen Städte vor umfassenden strukturellen und funktionalen Anpassungsprozessen.¹ Über viele Jahrzehnte hinweg wurden urbane Räume nach den Leitbildern der autogerechten Stadt entwickelt. Dieses Planungsverständnis stößt heute zunehmend an ökologische, soziale und infrastrukturelle Grenzen. Gleichzeitig ist ein Großteil des Gebäudebestandes weiterhin von fossilen Energieträgern abhängig. Parallel dazu nimmt die durchschnittliche Wohnfläche pro Person kontinuierlich zu, während insbesondere in Ballungsräumen ein zunehmender Mangel an bezahlbarem Wohnraum besteht. Diese Entwicklungen verdeutlichen, dass bestehende städtebauliche Strukturen nur bedingt mit den Anforderungen einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Stadtentwicklung vereinbar sind.

Der notwendige Wandel im Bau- und Stadtentwicklungssektor beschränkt sich dabei nicht ausschließlich auf technologische Innovationen. Vielmehr wirft er grundlegende Fragen hinsichtlich sozialer Gerechtigkeit, Flächeneffizienz sowie wirtschaftlicher Tragfähigkeit auf. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie sich nachhaltige Bau- und Wohnkonzepte angesichts steigender Baukosten und, zumindest während der Transformationsphase, hoher Energiekosten realisieren lassen und welche räumlichen Strategien dazu beitragen können, die zunehmende Flächenkonkurrenz in urbanen Zentren zu bewältigen.



Aufbauphase der 16 Demonstrationsgebäude auf dem Solar Campus
© SDE 21/22

¹ vgl. Berichte der Bundesstiftung Baukultur, <https://www.bundesstiftung-baukultur.de/publikationen/baukulturbericht>



Während der Eventzeit besuchten rund 115.000 Besucherinnen und Besucher das Wettbewerbsgelände.
© SDE 21/22

Städte sind dabei gleichermaßen Teil der Problemlage wie auch zentrale Orte möglicher Lösungsansätze. Als komplexe und dynamische Systeme bieten sie geeignete Rahmenbedingungen, um innovative Konzepte für nachhaltiges Bauen, ressourcenschonende Mobilität und neue Formen gemeinschaftlicher Nutzung zu entwickeln und unter realen Bedingungen zu erproben. Die Transformation urbaner Räume erfordert ein koordiniertes Zusammenwirken von Gesellschaft, Wissenschaft und Politik. Vor diesem Hintergrund initiierte die Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen der Bergischen Universität Wuppertal den internationalen Studierendenwettbewerb Solar Decathlon Europe 2021/22 (SDE 21/22). Ziel des Wettbewerbs war es, innovative Lösungsansätze für den nachhaltigen Weiterbau bestehender Städte zu entwickeln und gleichzeitig zukünftige Fachkräfte im Bereich des klimagerechten Planens und Bauens zu gewinnen und auszubilden. Den Ausgangspunkt bildete der Gebäudebestand als eine der zentralen Herausforderungen der urbanen Transformation. Die Wettbewerbsaufgaben umfassten das Schließen von Baulücken, Aufstockungen bestehender Gebäude sowie horizontale Erweiterungen (vgl. Abbildung „Die drei Bauaufgaben“).

Die teilnehmenden Studierendenteams bearbeiteten die Aufgabenstellungen in insgesamt zehn Disziplinen, darunter Energieperformance, Gebäudetechnik, zirkuläres Bauen, Flächensuffizienz sowie architektonische Qualität. Charakteristisch für den Wettbewerb war die Verbindung von konzeptioneller Planung und realer Umsetzung. Auf dem Wettbewerbsgelände in Wuppertal entstanden 16 Demonstrationsgebäude (vgl. Fotos aus der Bauphase) als funktionsfähige Teilsegmente der Gesamtentwürfe, die im Rahmen einer zweiwöchigen öffentlichen Veranstaltung betrieben wurden. Dabei präsentierten die Teams ihre Konzepte sowohl Fachjurys als auch der interessierten Öffentlichkeit und zeigten beispielhaft, wie sich urbane Räume bereits heute in Richtung Klimaneutralität transformieren lassen.

Der Wettbewerb erreichte eine hohe gesellschaftliche Resonanz. Rund 115.000 Besucherinnen und Besucher nutzten die Möglichkeit, die Demonstrationsgebäude zu besichtigen. Begleitend fanden Fachkonferenzen, Workshops und

kulturelle Veranstaltungen statt, die den interdisziplinären Austausch förderten.

Neben der öffentlichen Sichtbarkeit lag ein zentrales Ziel des Wettbewerbs in der Gewinnung und Ausbildung zukünftiger Fachkräfte. Über einen Zeitraum von drei Jahren begleiteten mehr als 500 Studierende den gesamten Entwicklungsprozess von der Konzeptphase über die Vorfertigung bis hin zum Aufbau und Betrieb der Demonstratoren in Wuppertal. Gleichzeitig entstanden internationale Netzwerke zwischen Hochschulen, Forschungseinrichtungen und der Praxis.. Darüber hinaus eröffnete der Wettbewerb im Sinne der universitären Transferaufgaben auch Schülerinnen und Schülern, Auszubildenden sowie der breiten Öffentlichkeit den Zugang zu innovativen Bau- und Wohnkonzepten. Sowohl die gewonnenen Messdaten als auch die errichteten Demonstrationsgebäude bildeten eine Grundlage für weiterführende Forschung und Lehre über den Wettbewerbszeitraum hinaus.

Wettbewerbsdokumentation

Alle Ergebnisse des Wettbewerbs wurden im „Solar Decathlon Europe 21/22 – Competition Source Book“ dokumentiert. Das Buch kann über den QR-Code kostenfrei bezogen werden.



Abschlusszeremonie des
Solar Decathlon Europe 21/22
© SDE 21/22



living lab nrw

Katharina Simon

Das Living Lab NRW entstand als Weiterentwicklung der im Rahmen des Solar Decathlon Europe 21/22 geschaffenen Infrastruktur. Ziel war die Weiterführung einer Teileinheit als zentrale Forschungs- und Bildungseinrichtung des Landes Nordrhein-Westfalen, die innovative Ansätze für klimagerechtes und energieeffizientes Bauen und Wohnen im urbanen Kontext unter realen Nutzungsbedingungen untersucht und weiterentwickelt.

Im Mittelpunkt standen die Entwicklung und der Betrieb eines Reallabors, das aus acht voll funktionsfähigen Demonstrationsgebäuden bestand. Diese Gebäude bildeten die Grundlage für eine deutschlandweit ausgerichtete Forschungs- und Lehrinfrastruktur. Die Konzeption des Living Lab NRW basierte auf drei eng miteinander verknüpften Säulen: Forschung, Hochschullehre und Bildung sowie Öffentlichkeit und Vermittlung. Diese Struktur zielte darauf ab, wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung, akademische Qualifizierung und gesellschaftlichen Wissenstransfer systematisch miteinander zu verbinden.

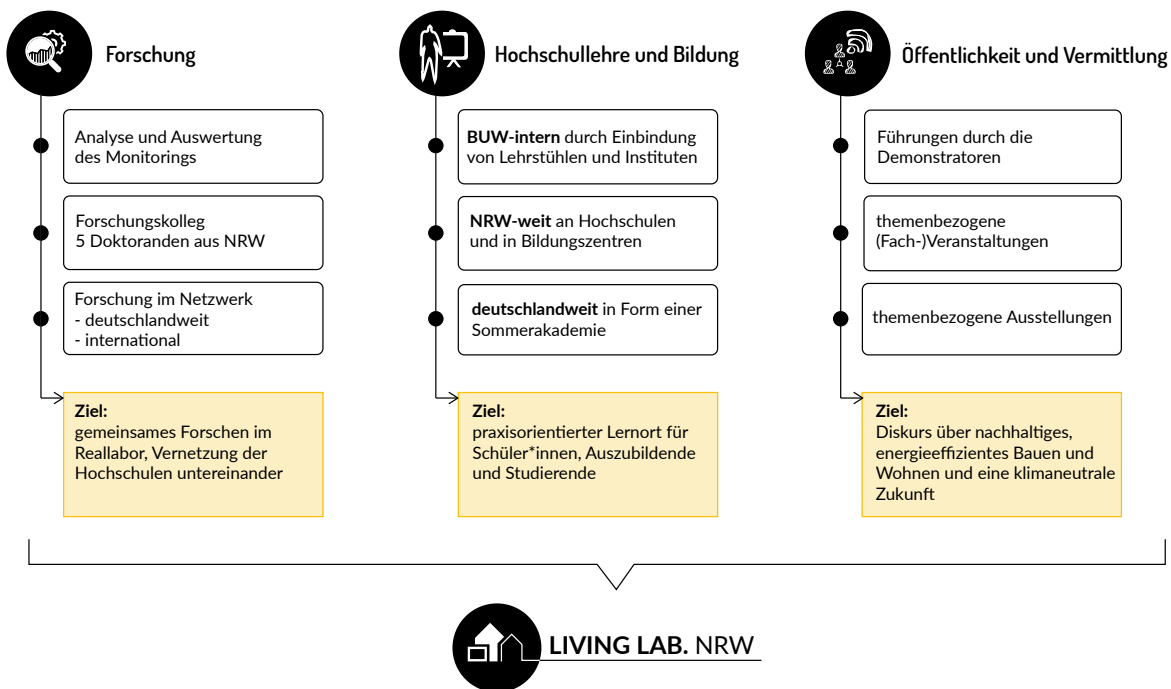
Die Säule „Forschung“ bildete das wissenschaftliche Fundament des Reallabors. Im Fokus stand der Betrieb der Demonstrationsgebäude. Durch ein Monitoringsystem konnten unbewohnte und teilweise bewohnte Betriebsphasen untersucht werden. Ergänzend wurde ein Forschungskolleg etabliert, das Promovierenden verschiedener Hochschulen vertiefende Untersuchungen an einzelnen Demonstratoren sowie vergleichende Analysen zwischen mehreren Gebäuden ermöglichte. Ziel war es, innovative Lösungsansätze für energieeffizientes und nachhaltiges Bauen unter realen Rahmenbedingungen zu evaluieren. Die zweite Säule „Hochschullehre und Bildung“ verfolgte das Ziel, zukünftige Fachkräfte im Kontext der urbanen Energie- und Ressourcenwende auszubilden. Das Living Lab NRW fungierte als

praxisorientierter außerschulischer Lernort für Studierende, Auszubildende sowie Schülerinnen und Schüler. Durch die Integration der Demonstrationsgebäude in Lehrveranstaltungen und interdisziplinäre Bildungsformate entstand ein experimenteller Lernort, der neue didaktische Ansätze ermöglichte.

Mit der dritten Säule „Öffentlichkeit und Vermittlung“ wurde der gesellschaftliche Anspruch des Projekts unterstrichen. Die Demonstrationsgebäude dienten als anschauliche Beispiele für klimaneutrales Wohnen und Leben in der Stadt der Zukunft. Im Rahmen von Führungen, Fachveranstaltungen und Dialogformaten wurde ein breites Publikum angesprochen und der gesellschaftliche Diskurs über nachhaltige Stadtentwicklung gefördert.

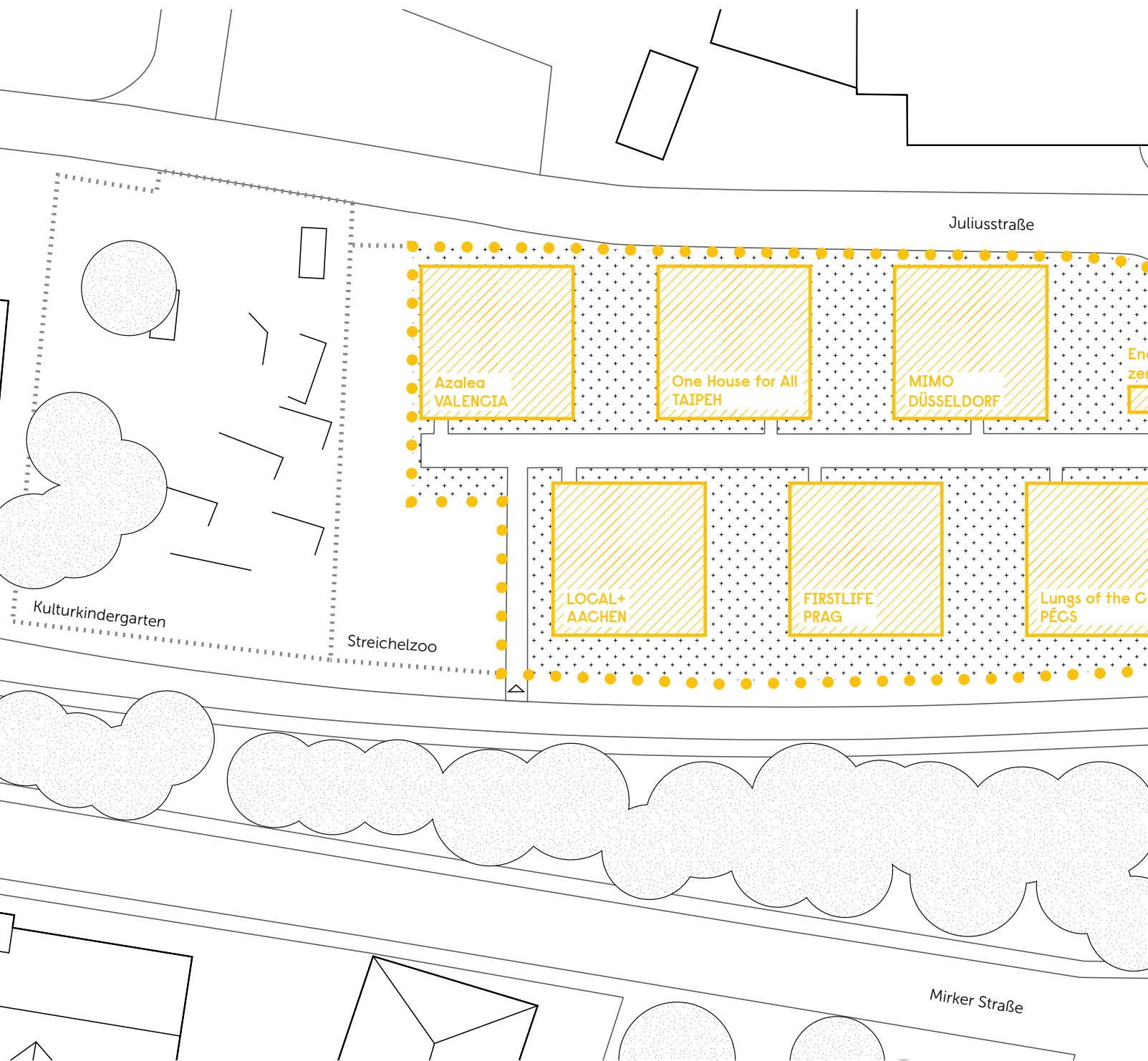


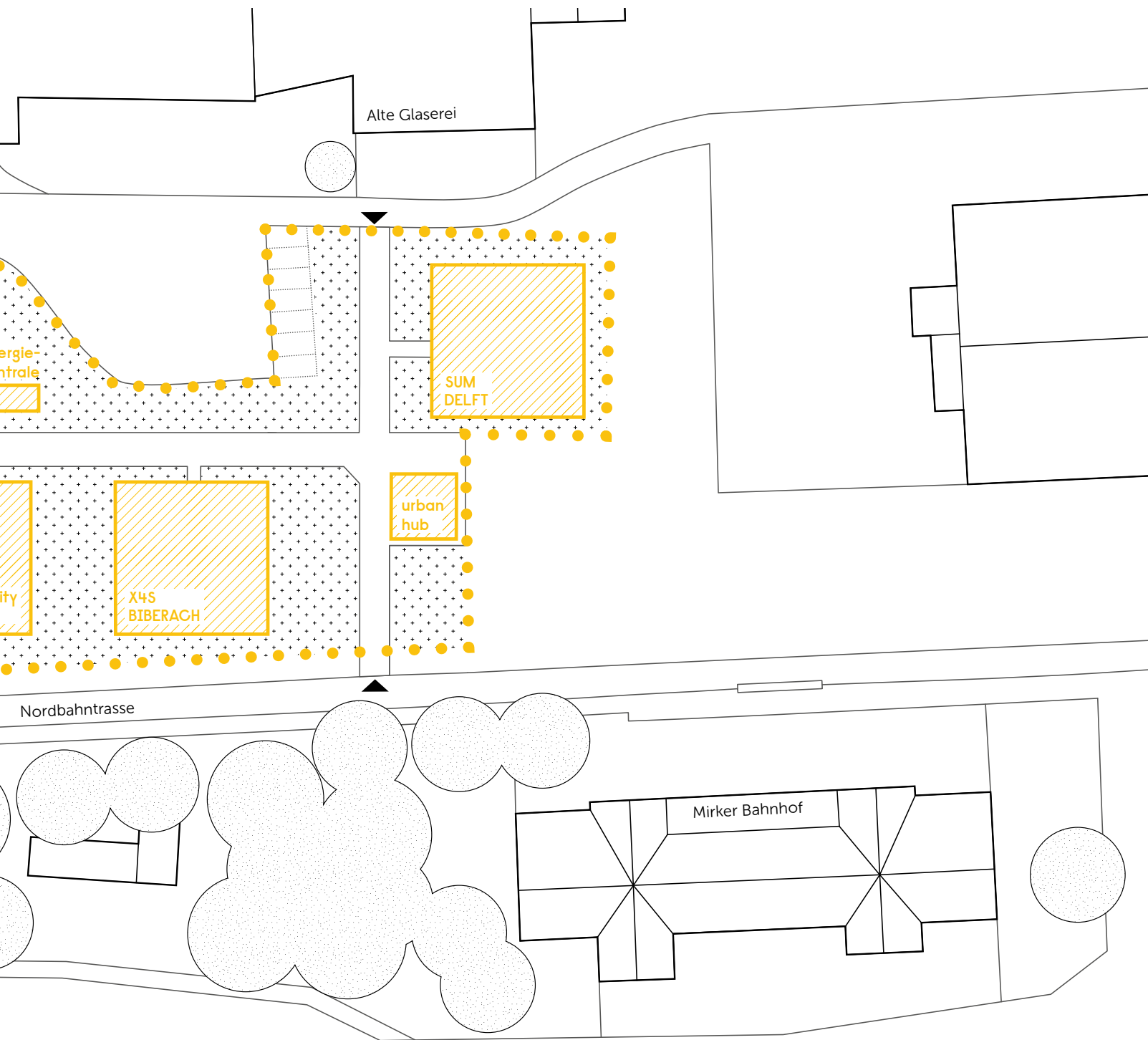
© Living Lab NRW



Die drei Säulen des Living Lab NRW

der living lab nrw campus





Mit dem Projekt Living Lab NRW wurde die im Rahmen des Solar Decathlon geschaffene Infrastruktur über einen Zeitraum von vier Jahren genutzt und weiterentwickelt. Grundlage bildeten die auf dem Wettbewerbsgelände verbliebenen acht Demonstrationsgebäude sowie eine in Kooperation mit den Wuppertaler Stadtwerken errichtete Energiezentrale mit einem innovativen Niedertemperaturwärmenetz.

Die Auswahl der Demonstrationsprojekte für das Reallabor erfolgte bereits im Januar 2021 durch eine interdisziplinär besetzte Jury. Bewertet wurden Kriterien wie Quartiersbezug, architektonische Qualität, konstruktive und materialbezogene Lösungsansätze, innovative Anlagentechnik sowie die Realisierbarkeit der jeweiligen Projektideen. Ergänzend wurden zwei Teams aus Nordrhein-Westfalen durch das fördernde Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen nominiert, um die regionale Verankerung des Projekts zu stärken.

Die ausgewählten Konzepte der Teams aus Valencia, Taipeh, Delft, Prag, Pécs und Göteborg zeichneten sich durch vielfältige technische Innovationen sowie praxisnahe Strategien für nachhaltiges Bauen im urbanen Kontext aus. Nachdem das schwedische Team seinen Rückzug aus dem Living Lab NRW bekannt gab, wurde der frei gewordene Platz an das Demonstrationsgebäude der Hochschule Biberach als Nachrücker vergeben.

Der Informationspunkt des SDE 21/22, der sogenannte „Urban Hub“, wurde ebenfalls Teil des Living Lab NRW Campus und diente als zentraler Treff- und Ausgangspunkt für Führungen.

Nachfolgend werden die acht ausgewählten Demonstrationsgebäude und die Energiezentrale kurz vorgestellt.



Azalea, Valencia



One House for All, Taipeh



Local+, Aachen



FIRSTLIFE, Prag



Luftbild Quartier Mirke und Living Lab NRW
 © Wolf Sondermann, bearbeitet durch Living Lab NRW



MIMO, Düsseldorf



SUM, Delft



Lungs of the City, Pécs



X4S, Biberach

local+ aachen, deutschland

HOCHSCHULE

Fachhochschule Aachen

URBANE SITUATION

Baulückenschließung

STANDORT DER URBANEN SITUATION

Bandstraße 33

42105 Wuppertal



© Steinprinz / Universität Wuppertal

Konzept

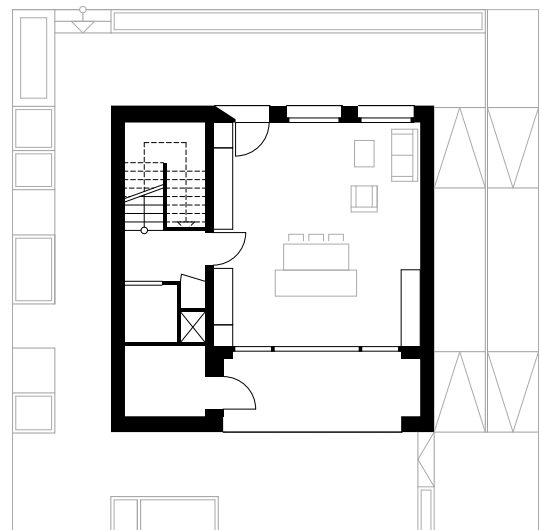
Der Entwurf Local+ untersuchte Strategien zur Nachverdichtung bestehender Wohnquartiere durch flächeneffiziente Wohnformen und gemeinschaftlich organisierte Nutzungskonzepte. Ausgangspunkt war die Frage, wie individueller Wohnraum reduziert werden kann, ohne die Wohnqualität einzuschränken.

Hierfür entwickelte das Projektteam ein räumliches System aus kompakten Wohneinheiten und gemeinschaftlich nutzbaren Bereichen. Ergänzend wurde die Integration von Begrünung als integraler Bestandteil der Gebäudestruktur verfolgt, um die Aufenthaltsqualität sowie das Mikroklima innerhalb dichter Quartiere nachhaltig zu verbessern.

Gesamtgebäude

Der Entwurf wurde als offene Gebäudestruktur konzipiert, in die in den Obergeschossen bewegliche Raumkörper („Cubes“) eingestellt wurden. Diese eigenständigen Volumen bildeten die privaten Wohnbereiche und konnten innerhalb der Gebäudestruktur individuell angeordnet werden. Dadurch entstand eine flexibel anpassbare Raumorganisation, die unterschiedliche Wohnformen ermöglichte.

Die Zwischenräume zwischen den Cubes waren als gemeinschaftlich nutzbare Bereiche ausgebildet und dienten als Aufenthalts-, Arbeits- und Begegnungszonen. Die Fassade bestand aus



Grundriss

© FH Aachen, überarbeitet durch Living Lab NRW

integrierten solaren und begrünten Elementen und unterstützte durch angeschrägte Laibungen die natürliche Belichtung der Innenräume.

Die räumliche Struktur verband kompakte Wohnmodule mit gemeinschaftlichen Freiräumen innerhalb des Gebäudes. Während das Erd- und Untergeschoss gemeinschaftlichen Nutzungen vorbehalten war, befanden sich in den oberen Etagen die privaten Cubes, die zu Wohneinheiten für jeweils drei Personen zusammengefasst waren. Die Konstruktion bestand aus vorgefertigten Holzmodulen.

Demonstrator im Living Lab NRW

Das Demonstrationsgebäude folgte der räumlichen Aufteilung des Entwurfs des Gesamtgebäudes als zweigeschossiger Aufbau und bestand aus zehn vorgefertigten Modulen.

Das Gebäude bot im Erdgeschoss einen großen gemeinschaftlichen Bereich mit Küche sowie eine Loggia als erweiterten Außenraum. Im Obergeschoss befand sich die individuelle Wohnnutzung mit drei Cubes, die in einen gemeinschaftlich genutzten Bereich mit kleiner Küche und Badezimmer integriert waren.

Die oberen Module wurden aus Brettspertholz gefertigt, während die unteren in Holzrahmenbauweise ausgeführt wurden. Als Dämmung kam ein mineralischer Dämmstoff aus Siliciumdioxid zum Einsatz. Wände und Decken wurden mit Lehmbauplatten und Lehmputz verkleidet,

um durch Feuchtaufnahme und -speicherung ein ausgeglichenes Raumklima zu unterstützen.

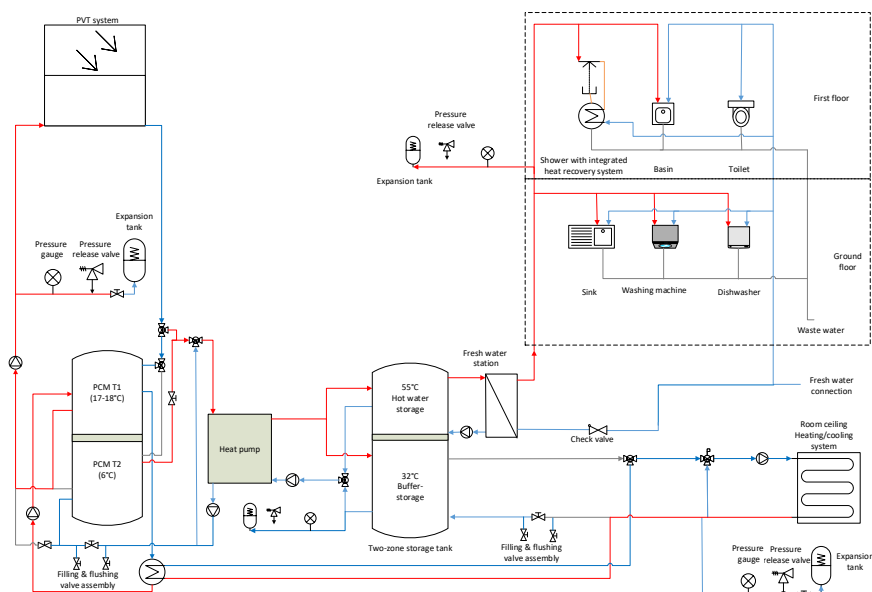
Die Gebäudehülle kombinierte individuell gefertigte Photovoltaikmodule sowie eine begrünte, selbstbewässernde Fassade aus Aluminium und recyceltem Kunststoff.

Gebäudetechnik

Zentrales Element des Energiekonzepts war ein Eisspeicher, der als Energiespeicher zur Wärme- und Kälteversorgung diente. Als Energiequelle für den Eisspeicher wurden PVT-Kollektoren auf dem Dach genutzt.

Die Temperierung der Innenräume erfolgte über eine Deckenheizung mit großflächiger Wärmeabgabe. Eine in die Südfassade integrierte Photovoltaikanlage unterstützte die Stromerzeugung.

Begrünte Fassadenbereiche verbesserten das Mikroklima und reduzierten die solare Aufheizung im Nahbereich der Gebäudehülle. Regenwasser wurde gesammelt und zur Bewässerung der Vegetationsflächen genutzt. Eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sorgte für eine kontrollierte Frischluftversorgung.



Anlagenschema
© FH Aachen

X4S

biberach, deutschland

HOCHSCHULE

Hochschule Biberach

URBANE SITUATION

Aufstockung

STANDORT DER URBANEN SITUATION

Wiesenstraße 6

42105 Wuppertal



© Steinprinz / Universität Wuppertal

Konzept

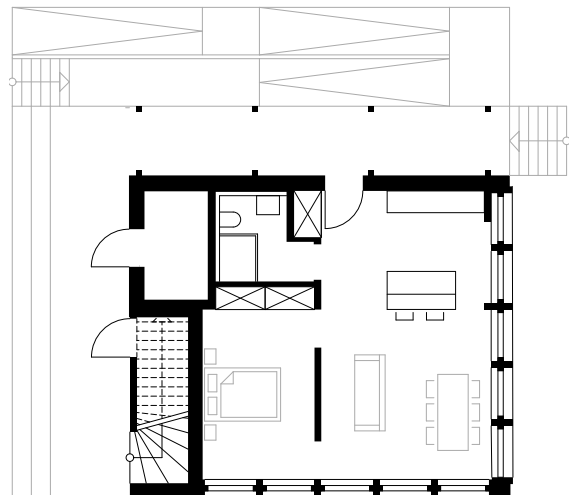
Der Entwurf X4S untersuchte Strategien zur Nachverdichtung urbaner Quartiere durch die Aufstockung bestehender Gebäude. Am Beispiel des Gebäudes Café Ada in Wuppertal entwickelte das Team ein Erweiterungskonzept, das zusätzlichen Wohnraum schuf, ohne neue Flächen zu versiegeln. Ziel war die Verbindung flächeneffizienten Wohnens mit gemeinschaftlich nutzbaren Bereichen sowie die Weiterentwicklung bestehender Gebäude als soziale Treffpunkte innerhalb des Quartiers.

Der Entwurf richtete sich insbesondere an unterschiedliche Haushaltsgrößen und entwickelte flexible Wohnstrukturen, die sowohl private Rückzugsräume als auch gemeinschaftliche Nutzungsangebote integrierten.

Gesamtgebäude

Die Aufstockung wurde in Elementbauweise konzipiert, bei der vorgefertigte Wand-, Decken- und Bodenelemente zu einem mehrgeschossigen Aufbau kombiniert wurden. Die Konstruktion basierte auf Massivholzelementen, die eine schnelle Montage sowie eine ressourcenschonende Bauweise ermöglichten.

Die Grundrisse waren flächeneffizient organisiert und boten Wohnungen für unterschiedliche Haushaltsgrößen. Gemeinschaftlich nutzbare Bereiche, darunter Räume für Co-Working und Urban Gardening, erweiterten die privaten Wohneinheiten. Die Architektur verband die



Grundriss

© HBC Biberach, überarbeitet durch Living Lab NRW

Erweiterung konstruktiv mit dem Bestand und stärkte zugleich die Nutzung des Gebäudes als sozialer Begegnungsort innerhalb des Quartiers.

Die Fassadengestaltung basierte auf dem Raster der integrierten photovoltaisch-thermischen Module (PVT-Module), um durch die gleichzeitige Gewinnung von Strom und Wärme eine effiziente Nutzung der verfügbaren Fläche zu gewährleisten und auf aufwendige Sonderlösungen zu verzichten.

Demonstrator im Living Lab NRW

Das Demonstrationsgebäude wurde eingeschossig mit einer Dachterrasse ausgeführt. Die Dachterrasse war als begrüntes Retentionsdach konzipiert und verfügte über eine Pergola mit integrierter Photovoltaik.

Im Erdgeschoss befand sich eine Wohnung für zwei Personen mit offener Wohnküche, einem Badezimmer sowie einem Schlafzimmer. Die Boden- und Deckenplatte wurden aus Brettsperrholz gefertigt, was schlankere Querschnitte ermöglichte. Die Außenwände bestanden aus leimfreien Vollholzelementen, gedämmt mit Holzfaserplatten.

Um Temperaturschwankungen auszugleichen, wurden im Bodenaufbau als speicherfähige Masse wiederverwendete Gehwegplatten in einem Sandbett verlegt. Diese dienten der Wärmespeicherung und gaben die Wärme der Fußbodenheizung zeitverzögert ab.

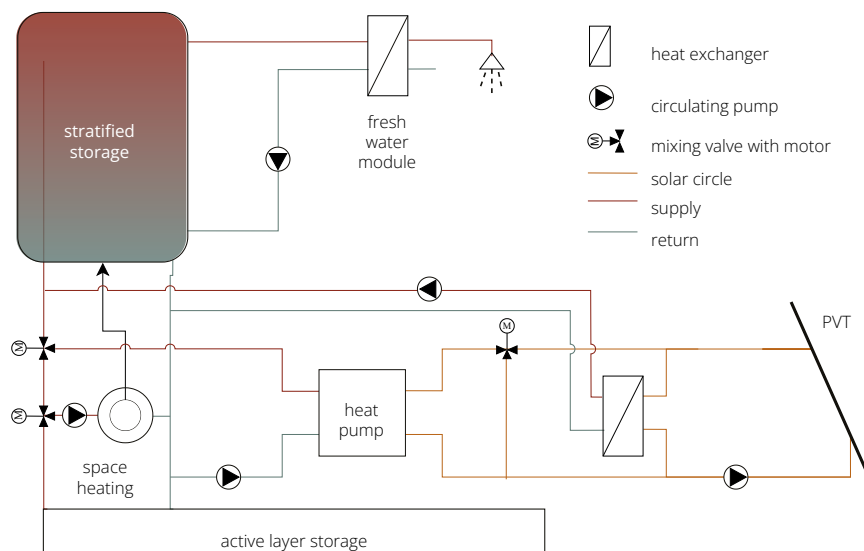
Der lose Schichtenaufbau ermöglichte den sortenreinen Rückbau und die Trennung der einzelnen Komponenten. Die Ausstattung erfolgte über selbst gebaute oder aufbereitete gebrauchte Möbel.

Gebäudetechnik

Prägend waren in der Ost- und Südfassade integrierte PVT-Kollektoren, die Strom und Wärme für die Wärmepumpe des Demonstrators bereitstellen. Auf dem Dach befand sich zusätzlich eine Pergola mit integrierter Photovoltaik.

Die Ausrichtung der Module wurde entsprechend der unterschiedlichen Energiebedarfe im Jahresverlauf optimiert. Durch die vertikale Platzierung erzielten die PVT-Kollektoren im Winter aufgrund des niedrigeren Sonnenstands höhere Strom- und Wärmeerträge. Im Sommer hingegen – wenn der Energiebedarf geringer ist – fielen die Erträge durch den steileren Einfallswinkel der Sonne entsprechend niedriger aus.

Im Living Lab NRW wurde der Demonstrator über das Nahwärmenetz der Energiezentrale betrieben. Die Beheizung erfolgte über eine Fußbodenheizung, die Trinkwassererwärmung über eine Frischwasserstation. Zudem kam eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zum Einsatz.



Anlagenschema
© HBC Biberach



© Steinprinz / Universität Wuppertal

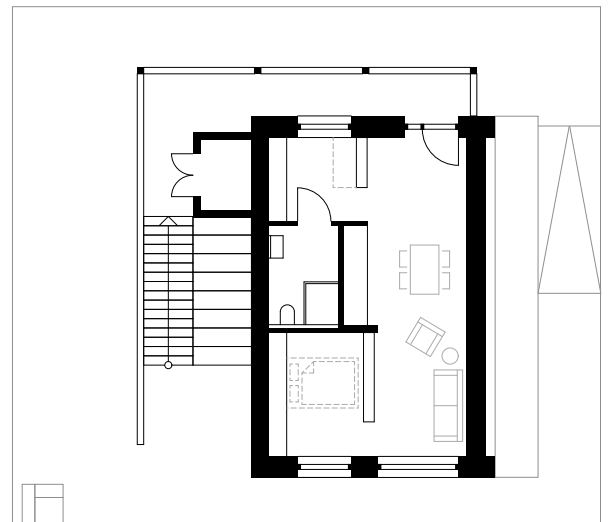
Konzept

Der Entwurf SUM untersuchte Strategien zur Aufstockung bestehender Wohngebäude als Instrument der Nachverdichtung innerhalb niederländischer Stadtquartiere. Am Beispiel des Quartiers De Dreef in Den Haag entwickelte das Team eine reproduzierbare Aufstockung, die bauliche Ergänzungen mit ökologischer und sozialräumlicher Transformation verbindet. Neben der Schaffung zusätzlichen Wohnraums zielte der Entwurf darauf ab, bestehende Quartiere durch gemeinschaftliche Freiräume, urbane Begrünung und autofreie Nachbarschaftsstrukturen aufzuwerten. Zirkularität und serielle Bauweisen bildeten dabei die Grundlage für eine langfristig anpassungsfähige Gebäudeentwicklung.

Gesamtgebäude

Der Entwurf adressierte eine Bebauung der Nachkriegszeit, die durch serielle Sanierung energetisch ertüchtigt und durch Aufstockungen in Leichtbauweise nachverdichtet werden sollte. Die Konstruktion basierte auf einer seriellen Bauweise mit vorgefertigten Modulen, wodurch eine hohe Reproduzierbarkeit und Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Gebäudestrukturen ermöglicht wurde.

Die Fassadengestaltung unterstützte die natürliche Belichtung der Innenräume und integrierte gemeinschaftlich nutzbare Außenbereiche. Die räumliche Organisation folgte einer klaren Zo-



Grundriss

© TU Delft, überarbeitet durch Living Lab NRW

nierung zwischen privaten Wohnbereichen und gemeinschaftlichen Nutzungszonen.

Im Rahmen der seriellen Sanierung wurde die Bestandsfassade mit vorgefertigten Fassadenelementen ertüchtigt. Diese bestanden aus einer Hartschaumdämmung sowie Klinkerriemchen als Fassadenverkleidung. Die Aufstockung wurde mit Photovoltaikmodulen sowie einer Vorhangsfassade aus Paneelen aus landwirtschaftlichen Reststoffen ausgeführt.

Demonstrator im Living Lab NRW

Das Demonstrationsgebäude wurde als kompakter, zweigeschossiger Erweiterungsbau in modularer Holzbauweise realisiert.

Das Erdgeschoss repräsentierte den Bestandsbau nach der seriellen Sanierung und enthielt den gemeinschaftlich nutzbaren Bereich. Im Obergeschoss befand sich die Wohneinheit, die als offener Grundriss für zwei Personen konzipiert wurde. Durch eine verschiebbare Wand zwischen Wohn- und Schlafbereich ließ sich der Raum flexibel an unterschiedliche Nutzungssituationen anpassen.

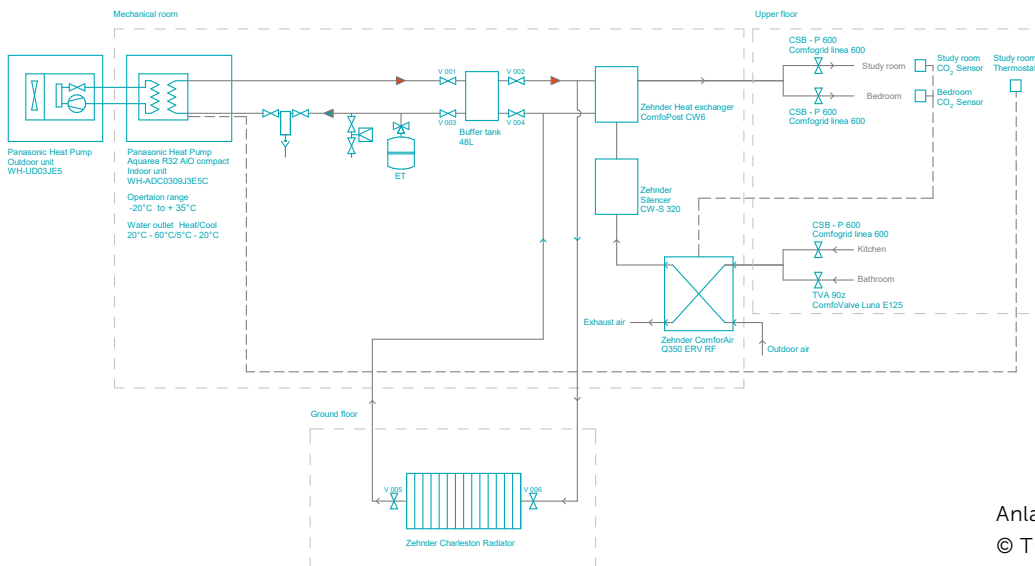
Die Erschließung des Obergeschosses erfolgte über eine außenliegende Treppenanlage sowie einen Laubengang. Beide bildeten zugleich Aufenthalts- und Begegnungsräume.

Gebäudetechnik

Das Gebäudekonzept orientierte sich am Passivhausstandard. Auf dem Dach wurden nach Süden ausgerichtete Photovoltaikmodule installiert. Ergänzend wurden blaue, bedruckte Photovoltaikmodule bündig in die Südfassade integriert.

Die Lüftung erfolgte im unteren Bereich – entsprechend dem Sanierungskonzept – über dezentralisierte mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Im oberen Bereich der Aufstockung kam eine zentrale Lüftungsanlage zum Einsatz.

Die Wärmeversorgung erfolgte über das Nahwärmenetz der Energiezentrale. Als Wärmeübergabesystem wurde im Obergeschoss eine Luftheizung realisiert. Die Trinkwassererwärmung erfolgte über eine Wärmepumpe und über eine Frischwasserstation.



Anlagenschema
© TU Delft

mimo düsseldorf, deutschland

HOCHSCHULE

Hochschule Düsseldorf

URBANE SITUATION

Aufstockung

STANDORT DER URBANEN SITUATION

Wiesenstraße 6

42105 Wuppertal



© Steinprinz / Universität Wuppertal

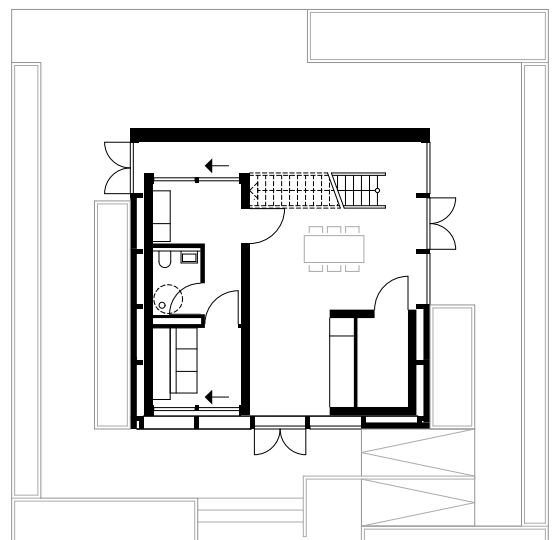
Konzept

Der Entwurf MIMO untersuchte die Nachverdichtung von Wohngebäuden der Nachkriegszeit durch Aufstockung und Erweiterung bestehender Strukturen. Ziel war die Entwicklung eines Systems, das zusätzlichen Wohnraum schafft, ohne neue Flächen zu versiegeln, und gleichzeitig die energetische Qualität des Bestands verbessert.

Das Gebäude wurde nicht als abgeschlossener Baukörper verstanden, sondern als erweiterbares System, das sich an unterschiedliche Gebäudetypologien anpassen lässt. Neben der baulichen Ergänzung lag der Fokus auf der Schaffung gemeinschaftlich nutzbarer Bereiche, die neue soziale Verbindungen innerhalb bestehender Wohnquartiere ermöglichen.

Gesamtgebäude

Der Entwurf wurde als modularer Erweiterungsbau in Holzbauweise entwickelt, der auf bestehende Gebäudestrukturen aufgesetzt werden kann. Die Architektur kombinierte private Wohnbereiche mit gemeinschaftlich nutzbaren Zonen, die als kommunikative Übergangsbereiche zwischen Bestand und Erweiterung dienen. Die Konstruktion basierte auf vorgefertigten Holzmodulen, die eine schnelle Montage sowie eine flexible Anpassung an unterschiedliche Gebäudestrukturen ermöglichten. Prägendes architektonisches Element war eine zweite Gebäudehülle, die den Erweiterungsbau umschloss



Grundriss

© HSD Düsseldorf, überarbeitet durch Living Lab NRW

und zusätzliche Aufenthaltsbereiche sowie klimatische Pufferzonen erzeugte.

Diese Schicht strukturierte die Fassade und vermittelte zwischen Innenraum, Erweiterung und Stadtraum. Durch den zweischaligen Aufbau konnte die Dämmung der Wohnmodule offen sichtbar ausgeführt werden.

Demonstrator im Living Lab NRW

Das Demonstrationsgebäude bildete eine zweigeschossige Einheit mit zwei Wohnmodulen für die individuelle Nutzung, jeweils ausgestattet mit einem eigenen Badezimmer.

Das möblierte Wohnmodul im Erdgeschoss verfügte im hinteren Bereich über eine Küche sowie im vorderen Bereich über einen kombinierten Wohn- und Schlafraum. Der sich über beide Geschosse erstreckende Gemeinschaftsbereich war mit einer Gemeinschaftsküche ausgestattet.

Die klimaaktive Gebäudehülle wurde in Skelettbauweise ausgeführt, während die Wohnungen als vorgefertigte Module konstruiert wurden. Verbindungen und Materialien, wie beispielsweise die Korkdämmung, wurden sichtbar belassen, um eine einfache Rückbaubarkeit zu gewährleisten.

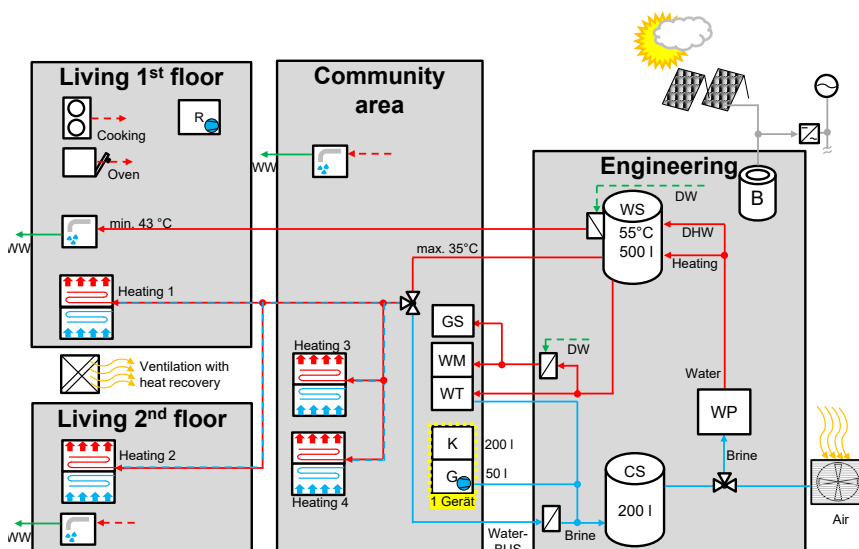
Auf der Nordwand wurden Gefache mit losen Lehmsteinen ausgefüllt, die als speicherfähige Masse dienten, Temperaturschwankungen ausglich und ein konstantes Raumklima unterstützten. Große Glasflächen erhöhten die solaren Wärmegewinne.

Gebäudetechnik

Zentrales Element des technischen Konzepts war die Klimahülle, die den Erweiterungsbau umgab und als thermischer Puffer zwischen Innen- und Außenraum fungierte. Innerhalb dieser Hülle entstanden teilklimatisierte Zonen, die zur Reduktion von Wärmeverlusten im Winter und zur Begrenzung der solaren Aufheizung im Sommer beitrugen.

Die Gebäudehülle der Wohneinheiten wurde hochwärmegedämmt ausgeführt. In Fassaden- und Dachfenster integrierte Photovoltaikmodule unterstützten die lokale Energieerzeugung.

Das Lüftungskonzept nutzte sowohl natürliche Luftbewegungen innerhalb der Klimahülle als auch eine kontrollierte Luftführung zur Sicherstellung der Raumluftqualität in den privaten Bereichen. Die Wärmeversorgung basierte auf einer Luft-Wasser-Wärmepumpe. Für den Betrieb im Living Lab NRW wurde der Demonstrator an das Nahwärmenetz angeschlossen. Die Wärmeübergabe in den Wohnmodulen erfolgte über Wandheizungen, während in den Gemeinschaftsbereichen eine Fußbodenheizung integriert wurde. Die technische Infrastruktur war in die modulare Bauweise eingebunden und unterstützte die serielle Vorfertigung.



Anlagenschema
© HSD Düsseldorf

Lungs of the city pécs, ungarn

HOCHSCHULE

University of Pécs

URBANE SITUATION

Baulückenschließung

STANDORT DER URBANEN SITUATION

Felsővámház Street 54
Pécs



Lungs of the City
Team



© Steinprinz / Universität Wuppertal

Konzept

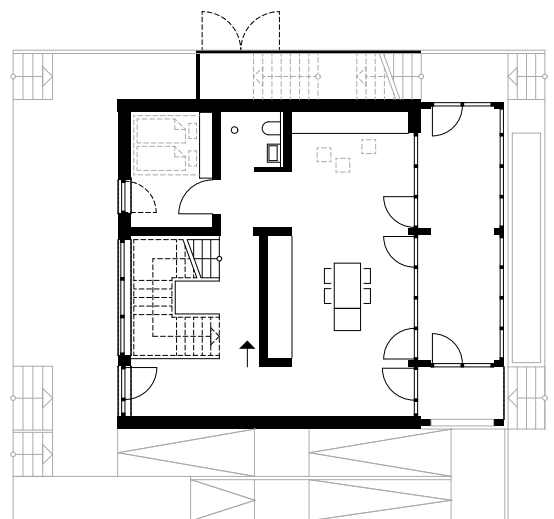
Der Entwurf Lungs of the City untersuchte Strategien zur Aktivierung innerstädtischer Baulücken durch klimaaktive Wohngebäude. Ziel war es, Vegetation und gemeinschaftliche Nutzungen als integralen Bestandteil der Gebäudestruktur einzusetzen, um Aufenthaltsqualität und Biodiversität in dicht bebauten Quartieren nachhaltig zu verbessern.

Das Gebäude wurde als Schnittstelle zwischen Wohnen, urbaner Landwirtschaft und klimatischer Stadtraumverbesserung verstanden. Neben der Schaffung zusätzlichen Wohnraums entwickelte das Projekt gemeinschaftliche Nutzungsangebote, die die soziale Interaktion innerhalb des Quartiers förderten.

Gesamtgebäude

Der Entwurf wurde als mehrgeschossiger Wohnprototyp mit klar gegliederter Nutzungsstruktur konzipiert. Das Erdgeschoss sowie das Dachgeschoss waren als gemeinschaftliche Bereiche ausgebildet und beinhalteten unter anderem eine Gemeinschaftsküche, flexible Aufenthaltszonen sowie einen innenliegenden Gemüsegarten.

Die dazwischenliegenden Geschosse enthielten kompakte Apartments für kleinere Haushalte. Begrünte Fassaden- und Dachflächen wurden als integraler Bestandteil der Gebäudestruktur



Grundriss

© University of Pécs, überarbeitet durch Living Lab NRW

tur entwickelt und übernahmen ökologische Funktionen. Sie trugen zur Verbesserung des Mikroklimas bei und prägten zugleich die äußere Erscheinung des Gebäudes.

Demonstrator im Living Lab NRW

Das Demonstrationsgebäude bildete das Raumkonzept exemplarisch auf zwei Ebenen ab, die über einen zentralen Treppenkern erschlossen wurden.

Im Erdgeschoss befanden sich neben einem privaten Schlafraum ein Badezimmer sowie ein gemeinschaftlich genutzter Raum mit Küche und Essbereich. Im Obergeschoss war ein weiterer flexibel nutzbarer Raum angeordnet.

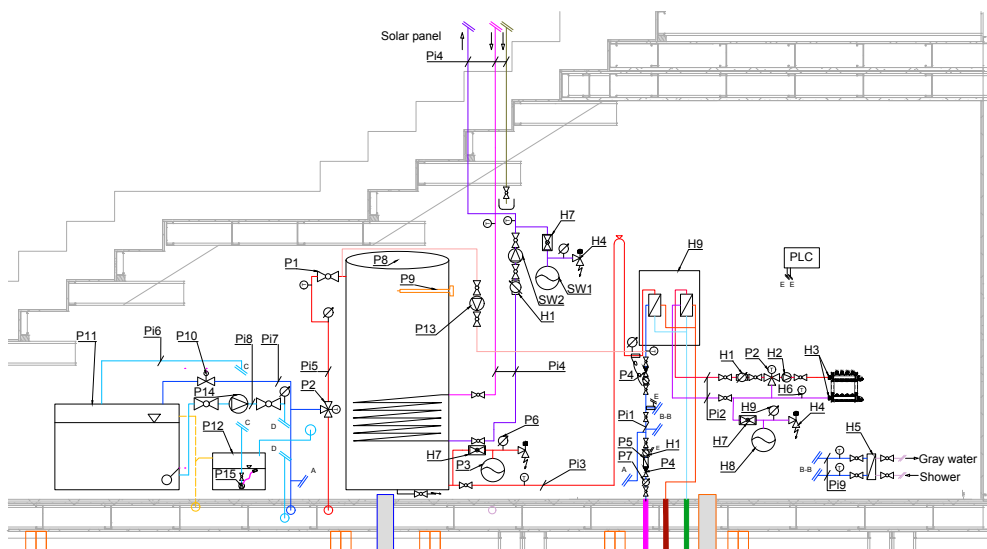
Auf der Südseite erstreckte sich über beide Geschosse ein Wintergarten, der sogenannte „Solar Space“. Die Konstruktion der Wohn- und Aufenthaltsräume basierte auf Brettsperrholzelementen mit Cellulosedämmung. Der Solar Space wurde in Holzskelettbauweise errichtet. Die Treppe bestand aus recyceltem Stahl und recyceltem, aufgeschäumtem Aluminium.

Gebäudetechnik

Das Gebäudekonzept kombinierte passive Klimastrategien mit integrierten Energiesystemen. In die Fassade des Wintergartens wurden Photovoltaikmodule integriert, die zugleich als Sonnenschutz dienten.

Durch den solaren Kamineffekt im Wintergarten konnte im Sommer erwärmte Luft über Dachöffnungen abgeführt werden, während kühlere Frischluft über bodennahe Öffnungen nachströmte. Im Winter wurde die Frischluft über den Solarraum vorgewärmt, bevor sie in die Innenräume geleitet wurde.

Die Wärmeabgabe erfolgte über eine Fußbodenheizung, während die Wärmeversorgung über das Nahwärmenetz des Living Lab NRW sichergestellt wurde.



Anlagenschema
© University of Pécs

firstlife prag, tschechien

HOCHSCHULE

Czech Technical University in Prague

URBANE SITUATION

Aufstockung

STANDORT DER URBANEN SITUATION

Na Větrníku 24
Prag



© Steinprinz / Universität Wuppertal

Konzept

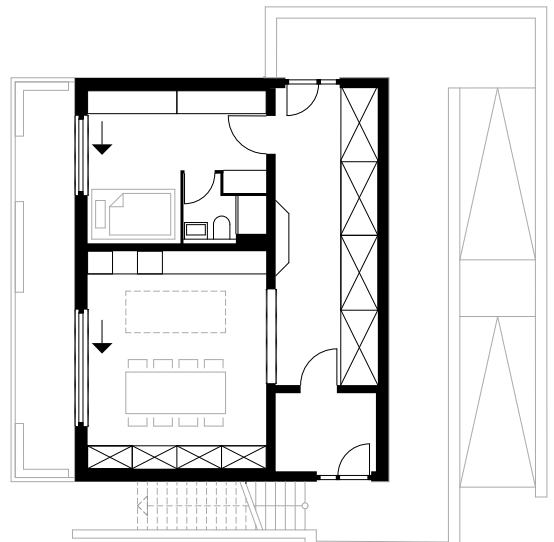
Der Entwurf FIRSTLIFE entwickelte Strategien zur Modernisierung studentischer Wohngebäude aus der Nachkriegszeit. Ausgangspunkt waren der bauliche und energetische Zustand bestehender Studierendenwohnheime in Prag sowie der steigende Bedarf an zeitgemäßen Wohnformen für Studierende.

Am Beispiel eines Wohnheims der Karls-Universität aus den 1960er-Jahren entwickelte das Team ein modulares Erweiterungssystem, das durch Aufstockung zusätzlichen Wohnraum schuf und gleichzeitig gemeinschaftliche Nutzungsangebote stärkte. Der Entwurf verband flächeneffiziente Wohnstrukturen mit gemeinschaftlichen Aufenthalts- und Freiräumen und zielte auf eine langfristige Anpassungsfähigkeit bestehender Wohnanlagen.

Gesamtgebäude

Der Entwurf umfasste zwei- bis dreigeschossige Aufstockungen in Leichtbauweise. Vorgesehen waren unterschiedliche Wohnungstypen für ein und zwei Personen, die jeweils über ein eigenes Bad, eine Küche sowie Zugang zu einem privaten Balkon verfügten. Die Balkone erweiterten die Wohnbereiche nach außen und fungierten zugleich als auskragende Verschattungselemente.

Auf allen Etagen waren Gemeinschaftsräume mit integrierter Küche angeordnet, um den sozialen Austausch zu fördern. Teilweise überdachte und begrünte Dachterrassen ergänzten die gemeinschaftlichen Nutzungsflächen.



Grundriss

© CTU Prag, überarbeitet durch Living Lab NRW

Neben wiederverwendbaren Materialien kamen auch recycelte Baustoffe zum Einsatz, beispielsweise Wandverkleidungen aus Verpackungsabfällen. Dadurch wurde das Gebäude sowohl in seiner Entstehung als auch in seiner späteren Nutzung im Sinne des Urban Mining gedacht.

Demonstrator im Living Lab NRW

Das Demonstrationsgebäude wurde als eingeschossiger, kompakter Wohnprototyp mit flächeneffizient organisierten Nutzungseinheiten realisiert. Er umfasste einen privaten Wohnbereich mit Schlafplatz, Küche und Bad innerhalb eines kompakten Raumkonzepts. Ergänzt wurden diese Einheiten durch einen großzügigen gemeinschaftlichen Aufenthaltsbereich.

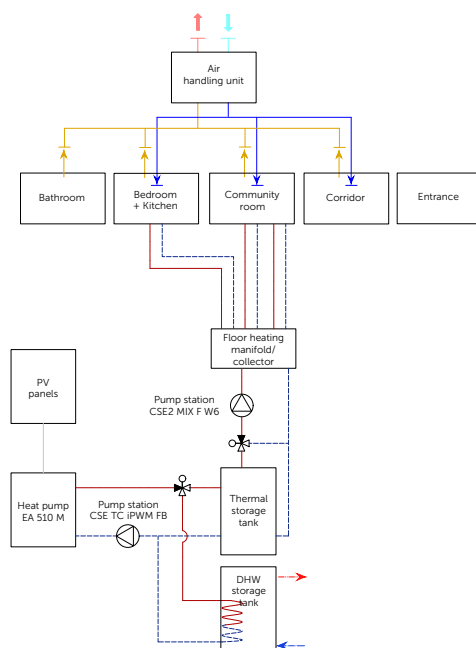
Die demontierbare Konstruktion bestand aus vorgefertigten Wandelementen in Holzrahmenbauweise, ergänzt durch räumliche Module aus massiven Brettsperrholzelementen. Die Außenwände wurden mit eingeblasener Zellulose gedämmt, ergänzt durch Holzfasern, die sowohl für den Wärme- als auch für den Schallschutz sorgten. Bei der Innenausstattung wurden wiederverwendete Bauteile und recycelte Materialien eingesetzt.

Küche und Bad wurden als vorgefertigte Module in den Demonstrator integriert. Das Dach wurde als Gründach mit Dachterrasse ausgeführt und verfügte über eine Pergola mit integrierter Photovoltaik. Die Gebäudetechnik wurde in weiten Teilen sichtbar geführt, um einen einfachen Aufbau sowie eine gute Revisionsfähigkeit zu gewährleisten.

Gebäudetechnik

Das technische Konzept kombinierte die Nutzung erneuerbarer Energien mit energieeffizienter Gebäudetechnik. Photovoltaikmodule mit Batteriespeicher ermöglichten die lokale Stromerzeugung und Energiespeicherung.

Die Wärmeversorgung erfolgte alternativ über die hauseigene Luft-Wasser-Wärmepumpe oder über das Nahwärmenetz der Energiezentrale. Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung stellte eine kontrollierte Frischluftversorgung sicher. Die technischen Systeme waren über eine intelligente Steuerung miteinander vernetzt, um Energieerzeugung, Speicherung und Verbrauch flexibel aufeinander abzustimmen.



Anlagenschema
© CTU Prag

one house for all taipeh, taiwan

HOCHSCHULE

National Chiao Tung University

URBANE SITUATION

Baulückenschließung

STANDORT DER URBANEN SITUATION

No. 6, Lane 8

Chifeng St.

Datong District, Taipeh



© Steinprinz / Universität Wuppertal

Konzept

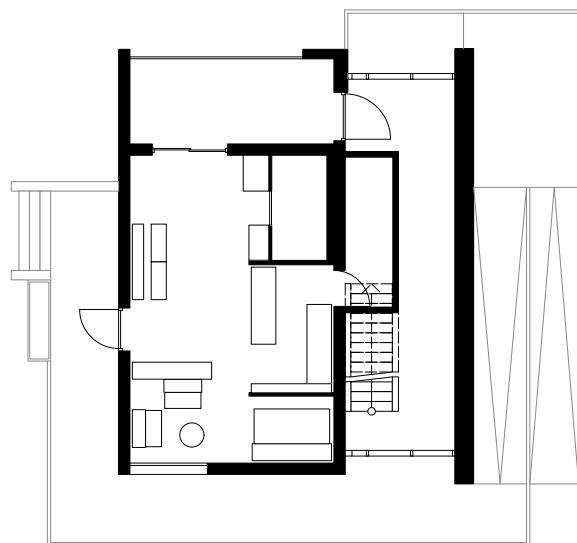
Der Entwurf One House for All reagierte auf die extrem verdichteten Stadtstrukturen Taipehs sowie auf die klimatischen Anforderungen des subtropischen Standorts. Ziel war die Entwicklung eines Wohnmodells für schmale innerstädtische Parzellen, das Nachverdichtung mit gemeinschaftlicher Nutzung verband.

Das Gebäude wurde als vertikal organisierter Wohnbaustein konzipiert, der unterschiedliche Wohnformen innerhalb eines kompakten Volumens zusammenführte. Neben der Schaffung zusätzlichen Wohnraums adressierte der Entwurf die Verbesserung des Mikroklimas sowie die Stärkung sozialer Interaktion innerhalb dicht bebauter Quartiere.

Gesamtgebäude

Der Entwurf wurde als mehrgeschossiger, kompakter Baukörper entwickelt, der sich an der Typologie ostasiatischer Reihen- und Geschäftshäuser orientierte. Die räumliche Organisation folgte einer vertikalen Erschließungsstruktur, die die Nutzungseinheiten miteinander verband und zugleich eine kommunikative Begegnungszone bildete.

Die Fassadengestaltung kombinierte verschattende Lamellen mit begrünten Elementen und ermöglichte eine Anpassung an wechselnde



Grundriss

© NCTU Taiwan, überarbeitet durch Living Lab NRW

klimatische Bedingungen. Gemeinschaftlich nutzbare Bereiche wurden gezielt in die Gebäudeorganisation integriert und erweiterten die privaten Wohneinheiten um flexible Aufenthalts- und Arbeitsräume.

Die kompakte Gebäudestruktur unterstützte eine effiziente Flächennutzung innerhalb der schmalen Grundstücksstruktur.

Demonstrator im Living Lab NRW

Das Demonstrationsgebäude wurde mit einem Vollgeschoss und einem Dachraum unter dem Steildach realisiert. Im Erdgeschoss befand sich eine individuelle Wohneinheit mit Wohnraum, Küche und Bad. Auf der Nordseite befand sich eine Loggia.

Das Treppenhaus wurde als vollverglaste Fuge ausgebildet und sorgte gleichzeitig für Tageslicht und eine bessere Belüftung. Auf der Westseite wurde eine Fassade aus speziell gefertigten Kacheln mit Latentspeicherfunktion eingesetzt, die Wärme aufnehmen und speichern konnten.

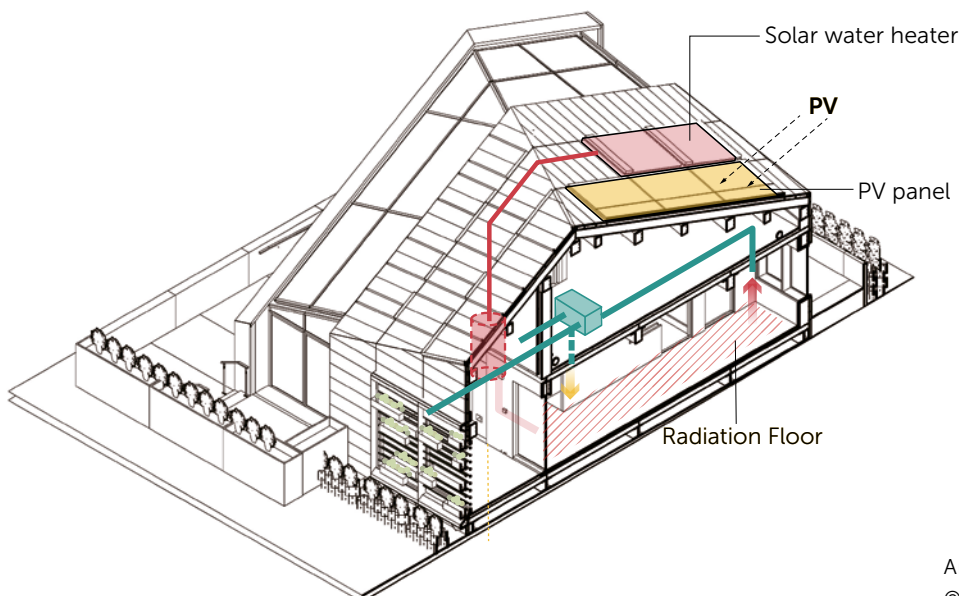
Das Tragwerk bestand aus einem Skelett aus japanischer Zeder sowie Brettspertholzplatten aus Zeder für Bodenplatte und Geschossdecke. Die Ausfächung des Holzskeletts wurde mit Steinwolle gedämmt. Die Fassade war mit gefalztem Aluminium verkleidet.

Gebäudetechnik

Die Kombination aus passiven Strategien und effizienter Gebäudetechnik wurde an die klimatischen Bedingungen Taipehs angepasst. Zur Reduktion des Energiebedarfs wurde die Gebäudehülle teilweise mit Aerogel gedämmt.

Die natürliche Belüftung erfolgte über gezielte Öffnungen zur Querlüftung sowie über einen vertikalen Luftschacht, der in das Treppenhaus integriert war und zur thermischen Entlastung der Innenräume beitrug.

Eine Photovoltaikanlage sowie Solarthermie auf dem geneigten Dach unterstützten die lokale Energieerzeugung. Das überkopfverglaste Treppenhaus verbesserte zusätzlich die Tageslichtversorgung der innenliegenden Bereiche. Die Wärmeübergabe erfolgte über eine Fußbodenheizung, während die Wärmeversorgung über das Nahwärmenetz der Energiezentrale sichergestellt wurde.



Anlagenschema
© NCTU Taiwan

azalea valencia, spanien

HOCHSCHULE

Universitat Politècnica de Valencia

URBANE SITUATION

Baulückenschließung

STANDORT DER URBANEN SITUATION

Carrer d'Escalante 204
Valencia



AZALEA



© Steinprinz / Universität Wuppertal

Konzept

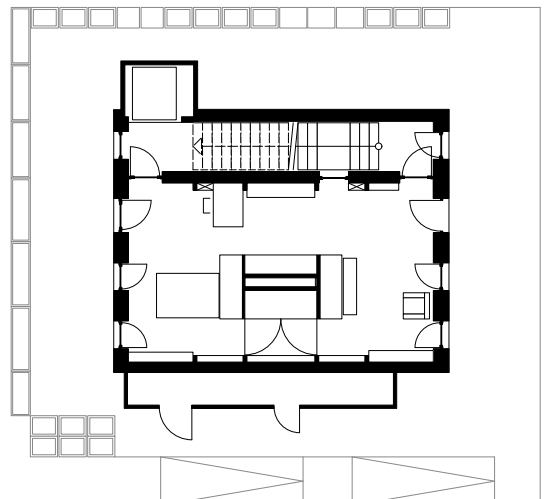
Der Entwurf Azalea reagierte auf die kleinteilige Parzellenstruktur und die klimatischen Bedingungen des historischen Stadtviertels El Cabanyal in Valencia. Ziel war die Entwicklung eines Wohnsystems, das Baulücken schließt und sich flexibel in die gewachsene urbane Morphologie einfügt.

Ausgangspunkt war die Neuinterpretation der „escalà“, eines traditionellen Treppenraums, der neben der Erschließung auch klimatische Funktionen übernahm. Der Entwurf übertrug dieses Element auf ein modulares Wohnkonzept, das sich an unterschiedliche Grundstücksgrößen anpassen und schrittweise erweitern ließ. Es entstand ein Gebäudetyp, der sowohl räumliche Verdichtung als auch mikroklimatische Verbesserung innerhalb des Quartiers ermöglichte.

Gesamtgebäude

Der Entwurf orientierte sich in Maßstäblichkeit, Materialität und Raumstruktur am umliegenden Quartier. Verschiebbare Fassadenelemente sowie gezielt gesetzte Öffnungen ermöglichten eine variable Nutzung und steuerten Belichtung und Belüftung der Innenräume.

Das Dach wurde als zusätzlicher Aufenthaltsraum genutzt und diente zugleich als räumliche Erweiterung des Wohnbereichs. Begrünte Außenflächen unterstützten die Integration in den öffentlichen Raum und verbesserten das lokale Mikroklima.



Grundriss

© Universität Valencia, überarbeitet durch
Living Lab NRW

Die Konstruktion basierte auf einem modularen Holzrahmensystem, das Vorfertigung, Erweiterbarkeit und Rückbaubarkeit ermöglichte. Die Fassade wurde als keramische Vorhangsfassade ausgeführt, um sich in das traditionelle Stadtbild einzufügen und gleichzeitig eine einfache Demontage sowie Wiederverwendung zu gewährleisten. Die Fassadenelemente ließen sich mechanisch lösen und in Einzelteile zerlegen.

Demonstrator im Living Lab NRW

Das Demonstrationsgebäude wurde als eingeschossiger Baukörper mit begehbare Dachfläche realisiert. Die Wohneinheit für zwei Personen bildete einen offenen Raum, dessen verschiedene Funktionen sich um einen zentralen Kern anordneten. In diesem Kern liefen alle Versorgungsleitungen zusammen, sodass Bad und Küche auf gegenüberliegenden Seiten organisiert werden konnten.

Um den Kern herum waren Einbaumöbel angeordnet, die eine flexible Nutzung des Raums ermöglichten. Türen konnten als bewegliche Raumteiler eingesetzt werden, um Zonen temporär neu zu definieren.

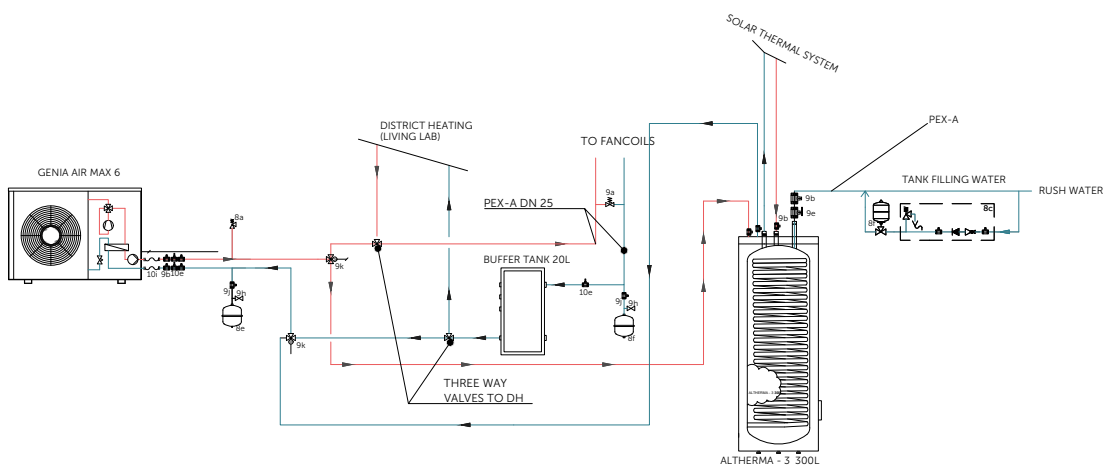
Als Dämmung wurde Reisstroh verwendet, während die innere Wandverkleidung aus Zelluloseplatten aus recyceltem Material bestand. Ein lokaler Bezug zeigte sich insbesondere im Einsatz keramischer Fassadenelemente sowie in den aufgelagerten Fliesen im Innenraum. Die drainfähige Terrasse wurde aus wiederverwendeten Restfliesen hergestellt.

Gebäudetechnik

Die Energieversorgung erfolgte über aufgeständerte Photovoltaikmodule auf dem Flachdach. Die PV-Anlage erzeugte zugleich eine Verschattung der darunterliegenden Dachfläche, die als nutzbarer Außenraum gestaltet wurde.

Zur Trinkwarmwasserbereitung kamen solarthermische Röhrenkollektoren zum Einsatz. Regenwasser wurde gesammelt und für die Gebäudenutzung aufbereitet. Die thermische Konditionierung des Innenraums erfolgte über ein Mono-Splitgerät.

Die Lüftungsstrategie basierte überwiegend auf passiven Maßnahmen. Über die vertikale Erschließungszone entstand ein thermischer Auftrieb, der warme Luft nach oben ableitete. Ergänzend wurde das Gebäude über nächtliche Querlüftung gekühlt. Die Kombination aus solaren Systemen und passiver Klimastrategie reduzierte den Energiebedarf und unterstützte die sommerliche Behaglichkeit.



Anlagenschema
© Universität Valencia

Innovative Nahwärmeversorgung

Die Wuppertaler Stadtwerke trugen mit ihrer Erfahrung, Expertise und Innovationskraft dazu bei, dass die Demonstrationsgebäude eine optimale Wärmeversorgung erhielten. Dabei handelte es sich um ein System zur Nahwärmeversorgung, das auf erneuerbaren Energien basiert und somit besonders nachhaltig und ressourcenschonend war.

Im Mittelpunkt dieser innovativen Nahwärmeversorgung stand ein PVT-Feld.

PVT steht für Photovoltaik-Thermik und ist in Verbindung mit der Wärmepumpe eine innovative Technologie zur kombinierten Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme aus Sonnenenergie. Bei PVT-Kollektoren handelt es sich um ein Solarmodul, das sowohl Photovoltaik- als auch thermische Komponenten enthält. Die Photovoltaik-Komponente wandelt Sonnenlicht direkt in elektrische Energie um. Die thermische Komponente nimmt die Umgebungswärme sowie die Abwärme der Photovoltaik-Module auf und stellt sie der Wärmepumpe als Wärmequelle zur Verfügung. Mithilfe der Wärmepumpe erfolgt eine Temperaturerhöhung und Beladung des Speichers zur Versorgung des Nahwärmenetzes.



Die Vorteile der PVT-Technologie liegen auf der Hand: Einerseits kann durch die gemeinsame Nutzung von Solarthermie und Photovoltaik eine höhere Gesamteffizienz erzielt werden. Andererseits sind PVT-Module platzsparend und können flexibel auf Dächern oder Fassaden angebracht werden. Zudem ist es möglich, sowohl Wärme als auch Strom zu erzeugen und somit den Eigenverbrauch zu maximieren.

Besonders interessant ist die PVT-Technologie für den Einsatz in Gebäuden, die mit Niedrigtemperatures heizen. Sie kann im Wohnungsbau-, Gewerbe- oder Industriebereich zum Einsatz kommen. Ähnlich wie bei Erdwärmepumpenkonzepten arbeiten PVT-Wärmepumpenkonzepte geräuschlos und stellen in dicht bebauten Wohngebieten eine interessante Alternative zur Luftwärmepumpe dar, die nicht geräuschlos arbeitet. In Deutschland ist die PVT-Technologie bisher kaum im Einsatz und wird nur von wenigen Unternehmen installiert. Doch das Interesse wächst und die Technologie wird als zukunftsweisend angesehen.

Die PVT-Technologie hat das Potenzial, einen wichtigen Beitrag zur Energiewende zu leisten und kann dazu beitragen, den CO₂-Ausstoß zu senken. Ob im Wohnbereich oder in der Industrie - PVT-Module sind eine innovative und effiziente Technologie, die die Energieversorgung der Zukunft prägen könnten.

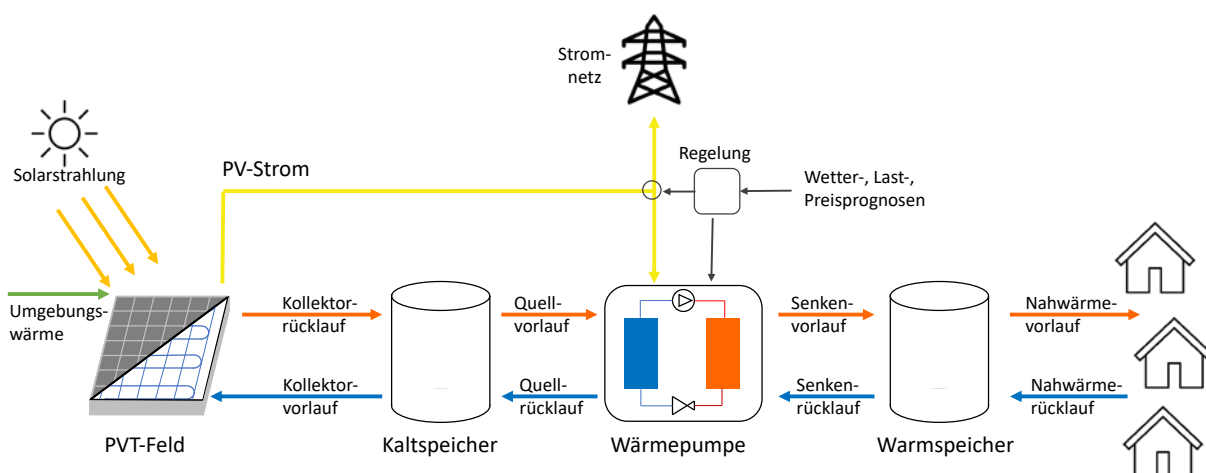
Die Wuppertaler Stadtwerke sind stolz darauf, Teil des Living Lab NRW gewesen zu sein und mit ihrer Expertise und innovativen Produkten zur Umsetzung des Projekts beigetragen zu haben. Die Forschungsfragen zur Energiezentrale wurden im Rahmen einer Forschungsarbeit untersucht.

Dazu stellten die vollständige Erfassung der relevanten Datenpunkte innerhalb des Systems sowie die Erstellung eines möglichst realitätsnahen Simulationsmodells wichtige Bausteine dar. Die Regelung der Energiezentrale wurde mithilfe von Simulationen optimiert.

Die Untersuchungen befassten sich unter anderem mit den folgenden Fragestellungen:

- Wie können Strom und Wärme aus den PVT-Kollektoren optimal durch die Wärmepumpe genutzt werden?
- Welche ökologischen und ökonomischen Vorteile hat das System gegenüber Alternativen und unter welchen Rahmenbedingungen ist die Installation sinnvoll?
- Welchen Einfluss hat die Berücksichtigung von Wetterprognosen, dynamischen Stromtarifen, Trinkwasserbereitstellung oder Kühlung mittels Wärmepumpe?

Erste Erkenntnisse sind im Kapitel „Forschungskolleg“ nachzulesen.



Schema des Nahwärmenetzes
© Karsten Voss, BUW

inbetriebnahme des living lab nrw

Katharina Simon, Karsten Voss

Nach Abschluss des Solar Decathlon Europe 2021/22 waren umfangreiche bauliche und technische Anpassungsmaßnahmen erforderlich, um das Wettbewerbsgelände dauerhaft für den Betrieb des Living Lab NRW nutzbar zu machen. Diese Maßnahmen umfassten unter anderem die Errichtung einer Zaunanlage einschließlich der Gestaltung der Außenanlagen. Darüber hinaus mussten die technischen Anlagen der Demonstrationsgebäude in Betrieb genommen, gewartet und auf die Anforderungen eines langfristigen Forschungsbetriebs abgestimmt werden.

Ein besonderer Schwerpunkt lag auf der Integration des Demonstrationsgebäudes der Hochschule Biberach in das Reallabor. Nachdem das ursprünglich vorgesehene schwedische Team seinen Rückzug aus dem Living Lab NRW bekanntgegeben hatte, wurde seitens der Bergischen Universität Wuppertal intensiv nach einer geeigneten Nachbesetzung gesucht. Dem Vorschlag, das Team X4S der Hochschule Biberach in das Living Lab NRW aufzunehmen, wurde zugestimmt.

Das Living Lab NRW geht im Mai 2023 in Nutzung.
© Living Lab NRW



Zum Zeitpunkt dieser Entscheidung befand sich das Gebäude jedoch rund 300 Meter vom vorgesehenen Standort entfernt. Ein vollständiger Rückbau mit anschließendem Wiederaufbau hätte einen unverhältnismäßig hohen technischen und wirtschaftlichen Aufwand bedeutet. Aus diesem Grund wurde im Jahr 2022 ein Konzept entwickelt, das den Transport des rund 50 Tonnen schweren Gebäudes als Ganzes vorsah.

Im April 2023 konnte der Gebäudetransport schließlich erfolgreich durchgeführt werden. Zur Vorbereitung wurden drei Stahlträger unter das Gebäude eingeführt, an denen das Gebäude mithilfe von Ketten und Traversen von zwei Kränen im Tandemhub angehoben wurde. Anschließend erfolgte die Umsetzung auf ein selbstfahrendes Schwerlasttransportsystem (SPMT – Self-Propelled Modular Transporter). Das Gebäude wurde mit geringer Geschwindigkeit zum neuen Standort transportiert und dort auf vorbereiteten Punktfundamenten abgesetzt. Nach dem Anschluss an die vorhandene Infrastruktur für Strom, Wasser, Abwasser sowie das Nahwärmenetz konnte das Gebäude unmittelbar in den Forschungsbetrieb integriert werden.

Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Herstellung der Energiezentrale. Die Energiezentrale mit ihrem Nahwärmenetz wurde baulich vervollständigt, durch ein Monitoringsystem ergänzt und in Betrieb genommen.

Neben den baulichen Veränderungen waren auch die Kommunikationsplattform und das Monitoringsystem vom Wettbewerb auf die Anforderungen des Living Lab NRW zu modifizieren. Dies betraf den Umbau von Sensoren ebenso wie die gesamte Kette von der Datenerfassung, -verarbeitung und -speicherung für die acht verbliebenen Häuser. Eine zentrale Wetterstation wurde konzipiert und auf dem Demonstrationsgebäude der Technischen Universität Prag in Betrieb genommen.

Die erforderlichen baulichen, technischen und organisatorischen Maßnahmen konnten bis Mai 2023 abgeschlossen werden. Damit waren die Voraussetzungen für den regulären Betrieb des Living Lab NRW erfüllt, sodass die Stadt Wuppertal planmäßig die Betriebsgenehmigung für das Reallabor erteilen konnte.



Versetzen des Hauses X4S aus Biberach um ca. 300 Meter an den neuen Standort im Living Lab NRW.

© Living Lab NRW

sde 21/22 goes living lab nrw - staffelübergabe

Katharina Simon

Die offizielle Eröffnung des Living Lab NRW am 9. Mai 2023 wurde durch ein Fachforum begleitet, das sich insbesondere an Hochschulen und Forschungseinrichtungen richtete. Ziel der Veranstaltung war es, die im Rahmen des Solar Decathlon Europe 21/22 gewonnenen Erkenntnisse aus Lehre, Forschung und Praxis zu reflektieren und in den Kontext zukünftiger Forschungs- und Bildungsformate einzuordnen.



Im Rahmen eines Rückblicks auf den Wettbewerb wurden zentrale Ergebnisse aus den Bereichen nachhaltiges Bauen, Energieeffizienz, zirkuläre Bauweisen sowie interdisziplinäre Lehrkonzepte vorgestellt. Ergänzend erfolgten thematische Querschnittsanalysen, die eine systematische Einordnung der im Wettbewerb entwickelten Ansätze ermöglichten. Die anschließende Diskussion bot den Teilnehmenden die Möglichkeit, Erfahrungen auszutauschen und Perspektiven für die Weiterentwicklung experimenteller Lehr- und Forschungsformate zu formulieren.

Im Anschluss an das Fachforum fand auf dem Campus des Living Lab NRW die symbolische Staffelübergabe zwischen den beteiligten Ministerien statt.

Damit markierte die Eröffnung des Living Lab NRW zugleich den Beginn einer neuen Phase, in der die im Wettbewerb entwickelten Konzepte unter realen Betriebsbedingungen weiter untersucht, evaluiert und in Forschung, Lehre und gesellschaftlichen Wissenstransfer integriert wurden.



Staffelübergabe –
SDE 21/22 goes Living Lab NRW
v.l.n.r.: Prof. Dr.-Ing. Bernd Naujoks (BUW),
Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss (BUW),
Dr. Alexander Renner (BMWK),
Dr. Simon Morgenthaler (MWIKE),
Dr.-Ing. Katharina Simon (BUW)
© Mutzberg, Bergische Universität Wuppertal

- 🚩 Begrüßung durch den Prorektor Prof. Dr. Peter Gust.
- 🚩 Im Dialog über „Lehren, Lernen und Forschen im Zeitalter des Klimawandels – Wie beeinflusst der Wettbewerb Lehre und Forschung an den Hochschulen?“: Prof. Ulrike Reutter diskutiert mit den leitenden Köpfen der Wettbewerbsteams.
- 🚩 v.l.n.r.: Prof. Dr.-Ing. Viktor Grinewitschus, Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss, Prof. Dr.-Ing. Bernd Naujoks

© Mutzberg, Bergische Universität Wuppertal



2 Vermitteln

Die Säule „Vermitteln“ bildete einen zentralen Bestandteil des Living Lab NRW und adressierte gezielt die Schnittstelle zwischen Forschung, Lehre, Praxis und Öffentlichkeit. Ziel war es, nachhaltige und klimafreundliche Bau- und Energiekonzepte nicht nur zu erforschen und zu erproben, sondern diese anhand realisierter Demonstrationsgebäude, begleitender Formate und vielfältiger Veranstaltungsangebote verständlich, erfahrbar und diskursiv zugänglich zu machen.

Das Living Lab NRW fungierte dabei sowohl als Lern- und Informationsort für unterschiedliche Zielgruppen als auch als Plattform für fachlichen und gesellschaftlichen Austausch. Öffentliche und fachbezogene Campusführungen, Dialog- und Veranstaltungsformate, digitale Vermittlungsangebote wie der virtuelle Rundgang sowie externe Präsentationen trugen dazu bei, komplexe Inhalte des nachhaltigen Bauens anschaulich zu vermitteln und in einen breiteren gesellschaftlichen Kontext einzuordnen.

Die im Folgenden dargestellten Beiträge zeigen exemplarisch, wie das Living Lab NRW als Ort der Information, Sensibilisierung und Diskussion wirkte und welchen Beitrag es zur gesellschaftlichen Verankerung klimafreundlicher Bau- und Wohnkonzepte leistete.

informieren und sensibilisieren der Öffentlichkeit

Katharina Simon, Melina Freudenthal

Das Living Lab NRW erfüllte eine vermittelnde Funktion zwischen Forschung, Lehre, Praxis und Öffentlichkeit. Als interdisziplinäre Forschungs- und Bildungsplattform verfolgte es das Ziel, nachhaltige und klimafreundliche Baukonzepte im urbanen Kontext nicht nur zu erforschen, sondern diese anhand realisierter Demonstrationsgebäude anschaulich zu vermitteln. Der Solar Campus diente dabei als räumlicher Rahmen, in dem innovative Architektur und ressourcenschonende Bauweisen beispielhaft umgesetzt und einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht wurden.

Demonstrationsprojekte nehmen im Kontext nachhaltiger Transformationsprozesse eine besondere Rolle ein, da sie abstrakte Zielsetzungen und theoretische Konzepte in konkrete, erfahrbare Anwendungen übersetzen. Sie fungieren als Schnittstelle zwischen Forschung und Anwendung und ermöglichen es, zukunftsweisende Architektur-, Bau- und Energiekonzepte unter realen Bedingungen sichtbar und erlebbar zu machen. Durch diese unmittelbare Erfahrbarkeit werden komplexe Zusammenhänge nachhaltigen Bauens verständlich vermittelt und innovative Lösungsansätze für klimaneutrales Bauen und Wohnen greifbar gemacht. Gleichzeitig tragen experimentelle Testfelder dazu bei, neue Technologien zu erproben und deren Weiterentwicklung sowie Übertragbarkeit in die Praxis zu beschleunigen.¹

1 Schäpke, N., Stelzer, F., Bergmann, M., Singer-Brodowski, M., Wanner, M., Caniglia, G., Lang, D.J. (2017). Reallabore im Kontext transformativer Forschung. Ansatzpunkte zur Konzeption und Einbettung in den internationalen Forschungsstand. (No. 1/2017) Leuphana Universität Lüneburg, Institut für Ethik und Transdisziplinäre Nachhaltigkeitsforschung.

In diesem Sinne war das Living Lab NRW im Zeitraum von Mai 2023 bis September 2025 für unterschiedliche Akteursgruppen geöffnet. Neben Privatpersonen nutzten wissenschaftliche Einrichtungen, Unternehmen sowie Bildungsinstitutionen das Reallabor als Ort des Austauschs und der Wissensgenerierung. Diese Offenheit ermöglichte eine integrative Mehrebenenperspektive, in der unterschiedliche fachliche, institutionelle und gesellschaftliche Blickwinkel zusammengeführt wurden.² Auf diese Weise wurde eine interdisziplinäre Zusammenarbeit gefördert, die den Wissenstransfer über disziplinäre und institutionelle Grenzen hinweg unterstützte.

Ergänzend wurde der vermittelnde Charakter des Living Lab NRW durch die gezielte Durchführung von Fachkonferenzen, Workshops und themenspezifischen Veranstaltungsformaten gestärkt. Diese Formate boten Raum für den Austausch zwischen Forschenden, Fachexpertinnen und -experten, Vertreterinnen und Vertretern des Handwerks sowie der interessierten Öffentlichkeit. Sie trugen dazu bei, aktuelle Fragestellungen des nachhaltigen Bauens zu diskutieren, neue Impulse aufzunehmen und bestehende Ansätze weiterzuentwickeln.

Insgesamt etablierte sich das Living Lab NRW als dynamischer Lern- und Austauschort, an dem innovative Konzepte für eine nachhaltige gebaute Umwelt nicht nur dargestellt, sondern aktiv vermittelt und gemeinsam reflektiert wurden. Damit leistete das Projekt einen wesentlichen Beitrag zum Wissenstransfer zwischen Wissenschaft, Praxis und Gesellschaft und unterstützte die gesellschaftliche Verankerung nachhaltiger Bau- und Wohnkonzepte.



- Projektarbeit im Gebäude X4S der Hochschule Biberach
© Neue Effizienz gGmbH, Malte Reiter
- Sommerfest der Fakultät Architektur & Bauingenieurwesen
© Karolyn Kruse, Living Lab NRW

² Dr. Dierk Bauknecht, Dr. Bettina Brohmann, Prof. Dr. Rainer Grießhammer, Matthew Bach, Simon Funke (2015). Gesellschaftlicher Wandel als Mehrebenenansatz - Transformationsstrategien und Models of Change für nachhaltigen gesellschaftlichen Wandel. (TEXTE 66/2015) Umweltbundesamt.

campusführungen

Katharina Simon, Manuela Immecke,
Karolyn Kruse

Zur Vermittlung nachhaltiger Bau- und Energiekonzepte wurden im Living Lab NRW kontinuierlich Führungen über den Living Lab NRW Campus und zu ausgewählten Demonstrationsgebäuden angeboten. Die Führungen stellten ein zentrales Instrument der Wissensvermittlung dar und ermöglichten es, komplexe Inhalte des klimagerechten Bauens anschaulich und praxisnah zu vermitteln. Dabei wurde zwischen allgemeinen öffentlichen Führungen und fachbezogenen Gruppenführungen unterschieden, um verschiedene Zielgruppen adressatengerecht anzusprechen.

Während die öffentlichen Führungen einen niedrigschwelligen Zugang zu Themen des klimaneutralen und nachhaltigen Bauens boten, richteten sich die Fachführungen gezielt an Expertinnen und Experten sowie Institutionen mit fachlichem Bezug zur Bau- und Energiewende. Letztere ermöglichten eine vertiefte Auseinandersetzung mit technischen, architektonischen und didaktischen Aspekten der Demonstrationsgebäude.

Stadtbegrünung für mehr Lebensqualität war eins der Themen bei den Dienstags-Dialogen: Martin Belz, Experte für Gebäudebegrünung, erläuterte den Nutzen einer Grünfassade am Haus Aachen
© Karolyn Kruse, Living Lab NRW



Öffentliche Führungen – Erleben als Instrument der Wissensvermittlung

Das Living Lab NRW bot regelmäßig öffentliche Führungen für interessierte Privatpersonen und fachfremde Gruppen an. Zur Erweiterung des Kommunikationsnetzwerks und zur Verstetigung dieses Angebots wurde eine Kooperation mit der Wuppertal Marketing Gesellschaft (WMG) etabliert. Die WMG unterstützt seit 2005 das Standortmarketing der Stadt Wuppertal und verfügt über umfassende Erfahrung in der Ansprache unterschiedlicher Zielgruppen in den Bereichen Tourismus, Wirtschaftskommunikation sowie Stadtmarketing.

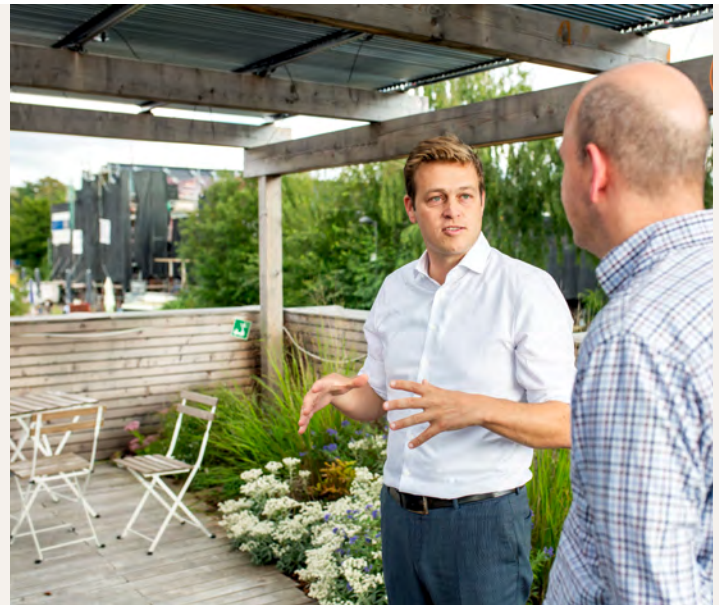
Die kostenpflichtigen Führungen fanden an ausgewählten Sonntagen sowie auf Anfrage für Gruppen wie Unternehmen oder Vereine statt. In etwa 90-minütigen Rundgängen erhielten die Teilnehmenden einen umfassenden Überblick über das Living Lab NRW, einschließlich einer geführten Erkundung des Living Lab NRW Campus und ausgewählter Demonstrationsgebäude.

Inhaltlich lag ein Schwerpunkt auf architektonischen Konzepten und flächensparenden Wohnformen, die eine ressourceneffiziente Nutzung urbaner Räume zeigten. Ergänzend wurden nachhaltige Baustoffe, innovative Gebäudetechnologien sowie beispielhafte Lösungen für energieeffiziente Versorgungssysteme vorgestellt. Dazu zählten unter anderem fassadenintegrierte Solarsysteme, Wärmepumpen und Konzepte der energieeffizienten Gebäudehülle.

Die Demonstrationsgebäude wurden dabei stets im Kontext bestehender urbaner Strukturen betrachtet. Ziel war es, Integrationspotenziale nachhaltiger Bauweisen in bestehende Stadtquartiere aufzuzeigen und die Akzeptanz klimaneutraler Bau- und Wohnkonzepte zu fördern. Auf diese Weise sollten Impulse für eine zukunftsfähige Stadtentwicklung vermittelt werden.



Führung über den Solar Campus
© Vincent Tups, Bergische Universität Wuppertal



Besuch des Landrats Stefan Kaineder und
einer Delegation aus Österreich
© Land OÖ/Werner Dedl

Fachbezogene Gruppenführungen zur Bau- und Energiewende

Neben den öffentlichen Führungen bot das Living Lab NRW fachbezogene Gruppenführungen nach individueller Terminvereinbarung an. Diese Führungen richteten sich an politische Institutionen, Verbände, Nichtregierungsorganisationen, Ministerien, Unternehmen sowie Bildungs- und Forschungseinrichtungen. Die Dauer betrug in der Regel zwischen 90 und 120 Minuten.



■ Vorstellung der Forschungsarbeiten in dem Gebäude
FIRSTLIFE der TU Prag

■ v.l.n.r.: Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss (BUW),
Dr. Katharina Simon (BUW),
Katja Bettina Schmidt (MWIKE),
Carsten Petersdorff (NRW.energy4Climate)

© Vincent Tups, Bergische Universität Wuppertal

Die Inhalte der Führungen wurden zielgruppenspezifisch angepasst und thematisch vertieft. Je nach Interesse der Teilnehmenden standen unterschiedliche Schwerpunkte im Vordergrund, etwa „Architektur und urbane Energiewende“ oder „Technik und Energiesysteme“.

Im Bereich der Kinder- und Jugendbildung lag der Fokus auf der Förderung einer praxisnahen Nachhaltigkeitsbildung. Schülerinnen und Schüler, Studierende sowie Lehrkräfte erhielten Einblicke in zukunftsweisende Bau- und Energiekonzepte. Durch das unmittelbare Erleben der Demonstrationsgebäude – einschließlich der Möglichkeit, Bauteile, Materialien und technische Systeme vor Ort zu erkunden – wurden abstrakte Inhalte anschaulich und nachvollziehbar vermittelt.

Ein spezielles Angebot richtete sich an Fachleute aus Architektur und Stadtplanung. Die Führungen zum Thema „Architektur und urbane Bauwende“ vermittelten vertiefte Kenntnisse zu nachhaltigem, ökologischem und zirkulärem Bauen. Dabei wurde insbesondere auf den Einsatz nachwachsender Rohstoffe, reversible Konstruktionen sowie innovative Wohnkonzepte im Sinne der Flächensuffizienz eingegangen. Ziel war es, konkrete Strategien für ressourcenschonendes und verantwortungsbewusstes Wohnen im urbanen Kontext aufzuzeigen.

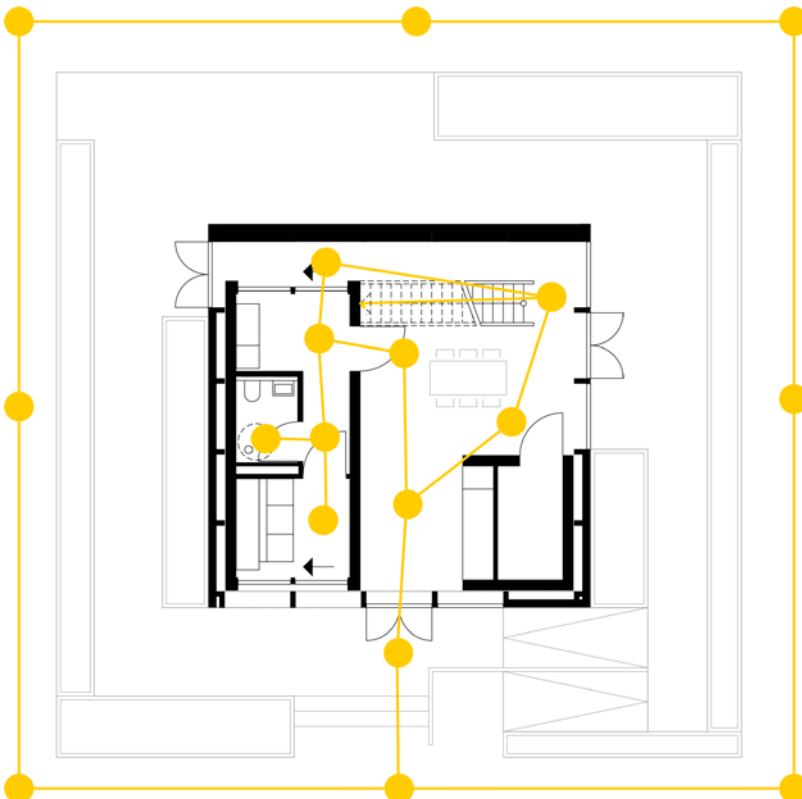
Darüber hinaus wurden Fachführungen mit dem Schwerpunkt „Technik der Energiesysteme“ angeboten. Diese richteten sich an Fachpersonen, die sich vertieft mit innovativen Technologien und energieeffizienten Systemen im Bereich des nachhaltigen Bauens auseinandersetzen wollten. Vorgestellt wurden unter anderem Wärmepumpensysteme, fassadenintegrierte Photovoltaikanlagen sowie effiziente Lüftungssysteme. Ergänzend wurden Technologien zur saisonalen Energiespeicherung, wie Eisspeicher, sowie Systeme zur Nutzung von Abwasserwärme erläutert, die zur Reduktion des Energiebedarfs und zur Ressourcenschonung beitragen.

Über einen Zeitraum von drei Jahren bot das Living Lab NRW mit diesen differenzierten Führungsformaten eine kontinuierliche Plattform für Wissensaustausch und Vermittlung in den Themenfeldern Architektur, Energiewende und Gebäudetechnik und leistete damit einen wesentlichen Beitrag zur gesellschaftlichen Veranke-



das virtuelle living lab NRW

Jan Pieper



Im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen dem Living Lab NRW und dem Lehrstuhl Mensch-Umwelt-Forschung von Prof. Dr. Britta Stumpe am Fachbereich Geographie der Bergischen Universität Wuppertal wurde ein virtueller Rundgang des Living Lab NRW entwickelt.

Ziel war es, eine virtuelle Version des Living Lab NRW Campus zu erstellen, um auch nach dessen Rückbau einen Einsatz für Lehr- und Forschungszwecke zu ermöglichen. Der Fokus lag dabei zunächst auf der Nutzung in der Lehre, um Studierenden einen digitalen Zugang zum Campus und dessen Inhalten bereitzustellen.

Sechs der Gebäude sowie die Energiezentrale wurden in den Rundgang aufgenommen.

Vorteile eines virtuellen Rundgangs

Die Entscheidung für einen virtuellen Rundgang mit 360°-Bildern wurde getroffen, da es gegenüber statischen Medien zahlreiche Vorteile bot. Während klassische Fotos oder zweidimensionale Pläne oft nur einen begrenzten Eindruck vermitteln, ermöglichen 360°-Bilder eine vollständige räumliche Erfahrung. Nutzer*innen können sich frei in den Demonstratoren bewegen, die Architektur in ihrer Gesamtheit erfassen und Details aus verschiedenen Perspektiven betrachten.

Ein weiterer Vorteil ist die Interaktion mit der Umgebung. Die Nutzer*innen haben die Möglichkeit, durch Standpunktwechsel und eine 360°-Rundumsicht die räumlichen Zusammenhänge und dreidimensionalen Aspekte der Architektur besser zu verstehen. Darüber hinaus erlaubt der virtuelle Rundgang als digitales Medium den Einsatz bewegter Darstellungen, anstelle von statischen Visualisierungen.

■ Virtueller 360° Rundgang über den Living Lab NRW Campus und durch die Demonstrationsgebäude des Living Lab NRW. (Screenshot)

■ Darstellung der Kamerastandpunkte für das Gebäude MIMO.

© Living Lab NRW

Konzeption und inhaltliche Aufbereitung

Die verschiedenen Gebäude wurden hinsichtlich ihrer spezifischen Konzepte untersucht und mit Points of Interest (POIs) strukturiert. Bei der Ausarbeitung der POIs ging es darum, sowohl Gemeinsamkeiten als auch unterschiedliche Ansätze zur Bewältigung gleicher Herausforderungen des nachhaltigen und zukunftsfähigen Bauens hervorzuheben. Themen wie die Integration von Photovoltaik oder Maßnahmen zur Resilienz wurden dabei exemplarisch analysiert. Dadurch wurden die vielfältigen Konzepte der Demonstratoren sichtbar und vergleichbar.

Die POIs wurden in drei Hauptkategorien gegliedert. Im Bereich Entwurf und Design wurden Aspekte wie Flächensuffizienz und Resilienz gegenüber extremen Klimabedingungen untersucht. Diese POIs zeigen, wie die Teams auf aktuelle und zukünftige Herausforderungen im Wohnungsbau reagierten. Die Kategorie Gebäudetechnik befasste sich mit der Integration nachhaltiger Technologien wie Photovoltaikanlagen, verschiedenen Heizsystemen und innovativen Lüftungskonzepten, die die Energieeffizienz und den Wohnkomfort verbessern. Schließlich wurden in der Kategorie Konstruktion und Materialität verschiedene Bauweisen betrachtet, darunter modulare und elementierte Konstruktionen sowie der Einsatz wiederverwendbarer Materialien.

Zur besseren Verständlichkeit wurden die gesammelten Informationen einheitlich grafisch und textlich aufbereitet. Visuelle Darstellungen wie technische Zeichnungen, Animationen, isometrische Ansichten und schematische Darstellungen wurden erstellt, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Demonstratoren zu verdeutlichen. Besondere Aufmerksamkeit lag auf einer grafischen Gestaltung, die eine intuitive Erfassung der Inhalte ermöglicht. So wurden bspw. zur Erklärung technischer Prozesse bewegte Animationen genutzt. Die Erläuterungstexte wurden so verfasst, dass sie auch für Laien verständlich sind.

Erstellung des virtuellen Rundgangs

Die Aufnahmen wurden mit einer 360°-Kamera durchgeführt. Hierfür wurden Rundgänge durch die Demonstrationsgebäude und über den Campus mit festgelegten Standpunkten geplant, zwischen denen sich die Nutzer*innen innerhalb der virtuellen Umgebung bewegen können. Mit Hilfe der Kamera wurden Cubemaps generiert, aus denen interaktive 360°-Umgebungen („Bubbles“) erstellt wurden. Zudem kamen Drohnenaufnahmen zum Einsatz, um eine übergreifende 360°-Ansicht des gesamten Campus zu erfassen.

Die technische Umsetzung des Rundgangs erfolgte mit der Software 3DVista¹. Die aufbereiteten Inhalte wurden als interaktive Schaltflächen in die virtuelle Umgebung integriert und miteinander verlinkt, sodass verschiedene Konzepte zu bestimmten Themenschwerpunkten direkt miteinander verglichen werden können. Die Implementierung der Informationen in den Rundgang sowie der Aufbau der Wegführung innerhalb des Rundgangs wurden dabei vom Living Lab NRW so konzipiert, dass eine intuitive und informative Nutzererfahrung gelingt.

Nutzung des virtuellen Rundgangs

Der virtuelle Rundgang bietet eine ortsunabhängige Erkundungsmöglichkeit des Campus. Er richtet sich primär an Studierende, um ihnen die verschiedenen Konzepte der Gebäude anschaulich zu vermitteln. Gleichzeitig steht er weiteren Interessierten offen, die sich über den Campus und die Forschungsthemen informieren möchten.

Ein entscheidender Vorteil des Rundgangs ist die langfristige Nutzungsmöglichkeit: Auch nach Ende des Living Lab NRW bleibt der digitale Campus erhalten und kann kontinuierlich mit neuen Informationen ergänzt und aktualisiert werden. Der fertige Rundgang wurde in die Homepage des Living Lab NRW integriert und ist seitdem öffentlich zugänglich.

¹ <https://www.3dvista.com/de/>

Weiterentwicklung

Über die ursprüngliche Anwendung hinaus erfolgte eine gezielte Weiterentwicklung des bestehenden Materials für eine immersive Nutzung. Die bereits erstellten 360°-Aufnahmen wurden hierfür optimiert und spezifisch für die Darstellung in VR-Brillen angepasst, um eine flüssige und nutzerfreundliche Navigation im virtuellen Raum zu gewährleisten. Die praktische Anwendung dieses erweiterten Rundgangs wurde im Rahmen eines Besuchs an der CTU Prag evaluiert (vgl. Kapitel „Raumwahrnehmung in Realität und Virtual Reality (VR)“).

Parallel dazu wurde auf Basis des für den Monitor konzipierten Rundgangs ein interaktives Lerntool entwickelt, das sich dezidiert verschiedenen Aspekten der Technischen Gebäudeausrüstung widmet. Das als Suchspiel konzipierte Tool behandelt Themen wie Wärmeerzeugung, Solarthermie, Photovoltaik sowie Lüftungssysteme. Die Nutzer*innen bewegen sich dabei virtuell über den Campus, um die verschiedenen Systeme zu lokalisieren, wodurch Quizkarten mit vertiefenden Fragen zu Funktionsweise und Aufbau freigeschaltet werden. Ein besonderer Fokus lag auf der Anschlussfähigkeit des Tools für Lernplattformen wie Moodle. Ergänzend dazu wurde für den „Markt der Möglichkeiten“ in der Historischen Stadthalle Wuppertal ein kindgerechtes Suchspiel zum Thema Photovoltaik erstellt, um die Inhalte auch einer jüngeren Zielgruppe zugänglich zu machen.

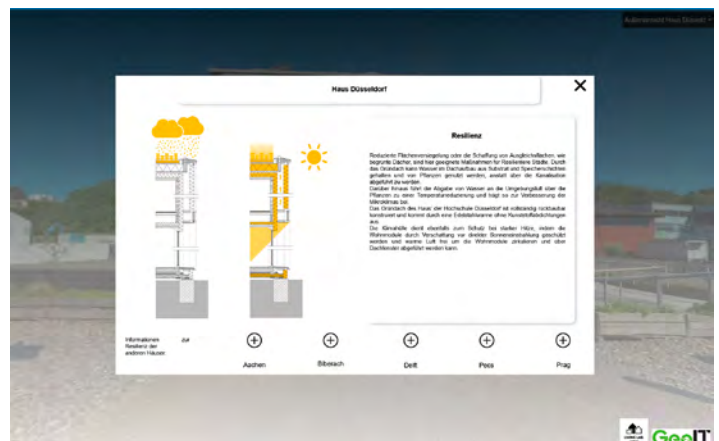
Digitale Rekonstruktion mit Gaussian Splatting

Um ein vollumfängliches, fotorealistisches Erlebnis des Living Lab NRW mittels Virtual Reality zu ermöglichen, wurde ergänzend die digitale Rekonstruktion mittels „Gaussian Splatting“ erprobt. Dieses innovative Verfahren zielt darauf ab, die Limitierung durch das Springen von Standpunkt zu Standpunkt zu überwinden und eine vollständig frei begehbare 3D-Umgebung zu schaffen. Im Gegensatz zu konventionellen Methoden, die Oberflächen als starre Polygon-Netze modellieren, nutzt Gaussian Splatting einen volumetrischen Ansatz: Die Szene wird durch Millionen von halbtransparenten, dreidimensionalen Lichtpunkten – sogenannte Gauß-Ellipsoide – repräsentiert. Diese fungieren als partikelbasierte Farbwolke, die detaillierte Informationen über Position, Farbe, Form und Deckkraft speichert.

Die Qualität der resultierenden „Splats“ hängt dabei maßgeblich von der Präzision des Ausgangsmaterials ab. Für eine erfolgreiche Prozessierung müssen die Aufnahmen eine räumliche Überlappung von mindestens 60 bis 80 % aufweisen, frei von Bewegungsunschärfe sein und über konsistente Belichtungswerte verfügen. Zudem sind präzise Metadaten zu den Brennweiten entscheidend, um die optische Verzerrung der Linse algorithmisch ausgleichen zu können.



Außenansicht Gebäude MIMO mit den Points of Interest im Außenraum.
© Screenshot, Bergische Universität Wuppertal



Darstellung des Fassadenschnitts von Haus MIMO mit vertiefenden Informationen zur Resilienz.
© Screenshot, Bergische Universität Wuppertal

Herausforderungen und Grenzen des Verfahrens

In einer ersten Testphase in dem Demonstrationsgebäude der TU Delft wurde zunächst versucht, das Datenmaterial über Videoaufnahmen zu generieren. Die daraus exportierten Einzelbilder (Frames) wiesen jedoch eine unzureichende Tiefenschärfe und Kompressionsartefakte auf, was die Rekonstruktion massiv beeinträchtigte. Um die benötigte Detailtiefe und Bildschärfe zu gewährleisten, wurde das Verfahren auf Einzelaufnahmen mit einer digitalen Spiegelreflexkamera umgestellt.

Technisch basierte die Weiterverarbeitung darauf, die Bilddaten mittels „Structure from Motion“ räumlich zu orientieren. In der Anwendung RealityCapture wurden hierfür die Kamerapositionen berechnet und eine initiale Punktwolke generiert, die als Grundgerüst für die Erzeugung der Ellipsoide diente. Trotz der hochwertigeren Aufnahmen zeigten sich Herausforderungen innerhalb der Architektur der Demonstratoren. Da das Verfahren auf stabilen optischen Fixpunkten basiert, stellten die zahlreichen reflektierenden Glasoberflächen ein erhebliches Hindernis für die präzise räumliche Zuordnung dar. Zudem verursachten die ausgeprägten Lichtdynamiken – der starke Kontrast zwischen stark belichteten und dunklen Zonen – visuelle Bildfehler. Letztlich schränkte dieser hohe Dynamikumfang die Qualität für den KI-gestützten Prozess so stark ein, dass kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden konnte. Infolgedessen blieb dieser Versuch ein Experiment ohne finale Umsetzung.

Erkenntnisse und Ausblick

Gleichwohl lieferten diese Untersuchungen wichtige Erkenntnisse über die Möglichkeiten und Grenzen neuer Rekonstruktionsverfahren. Die Erprobung hat deutlich gezeigt, vor welchen Herausforderungen die digitale Erfassung moderner, glasbetonter Architektur aktuell noch steht. Diese Erfahrungen bilden eine wertvolle Grundlage für zukünftige Projekte, um die Lücke zwischen Fotografie und begehbaren 3D-Modellen weiter zu schließen.

Trotz der technischen Hürden beim Gaussian Splatting ist das Gesamtprojekt ein Erfolg: Mit der entwickelten virtuellen Tour auf Basis der 360°-Bilder steht ein Werkzeug bereit, das den Campus des Living Lab NRW dauerhaft sichert. Das Projekt zeigt, wie digitale Medientechnik die Wissensvermittlung für Architektur bereichern kann – indem sie Räume ortsunabhängig erlebbar macht.



Link zum virtuellen Rundgang

Der Rundgang steht außerdem für Windows-Rechner unter folgendem DOI-Link zum Download zur Verfügung:
<https://doi.org/10.57899/e85m-1w89>

veranstaltungsformate im living lab nrw

Katharina Simon, Manuela Immecke,
Karolyn Kruse

Ein weiterer zentraler Baustein der Säule „Vermittlung“ waren die vielfältigen Veranstaltungsformate, die sowohl der Information und Sensibilisierung unterschiedlicher Zielgruppen dienen als auch gezielt Impulse für den fachlichen und gesellschaftlichen Diskurs setzten. Die Formate waren darauf ausgerichtet, aktuelle Fragestellungen des klimagerechten und klimaangepassten Bauens aus unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten, theoretische Inhalte mit praktischen Anwendungen zu verknüpfen und den Austausch zwischen Wissenschaft, Praxis, Politik und Öffentlichkeit zu fördern.

Eröffnung der BauImpulse 2024 durch
Dr. Katharina Simon.
© Vincent Tups, Bergische Universität Wuppertal



Dienstags-Dialoge

Die Veranstaltungsreihe Dienstags-Dialoge wurde in Kooperation mit der Stadt Wuppertal durchgeführt. Sie widmete sich zentralen Themen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung im Kontext privater Wohngebäude. An vier Abenden wurden interessierten Bürgerinnen und Bürgern unterschiedliche Fragestellungen vorgestellt und bewusst aus verschiedenen fachlichen Blickwinkeln betrachtet. Charakteristisch für das Format war die konsequente Verbindung von inhaltlicher Einführung und praktischer Veranschaulichung anhand der Demonstrationsgebäude des Living Lab NRW.

Zwei der Dialoge spannten thematisch den Bogen von grundlegenden Fragen eines gesunden Wohnumfelds bis hin zu Strategien der Stadtbegrünung. Diskutiert wurden unter anderem Zusammenhänge zwischen Begrünung, Mikroklima und Lebensqualität. Die Teilnehmenden konnten diese Aspekte unmittelbar an der begrünten Fassade des Demonstrationsgebäudes der FH Aachen nachvollziehen und erhielten praxisnahe Hinweise zur Planung und Umsetzung entsprechender Maßnahmen.

Der dritte Dialog fokussierte technische Fragestellungen und widmete sich dem Aufbau und der Funktionsweise von Solaranlagen sowie den Grundlagen von Wärmepumpensystemen. Im Mittelpunkt stand dabei die Abwägung zwischen ökologischen und ökonomischen Aspekten. Die anschließende Besichtigung der Energiezentrale ermöglichte es, die zuvor erläuterten Systeme im realen Betrieb zu erleben und einzuordnen.

Klimagerechtes Bauen und Sanieren mit Holz bildete den Schwerpunkt des vierten Dialogs. Anhand anschaulicher Projektbeispiele wurden grundlegende Eigenschaften des Baustoffs Holz sowie konstruktive Details erläutert und abschließend auch unter brandschutztechnischen Gesichtspunkten diskutiert.

Die Dienstags-Dialoge stießen auf großes Interesse und waren durchweg gut besucht. Insbesondere das positive Feedback der überwiegend fachfremden Teilnehmenden bestätigte den Ansatz, komplexe Themen des nachhaltigen Bauens niedrigschwellig und praxisnah zu vermitteln.

BauImpulse 2024

Mit der Veranstaltung „BauImpulse 2024“ etablierte das Living Lab NRW in Kooperation mit NRW.Energy4Climate ein Format, das sich gezielt der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau widmete. Die Veranstaltung gliederte sich in zwei komplementäre Teile: das Living Lab NRW Fachforum sowie die Living Lab NRW Infotage.

Das Fachforum richtete sich an Akteurinnen und Akteure der Baubranche und bot eine Weiterbildungs- und Vernetzungsplattform. An zwei Tagen wurden in vier thematischen Blöcken – Energiewende Bauen, Gesund Bauen, Maßvoll Bauen und Kreislaufgerecht Bauen – Impulsvorträge gehalten, die jeweils in moderierte Diskussionen übergingen. Neben Vertreterinnen und Vertretern aus Universitäten, Verbänden und Institutionen wurden gezielt Praxispartner eingeladen, deren Projekte mit der Auszeichnung Klimaquartier.NRW prämiert worden waren.

Die Vorträge wurden durch thematische Vertiefungsstationen auf dem Campus des Living Lab NRW ergänzt, an denen Ergebnisse aus zwei Jahren Forschungstätigkeit präsentiert wurden. Auch die Promovierenden des Forschungskollegs hatten hier die Möglichkeit, ihre Arbeiten anhand von Postern vorzustellen. Der erste Veranstaltungstag endete mit einem Networking-Abend auf dem Campus. Pro Tag nahmen rund 70 Personen am Fachforum teil; die Veranstaltung wurde von der Architektenkammer NRW sowie der Ingenieurkammer-Bau NRW als Fortbildungsmaßnahme anerkannt.

Die parallel organisierten Living Lab NRW Infotage richteten sich gezielt an die breite Öffentlichkeit. Im Mittelpunkt standen praxisnahe Informationen zum klimagerechten Bauen im Bestand. Thematische Schwerpunkte lagen unter anderem auf alternativen Dämmstoffen wie Seegras, Dach- und Fassadenbegrünung sowie dem Einsatz von Holz, Wärmepumpen und Photovoltaik. Hersteller nachhaltiger Baustoffe, die Verbraucherzentrale sowie die Wuppertaler Stadtwerke standen den Besucherinnen und Besuchern für Beratungen zur Verfügung.



Eindrücke von der Veranstaltung Baulmpulse 2024
© Vincent Tups, Bergische Universität Wuppertal

In Praxisworkshops konnten Teilnehmende unter fachlicher Anleitung mit nachhaltigen Materialien wie Dämmstoffen und Lehm arbeiten. Ergänzt wurde das Angebot durch Kurzvorträge zu Themen wie Lüftungskonzepte, Heizungswahl und energetische Gebäudehülle. Darüber hinaus boten die Infotage Einblicke in Forschung und Lehre der Bergischen Universität Wuppertal. Für Kinder wurde mit [Kistenweise Wissen] eine interaktive Mitmachausstellung angeboten. Digitale Vermittlungsformate wie Augmented Reality am Living Lab NRW ermöglichten es, nachhaltige Bauweisen mithilfe mobiler Endgeräte anschaulich zu erkunden. Studierende des Masterstudiengangs Architektur stellten zudem Methoden zur Erfassung und Analyse des Gebäudebestands vor.

Ergänzend wurden in Zusammenarbeit mit umliegenden Schulen sowie dem internationalen Projekt Ausbildung ohne Grenzen spezielle Führungen für Schülerinnen und Schüler angeboten.

Kompetenzforum „Bauen neu denken“

Das „Kompetenzforum Bauen neu denken“ ist ein etabliertes Veranstaltungsformat der Weiterbildung Wissenschaft Wuppertal gGmbH, das Impulse für eine nachhaltige Bauwirtschaft setzt und den Austausch zwischen regionalen Akteurinnen und Akteuren fördert. Im Jahr 2024 war das Living Lab NRW Kooperationspartner bei zwei Veranstaltungen. Die erste widmete sich dem Bauen im Bestand, die zweite der Sanierung im Bestand.

Aufgrund der positiven Resonanz wurde die Zusammenarbeit im Jahr 2025 fortgesetzt und um zwei weitere Veranstaltungen zu den Themen Gesundes Bauen sowie Werte erkennen – Ressourcen erhalten ergänzt. Alle Veranstaltungen folgten einem einheitlichen Format mit jeweils vier Impulsvorträgen und anschließender moderierter Diskussion. Auf diese Weise wurde ein kontinuierlicher fachlicher Austausch zu aktuellen Fragestellungen des nachhaltigen Bauens ermöglicht.



networking - regionale verankerung und überregionale präsenz

Katharina Simon

Neben eigenen Vermittlungsformaten etablierte sich das Living Lab NRW als offene Plattform für Veranstaltungen von Partner*innen aus der Region sowie aus ganz Nordrhein-Westfalen. Zugleich trat das Projekt auch über den Standort hinaus in Erscheinung und präsentierte Inhalte, Erfahrungen und Forschungsergebnisse bei externen Veranstaltungen. Diese doppelte Ausrichtung zum einen als Gastgeber vor Ort und zum anderen als aktiver Akteur im überregionalen Diskurs stärkte die Sichtbarkeit des Living Lab NRW und förderte den Wissenstransfer in unterschiedliche gesellschaftliche und fachliche Kontexte.

Eröffnung der Energiezentrale mit Fachforum
„Netzdienliche Betriebsführung von Gebäuden“
© Simon Gehlen, Bergische Universität Wuppertal



Das Living Lab NRW als Veranstaltungsplattform

Den Auftakt bildete im Jahr 2023 die Eröffnung der Energiezentrale im Living Lab NRW. In Zusammenarbeit mit den Wuppertaler Stadtwerken wurde eine Energiezentrale mit einem Nieder-temperatur-Nahwärmenetz in Betrieb genommen, deren Wärmeversorgung auf innovativen Hybridkollektoren (PVT-Systemen) basiert. Die Eröffnungsveranstaltung wurde durch Dialog-tische für unterschiedliche Zielgruppen sowie Führungen ergänzt. Thematisch standen die Umstellung städtischer Heizzentralen auf erneuerbare Energien, der Einsatz von PVT-Kollektoren für Wärmepumpensysteme sowie die Integration von Wärmepumpen in Wohngebäuden im Fokus. Die Veranstaltung verband technische Information mit direktem Bezug zur gebauten Infrastruktur des Living Lab NRW.

Im weiteren Verlauf wurde das Living Lab NRW gezielt als Veranstaltungsplattform für unterschiedliche Partnerformate genutzt. In Kooperation mit der Neuen Effizienz und der

Stadtparkasse Wuppertal fanden Informationsveranstaltungen für potenzielle Bauherrinnen und Bauherren statt, die sich mit dem Einsatz ökologischer Dämmstoffe im Bestand sowie mit dem Bauen mit Holz beschäftigten. Fachvorträge wurden mit Rundgängen durch die Demonstrationsgebäude kombiniert, um theoretische Inhalte am realisierten Objekt zu veranschaulichen.

Ein weiterer wichtiger Meilenstein war die Einbindung des Living Lab NRW in das Netzwerk transform.NRW¹. Das Reallabor wurde hier als Fallstudie ausgewählt und filmisch dokumentiert. Ziel der Plattform ist es, Akteurinnen und Akteure aus Kunst, Kultur, Design und Wissenschaft mit Wirtschaft, Politik und Gesellschaft zu vernetzen, um sozial-ökologische Transformationsprozesse zu unterstützen. Die filmische Aufbereitung trägt zur überregionalen Vermittlung der im Living Lab NRW gewonnenen Erkenntnisse bei.

¹ <https://transform.nrw>



Dreharbeiten für „transform.NRW“ mit Erica von Möller
© Bergische Universität Wuppertal



Führungen über den Living Lab NRW Campus
beim „Tag der Architektur“
© Bergische Universität Wuppertal

Auch im Rahmen der Circular Insights Days² 2024 war das Living Lab NRW sowohl als Fallstudie als auch als Gastgeber beteiligt. In diesem Format der Neuen Effizienz arbeiteten interdisziplinäre Teams aus Studierenden, Berufseinsteigerinnen und -einsteigern sowie Unternehmen an konkreten Fragestellungen der Circular Economy. Das Living Lab NRW stellte seine Gebäude für Arbeitsphasen zur Verfügung und diente als realer Bezugspunkt für die Entwicklung von Zukunftsszenarien. Eine zentrale Fragestellung war die mögliche Nachnutzung des Campus nach Projektende – von der Weiterverwendung einzelner Gebäude bis hin zu Rückbauszenarien.

Parallel dazu etablierte sich das Living Lab NRW als regionaler Netzwerk-Hub. Es entstanden Kooperationen mit Fachkonferenzen wie REGION.innovativ – Kreislaufwirtschaft und Kommunen innovativ sowie mit Projekten wie Circular Office oder CO₂-Bau – Nachhaltiges Bauen und Sanieren der Hochschule Düsseldorf. Darüber hinaus war das Living Lab NRW regelmäßiger Gastgeber von Lichtplaner-Stammtischen sowie von kulturell geprägten Nachhaltigkeitsformaten wie dem Gather and Pause Festival. Diese Nutzungen unterstrichen den offenen Charakter des Standorts als Austausch- und Diskursraum.

Living Lab NRW on Tour – Präsenz an externen Standorten

Neben der Nutzung als Veranstaltungsort war das Living Lab NRW auch über den Standort hinaus präsent. Ein zentrales Beispiel hierfür war die Teilnahme an der „Woche der Umwelt“ in Berlin, bei der das Living Lab NRW mit einem eigenen Stand vertreten war und seine Arbeit einem bundesweiten Publikum aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft vorstellen konnte.

Neben der Teilnahme an öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen setzte das Living Lab NRW auch in der Fachwelt Impulse. So wurden im Rahmen der Bauphysiktag 2024 der Ingenieurkammer NRW in Wuppertal Keynotes zum Living Lab NRW gehalten; Fachbeiträge bei den Bauphysiktagen 2026 in Kaiserslautern vertieften den fachlichen Austausch zusätzlich.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Vermittlung an junge Zielgruppen. Beim „Zukunftsfestival“ in der Historischen Stadthalle Wuppertal präsentierte sich das Living Lab NRW mit einem eigenen Messestand. Mit dem interaktiven Format [Kistenweise Wissen] sowie einem virtuellen 360°-Rundgang über das Gelände wurden Nachhaltigkeitsthemen kind- und jugendgerecht vermittelt. Die kostenfreie Zugänglichkeit der Veranstaltung ermöglichte eine breite Teilhabe und trug zur frühzeitigen Sensibilisierung für nachhaltiges Bauen und Wohnen bei.

Insgesamt zeigte sich, dass das Living Lab NRW sowohl als physischer Veranstaltungsort als auch als mobiler Vermittlungsakteur wirkte. Durch die Kombination aus Gastgeberfunktion, Netzwerkarbeit und externer Präsenz wurde der Wissenstransfer über den Standort hinaus erweitert und die Rolle des Living Lab NRW als Schnittstelle zwischen Forschung, Praxis und Gesellschaft nachhaltig gestärkt.

² <https://circular-insights.de>



-  Das Living Lab NRW bei bergisch.circular
 © Neue Effizienz gGmbH, Malte Reiter
-  Living Lab NRW bei der „Woche der Umwelt“ in Berlin, hier mit dem damaligen Wuppertaler Oberbürgermeister Uwe Schneidewind
 © Bergische Universität Wuppertal
-  Living Lab NRW mit dem Bildungsangebot [Kistenweise Wissen] beim „Zukunftsfestival“ in der Historischen Stadthalle Wuppertal,
 © Bergische Universität Wuppertal

EPSON



Solar Decathlon Europe Das neue Profil

Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss
Bergische Universität Wuppertal
Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen



15

22

3 LEHRE

Die Säule „Lehre“ bildete einen zentralen Bestandteil des Living Lab NRW. Das Reallabor wurde nicht nur als Forschungsinfrastruktur genutzt, sondern gezielt als praxisnaher Lernort in unterschiedlichen Studiengängen und Lehrformaten eingebunden. Die Demonstrationsgebäude ermöglichten es, nachhaltige Bau- und Energiekonzepte unter realen Bedingungen zu analysieren, zu simulieren, zu dokumentieren und weiterzuentwickeln.

Die Beiträge dieses Kapitels zeigen die Bandbreite der Lehrformate. Von Seminaren zu Rückbau und Urban Mining über Entwurfsstudios und künstlerische Interventionen bis hin zu bauphysikalischen, energietechnischen und lichtplanerischen Untersuchungen wurde ein breites thematisches Spektrum abgedeckt. Ergänzt wurden diese Angebote durch experimentelle Lehrformate wie die Sommerakademie „Wert der Dinge“ sowie durch niedrigschwellige Bildungsangebote für Kinder und Jugendliche.

Gemeinsam war allen Formaten die Verschränkung von Theorie, Simulation, Dokumentation und Entwurf mit den Demonstrationsgebäuden. Das Living Lab NRW diente damit als Schnittstelle zwischen akademischer Ausbildung, praktischer Erprobung und gesellschaftlichem Diskurs im Kontext der Bauwende.

kinder erforschen klimafreundliches bauen

Stefan Schulz, Niklas Klöfer

Durch Begreifen begreifen.

[Kistenweise Wissen] war das Bildungsangebot zum Thema nachhaltiges Bauen und Wohnen für Grundschulkinder. Es wurde im Kontext des Living Lab NRW entwickelt, umgesetzt und mit Kindern von 7 bis 10 Jahren erprobt. Partner bei der Durchführung war die Junior Uni Wuppertal¹. Bei [Kistenweise Wissen] stand die haptische Wissensvermittlung außerhalb des regulären Schulunterrichts im Vordergrund. Durch die Interaktion mit Materialien, Mustern und Modellen sowie grafisch aufbereiteten Inhalten in 18 Schau- und Experimentierkisten, verteilt auf vier Modulreihen, wurde ein tiefergehendes Verständnis für die Themen nachhaltiges Bauen und Wohnen geschaffen. Diese Kisten gaben dem Angebot seinen Namen. Spiele, Rätsel und Experimente steigerten die Motivation und aktive Beteiligung der Kinder und regten sie dazu an, eigene Ideen und Lösungen zu entwickeln. Ergänzende Rundgänge auf dem Gelände des Living Lab NRW ermöglichten lebensnahe

Kistenübersicht

© Stefan Schulz, Living Lab NRW

1 <https://junioruni-wuppertal.de>

Suffizienz

- S1 Grundlagen
- S2 Haus MIMO
- S3 Haus LOCAL+
- S4 Experiment / Arbeitsblatt



Dämmstoffe

- D1 Kork
- D2 Holzfaser
- D3 Zellulose
- D4 Schaumglas
- D5 Experimente / Arbeitsblätter



Solar

- So1 Sonne
- So2 Licht
- So3 Solarzellen
- So3.1 Rennbahn (Kistendeckel)
- So4 Experimente / Arbeitsblätter



Verschattung

- V1 Städtebauliche Faktoren
- V2 Gebäudebeschattung
- V3 Fensterbeschattung
- V4 Künstliche Sonne
- V5 Arbeitsblatt



Erfahrungen. In diesem optimalen Lehr- und Lernumfeld wurde non-formal in unterschiedlichen Modulen auf die relevanten Themen unserer Zeit aufmerksam gemacht.

Modulreihen

In vier Modulreihen wurden die Themen Suffizienz und nachhaltige Dämmstoffe sowie die Solarenergie und die Verschattung behandelt.

Suffizienz: Wie viel Raum benötigen wir zum Wohnen?

Der persönliche Abstand zwischen Personen sowie der Platzbedarf von Möbeln in Räumen wurden spielerisch erkundet. Die Kinder bewegten sich auf einem begehbaren Wohnungsgrundriss aus Folie, verglichen die Zwischenräume der Möbel und erfuhren hautnah, wie sich unterschiedliche Möblierungen und deren Anordnung auf die räumliche Wirkung und Nutzbarkeit auswirkten.

Nachhaltige Dämmstoffe: Wie können wir mithilfe von Dämmstoffen unseren Energieverbrauch senken?

Um die Wirkung von Dämmstoffen zu veranschaulichen, wurde ein Experiment mit zwei Flaschen heißem Wasser durchgeführt. Mithilfe von Kreislaufgrafiken wurde gezeigt, wie Rohstoffe von der Gewinnung bis zum Einbau verarbeitet wurden. Die Auswahl der Materialien war bewusst so getroffen, dass ihre Lebenszyklen unterschiedliche End-of-Life-Szenarien zeigten und damit die verschiedenen Stufen der Abfallhierarchie anschaulich vermittelten.

Solarenergie: Wie können wir die Energie der Sonne nutzen?

Die Größe der Sonne im Vergleich zur Erde und die große Distanz zwischen beiden wurden durch ein Schätzspiel veranschaulicht: Physikalische Phänomene, wie die Lichtspaltung durch ein Prisma, wurden mit einem Laser und einer Taschenlampe experimentell erklärt.

Verschattung: Wie können wir uns an heißen Tagen vor zu viel an solarer Wärme schützen?

Die Kinder entdeckten die verschiedenen Möglichkeiten der Verschattung, vom städtebaulichen Maßstab über bauliche Maßnahmen bis hin zur Fensterverschattung. Mithilfe einer künstlichen Sonne variierten sie die Jahres- und Tageszeit. Dies half ihnen zu verstehen, wie sich die Position der Sonne im Laufe des Tages und der Jahreszeiten auf die Verschattung auswirkt.



☞ Durch die künstliche Sonne entstandenen Schattenwurf nachzeichnen.
© Stefan Schulz

☞ Farbzerlegung an einem Prisma
© Karolyn Kruse

Herstellung

Bei der Entwicklung des Lernsystems [Kisten-weise Wissen] wurde besonderer Wert auf eine nachhaltige Konstruktion und Nutzung gelegt. Grundlage des Systems waren vorgefertigte, stapelbare Holzkisten mit den Maßen 40 x 60 cm und 30 x 40 cm. Durch einfache, reversible Modifikationen, wie das Anbringen von Nutholzleisten, entstand ein Wechselrahmen für die Frontscheibe, während ein Stecksystem mit Trennstegen die Unterteilung der Fächer ermöglichte. Die Kisten konnten flexibel im Hoch- oder Querformat aufgestellt sowie liegend auf einem Tisch präsentiert werden. Dank der quadratischen Grafiken war eine Drehung um 90 Grad problemlos möglich, wodurch auch gemischte Anordnungen in Form von Clustern realisiert werden konnten. Das modulare Stecksystem gewährleistete eine einfache Wiederverwendbarkeit, da die Kisten jederzeit mit neuen Grafiken und Inhalten bestückt und an andere Themenbereiche angepasst werden konnten. Dadurch entstand ein nachhaltiges, vielseitiges und langfristig nutzbares Lernsystem, das sich flexibel an veränderte Anforderungen der Lehre anpassen ließ.

Kurse und Orte

Die Kurse fanden entweder in den Ferien als Block über vier Tage oder während der Schulzeit wöchentlich über vier Wochen statt. Ziel war es, den Kindern praxisnahe und spannende Inhalte zum nachhaltigen Wohnen und Bauen zu vermitteln.

Suffizienz in Aktion

Das Thema Suffizienz wurde im Haus LOCAL+ Aachen vermittelt, einem Gebäude, das einen suffizienten und flexiblen Lebensraum veranschaulichte. Die Kinder setzten sich mit der Bedeutung von Distanzzonen auseinander. Mithilfe von unterschiedlich langen Maßbändern wurden die Abstände der intimen, persönlichen, sozialen und öffentlichen Distanzzone anschaulich dargestellt. Ein Rundgang durch das Gebäude, insbesondere durch das Obergeschoss, ergänzte die theoretischen Inhalte und ermöglichte es, die Themen aus den Lernkisten am gebauten Beispiel zu erleben. Dabei lernten die Kinder die flexibel angeordneten Wohnkuben mit einem Innenmaß von jeweils 2 x 2 x 2 Metern kennen. Anhand von Grundrissen im Maßstab 1:50 und Modellmö-

beln entwickelten die Kinder in Gruppen unterschiedliche Einrichtungskonzepte für Schlafzimmer und Küche. Die entstandenen Varianten wurden im Maßstab 1:1 auf einem Foliengrundriss auf dem Boden nachgestellt und gemeinsam hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile diskutiert.

Dämmstoffe im Detail

Die Dämmstoff-Modulreihe wurde im Haus MIMO Düsseldorf durchgeführt, das sich aufgrund seiner sichtbaren Innendämmung besonders gut für die Vermittlung dieses Themas eignete. Zu Beginn beschrieben die Kinder mit geschlossenen Augen ihre Sinneseindrücke. Viele nahmen den Geruch von Holz wahr, einige bemerkten einen leicht verbrannten Geruch, andere erkannten den typischen Geruch von Kork.

Um die Wirkung von Dämmstoffen zu untersuchen, führten die Kinder ein Experiment mit gedämmten und ungedämmten Flaschen durch. In einer Variante wurde zusätzlich eine Flasche mit durchnässter Holzfaserdämmung eingesetzt. Durch regelmäßige Temperaturmessungen konnten sie beobachten, dass die Wärmeverluste je nach Dämmung unterschiedlich ausfielen und die Temperaturunterschiede im Verlauf des Versuchs zunahmen. Zur Veranschaulichung übertrugen die Kinder ihre Beobachtungen auf Alltagserfahrungen, beispielsweise den Unterschied zwischen einem trockenen und einem nassen Handtuch nach dem Schwimmen. Darüber hinaus lernten die Kinder verschiedene Dämmstoffe, ihre Herkunft und Eigenschaften kennen. Während ihnen Kork bereits aus dem Alltag bekannt war, erfuhren sie, dass Korkeichen im Gegensatz zu Fichten für die Materialgewinnung nicht gefällt werden müssen. Da Kork kein heimischer Rohstoff ist, wurde er mit Holzfaserdämmstoffen, Zellulosedämmung aus Altpapier und Schaumglas aus Altglas verglichen. Am Gebäude selbst konnten die Kinder zudem einen mit Kork gedämmten Teil der Außenhülle betrachten, an dem nach mehreren Jahren die Auswirkungen von Witterungseinflüssen wie Regen und Sonneneinstrahlung sichtbar waren.

Sonnenenergie verstehen

Ein Experiment auf dem Außengelände des Living Lab NRW zielte darauf ab, die Größenverhältnisse von Sonne und Erde anhand eines

Wasserballs und einer Marmor zu veranschaulichen. Ergänzend sollten sie die Entfernung zwischen den beiden Himmelskörpern im Modell schätzen. Die maßstäbliche Distanz wurde mithilfe einer markierten Maurerschnur sichtbar gemacht. Die Eigenschaften von Licht, darunter Lichtaufspaltung, Reflexion und Streuung, wurden experimentell mit einem Prisma, Lasern und verschiedenen Materialien untersucht. Darüber hinaus lernten die Kinder unterschiedliche Solarmodule, deren Herstellung und Wirkungsgrad kennen. Bei einem Rundgang durch das Living Lab NRW entdeckten die Kinder, wie an verschiedenen Gebäuden Solarmodule an Fassaden, Dächern oder in Fensterscheiben verbaut waren.

Verschattung testen

Der letzte Kurstag fand in der Junior Uni Wuppertal statt, deren innerstädtische Lage zahlreiche Anknüpfungspunkte für das Thema Verschattung bot. Die Kinder beschäftigten sich mit städtebaulichen Einflüssen wie der Lage eines Gebäudes, der Verschattung durch Nachbarbebauung sowie der Wirkung unterschiedlicher Fassadenmaterialien. Anhand von 3D-Gebäudemodellen wurden bauliche Verschattungsmöglichkeiten wie Balkone, Vordächer und Gebäudeauskragungen vorgestellt. Die Kinder lernten den Aufbau eines Fensters kennen und untersuchten anhand verschiedener Materialien für Rollläden und Markisen deren Lichtdurchlässigkeit und Verschattungswirkung. Bei einem Rundgang durch die Umgebung der Junior Uni erkundeten sie unterschiedliche Verschattungen an realen Gebäuden und ordneten diese den zuvor besprochenen Beispielen zu.

Mit der künstlichen Sonne und maßstäblichen 3D Gebäudemodelle untersuchten die Kinder experimentell, wie sich unterschiedliche Sonnenstände auf den Schattenwurf auswirkten. Die Ergebnisse hielten sie zeichnerisch fest, indem sie die Schatten und Umrisse ihrer Modelle auf Papier übertrugen.

In einer gemeinsamen Reflexionsrunde wurden die Inhalte der Module Suffizienz, Dämmstoffe, Solarenergie und Verschattung wiederholt. Die Kinder berichteten von ihren Erfahrungen und Lieblingsexperimenten der vergangenen Tage, bevor sie ihre Urkunden erhielten.

Fazit

Die durchgeführten vier Modulreihen zu Suffizienz, Dämmstoffen, Solarenergie und Verschattung führten insgesamt zu einer hohen Beteiligung und Lernmotivation der Kinder. Aufgaben, die multisensorisch zu lösen waren, steigerten die aktive Beteiligung. Experimente und Rätsel förderten die Gruppendynamik. Spielerische Elemente wie Zuordnungsaufgaben oder das Solarautowettrennen lockerten die Gruppe sichtbar auf. Insgesamt zeigte sich, dass insbesondere handlungsorientierte und interaktive Lernformate dazu beitragen, komplexe Zusammenhänge des nachhaltigen Bauens altersgerecht zu vermitteln und das Interesse der Kinder an den behandelten Themen zu fördern.

[Kistenweise Wissen] wurde universitätsintern an die Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Institut für Geographie und Sachunterricht, Didaktik des Sachunterrichts, weitergegeben und wird dort künftig in der Lehrkräftebildung eingesetzt.



Dämmstoffe erproben
© Stefan Schulz & Niklas Klöfer.

so-lary-se – künstlerische interventionen

Heinrich Weid, Linda Nadj

Das Lehrgebiet Darstellen & Gestalten in der Architekturausbildung an der Bergischen Universität Wuppertal beschäftigt sich traditionell im 4. Semester mit künstlerischen Interventionen im öffentlichen Raum.

Der Campus des Living Lab NRW mit seinen vergleichsweise großzügigen Freiflächen zwischen den Demonstrationsgebäuden bot den Anlass, sich mit der Gestaltung und Nutzung dieser Freiräume auseinanderzusetzen. Ziel des Lehrgebiets war es, diesen Freiräumen zusätzliche Aufenthaltsqualitäten zu verleihen und sie im Rahmen studentischer Interventionen temporär zu aktivieren und zu bespielen.

Öffentliche Präsentation der Arbeiten auf dem Living Lab NRW Campus.

© Lehrstuhl Darstellen und Gestalten



Was benötigt das Gelände für einen längeren Aufenthalt und ein soziales Miteinander im Freiraum?

Gemeinsam mit den Studierenden wurde der Ort untersucht, fehlende Qualitäten wurden herausgearbeitet und in einem Ideenpool mit dem Ziel gesammelt, den Aufenthalt im Außenbereich attraktiver zu gestalten. Die entwickelten Vorschläge wurden auf Grundlage des bestehenden Lageplans mithilfe selbst entwickelter Piktogramme, Fotografien und Collagen visualisiert. Im weiteren Seminarverlauf konnten die Ideen der Studierenden gemeinsam thematisch beziehungsweise programmatisch auf die vier Elemente Luft, Wasser, Feuer und Erde reduziert werden. Darauf aufbauend entwickelten die Studierenden in Gruppen insgesamt zehn künstlerische Interventionen an der Schnittstelle zwischen Skulptur, Aufenthaltsgestaltung, Installation und Performance.

Ausgehend von der Idee des Upcyclings und der Wiederverwertung von Ausrangiertem wurden für die Umsetzung der Interventionen überwiegend bereits vorhandene, aus der Nutzung gefallene Materialien verwendet. Diese stammten

unter anderem aus der Universität, aus privaten Haushalten sowie vom benachbarten Altmetallhof. Entsprechend richteten die Studierenden bei Planung und Umsetzung ihren Fokus konsequent auf vorhandene Materialien und Werkstoffe.

Der Ansatz einer „Umkehr der Entwurfsidee“ – ausgehend vom vorhandenen Material statt von einer vorgefassten Form – wurde dabei bewusst erprobt und sichtbar gemacht. Improvisation und das Reagieren auf das Vorgefundene nahmen einen zentralen Stellenwert ein. Ein solcher Ansatz, der die Aufmerksamkeit auf vorhandene Ressourcen lenkt, gewinnt nicht nur in der Architektur zunehmend an Bedeutung und sollte entsprechend auch in der Lehre verstärkt verhandelt werden.

Zum Beginn des Wintersemesters und zugleich zum Saisonende des Living Lab NRW wurden die entstandenen Arbeiten der Öffentlichkeit präsentiert. Einen besonderen Reiz bildeten dabei die unterschiedlichen Zeithorizonte der Projekte: Während einige Interventionen eher langfristig angelegt waren und im Außenraum verblieben, verstanden sich andere bewusst als skizzenhafte Impulse, prozessorientiert und interaktiv.



Das Living Lab NRW Logo neu interpretiert – getragen allein von Zugkräften
© Lehrstuhl Darstellen und Gestalten



Insektenhotel und Sitzlandschaft – ein Lebensraum für Mensch und Natur.
© Lehrstuhl Darstellen und Gestalten

sommerakademie „wert der dinge“ - wertediskurse im kontext nachhaltiger transformation

Katharina Simon



Start der Sommerakademie „Wert der Dinge“ auf dem
Living Lab NRW Campus
© Jan Kampshoff

Die Sommerakademie entstand in Kooperation mit Baunetz Campus sowie Jan Kampshoff und Marc Günnewig.

Im September 2024 wurde gemeinsam mit Baunetz Campus sowie mit Kolleginnen und Kollegen der Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen der Bergischen Universität Wuppertal die Sommerakademie „Wert der Dinge“ durchgeführt. Die einwöchige Veranstaltung richtete sich an deutschsprachige Studierende aus ganz Europa. 27 Teilnehmende kamen nach Wuppertal, um auf dem Campus des Living Lab NRW zu arbeiten, zu wohnen und sich mit der Frage auseinanderzusetzen, welche Bedeutung Werte in der gebauten Umwelt haben und wie sich diese in Zukunft verändern.

Ziel der Sommerakademie war es, den Wertebegriff sowohl auf materielle als auch immaterielle Dimensionen zu lenken. Im Zentrum stand die kritische Auseinandersetzung mit Bewertungsmaßstäben sowie die Frage, wie nachhaltige Transformation nicht nur technisch, sondern auch gesellschaftlich getragen werden kann.

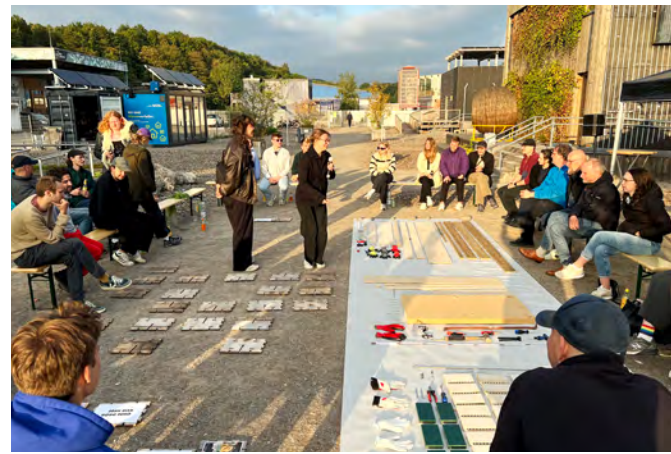
In den ersten Tagen ging es um immaterielle Werte im urbanen Kontext. Die Teilnehmenden erkundeten das Living Lab NRW sowie ausgewählte Transformationsorte in Wuppertal. Dazu zählten unter anderem der BOB Campus, die zivilgesellschaftliche Initiative Utopiastadt, das sogenannte Brandhaus als Beispiel einer kulturellen Umnutzung, das entstehende Pina-Bausch-Zentrum sowie die Wiesenwerke, die von der Montag Stiftung Urbane Räume revitalisiert wurden. Anhand dieser inspirierenden Orte wurden soziale, kulturelle und gemeinschaftliche Praktiken analysiert, die urbanen Räumen eine besondere Bedeutung verleihen. Insbesondere Fragen der Solidarität, der kollektiven Aneignung und der gemeinwohlorientierten Nutzung standen dabei im Vordergrund. Der Wertebegriff wurde als Ergebnis sozialer Beziehungen, langfristiger Nutzung und gesellschaftlicher Aushandlungsprozesse verstanden.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen verlagerte sich der Schwerpunkt im zweiten Teil der Sommerakademie auf materielle Werte. Die Demonstrationsgebäude des Living Lab NRW wurden als Untersuchungsobjekte herangezogen und bewusst als „urbane Minen“ betrachtet. Gemeinsam mit dem Team des Living Lab NRW analysierten die Studierenden konstruktive Details, demontierten Bauteile und setzten sich praxisnah mit Rückbau, Wiederverwendung und Neukombination von Bauteilen auseinander. Dabei wurden nicht nur gestalterische und konstruktive Aspekte untersucht, sondern auch Kenngrößen zu Kosten, handwerklichem Aufwand, Materialeinsatz und Ressourcenverbrauch erhoben.

Durch diese praktischen Erfahrungen bekam der Wert von Materialien und Bauteilen eine neue Bedeutung. Wert wurde nicht mehr ausschließlich mit Kosten oder technischer Leistungsfähigkeit gleichgesetzt. Aspekte wie Demontierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und zukünftige Nutzungspotenziale spielten plötzlich eine große Rolle. Der Ansatz des Urban Mining wurde damit nicht abstrakt diskutiert, sondern konkret erprobt und kritisch reflektiert.

Die Sommerakademie machte deutlich, dass nachhaltige Transformation im Bauwesen eine gleichzeitige Betrachtung sozialer und materieller Dimensionen erfordert. Erst im Zusammenspiel von gesellschaftlichen Wertvorstellungen, baulichen Ressourcen und konstruktiven Entscheidungen entsteht ein erweitertes Verständnis von Nachhaltigkeit. Das Living Lab NRW erwies sich dabei als geeigneter Rahmen, um diese Zusammenhänge erfahrbar zu machen und theoretische Konzepte mit der Praxis zu verknüpfen.

Die Sommerakademie „Wert der Dinge“ zeigte exemplarisch, wie experimentelle Lehr- und Vermittlungsformate dazu beitragen können, etablierte Bewertungsmaßstäbe zu hinterfragen und neue Perspektiven im Umgang mit gebauter Substanz zu eröffnen. Sie leistete damit einen wichtigen Beitrag zur Diskussion um zirkuläres Bauen, Ressourcenschonung und gesellschaftliche Verantwortung im Kontext der gebauten Umwelt.



Rückbauversuche mit den Studierenden an einigen Fassaden und Ermittlung des Wertes von Bauteilen
© Katharina Simon, Living Lab NRW

gebäude als materiallager der zukunft

Karsten Voss, Kersten Schmitz, Katharina Simon

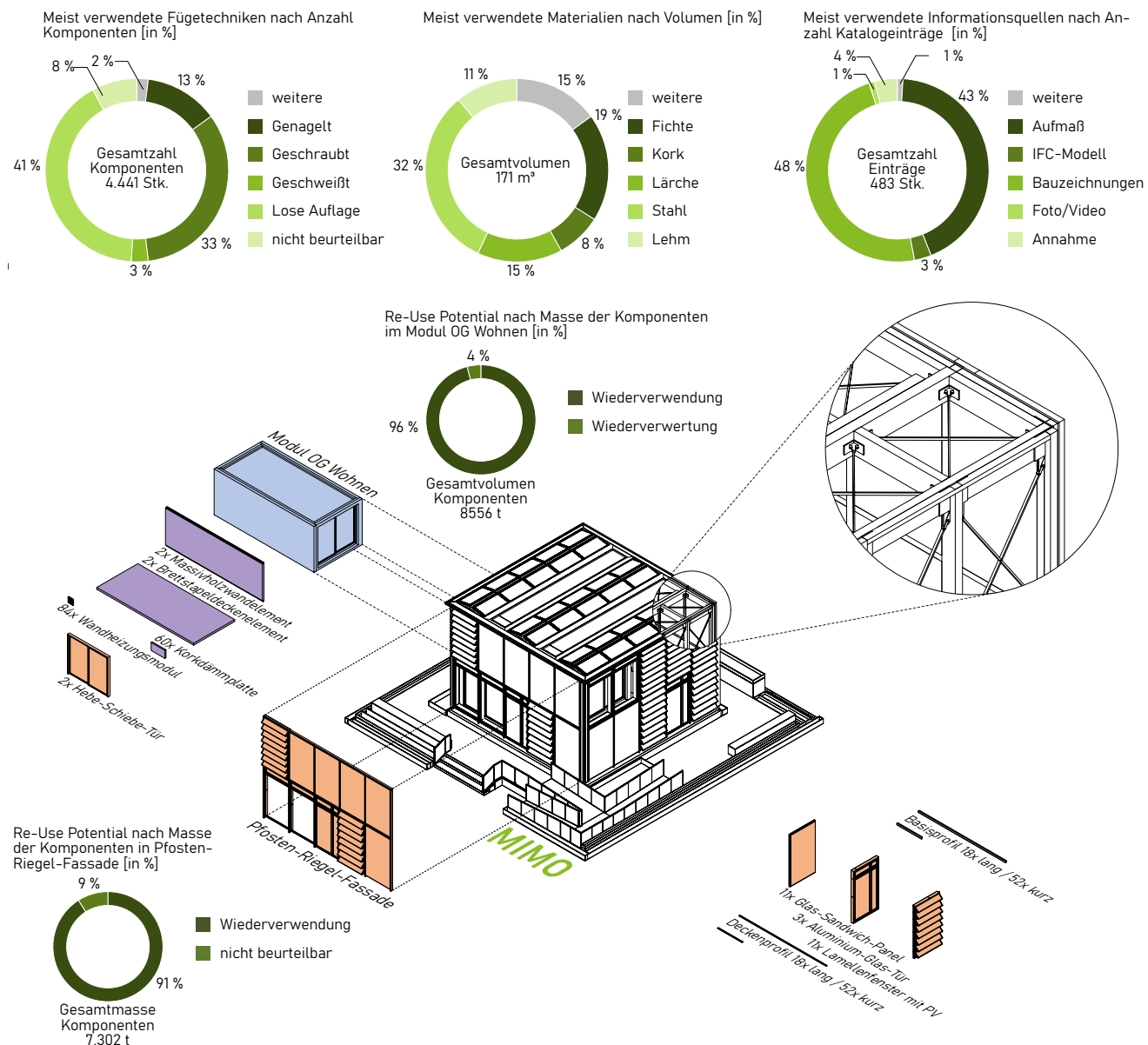
Die Transformation des Bauwesens hin zu einer ressourcenschonenden und kreislaforientierten Praxis erfordert neue Planungsansätze. Bei Bestandsgebäuden rückt immer häufiger die Frage in den Vordergrund, welche materiellen Ressourcen in ihnen gebunden sind und wie diese zukünftig in neue Bauprojekte fließen können. Das Seminar Living Lab Mining untersuchte, inwieweit die Demonstrationsgebäude des Living Lab NRW als potenzielle Materiallager dienen konnten.

Im Sommersemester 2024 entwickelten Masterstudierende des Studiengangs Architektur eine Methode zur systematischen Erfassung und Bewertung der verbauten Baustoffe und Bauteile. Ziel war es, Aussagen über die Möglichkeiten der Wiederverwendung, Wiederverwertung und des sortenreinen Rückbaus treffen zu können. Hierzu wurden die einzelnen Demonstrationsgebäude analysiert, dokumentiert und in digitalen Bauteilverzeichnissen erfasst. Neben geometrischen und konstruktiven Eigenschaften wurden insbesondere der Zustand von Bauteilen, die Art ihrer Fügung sowie ihre Demontierbarkeit untersucht und festgehalten.

	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
1	COMPONENT_NAME	MATERIAL	WIDTH	LENGTH	HEIGHT	CPXDECONSTRUCTABILITY	CPXSEPARABILITY	CPXREU	QUANTITY	To Dismantle
2	Phase 000 - lose Bauteile									
3	Innenbereich									
4	Phase 001 - Außenanlagen									
269										
270										
271	Phase 002 - Sonnenraum									
414										
415	Phase 003 - Technikraum									
534										
535										
536	Phase 004 - Dach & Fassadenbekleidung									
659										
660	Phase 005 - OG (Boden, Stützen)									
680										
681	Phase 006 - OG (Wände)									
682	Außenwand Nord OG		0,36	9,98	2,915				1	Nein
683	W01 - Hinterlüftungsebene	Fichte	0,03	2,24	0,05	Geschraubt	Maschinelle Trennung	Wiederverv	3	Nein
684	W01 - Hinterlüftungsebene	Fichte	0,03	0,765	0,05	Geschraubt	Maschinelle Trennung	Wiederverwendung / Re-Use		
685	W01 - Hinterlüftungsebene	Fichte	0,03	0,355	0,05	Geschraubt	Maschinelle Trennung	Wiederverwertung / Recycling		
686	W01 - Hinterlüftungsebene	Fichte	0,03	0,185	0,05	Geschraubt	Maschinelle Trennung	Weiterverwendung / Further Use		
687	W01 - Hinterlüftungsebene	Fichte	0,03	9,63	0,05	Geschraubt	Maschinelle Trennung	Weiterverwertung / Downcycling		
688	W01 - Unterspannbahn	k.A.	0,001	11,02	3,2	Nicht-beurteilbar	Maschinelle Trennung	Kompostierung		
689	W01 - Dämmplatte	Holzfaser-Dä	0,05			Getackert	Maschinelle Trennung	energetische Verwertung		
690	W01 - Beplankung auf Trägerlage	OSB	0,015			Geschraubt	Maschinelle Trennung	Deponie Klasse 0 / Verfüllung		
691	W01 - Gefachedämmung	Zellulose-Einl	0,2			Lose Auflage	Kein Werkzeug notwer	Deponie Klasse I und II		
692	W01 - Gefachedämmung	Zellulose-Einl	0,2			Lose Auflage	Kein Werkzeug notwer	Nicht-beurteilbar		
693	W01 - Gefachedämmung	Zellulose-Einl	0,2			Lose Auflage	Kein Werkzeug notwer			
694	W01 - Tragstruktur	Fichte	0,2	0,08	2,715	Geschraubt	Maschinelle Trennung	Wiederverv	15	Nein
695	W01 - Tragstruktur	Fichte	0,2	9,79	0,08	Geschraubt	Maschinelle Trennung	Wiederverv	1	Nein
696	W01 - Tragstruktur	Fichte	0,2	9,79	0,06	Geschraubt	Maschinelle Trennung	Wiederverv	2	Nein
697	W01 - Tragstruktur	Fichte	0,2	1,05	0,08	Geschraubt	Maschinelle Trennung	Wiederverv	1	Nein

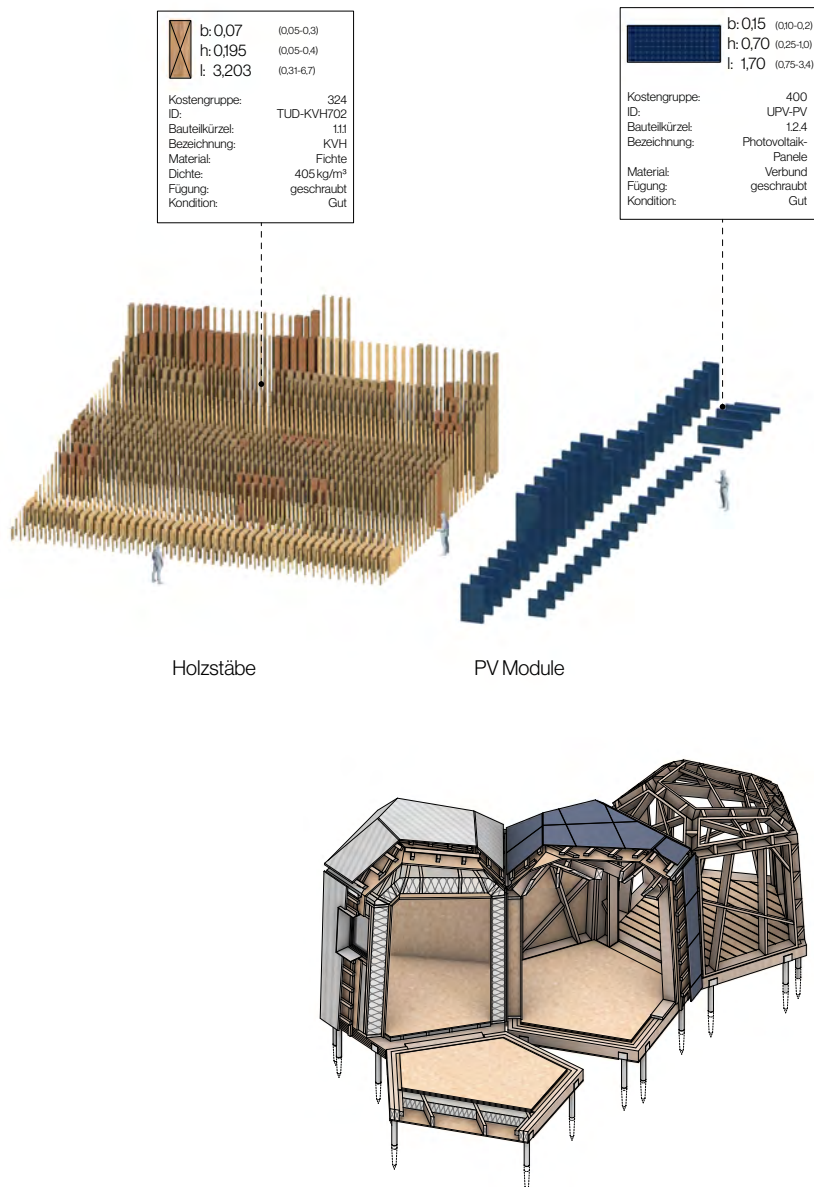
Ziel war es, herauszufinden, welcher Anteil der verbauten Materialien in neuen Projekten weitergenutzt werden konnte. Dabei wurde untersucht, welche Bauteile sich unmittelbar wiederverwenden ließen, welche Materialien sich für das Recycling eigneten und welche Konstruktionen einen zerstörungsarmen Rückbau ermöglichten. Auf dieser Grundlage entwickelten die Studierenden Strategien für die zukünftige Nutzung der vorhandenen Ressourcen und zeigten mögliche Rückbauszenarien auf.

Die Arbeit verdeutlichte, dass die Wiederverwendung von Bauteilen über technische Fragestellungen hinausgeht. Gebäude werden nicht mehr ausschließlich als fertige Bauwerke verstanden, sondern als temporäre Materiallager. Dies erfordert neue Formen der Dokumentation, digitale Materialinventarlisten mit einer Zustandserfassung sowie eine veränderte planerische Haltung. Das Seminar leistete die Vorarbeit für das Seminar „TRASH – Transforming Recycled Architecture for Sustainable Habitats“ und gab Impulse für die Rückbauaktivitäten im Living Lab NRW.



t*r*a*s*h transforming recycled architecture for sustainable habitats

Holger Hofmann, Heiner Verhaeg
Karsten Voss, Katharina Simon, Kersten Schmitz



Materialpool

Chunk Modell

© Seminar Computational Design & Experimentelles Entwerfen

Das Seminar „TRASH – Transforming Recycled Architecture for Sustainable Habitats“ konzentrierte sich auf die Wiederverwendung von Baumaterialien aus zurückgebauten Strukturen, um nachhaltige Architektur zu fördern. Das Projekt wurde als Beitrag zum Wettbewerb „Zukunft Bau – BBSR Research Prototype 2026“ für einen Demonstrationspavillon für die Landesgartenschau 2026 in Neuss entworfen. Der Fokus des Projektes lag auf dem Einsatz digitaler Entwurfsmethoden für das Planen und Bauen mit Materialien aus Urban Mining Prozessen.

Ein zentraler Bestandteil des Projekts war das Living Lab NRW, das als Materialquelle diente. Im Zuge des Rückbaus der drei Demonstrationsgebäude „Delft“, „Taiwan“ und „Valencia“ entstand ein vielfältiger Materialpool. Diese Materialien waren über BIM-Modelle oder Materiallisten dokumentiert und konnten für den neuen Entwurf wiederverwendet werden. Damit wurde der Ansatz „Form follows Availability“ verfolgt: Der Entwurf entwickelte sich ausgehend von den vorhandenen Materialien und nicht umgekehrt. Drei Schwerpunkte leiteten das Projekt: die Wechselwirkung zwischen Objekt und Landschaft, flexible Nutzungsmöglichkeiten sowie die Verbindung von haptischer und digitaler Raumgestaltung – etwa durch AR/VR-Elemente. Die Entwürfe sollten ressourcenschonend, modular und translozierbar sein, um auch nach der Ausstellung weiterverwendet werden zu können. Das Seminar vereinte damit experimentelle digitale Planungsmethoden mit nachhaltiger Ressourcennutzung und zeigte neue Wege für eine zirkuläre Bauweise auf – ein wichtiger Schritt hin zu einer umweltbewussteren Architekturpraxis.

Auswahl des Entwurfs

In der ersten Entwurfsphase erarbeiteten drei Gruppen jeweils einen eigenen Entwurf, basierend auf demselben Materialpool und mithilfe von Grasshopper entwickelt. Um einen Beitrag für die Landesgartenschau 2026 einreichen zu können, musste einer dieser Entwürfe ausgewählt werden, um ihn gemeinsam weiterzuführen. In einer Sitzung mit allen Beteiligten wurden erste Tendenzen diskutiert sowie Argumente für und gegen die einzelnen Konzepte abgewogen. Anschließend erfolgte eine digitale, anonyme Abstimmung. Auf Grundlage dieses Meinungsbilds wurde die endgültige Entscheidung getroffen.

Wegen seines klaren Konzepts, der hohen Umsetzbarkeit und der großen gestalterischen Flexibilität fiel die Wahl auf den Entwurf „Wachsende Strukturen“.

Entwurfsidee: Wachsende Strukturen

Schon in einer frühen Phase rückte das Thema wachsender Strukturen ins Zentrum der gestalterischen Überlegungen. Die Studierenden ließen sich dabei stark von den Naturstudien Ernst

Haeckels inspirieren, dessen filigrane Zeichnungen die Vielfalt und Schönheit organischer Formationen eindrucksvoll zeigen. Diese Beobachtungen übertrugen sie in eine eigene konzeptionelle Sprache, indem sie eine zellenartige Struktur entwickelten, die an das Prinzip natürlichen Wachstums anknüpft.

Jede Zelle erhielt ein eigenes Thema und konnte sich in Farbgebung, Materialität oder Funktion erkennbar unterscheiden. Diese Herangehensweise bot große Flexibilität – besonders wichtig, da zu Beginn nicht exakt feststand, welche Materialien letztlich zur Verfügung stehen würden. Gleichzeitig sollte das Gesamtbild nicht in Einzelteile zerfallen. Daher wählten die Studierenden Proportionen, Übergänge und wiederkehrende Gestaltungselemente so, dass die Zellen trotz ihrer individuellen Ausprägung ein harmonisches Gesamtgefüge bildeten. Aus der Nähe erschienen sie als einzelne Solitäre, aus der Ferne jedoch verschmolzen sie zu einem übergeordneten Ganzen, das an eine natürlich gewachsene Kristallstruktur erinnerte.

So entstand ein außergewöhnlicher und sorgfältig durchdachter Wettbewerbsbeitrag für die Landesgartenschau 2026 in Neuss.



Perspektive des Beitrags für die Landesgartenschau in Neuss
© Seminar Computational Design & Experimentelles Entwerfen

licht und beleuchtung

Karsten Voss, Michael Immecke

Licht und Beleuchtung waren bereits Thema im Rahmen der Wettbewerbsdziplinen beim SDE 21/22. Das betraf das Tages- wie das Kunstlicht. Neben forschenden Arbeiten widmeten sich danach auch Studierende im Rahmen von Lehrveranstaltungen den Lichtkonzepten der Gebäude. Die Gebäude eigneten sich besonders dazu, Möglichkeiten und Grenzen von Software zur Tages- und Kunstlichtsimulation beispielhaft zu erkunden, da vor Ort Lichtatmosphären erfahrbar waren und Vergleichsdaten zu solchen aus Simulationen ermittelt werden konnten.

Aufgabenstellung

Im Rahmen eines Seminars „Licht & Beleuchtung“ haben sich Architekturstudierende der Universität Wuppertal unter Leitung des Lehrbeauftragten Michael Immecke den Lichtkonzepten der drei Gebäude CTU, FHA und TUD angenommen. In allen Bereichen war es Lernziel, die maßgeblichen Bausteine einer Lichtplanung zu erkennen und die Wirkung quantitativ und qualitativ zu dokumentieren.



Abbildung 1:
Innenräume und lichttechnische Eigenschaften
für das FHA-Gebäude

Zur Aufgabenstellung gehörte für den Bereich des Tageslichts zunächst die messtechnische Ermittlung des Tageslichtquotienten für einen ausgewählten Raum pro Gebäude. Dazu waren ein Messraster festzulegen und mittels Luxmetern innen und außen eine Messreihe bei vollständig bedeckten Himmel so durchzuführen, dass als Ergebnis der Tageslichtquotient als Funktion der Raumtiefe dargestellt werden kann¹. Bei den Messungen kamen kalibrierte Luxmeter vom Typ Minilux² zum Einsatz. Die Geräte eigneten sich sehr gut für die Lehre, erwiesen sich als hinreichend genau und nutzer*innenfreundlich. Parallel dazu waren vergleichende Simulationen mit dem Werkzeug „Dialux“³ auf Basis der geometrischen und lichttechnischen Daten der Räume (Breite, Tiefe, Höhe, Laibungstiefen, Auskragungen) und der Bauteile (Lichttransmissionsgrad Verglasung, Lichtreflexionsgrade der

Oberflächen) durchzuführen. Die simulierten Werte waren den Messwerten kritisch gegenüberzustellen. Die Tageslichtsituation war hinsichtlich der Atmosphäre, der Blickbeziehungen und Privatsphäre zu beurteilen. Im Anschluss daran stand die experimentelle Analyse und Beurteilung der Kunstlichtsituation mit Luxmetern sowie die Bestimmung der Farbtemperatur durch Messungen mit dem Opplé Lightmaster und der dazugehörigen App⁴. Auch hier wurden vergleichende Simulationen mit Dialux durchgeführt. Nachfolgend werden beispielhaft einige Ergebnisse für das Aachener Gebäude gezeigt. Eine vollständige Darstellung ist in einem separaten Projektbericht verfügbar⁵. Abbildung 1 zeigt Innenraumbilder des Gebäudes FHA zusammen mit den lichttechnisch relevanten Angaben.

1 DIN5034:2021-08, Teil 1: Tageslicht in Innenräumen – Allgemeine Anforderungen, 2021

2 <https://mx-electronic.com/minilux-presentation.html>

3 <https://www.dialux.com/de-DE/>

4 <https://www.opplelighting.de/de/product/lampen/light-master/light-master-g4/light-master-iv>

5 Light:ON, Seminarbroschüre zum Wahlfach Licht und Beleuchtung / nachhaltiges Bauen II, Bergische Universität Wuppertal, 2003

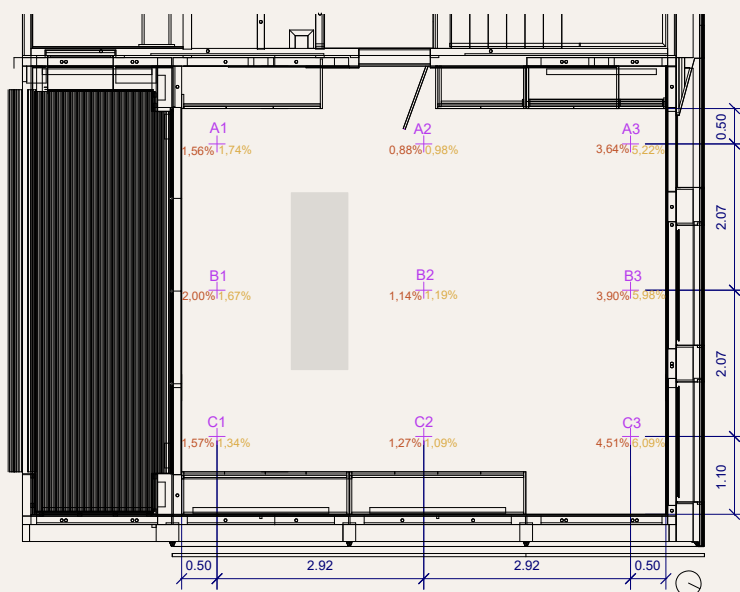
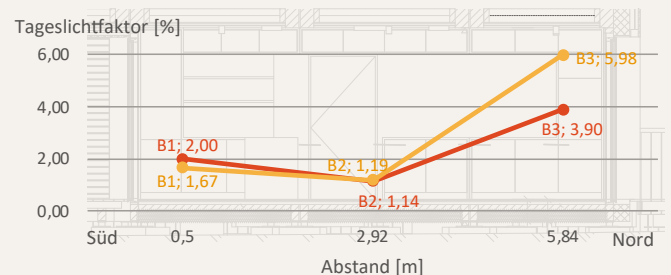
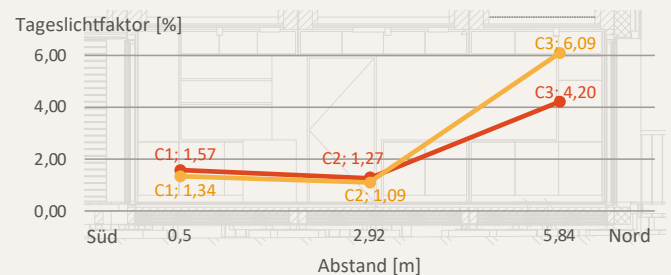


Abbildung 2:
Darstellung der Analysepunkte im Grundriss und Vergleich der gemessenen (blau) und berechneten Tageslichtquotienten (orange) als Prozentangaben für zwei Raumachsen.

Ergebnisse

Tageslicht

Abbildung 2 zeigt das Beispiel der analysierten Tageslichtquotienten für den Gemeinschaftsbereich im Erdgeschoss des FHA-Gebäudes. Dieser Raum wird beidseitig durch Fensterfronten belichtet. Eine Besonderheit ist die überbaute Terrasse auf der Südseite. Sie verkleinert den sichtbaren Himmelsausschnitt durch ihre Tiefe sowohl von der Seite als auch von oben. Dies ist die Erklärung dafür, dass der Tageslichtquotient im nördlichen Bereich des Raumes deutlich höher ausfällt, als im südlichen. In der Mitte des Raumes liegt der Tageslichtquotient immer noch oberhalb der normativen Anforderung von 0,9 %¹. Durch die beidseitige Belichtung wird ein sehr guter Blickkontakt mit der Umgebung hergestellt. Mit Rücksicht auf ein urbanes Umfeld sind dabei Maßnahmen erforderlich, um eine angemessene Privatheit am Abend bei künstlicher Beleuchtung im Innenraum herzustellen. Bewegliche Verschattungen gibt es bei diesem Gebäude nur im Obergeschoß.

Beim Vergleich der gemessenen und berechneten Tageslichtquotienten ist erkennbar, dass die Charakteristik in Dialux grundsätzlich richtig wiedergegeben wird. In Fensternähe überschätzt die Simulation allerdings den gemessenen Tageslichtquotienten deutlich. Dies konnte auch in anderen Fällen festgestellt werden. Realistische Eingabedaten hinsichtlich der Lichttransmission der Verglasungen sind dabei ein besonders wichtiger Parameter. Parameterstudien helfen, den Einfluss von beispielsweise Verschmutzungen der Gläser als mögliche Ursache einzuschätzen.

Kunstlicht

Der Raum im Erdgeschoss wird durch zwei getrennt voneinander steuerbare Leuchtengruppen mit direktem Licht beleuchtet. Die erste Gruppe besteht aus drei LED-Deckenaufbauleuchten, die sich etwa in der Mitte des Raumes befinden und eine gleichmäßige Ausleuchtung auf einer größeren Fläche erzeugen, Abbildung 1. Die zweite Gruppe stellen insgesamt sechs Spots dar. Drei weitere Spots befinden sich außen und hellen die Veranda auf. Für die Beleuchtungssituationen

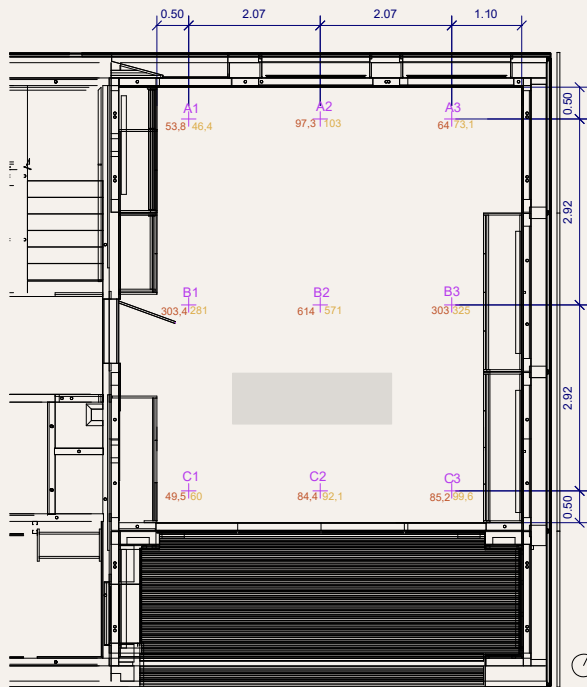
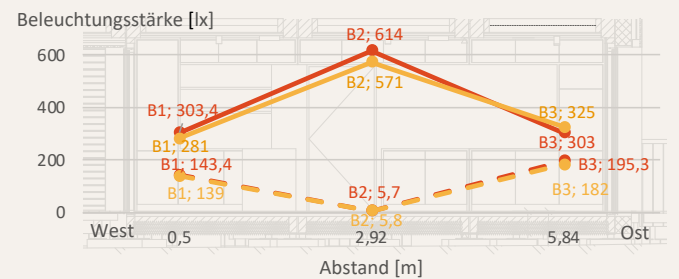
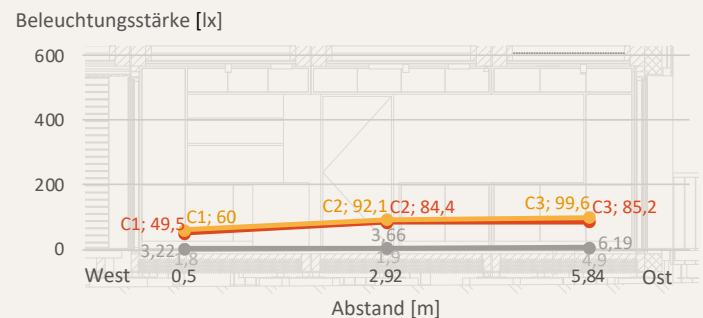


Abbildung 3:

Darstellung der Analysepunkte im Grundriss und Vergleich der gemessenen (rot) und berechneten horizontalen Beleuchtungsstärken (orange, gestrichelt: nur Spots) als Lux-Werte 0,85 m über dem Boden.

wurden Messungen vorgenommen. Die Messpunkte zeigen in Relation zu den Leuchten gut nachvollziehbare Ergebnisse. Im unmittelbaren Einflussbereich der Deckenaufbauleuchten liegen die Beleuchtungsstärken bei 300 bis 600 Lux, Abbildung 3. Dialux zeigt in seiner Simulation Werte, die kongruent zu den Messwerten sind. Die Farbtemperatur wurde bei Kunstlicht zu 3.000 bis 3.050 K ermittelt, was einer warmweißen Beleuchtung entspricht.

Dialux ermöglicht auch, die Visualisierung von Lichtszenen, um die Atmosphären im Raum beurteilen zu können. Abbildung 4 zeigt dazu den Vergleich von Simulation und Realität anhand einer Beleuchtung des Raumes allein über die Deckenaufbauleuchten (oben) oder die Spots im Raum und im Außenbereich (unten). Auffällig ist die deutlich kältere Lichtfarbe in der Realität gegenüber der Simulation. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass übliche Handybilder nicht farbrecht sind. Zudem irritiert in der Darstellung der Simulation der helle Hintergrund beim Blick nach draußen. Beides zeigt die Grenzen der Visualisierung bei dieser einfachen Vorgehensweise auf.

Fazit

Die Auseinandersetzung mit Licht und Beleuchtung ist im Studium der Architektur kein fester Bestandteil der Curricula an Hochschulen. Sie wird in Wuppertal als Wahlfach angeboten. Die Häuser im Living Lab NRW haben die Chance eröffnet, Beleuchtungskonzepte zu analysieren und praxisnah eine kritische Haltung der Möglichkeiten und Grenzen von Lichtsimulation als Bestandteil einer Lichtplanung zu erkennen.



Abbildung 4:
Vergleich der Atmosphären bei unterschiedlicher künstlicher Beleuchtung in der Realität (links) und der Simulation (rechts, ohne die zusätzlichen Einrichtungsgegenstände).

thermische gebäudesimulation – vereinfachte werkzeuge für die universitäre lehre

Karsten Voss, Isil Kalpkirmaz Rizaoglu, Jan Pieper

Bauphysikalische Simulationswerkzeuge werden heute vielfach im Rahmen des fortgeschrittenen Studiums der Architektur als Teil der Variantenbewertung oder sogar der Entwurfsfindung eingesetzt. Im folgenden Beitrag werden ausgewählte Werkzeuge vorgestellt und verglichen, die sich insbesondere für wärmetechnische Analysen eignen. Sie wurden für Untersuchungen bei Gebäuden des Living Labs NRW und in Lehrveranstaltungen an der Universität Wuppertal erfolgreich eingesetzt. Hier bot sich die besondere didaktische Möglichkeit, die Ergebnisse der Simulationen denen aus Messungen gegenüberzustellen.

Hintergrund

Computerprogramme unterschiedlicher Komplexität werden seit Jahren in der Hochschullehre der Bauphysik und Gebäudetechnik für Architekten und Bauingenieure eingesetzt. Darunter sind solche Programme, die schwerpunktmäßig für die Lehre konzipiert wurden, solche die aus der Ingenieurpraxis kommen und Programme, die primär den Einsatz in der Forschung adressieren. In der Lehre erlauben die Tools die Behandlung komplexerer Aufgabenstellungen, die über Handrechnungen nicht mehr bearbeitet werden können. Beispiele dafür sind dynamische Raumklimaanalysen. Daher kommen sie mehrheitlich erst im fortgeschrittenen Studium zum Einsatz.

Vor diesem Hintergrund gab es bereits 2022 aus dem Kreis der „Konferenz der ProfessorInnen für Bauphysik und Technischer Ausbau“ eine Online-Umfrage an die Lehrenden der deutschsprachigen Hochschulen, initiiert und durchgeführt vom Fachgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung der Universität Wuppertal¹. Die Ergebnisse einer früheren internationalen Untersuchung stehen als Vergleich zur Verfügung². Im Rahmen des Living Lab NRW wurden darauf basierend einige Simulationsprogramme im Einsatz in der Lehre evaluiert. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der didaktischen Nutzbarkeit sowie der Übereinstimmung von Simulation und Messung.

1 Voss, K., Kalpkirmaz Rizaoglu, I.: Einsatz von Computerprogrammen in der Hochschullehre, Bauphysik 44, 2022, Heft 4, <https://doi.org/10.1002/bapi.202200021>

2 Hopfe, C.J., Soebarto, V., Crawley, D., Rawal, R. (2017) Understanding the differences of integrating building performance simulation in the architectural education system. Proc. of 15th IBPSA Conf: pp.1249-1256.

Software

Zwei der eingesetzten Werkzeuge sind aus didaktischen Gründen gegenüber marktüblichen, komplexen Mehrzonen-Simulationsprogrammen deutlich vereinfacht. Eine ganz wesentliche Vereinfachung bei „SimRoom“ und „Therakles“ betrifft die Beschränkung auf eine einzige thermische Zone. Diese Beschränkung reduziert die Eingaben und erhöht die Übersichtlichkeit der Ergebnisse. Auf der anderen Seite können damit Fragestellungen wie unterschiedlich beheizte Zonen innerhalb eines Gebäudes oder Glasanbauten nicht untersucht werden. 1-Zonen-Simulationen überzeugen durch sehr kurze Rechenzeiten von wenigen Sekunden für ganzjährige Rechenläufe. Sie arbeiten mit fester stündlicher Schrittweite. Durch die gezielten Vereinfachungen werden vielfach vorhandene Hemmschwellen beim Einsatz von Simulationsprogrammen abgebaut. Andererseits besitzen die einfachen Werkzeuge keine grafischen Eingabeoberflächen und erlauben auch keinen Geometrieimport. Damit startet eine Gebäudesimulation immer mit Zahleneingaben für die Geometrie und die Bauteileigenschaften und nicht mit einer Modellübernahme.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Möglichkeitsraum für Untersuchungen mit den vereinfachten Werkzeugen verglichen mit einem exemplarischen, weit verbreiteten Mehrzonen-Simulationsprogramm. Ein in der universitären Praxis nicht unwesentlicher Punkt ist die Lauffähigkeit auf unterschiedlichen Betriebssystemen, insbesondere für den Studiengang Architektur mit seinen zahlreichen MAC-Usern. Alle betrachteten Programme besitzen eine Sprachumschaltung, was den Zugang für Studierende ohne Muttersprache Deutsch erleichtert. Manche Programme sind frei für nicht kommerzielle Anwendungen verfügbar (Therakles), für andere wird eine Gebühr erhoben (WufiPlus), deren Höhe teilweise von der Anzahl der NutzerInnen an der jeweiligen Hochschule abhängt und jährlich anfällt (SimRoom).

SimRoom

SimRoom wurde als Ergänzung des bereits seit Jahren in der Lehre vieler Hochschulen eingeführten Energiebilanzierungswerkzeuges EnerCalc von Markus Lichtmeß entwickelt und setzt auf das bekannte Tabellenkalkulationsprogramm

	Einzonensimulation		Mehrzonensimulation	
	SimRoom	Therakles	WUFI Plus	Erläuterungen
Betriebssystem	WIN	WIN/MAC/LINUX	WIN	
Sprachumschaltung	x	x	x	
kostenpflichtig, frei	Kosten	frei	Kosten	
Datenexport	x	x	x	
Umfang Grafiken	++	o	+	
Grafikexport	x	-	-	
Weltweite Klimadaten	x	x	x	
Eigene Klimadaten	(x)*	x	x	* indirekt über ein Zusatzwerkzeug
Nutzerverhalten	x	x	x	
Eigene Fahrpläne	-	x	x	
Bauphysik der Bauteile	-	x	x	
Luftqualität	x	-	x	
Freie Lüftung	x	-	x	
Statische Verschattung	x	(x)*	x	* nur in der Version Pro
HLK, Strom,.....	x	-	(x)*	* nur sehr wenige Möglichkeiten
Modellexport	-	x*	-	* zu Delphin

Tabelle 1:
Gegenüberstellung der Merkmale der Simulationsprogramme

Excel auf. Während EnerCalc die Energiebilanzierung von Gebäuden auf Monatsbasis als Mehrzonenmodell behandelt, adressiert SimRoom eine einzelne Zone und ihr zeitlich aufgelöstes Verhalten. Das Bilanzmodell von SimRoom beruht auf einer simultanen Gleichungslösung für das Gebäude-Raummodell und das Gebäude-Anlagenmodell. Im Gebäude-Raummodell werden die raumbezogenen Bilanzen durchgeführt (z. B. Temperatur, CO₂, Feuchte, Energie, Leistung) und die relevanten Ergebnisse werden an das Anlagenmodell übergeben³. Änderungen im Gebäude-Raummodell werden direkt im Anlagenmodell übernommen, Abbildung 1. Das Anlagenmodell umfasst neben den Standardsystemen für Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung auch Solarstromanlagen und Batteriespeicher. Das Konzept unterscheidet sich damit wesentlich von reinen Raumklimasimulationsprogrammen. Die Kopplung von Raum- und Anlagensimulation ermöglicht dabei die ganzheitliche Betrachtung des Energie- und Komfortverhaltens. Dass die Genauigkeit des Verfahrens überzeugt, konnte durch Vergleichsrechnungen mit anderen Tools nachgewiesen werden.

Eine Besonderheit ist die integrierte Betrachtung der Luftqualität (CO₂-Konzentration). Damit kann der Einfluss der Lüftung auf den drei Ebenen Raumklima, Luftqualität und Energiebedarf ganzheitlich untersucht werden. Bei der Lüftung können neben Luftwechselzahlen spezielle Fahrpläne für erhöhte Nacht- oder Taglüftung im Sommer abgebildet werden. Ebenso wurde ein Näherungsverfahren für die freie Lüftung mit geöffneten Fenstern integriert. Für den beweglichen Sonnenschutz erfolgt die Steuerung über ein festgelegtes Einstrahlungskriterium, was eine einfache und praxisnahe Abbildung ermöglicht. Hervorzuheben ist die grafische Auswertung der Zeiten mit aktiviertem Sonnenschutz als jahreszeitlicher Verlauf. Bauliche Verschattungen werden pro Fensterorientierung über Verschattungswinkel implementiert. Um den Eingabeaufwand gering zu halten, nutzt SimRoom hinterlegte Bibliotheken und vereinfachte Parameter. So werden z. B. Bauteile nicht mit ihrem Schichtaufbau, sondern nur mit ihren Wärmedurchgangskoeffizienten eingegeben (U-Werte).

Das umfangreiche Angebot an grafischen Analysen mit einem hochschuldidaktischen Fokus ist

3 <https://ingefo.de/Werkzeuge/SimRoom/>

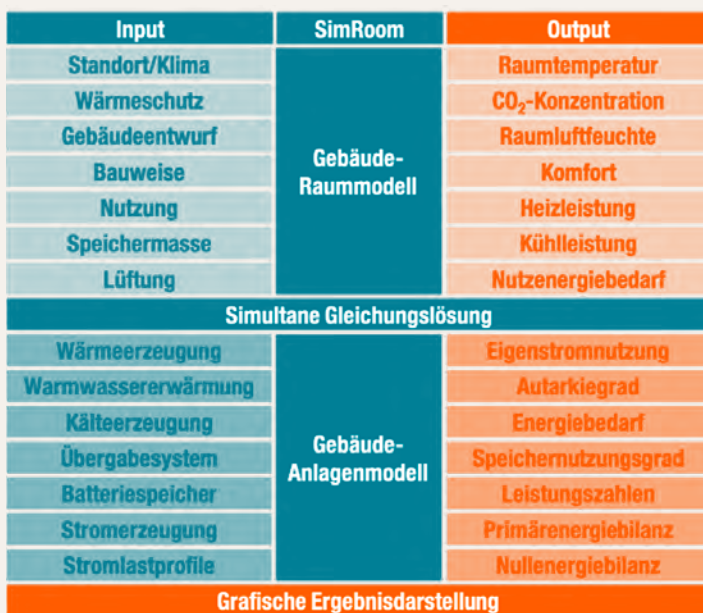


Abbildung 1:
Bestandteile von SimRoom³

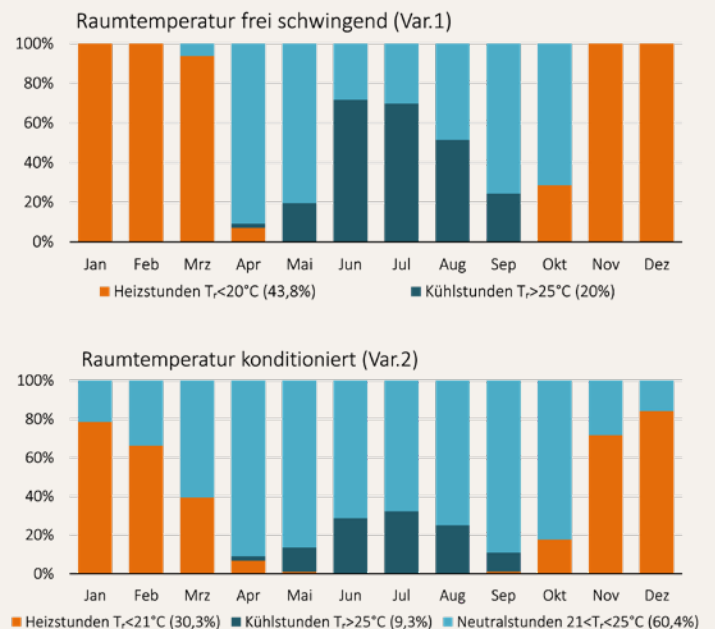


Abbildung 2:
Auswertung der Raumtemperaturen für den frei schwingenden (oben) und den thermisch konditionierten Fall als Beispiel für den Grafikexport

eine große Stärke von SimRoom. Dabei können sämtliche Grafiken über die Zwischenablage schnell und effizient exportiert werden. Die Grafiken reichen von Klimaanalysen mit Carpet Plots bis hin zu Raumklimaanalysen nach den Komfortklassen der DIN EN 15251 (heute DIN EN 16798-1). Fachdidaktisch besonders von Interesse ist der durchgängige Vergleich von einem nicht konditionierten (= frei schwingend) und einem konditionierten Fall (=beheizt/gekühlt) durch Darstellung der monatlichen Neutral-, Heiz-, und Kühlstunden, Abbildung 2. Die zu Grunde liegenden Ergebnisse können zahlenmäßig als Excel-Arbeitsmappe exportiert werden.

SimRoom kam bereits beim SDE 21/22 zum Einsatz und wurde von den studentischen Teams für die vergleichende Simulation der co-heating Tests genutzt. Dazu wurde vom Entwickler eine Sonderversion des Programms erstellt, bei der die lokalen, gemessenen Wetterdaten sowie die zeitlich variablen Temperatursollwerte der Heizung bereits implementiert waren. Solche Untersuchungen sind in der Standardversion nicht möglich.

Therakles

Im Unterschied zu SimRoom ist Therakles ein eigenständiges Programm. Es wurde im Rahmen der Begleitforschung zur Forschungsinitiative Energieoptimierte Gebäude des damaligen Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie beginnend 2009 am Institut für Bauklimatik der TU Dresden entwickelt⁴. Es erlaubt die thermische sowie hygrische Simulation mit sehr schnellen numerischen Lösungsverfahren und wurde anhand vergleichender Berechnungen mit dem Programm Delphin validiert. Ein Raum oder ein Gebäude wird wie bei SimRoom durch numerische Geometrieangaben erstellt.

In Therakles werden Bauteile ähnlich wie bei umfangreichen Simulationsprogrammen aus ihren einzelnen Schichten aufgebaut, deren Daten in Bibliotheken abrufbar oder editierbar sind. Damit werden U-Werte anders als bei SimRoom nicht eingegeben, sondern ermittelt. In gleicher Weise gilt das für thermische Speichereigenschaften. Der fachdidaktische Ansatz

4 <https://bauklimatik-dresden.de/software/therakles/>

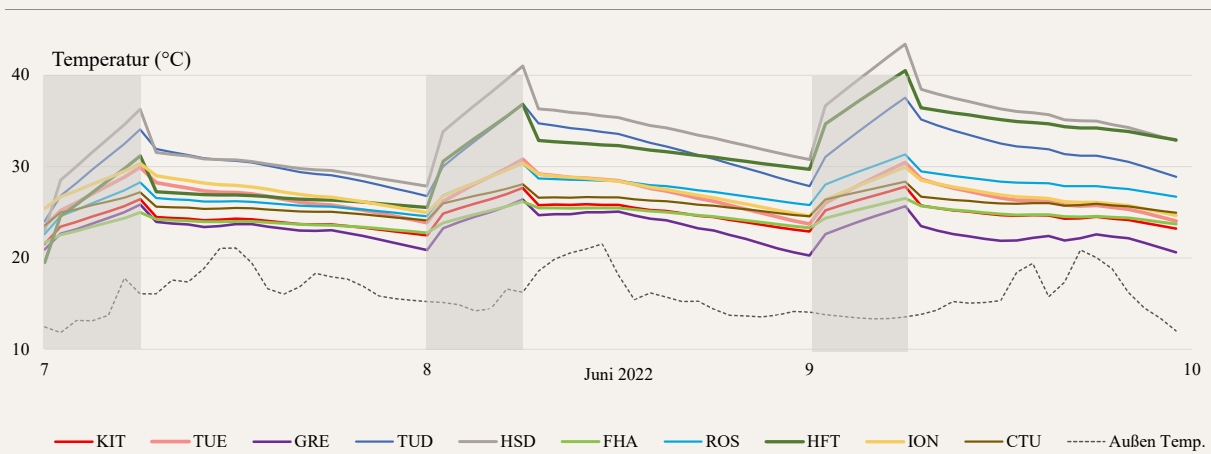


Abbildung 3:
Beispiel für den Einsatz von SimRoom beim SDE 21/22. Dargestellt werden die simulierten Raumtemperaturverläufe in Relation zur Außentemperatur für zehn unterschiedliche Gebäude, darunter vier aus dem nachfolgenden Living Lab NRW.

liegt näher an der Lehre der thermischen und hygrischen Bauphysik. Als Konsequenz aus dem implementierten Rechenverfahren können auch Oberflächentemperaturen und Wärmeflussdichten als Ergebnisse ausgewiesen werden.

Während Steuerungsalgorithmen für den Betrieb vom beweglichem Sonnenschutz implementiert sind, können feste, bauliche Sonnenschutzmaßnahmen in der Standardversion von Therakles nicht zielführend simuliert werden. Dies gelingt erst mit der Pro-Version, die aber für Lehrzwecke ebenfalls kostenfrei ist. Der Luftaustausch wird mit Luftwechselzahlen für jeden Zeitschritt vorgegeben, eine freie Lüftung über geöffnete Fensterquerschnitte wird im Programm selbst nicht numerisch abgebildet. Fragen der Luftqualität (CO₂-Konzentration) oder der Energieeffizienz der Versorgungstechnik sind mit Therakles nicht zu beantworten.

Für den Vergleich der Rechenergebnisse mit Messwerten der Gebäude vom Living Lab NRW war es vorteilhaft, dass Therakles es trotz seiner Einfachheit erlaubt, auf einfache Weise sowohl eigene, gemessene Klimadaten als auch zeitvariable Fahrpläne für Temperatursollwerte oder interne Wärmequellen zu importieren.

WUFI Plus

WUFI Plus ist eine Weiterentwicklung der hygrothermischen Bauteilsimulation mit WUFI zu einem vollständigen Gebäudesimulationsprogramm zur Abbildung von Gebäuden mit mehreren thermischen Zonen⁵. Dabei sind Modelle zur dynamischen Berechnung dreidimensionaler Wärmebrücken und zur Berechnung des Luftaustauschs zwischen den Zonen bzw. mit der Umgebung eingebunden. Bei WUFI Plus werden die Bauteile ähnlich wie bei Therakles aus Schichten aufgebaut und Materialbibliotheken eingesetzt. Didaktisch besonders relevant ist der integrierte grafische Editor zur Gebäudeerstellung, ergänzt durch eine Schnittstelle zu SketchUp. Diese erleichtert die Eingabe komplexer Geometrien erheblich und senkt die Einstiegshürde für Studierende. Der große Umfang an Eingabemöglichkeiten zeigt sich in einer komplexen Eingabestruktur. Andererseits bieten sich dadurch vielfältige Möglichkeiten zur individuellen Konfiguration und Implementierung eigener Wetter-, Nutzungs-, oder Betriebsführungsdaten. Die dynamische Raumklimasimulation erlaubt wie bei SimRoom auch die Analyse hinsichtlich der Raumluftqualität (CO₂-Konzentration).

⁵ <https://wufi.de/de/software/wufi-plus/>

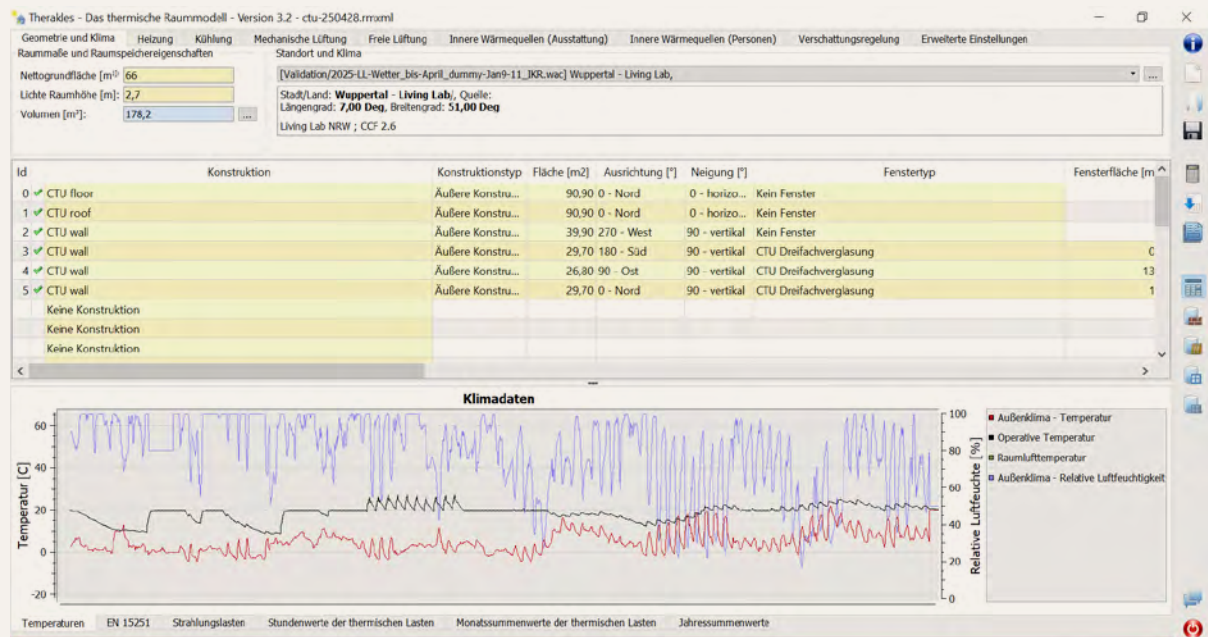


Abbildung 4:
Eingabemaske und Simulationsergebnisse von Therakles für einen Versuchszyklus im Gebäude CTU bei Einlesen der gemessenen Wetter- und Betriebsdaten

Wie Abbildung 5 am Beispiel des CTU Gebäudes zeigt, konnte die Raumtemperaturentwicklung während der Versuchsphasen im Living Lab in sehr guter Übereinstimmung mit den Messergebnissen abgebildet werden⁶. Das gilt insbesondere dann, wenn nicht die Eingaben aus der Planung, sondern verifizierte Daten nach Fertigstellung des Gebäudes genutzt werden.

Erfahrungen und Entwicklungen

Das Living Lab NRW bot die einmalige Möglichkeit für Studierende, simulierte Erwartungswerte für das wärmetechnische Verhalten von realen Gebäuden mit Messwerten zu vergleichen. Dieser Abgleich förderte bei den Studierenden sowohl das Verständnis für Simulationsmethoden als auch eine kritische Bewertung realer Messdaten. Studierende konnten sehr gut erkennen, welche Änderung der Eingaben die Differenzen zwischen Simulation und Messung verkleinern. Typische Beispiele sind etwa die Auswirkung von Laibungstiefen an Fenstern oder festen Verschattungsstrukturen auf die Raumtemperatur. Auf der Basis solcher Erfahrungen wird ein besser qualifizierter Einsatz von Simulationswerkzeugen bei eigenen Entwurfsaufgaben erreicht. Simulationen mit Zukunftswetterdatensätzen erwiesen sich sehr gut dazu geeignet, notwendige Anpassungen an den Klimawandel zu erkennen und zielführende Maßnahmen zu entwickeln.

Eine gute grafische Ergebnisaufbereitung innerhalb der Programme unterstützt ganz wesentlich das Verständnis für die Ergebnisse. Eigene grafische Aufbereitungen erfordern umfangreiche Kenntnisse und zusätzliche Zeit. Sehr zielführend erwiesen sich die Simulationen ohne technische Konditionierung der Räume eines Gebäudes (Leerlauftemperaturen) und die daran gekoppelte Bestimmung der Neutralstunden. Daran wird anschaulich, wie hoch der Aufwand der technischen Konditionierung ausfallen wird.

Die Entwicklung hin zu Building Information Modeling (BIM) verlangt in der Praxis wie auch in der Lehre eine stärkere Vernetzung der eingesetzten Software für unterschiedliche Themen bis hin zu einer einheitlichen Informationsplattform. Das führt unter anderem auch dazu, dass CAD-Programme als Eingaben genutzt werden und nicht Vereinfachungen oder programmspezifische Eingabeoberflächen für Geometrien zum Einsatz kommen. Durch die direkte Verbindung zu Entwurfs- und CAD-Werkzeugen ist der Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Lehre künftig auch für die Entwurfsphase von Gebäuden im Sinne einer positiven Stimulation möglich. Erste Simulationsprogramme bieten Beispiele für die vollständige Einbettung in Entwurfsumgebungen⁷.

Langfristig eröffnet dies die Möglichkeit, Simulationen nicht nur als analytisches Werkzeug, sondern auch als kreative Komponente innerhalb des architektonischen Entwurfsprozesses zu nutzen.

6 Kalpkirmaz Rizaoglu, I., Voss, K.: Integrated Building Performance Assessment in Higher Education - A Case Study of an Experimental House, Proc. of CESB 2025, Prague

7 <https://www.solemma.com/climatestudio>

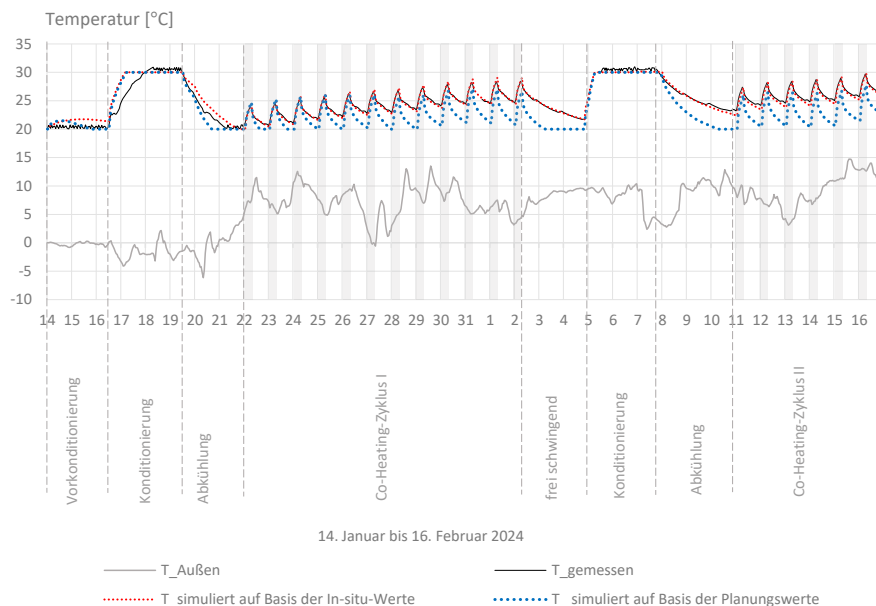


Abbildung 5:
Vergleichende Darstellung der
Simulationsergebnisse mit WUFI
Plus gegenüber den Messdaten
für das CTU Gebäude im Living
Lab NRW



4 Forschungskolleg

Innerhalb des Living Lab NRW bot das integrierte Forschungskolleg anderen Hochschulen aus NRW eine Plattform für wissenschaftliches Arbeiten in Form von Promotionen. Dazu erfolgte 2022 eine thematisch offene Ausschreibung des MWIKE mit exemplarischen Themenclustern. Die Schwerpunkte für die Forschung wurden von den teilnehmenden Hochschulen selbst definiert. Fünf Arbeiten bekamen auf Basis von Exposés im Rahmen eines Juryprozesses den Zuschlag. Die Arbeiten wurden unabhängig von den jeweiligen Hochschulen durchgeführt. Das Team des Living Lab NRW sorgte für den regelmäßigen Austausch vor Ort und koordinierte die durchzuführenden Arbeiten auf dem Gelände und in den Gebäuden sowie die Bereitstellung von Daten aus dem Monitoringsystem.

Nachfolgend berichten vier geförderte Forschungsteams über ihre Themensetzung und die erreichten Ergebnisse. Dabei reicht die Bandbreite von einer nutzerzentrierten Evaluation von Architektur und Platzangebot über Fragen der KI-unterstützten Gebäudeautomation bis hin zur Rückbaufähigkeit von gebäudetechnischen Anlagen. Innovative Betriebsführungsszenarien für die Living Lab NRW Energiezentrale mit ihrem Nahwärmenetz stand im Fokus einer weiteren Forschungsarbeit.

nutzerzentrierte und funktionsbasierte bewertung von gebäudedesign und platzmanagement in wohngebäuden

Janine Bardey, Marcel Schweiker

Die Nutzenden ins Zentrum des platzoptimierten Bauens zu setzen, ist ein wichtiger Schritt für das nachhaltige Bauen. Im Folgenden werden Studien mit Proband*innen im Living Lab NRW vorgestellt, die einen weiterführenden Beitrag zu dem Thema Suffizienz leisten, das bereits ein Bewertungskriterium im Bereich Nachhaltigkeit während des Wettbewerbs beim SDE 21/22 war.

Forschungsfrage

Übergeordnetes Ziel dieser Forschungsarbeit war herauszufinden, unter welchen Bedingungen platzsparendes Wohnen die Wohnzufriedenheit und Behaglichkeit der Nutzenden nicht reduziert und die Nutzenden in ihren Aktivitäten nicht einschränkt. Dieser Gedanke des bewohnerzentrierten Platzmanagements kann auch als Teilaspekt von Suffizienz bezeichnet werden und wurde auf verschiedene Weise in den Gebäuden des Living Lab NRW umgesetzt¹. Hauptmotivation für flächensuffizientes Bauen ist, dass alle anderen Verbräuche, wie Material, Betriebsenergie und -kosten, versiegelte Flächen und weitere Ressourcen mit der Wohnfläche pro Kopf wachsen². Um sich der Frage nach kleineren Wohnflächen aus Nutzendensicht zu widmen, sollten die alltäglichen Aktivitäten berücksichtigt werden, die Personen zu Hause ausführen. Außerdem sollte betrachtet werden, wie die Optimierung der Fläche sich auf andere Aspekte der Innenraumqualität (engl. Indoor Environmental Quality) auswirkt. Die Optimierung eines Parameters bringt natürlich auch Veränderungen anderer Parameter mit sich³. Reduziert man zum Beispiel die Anzahl der Wände, um eine offene Wohnküche zu schaffen, kann die Gesamtfläche reduziert werden und sich nach baulichen Gegebenheiten natürliches Licht besser verteilen. Gleichzeitig können sich jedoch Gerüche und Geräusche leichter ausbreiten und es gibt weniger thermische Zonen. Dies ist nur ein Beispiel, wie einzelne Aspekte der Innenraumqualität sich gegenseitig beeinflussen.

- 1 Voss, K., & Simon, K. (2023). Solar Decathlon Europe 21/22– competition source book. Bergische Universität Wuppertal. https://elpub.bib.uni-wuppertal.de/receive/dupublico_mods_00000696 <https://doi.org/10.25926/svtg-e916>
- 2 Cabeza, L. F., Q. Bai, P. Bertoldi, J.M. Kihila, A.F.P. Lucena, É. Mata, S. Mirasgedis, A. Novikova, Y. Saheb, 2022: Buildings. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.011 (Chapter 9)
- 3 Altomonte, S., Allen, J., Bluysen, P. M., Brager, G., Heschong, L., Loder, A., Schiavon, S., Veitch, J. A., Wang, L., & Wargocki, P. (2020). Ten questions concerning well-being in the built environment. Building and Environment, 180, 106949. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106949>

Aus allen vorangegangenen Überlegungen ergeben sich die folgenden Fragestellungen:

- Wie kann die Raumgestaltung in Wohngebäuden für typische Aktivitäten, die die Bewohner zu Hause ausführen, optimiert werden?
- Welche Kompromisse und Synergien ergeben sich daraus für andere Innenraumqualitäten neben der Geräumigkeit?
- Wie werden Energieverbrauch und finanzielle Ressourcen durch diese Optimierung beeinflusst?

Forschungsansatz und Methodik

Um die Nutzenden und ihre Wahrnehmung von Wohnräumen in den Mittelpunkt zu stellen, fokussiert auch die Forschungsmethode auf die aktive Beteiligung der Nutzenden. Zur Untersuchung von Wahrnehmung und Verhalten zu Hause wurden zwei aufeinander aufbauende Studien im Living Lab durchgeführt. Details zu den Planungen der Studien sind in sogenannten Preanalyseplänen beschrieben⁴. Einer der untersuchten Aspekte waren die Aktivitäten, die Menschen zu Hause ausführen. Diese wurden betrachtet, um der ersten Forschungsfrage weiter auf den Grund zu gehen.

In der ersten Studie, die im Jahr 2023 stattfand, hatten die Teilnehmenden jeweils 20 Minuten Zeit, um jeden der 16 ausgewählten Räume, die sich auf 7 Gebäude verteilten, zu bewerten. Die Bewertung erfolgte durch einen Fragebogen, der in jedem Raum wiederholt wurde. Im späteren Teil dieses Kapitels wird nur auf die Erkenntnisse aus der Auswertung von Antworten in einem offenen Textfeld eingegangen, die mittels thematischer Analyse⁵ in Kategorien geordnet und in eine Liste von Aktivitäten umgewandelt wurden.

In der zweiten Studie im Jahr 2024 wurden die Teilnehmenden gebeten, innerhalb von zwei Tagen in jedem Gebäude jeweils für 75 Minuten Aktivitäten durchzuführen, die aus der Liste der Aktivitäten ausgewählt wurden, die im Jahr 2023 in der thematischen Analyse ermittelt wurden.



- Abbildung 1:
Gemeinschaftsbereich
Haus Local+ Aachen
- Abbildung 2:
Der persönliche Rückzugs- und Arbeitsbereich in den sogenannten Cubes
- Abbildung 3:
Außenbereich mit überdachter Terrasse

© Janine Bardey

⁴ Bardey J. and Schweiker M. 2023. QPoniphyAs - the pre-analysis plan. OSF. <https://osf.io/6kjxf/>

⁵ Braun, V., and Clarke, V. (2012). Thematic analysis. American Psychological Association

Die Erfahrungen der Teilnehmenden wurden mithilfe eines wiederholt eingesetzten Fragebogens erfasst. Der diesmal verwendete Fragebogen basierte auf der ersten Studienphase, enthielt aber zusätzliche Fragen zu den in den Räumen durchgeführten Aktivitäten. Jedes Mal, wenn die Teilnehmenden das Haus wechselten, konnten sie zu Beginn jeder Aktivität zwischen Gemeinschafts-, Privat- und Außenbereichen wählen, um die Aktivität durchzuführen. Im Haus Aachen waren es z. B. die drei in den Abbildungen 1 bis 3 gezeigten Räume. An jedem der beiden Tage im Labor mussten die Teilnehmenden die folgenden Aktivitäten durchführen: Homeoffice, eine passive oder aktive Freizeitaktivität allein sowie gemeinsames Essen als soziale Interaktion.

Im Anschluss an die zwei Studien wurden auf Basis der Daten mathematische Modelle berechnet, die zum einen die Wahrnehmung, Bewertung und Wünsche der Nutzenden auf andere Gebäude übertragbar und zum anderen Ressourcenverbräuche wie die Energieverbräuche verschiedener Designs vergleichbar machen sollten.

Rolle des Living Lab NRW

Studien in Living Labs, wie dem Living Lab NRW, haben durch ihre Stellung zwischen klassischen Feld- oder Laborstudien eine Reihe von Vor- und Nachteilen. Im Gegensatz zu einem klassischen Labor bietet ein Living Lab eine natürliche Umgebung, die der Gestaltung eines eigenen realen Zuhauses sehr nahekommt, so dass Erkenntnisse leichter übertragen werden können (sogenannte ökologische Validität). Auf der anderen Seite unterschieden sich im Living Lab NRW, z.B. die Art der Materialien, der künstlichen Beleuchtung oder der Heiz-, Kühl- und Lüftungssysteme zwischen den Häusern, so dass im Vergleich zu einer Laborstudie die Randbedingungen weniger kontrolliert waren. In einem klassischen Labor könnte man diese Faktoren beeinflussen und angleichen.

In einer Feldstudie würde man in den eigenen Wohnungen der Proband*innen messen. In diesem Fall wäre jede Wohnung anders. Im Gegen-

satz dazu bot das Living Lab NRW die Möglichkeit, die gleichen Wohnungen verschiedenen Teilnehmenden vorzuführen.

Die lebensgroßen, vollständig ausgerüsteten Gebäude boten außerdem die Möglichkeit, nicht nur Gebäudebegehungen durchzuführen, sondern aktiv die Umgebungen bei alltäglichen Aktivitäten zu testen.

Mathematische Modelle sind nötig, um die Ergebnisse aus dem Living Lab auf andere Gebäude und Designs zu übertragen und zu verallgemeinern. Außerdem ist für den energetischen Vergleich eine Abstraktion des Living Labs nötig, da die Gebäude mit sehr vielen unterschiedlichen Materialien und Energiesystemen ausgestattet waren, sodass die Änderung in den Energieverbräuchen die ausschließlich durch das Design verursacht wurden, nicht aus den Messdaten des Living Labs herauszulesen wären. Modelliert man jedoch das Living Labs als digitales Modell, kann man eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Designvarianten schaffen.

Ausblick

Die Erhebung der Daten, die Auskunft über die Nutzenden geben sollte, wurde abgeschlossen. Nach dem aktuellen Stand (Herbst 2025) sind die Daten zum Teil ausgewertet oder befinden sich weiter in der Auswertung. Parallel wird an den Modellen für die Nutzendenwahrnehmung und -bewertung gearbeitet. Die Gebäudemodelle sollen im Anschluss entwickelt werden.

Exemplarisch werden hier Ergebnisse der zwei Studien zum Thema Aktivität dargestellt⁶. Die Ergebnisse basieren auf der Analyse von Antworten aus dem Jahr 2023 in einem offenen Textfeld und der Raumauswahl, die die Teilnehmenden im Jahr 2024 für verschiedene Aktivitäten getroffen hatten.

Bei dem offenen Textfeld wurden die Teilnehmenden aufgefordert, alle Aktivitäten aufzulisten, die sie sich in diesen Räumen vorstellen konnten. Die thematische Analyse der aufgelisteten Aktivitäten zeigte folgende Themenbereiche:

⁶ Bardey, J., Pilehchi Ha, P., Schweiker, M. (2025) Evaluation of the space efficiency and functionality of residential buildings based on possible activities. In Editors: Olafur H. Wallevik, Vincent E. Merida and Sylgja D. Sigurjónsdóttir (Ed.), Healthy Buildings Europe 2025: Proceedings of ISIAQ International conference. Reykjavik University.

- Soziale Interaktionen: Essen, Kochen, Reden
- Freizeit (passiv/mental): ein Nickerchen machen, eine Pause machen (drinnen und draußen), psychologische Selbstfürsorge, religiöse Aktivitäten und Medien konsumieren
- Freizeit (aktiv/körperlich): Texte schreiben, kreative Hobbys, Gartenarbeit, Musizieren, Tanzen und andere Sportarten.
- Homeoffice: Studieren oder von zu Hause aus arbeiten.

Die Themenbereiche zeigen, dass Räume in Wohngebäuden multifunktionale Aufenthaltsbereiche sind, die eine große Vielfalt an unterschiedlichen Aktivitäten unterstützen müssen. Diese vier Themenbereiche der Aktivitäten dienten als Basis der Studie im zweiten Jahr. Proband*innen sollten sich in jedem Haus einen Raum für die jeweilige Aktivität aussuchen und diesen Raum nach der Aktivität bewerten. Im Folgenden werden beispielhaft Werte aus dem Haus Local+ Aachen präsentiert.

Wie in Abbildung 4 dargestellt, unterschied sich die Wahl des Raumes im Haus Aachen je nach Art der durchgeführten Aktivität. Hervorzuheben ist, dass der Außenbereich für alle Aktivitätsarten gewählt wurde, was auf die Relevanz von Außenbereichen in Wohngebäuden hinweist. Dieses Ergebnis wurde natürlich dadurch beeinflusst, dass die Studie im Sommer durchgeführt wur-

de. Bei sozialen Interaktionen wurde der private Raum vollständig gemieden, was an seiner geringen Größe liegen könnte. Andererseits werden passive und mentale Freizeitaktivitäten nicht in den Gemeinschaftsräumen ausgeübt, was sich vielleicht durch das Bedürfnis nach Privatsphäre oder einem bequemen Sitzmöbel erklären lässt. Körperliche und aktive Freizeitaktivitäten wurden häufiger im Gemeinschafts- und Außenbereich ausgeübt, was möglicherweise auf den höheren Platzbedarf (z. B., für einen Arbeitstisch oder Sportgeräte) zurückzuführen ist. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass die Raumwahl nicht ausschließlich durch Flächenverfügbarkeit und -bedarf für verschiedene Aktivitäten erklärt werden kann. Darüber hinaus basieren die oben genannten möglichen Gründe, wie etwa die Privatsphäre, bisher auf anekdotischen Interaktionen mit den Teilnehmenden und werden durch den vollständigen Datensatz validiert. Der vollständige Datensatz der Studie enthält Fragebögen zur Bewertung verschiedener Design-Aspekte der Innenraumqualität⁷, Daten aus Gebäuden, eine Liste vorstellbarer Aktivitäten für jeden Raum, eine thematische Analyse unterstützender und hinderlicher Design-Aspekte der Innenraumqualität für jede Aktivität und weitere Datenpunkte⁸. Der aktuelle Erkenntnisstand lässt also noch viel Raum für Überlegungen und Fragen. Die Antworten auf die meisten davon wird hoffentlich die vollständige Analyse liefern.

7 Bardey, J., Pilehchi Ha, P., & Schweiker, M. (2024). Method development to assess levels of design indoor environmental quality in a geometric and questionnaire bases way to evaluate residential buildings. In Jessica Fernández-Agüera, Samuel Domínguez-Amarillo, Susan Roaf (Ed.), *Comfort at the extremes: Investing in well-being in a challenging futur*. Ecohouse Initiative Ltd.

8 Bardey, J., Pilehchi Ha, P., Schweiker, M. (2025) Evaluation of the space efficiency and functionality of residential buildings based on possible activities. In Editors: Olafur H. Wallevik, Vincent E. Merida and Sylgja D. Sigurjónsdóttir (Ed.), *Healthy Buildings Europe 2025: Proceedings of ISIAQ International conference*. Reykjavik University.

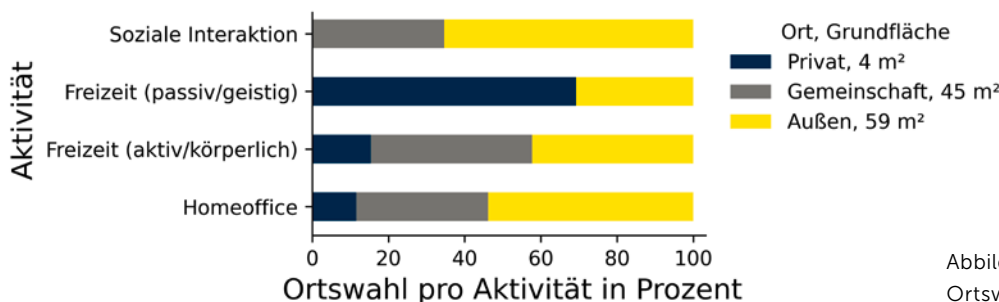


Abbildung 4:
Ortswahl der Räume nach Aktivität

wieder- und weaternutzung von gebäudeenergiesystemen mittels zirkulärer wertschöpfungs- methoden

F. Carrasco Serrano, Johanna F. May

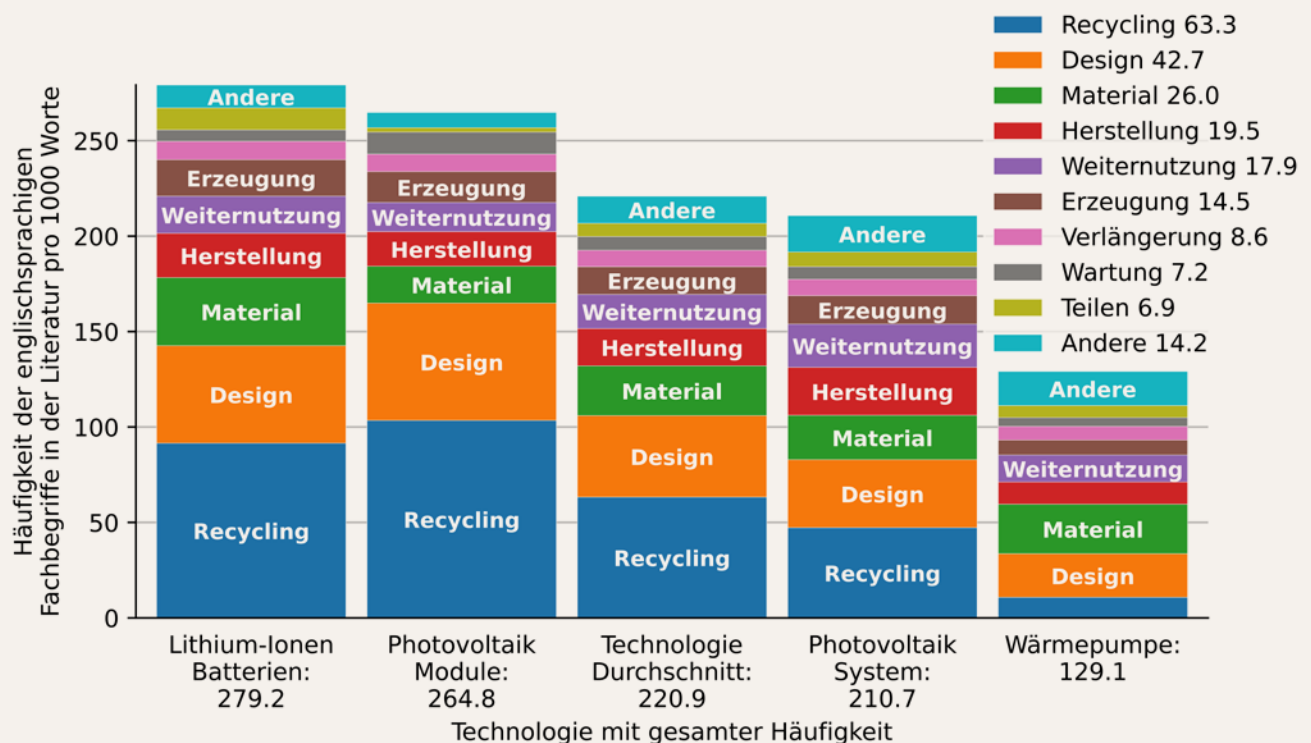
Ein Bestandteil der Energiewende ist die Implementierung der Nutzung erneuerbarer Energien sowie energieeffizienter Maßnahmen in Wohngebäuden. Dies erhöht jedoch die Komplexität der Energiesysteme, da zusätzliche Gerätschaften wie Lüftungssysteme und lokale Energieerzeugung (Photovoltaik) hinzukommen. Die wissenschaftliche Literatur bewertet großteils Kosten und Treibhausgasemissionen und vernachlässigt bisher den Materialaufwand. In diesem Zusammenhang ermöglichen zirkuläre Wertschöpfungsstrategien die kontinuierliche Weiternutzung von Materialien und Komponenten und reduzieren so Umwelteffekte. Hier fokussiert sich die Literatur bisher auf das Recycling, wie die in Abbildung 1 dargestellte Analyse von 70 Open-Access-Publikationen zeigt¹.

Forschungsfrage

Es stellt sich die Frage, ob nicht Recycling vermieden oder verschoben werden könnte, wenn andere zirkuläre Wertschöpfungsstrategien wie Wiedernutzung (engl. reuse) oder Reparatur eine höhere Bedeutung hätten.

Abbildung 1:
Häufigkeit der englischsprachigen Fachbegriffe und ihrer Varianten (z. B. alle Vorkommen von „recycle“ als Teil eines Wortes) in der Literatur pro 1000 Worte in 70 Open-Access-Publikationen, die zirkuläre Wertschöpfung von Gebäudeenergiesystemen behandeln: Recycling wird stark beforscht, während Wiedernutzungsstrategien und Reparatur unterrepräsentiert sind.
(Carrasco und May, 2025)

1 Carrasco und May, 2025
<https://www.mdpi.com/2071-1050/17/3/852>



Forschungsansatz und Methodik

Um herauszufinden, welche Energiesystemkomponenten hier besonders viel Potenzial haben, berechnete ein eigens entwickeltes, vereinfachtes Lebenszyklusbewertungsmodell die Umweltauswirkungen bei verschiedenen zirkulären Wertschöpfungsstrategien². Statistische Gebäudedaten definieren ein Referenzgebäude mit Referenzenergiesystem und werden über einen Zeitraum von 50 Jahren in den Phasen Bau, Betrieb und Stilllegung bewertet. Für dieses bewertet das Modell Herstellungsaufwände, Energiebilanz während der Nutzungsphase und Behandlung am Ende der Lebensdauer auf Treibhausgaspotenzial und Ressourceninanspruchnahme hin. Dies geschieht anhand einer „Raw Material Score“³, die Klimawirkung und Materialerschöpfung berücksichtigt, um eine abstrakte Wirkungsbewertung zu erstellen.

Die Hauptverursacher von Umweltauswirkungen sind der elektrische Verbrauch der Wärmepumpe sowie die Herstellung von Solarmodulen, Batteriespeicher und Wärmepumpe sowie der weitere Stromverbrauch. Das Testen von Varianten des Basisszenarios, wie z. B. Änderungen der Systemdimensionierung, des Verbrauchs oder der Umweltauswirkungen von Komponenten, ist ebenfalls wichtig. Korrelation drückt aus, wie stark die Änderung einer Variablen eine andere Variable beeinflusst, wobei eine größere Zahl einen stärkeren Anstieg der Auswirkung bei steigender Variable bedeutet. Die Überprüfung der Korrelation zwischen den Eingabevariablen und den Umweltauswirkungen, selbst nach Änderung des Gebäudeszenarios, zeigt, welche Variablen am wichtigsten sind. Von denjenigen, die von Nutzern und Planern beeinflusst werden können, ist die Nutzungsdauer des PV-Moduls die wichtigste, vor allem bei vorzeitigem Austausch.

Da sich die Technologien für Gebäudeenergiesysteme signifikant weiterentwickeln (beispielsweise hatte ein gutes Photovoltaikmodul im Jahr 2000 knapp 16 % Wirkungsgrad und in

2025 liegt der Wirkungsgrad der besten Labormodule bereits bei 27 %⁴, ist eine Weiternutzung noch funktionierender alter Komponenten nicht immer sinnvoll. Im Gegenteil entstehen durch technische Innovation Anreize zum Austausch von Komponenten vor Ablauf ihrer technischen Lebensdauer, oder ein Ausfall einer Komponente könnte den Austausch des gesamten Systems erforderlich machen. Als Teil der zirkulären Wertschöpfungsstrategie, „Reparatur“ gewinnt daher die Nachrüstbarkeit an Bedeutung. Um das Potenzial von „Reparatur“ zu bewerten, sind die tatsächliche Lebensdauer, die Häufigkeit von Komponentenausfällen (technische Zuverlässigkeit) sowie die Installationsqualität relevant. Reparierbarkeit (mit Nachrüstbarkeit) ermöglicht es, noch funktionale Komponenten(teile) länger zu nutzen, erneute Herstellungsaufwände zu verschieben und die Abfallmenge zu reduzieren. Als Grundvoraussetzung für die Reparierbarkeit ist die Demontierbarkeit zu sehen, da nur einfach demontierbare Systeme wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll weiter eingesetzt werden können.

Im Kontext der Gebäudeenergiesysteme gibt es bisher keine Norm zur Bewertung der Reparierbarkeit. Die DIN 45554 befasst sich mit der Reparierbarkeit energieverbrauchsrelevanter Geräte (wie z. B. Waschmaschinen) und die ISO 20887 adressiert die Demontierbarkeit und Anpassungsfähigkeit von Gebäuden. Bei Gebäuden besteht das Energiesystem aus Komponenten, die von verschiedenen Unternehmen hergestellt und vor Ort von lokalen Fachkräften mit unterschiedlicher örtlicher Verteilung und Zugänglichkeit montiert und installiert werden. Da die verfügbaren Normen nicht für diesen Zweck konzipiert wurden, können sie nicht direkt angewendet werden. Daher entwickelte diese Arbeit einen eigenen Reparierbarkeitsindikator für Gebäude, um anhand einiger Installationen in Gebäuden der Living Lab NRW Pfade hin zu einer besseren Reparierbarkeit aufzuzeigen.

² Carrasco und May, 2024
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10631190>

³ Stichting National Environmental Database, 2022
https://milieudatabase.nl/media/filer_public/89/42/8942d5dd-8d37-4867-859a-0bbd6d9fb574/bepalingsmethode_milieuprestatie_bouwwerken_maart_2022_engels.pdf

⁴ NREL, 2025
<https://www.nrel.gov/pv/moduleefficiency>

Rolle des Living Lab NRW

Der Reparierbarkeitsindikator⁵ entwickelt die o. g. Normen weiter und beinhaltet Themen wie Befestigungselemente, Werkzeuge, Diagnosefähigkeit, Vollständigkeit der Informationen, Zugänglichkeit, Verbindungen, Umsetzung, Messfehlermöglichkeit, Zeitaufwand, Expertise von Fachkräften, Anzahl der Arbeitsschritte und Offensichtlichkeit. Diese Indikatoren wurden in den Living Lab-Gebäuden der Teams aus Valencia und Taipeh überprüft und in einer Bewertungsmatrix eingetragen. Mehrere experimentelle Demontagen zeigten auf, in welcher Weise zunehmende Elektrifizierung und Automatisierung die Systemkomplexität in Bezug auf Design, Umsetzung und Wartung erhöhen können. Dabei ermöglichte der Living Lab-Kontext die Untersuchung von realen Installationen aus unterschiedlichen kulturellen Kontexten, die von unterschiedlich erfahrenen Studierenden erstellt wurden.

Ein Beispiel: der erhöhte Mess- und Regelaufwand in stärker elektrifizierten Gebäuden erfordert mehr Verkabelung, Beschriftung und Dokumentation. Selbst wenn Unterlagen über den Technikraum vorliegen, kann die Identifizierung der richtigen Elemente schwierig sein, wenn sie nicht zugänglich sind, nur teilweise beschriftet oder eine hohe Anzahl von Komponenten vorhanden ist. Abgedeckte Rohre oder Kabelbinder erhöhen die Anzahl der erforderlichen Schritte oder Werkzeuge bei der Demontage. Zur besseren Demontierbarkeit gibt es verschiedene Ansätze, zum Beispiel zeigt Abbildung 2 Kabelkanäle, die sich werkzeuglos demontieren lassen.

Ähnlich wie bei den Komponenten gibt es auch bei der Befestigung unterschiedlich aufwendige Ansätze (Abbildung 3). Einige Komponenten werden direkt mit Schrauben an der Wand befestigt, andere werden auf zuvor an der Wand befestigten Strukturen angebracht. Die Notwendigkeit dafür hängt von den verwendeten Baustrukturen und

dem Gewicht der zu befestigenden Komponenten ab. Daher gibt es hier eine direkte Abhängigkeit des Demontageaufwands mit der vorhandenen Gebäudestruktur, deshalb besteht Potenzial für Verbesserungen, indem die derzeitigen Praktiken überdacht werden können.

Ausblick

Diese vorgestellte Forschung trägt dazu bei, die Grundlagen für die Anwendbarkeit der zirkulären Wertschöpfungsstrategien Wiedernutzung und Reparatur besser zu verstehen und so den Ressourcenaufwand für die Energiewende zu reduzieren.

Als nächste Schritte sollen weitere Experimente in anderen Häusern durchgeführt werden, um verschiedene Ansätze zu testen.

5 (Carrasco Serrano, F. A., May, J. F., Meilinger, S., & Bhandari, R., 2026). Towards qualification and quantification of repairability in residential electrical energy systems: The case study of LivingLab NRW. Cleaner Engineering and Technology, 32, 101242. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2026.101242>



- 
 Abbildung 2:
 Beispiel für eine Schalttafel. Leistungsschalter mit Beschriftung und Kabelkanäle. Zum Abnehmen der Kabelkanäle sind keine Werkzeuge erforderlich.
- 
 Abbildung 3:
 Verschiedene Arten der Komponentenbefestigung. Die Batterie (rechte schwarze Box) ist auf einem Gestell platziert, während der Wechselrichter (untere weiße Box) und die Kabel an der Wand verschraubt sind.

© Carrasco Serrano

potentiale innovativer system- und betriebsführungskonzepte für wärmepumpen in kombination mit hybridkollektoren für mehrfamilienhäuser und quartiere

Steffen Kubik , Viktor Grinewitschus

Zusätzlich zu den dezentralen Wärmequellen in den Gebäuden wurde auf dem Gelände des Living Lab NRW nach Abschluss des Solar Decathlon Europe 21/22 ein Nahwärmenetz integriert, über das bis zu sechs Gebäude durch die „Energiezentrale“ mit Wärme versorgt werden können. Mit dieser Energiezentrale beschäftigt sich die hier vorgestellte Forschungsarbeit mit dem Titel: „Potentiale innovativer System- und Betriebsführungskonzepte für Wärmepumpen in Kombination mit Hybridkollektoren für Mehrfamilienhäuser und Quartiere“

Forschungsfrage

Im Fokus der Untersuchungen steht die Kombination von Solewärmepumpen und sogenannten PVT-Kollektoren. Photovoltaisch-thermische Kollektoren vereinen in einem Bauelement die Erzeugung von elektrischer Energie durch eine Photovoltaik-Komponente mit der gleichzeitigen Gewinnung von Wärme über einen thermischen Wärmeträger.

Eine angeschlossene Wärmepumpe nutzt die durch die Module bereitgestellte Wärme als Quelle, um Heiz- oder Trinkwasser auf höhere Temperaturenniveaus zu bringen. Da auch der dafür benötigte Strom idealerweise von den Kollektoren erzeugt wird, erscheint die Kombination dieser Technologien als vielversprechende Alternative zu verbreiteten Wärmepumpensystemen. Diese nutzen vielfach Außenluft als Wärmequelle. Die dabei entstehende Geräuschentwicklung bzw. der hohe Installationsaufwand durch etwaige Erdbohrungen können bei einem PVT-System vermieden werden – die geräuschlosen Module nutzen die vorhandenen Dachflächen platzsparend. Darüber hinaus führt die Wärmeabfuhr durch die Wärmepumpe zu einer Abkühlung der PVT-Kollektoren, wodurch der Stromertrag im Vergleich zu herkömmlichen PV-Modulen gesteigert werden kann.

Die zentralen Forschungsfragen fokussieren auf die theoretischen Vorteile und Synergieeffekte aus Betriebsführung und Systemkonzeption.

- Welche Einflussgrößen sind von entscheidender Bedeutung?
- Inwiefern können PVT-Systeme aus ökonomischer und ökologischer Sicht mit etablierten Alternativen konkurrieren?
- Welche Rahmenbedingungen müssen für eine erfolgreiche Umsetzung eingehalten werden?

Um diese Fragen durch praxisnahe Untersuchungen beantworten zu können, bot das Living Lab NRW mit seiner Energiezentrale einzigartige Voraussetzungen.

Die Energiezentrale

Mithilfe der Wuppertaler Stadtwerke (WSW) konnte die reale Umsetzung eines PVT-Systems finanziert, geplant und in der Heizperiode 2023/2024 in Betrieb genommen werden. Die während der Wärmeversorgung aufgezeichneten Live-Daten bildeten das Herzstück für die in diesem Projekt aufgestellten Untersuchungen.

Das Gesamtsystem ist in Abbildung 1 dargestellt. Neben den bereits erläuterten Kollektoren und der Wärmepumpe vervollständigen zwei thermische Speicher das Wärmeerzeugungssystem.

Die von den Kollektoren aufgenommene Wärme wird zunächst auf niedrigem Temperaturniveau in den Primärspeicher geführt. Anschließend kann durch den Einsatz der Wärmepumpe das im Sekundärspeicher befindliche Wasser auf bis zu 70 °C erwärmt werden. Da die Energiezentrale ausschließlich Heizwasser und kein Trinkwasser bereitstellt, können die Fußbodenheizungen der Gebäude mit deutlich niedrigeren Temperaturen und dementsprechend höherer Effizienz versorgt werden.

Falls die Leistung der Wärmepumpe nicht ausreicht oder nicht genügend Wärme durch das Kollektorfeld bereitgestellt wurde, stehen in beiden Speichern eine Zusatzheizung sowie ein Heizstab zur Sicherstellung der Wärmeversorgung auf dem Campus zur Verfügung. Da das Kollektorfeld aus Platzgründen unterdimensioniert war, wird die Zusatzheizung dafür genutzt, den Wärmeertrag der Module zu verstärken und

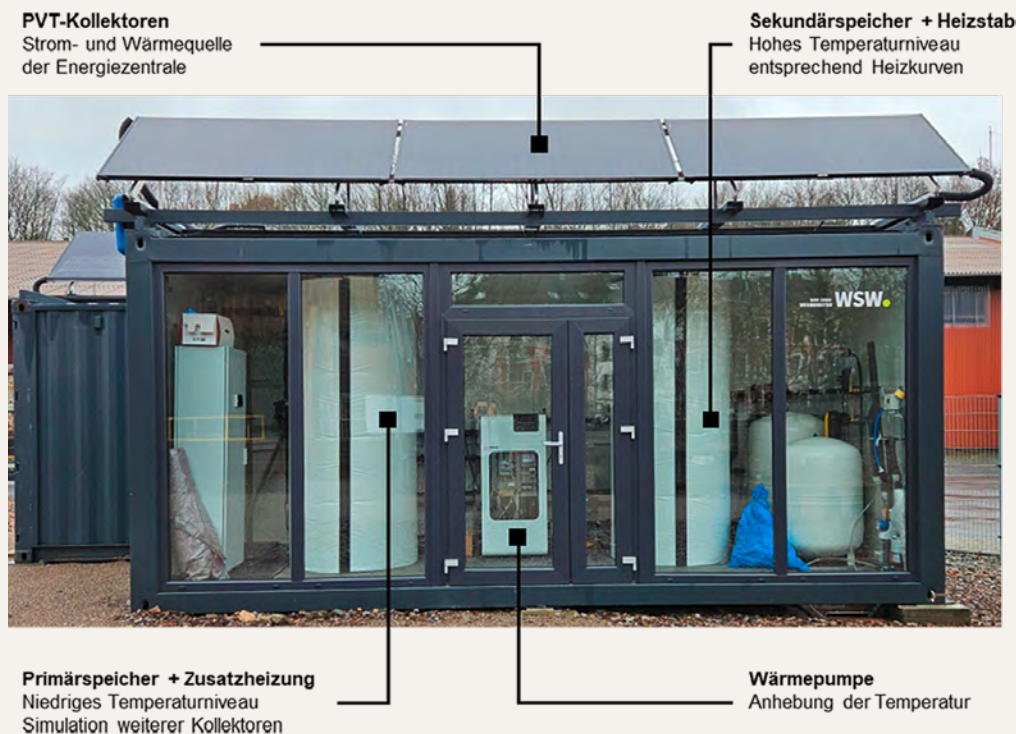


Abbildung 1:
Aufbau der Energiezentrale auf
dem Living Lab NRW
© Steffen Kubik

so ein praxistaugliches System nachzubilden. Auch die Integration des Primärspeichers unterscheidet sich von üblichen PVT-Systemen. In der Praxis sind die Kollektoren häufig direkt an die Wärmepumpe angeschlossen, da die verzögerte Abkühlung der Module durch die Zwischenschaltung des Primärspeichers nicht zwingend positive Auswirkungen auf das Gesamtsystem hat.

Inwiefern ein Primärspeicher durch geeignete Betriebsführung dennoch Vorteile bieten kann, gehörte ebenfalls zu den Forschungsfragen. Der Fokus liegt jedoch auf praxisnahen Systemen ohne Primärspeicher, die vor allem in Simulationen untersucht und optimiert werden sollen. Simulationsmodelle:

Neben der Analyse der Realdaten und der Variation der Betriebsführung der Energiezentrale bilden die Simulationsmodelle das zweite zentrale Element der Forschung. Mithilfe der Simulationssoftware Dymola wurden verschiedene Konzepte von PVT-Systemen entwickelt und untersucht. Das gezielte Austauschen von Komponenten wie dem Primärspeicher, die Variation von Speichergrößen, Modulflächen oder der Wärmepumpen-

leistung bietet entscheidende Vorteile gegenüber realen Systemen.

Die Umsetzung eines praxisnahen PVT-Systems ist in Abbildung 2 dargestellt.

Diese schematische Darstellung verdeutlicht die Unterschiede zwischen Realsystem und Modell. Während der Primärspeicher zwischen PVT-Modulen und Wärmepumpe entfällt, ist im Modell ein weiterer thermischer Speicher zwischen Wärmepumpe und Wärmesenke hinzugekommen. In diesem zweiten Pufferspeicher kann die für die Warmwasserbereitung benötigte Wärme gespeichert werden.

Da hierfür in der Regel höhere Temperaturen als für die Fußbodenheizung erforderlich sind, ist ein separater Speicher sinnvoll. Die Berücksichtigung der Warmwasserversorgung hat sich in den Simulationen als unabdingbar erwiesen, da das PVT-System bei ausschließlicher Betrachtung der Heizung über weite Teile des Jahres inaktiv wäre. Damit entfielen zum einen die Vorteile höherer Stromerträge durch kühlere Module, zum anderen müsste der Wärmebereitung für den Warm-

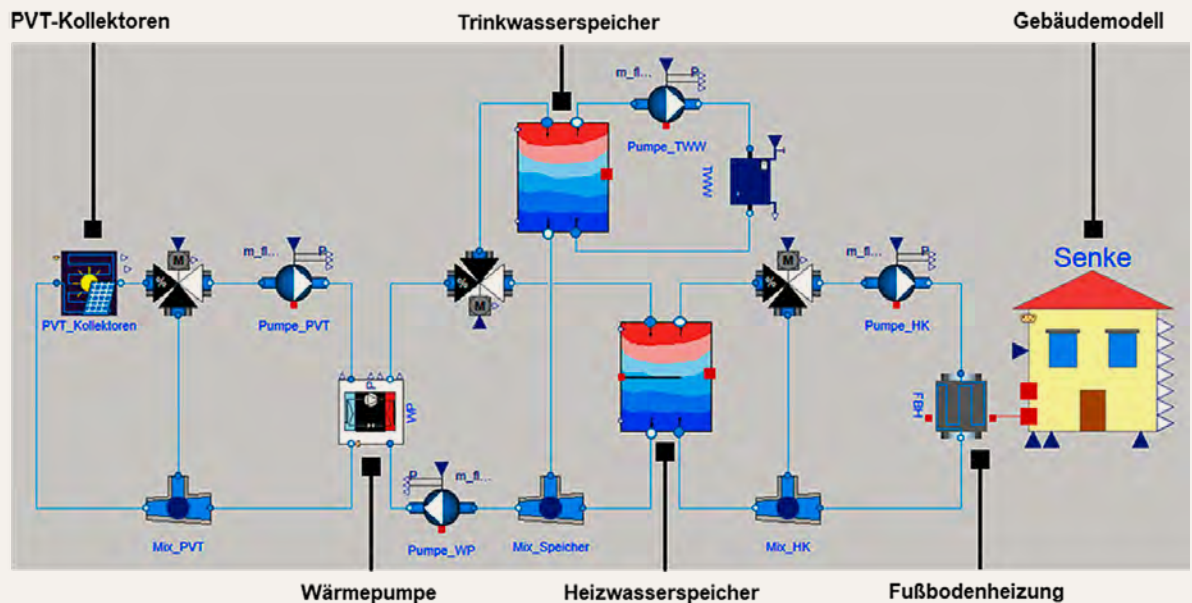


Abbildung 2:
Schematischer Aufbau des Hauptmodells in Dymola.
© Steffen Kubik

wasserbedarf im Vergleich zu Alternativsystemen dennoch eingepreist werden – mit entsprechenden ökonomischen und ökologischen Nachteilen.

Diese Erkenntnisse verdeutlichen die komplexen Zusammenhänge innerhalb der Systeme, bei denen Wärmequellen und -bedarf präzise aufeinander abgestimmt werden müssen, um die Synergien zwischen PVT-Kollektoren und Wärmepumpe voll auszuschöpfen

Ausblick

Durch die Bemühungen der Projektbeteiligten konnte erreicht werden, dass die Energiezentrale auch in der Heizperiode 2025/2026 für die Wärmeversorgung der Gebäude genutzt wurde. Somit war es möglich, Erkenntnisse aus den Simulationen auf das Realsystem zu übertragen, zu validieren und anzupassen.

Die reale Systemkonfiguration stellt dabei lediglich eine Variante der modellierten Ansätze dar. Die simulative Variation von Parametern ermöglicht es, Aussagen über optimale Kenngrößen der Komponenten zu treffen. Komplexe Regelungskonzepte zielen darauf ab, dass ein möglichst hoher Anteil des lokal in den Modulen erzeugten Stroms direkt von der Wärmepumpe genutzt wird, um Netzeinspeisungen weitestgehend zu vermeiden.

Darüber hinaus sollen zusätzliche Konzepte – etwa Luft-Wärmepumpensysteme, hybride Modelle mit Brennwertkessel und Wärmepumpe oder Systeme mit Primärspeicher – eine detaillierte ökologische und wirtschaftliche Gegenüberstellung ermöglichen. Die Validierung der Simulationsdaten am Realsystem des Living Lab ist für die Aussagekraft der Ergebnisse von entscheidender Bedeutung.

Die im Projekt gewonnenen Praxiserfahrungen fließen in die ganzheitliche Bewertung der PVT-Systeme ein. Während die Heizperiode 2025/2026 das Ende der Energiezentrale markierte, können die auf Realdaten basierenden Modelle auch zukünftig genutzt werden, um weitere Fragestellungen zu bearbeiten oder innovative Ideen umzusetzen. PVT-Systeme bieten dabei großes Potenzial für zukunftsorientierte Ansätze, etwa die Integration von Klimaanlage, die Nutzung flexibler Stromtarife, den Einsatz von Batteriespeichern oder einen netzdienlichen Betrieb. Obwohl das Realsystem nur eine von vielen möglichen Varianten darstellt, bot die Möglichkeit zum Validieren, Experimentieren und Vergleichen von Theorie und Praxis einen entscheidenden Mehrwert für die hier vorgestellte Forschungsarbeit.

practical control (practicon): praxistaugliche optimierung des gebäudebetriebs mit modellbasierten methoden und künstlicher intelligenz

Fabian Römer, Nico Fuchs, Dirk Müller

Forschungsfrage

Gebäude verbrauchen viel Energie – und bieten zugleich ein enormes Einsparpotenzial. Zahlreiche Studien belegen, dass digitale Energiemanagementsysteme den Verbrauch sowie CO₂-Emissionen und Kosten deutlich reduzieren können. In der Realität verfehlen jedoch rund 57 Prozent der Gebäude ihre geplante Effizienz im Betrieb. Genau hier setzt PractiCon an: Wir haben uns mit der Frage beschäftigt, wie innovative simulations- und optimierungsbasierte Werkzeuge zur prädiktiven Betriebsoptimierung mit minimalem Aufwand breitenwirksam in die Praxis gebracht werden können, um das vollständige Energieeinsparpotenzial des Gebäudesektors auszuschöpfen.

Unsere Antwort darauf ist eine Methodik, die praxistauglich, offen und wiederverwendbar ist: Um die Zukunft zu prädictieren, sind zunächst Modelle der Realität nötig. Dabei setzen wir auf eine vereinfachte und standardisierte Modell-erstellung für einen Plug-and-Play-Charakter. Durch Demonstratoren, Veröffentlichungen und wiederverwendbare Bausteine auf Basis von freier Software stellen wir die Praxisnähe sicher. Damit entwickeln wir prädiktive Betriebsstrate-

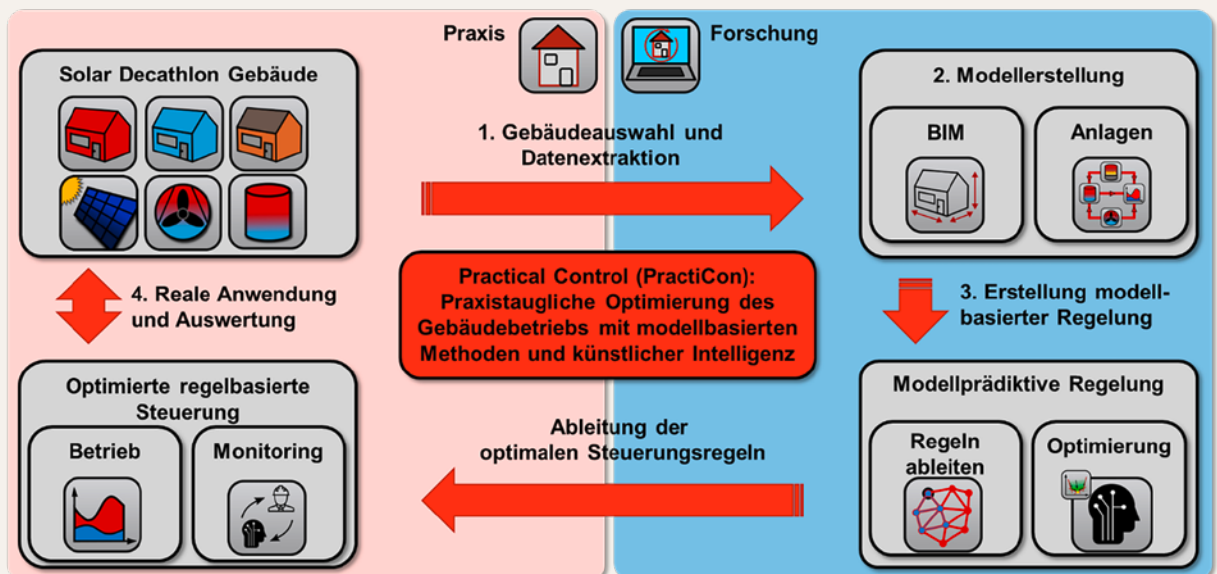


Abbildung 1:
Forschungsvorhaben mit geplanten Schritten zum
Zeitpunkt der Projektbewilligung
© Fabian Römer

gien, die aus der Forschung in den praktischen Betrieb mit minimalem Zusatzaufwand überführt werden können, vergleiche Abbildung 1.

Forschungsansatz und Methodik

Methodisch stützt sich PractiCon auf digitale Zwillinge durch Modelle und regelungstechnische Verfahren. Mit den Simulationsmodellen der BESMod-Bibliothek bauen wir eine robuste Brücke von BIM-basierten Gebäudedaten in die energetische Simulation, vergleiche Abbildung 2¹. Die Kopplung an offene Workflows (BIM2SIM², Blender&Bonsai, EnergyPlus, Modelica), ermöglicht die Überführung von Gebäudemodellen in Simulationsumgebungen, während reduzierte Modelle, beispielsweise aus TEASER³, schnelle

Rechenläufe und damit kurze Iterationszyklen erlauben. Energiesysteme werden entsprechend gängiger Leitfäden realitätsnah abgebildet; Parameter stammen aus Normen und Richtlinien und liefern belastbare Startwerte, sodass sich Modelle ohne aufwendige Kalibrierung einsetzen lassen. Für die modellprädiktive Regelung (MPC) kommt die AgentLib zum Einsatz, die durch sogenannte Softwareagenten ein modulares, wiederverwendbares und kommunikationsoffenes Framework ist und im Rahmen des Projektes gezielt weiterentwickelt wurde⁴. Die AgentLib hat sich als Katalysator erwiesen, der den Weg von dem Prototyp zur Anwendung im Experiment deutlich verkürzt. Wiederverwendbare Module für Prognosen, Optimierung und Kommunikation

- 1 F. Wüllhorst, L. Maier, D. Jansen, L. Kühn, D. Hering, und D. Müller, „BESMod - A Modelica Library providing Building Energy System Modules“, in American Modelica Conference 2022, Dallas, 2022, S. 10. [Online]. Verfügbar unter: https://2022.american.conference.modelica.org/documents/NA_Modelica_2022_Proceedings.pdf
- 2 D. Jansen, V. Richter, L. Maier, J. Frisch, C. van Treeck, und D. Müller, „Open-source framework for automated generation of building energy performance simulation models and beyond from BIM Data“, Automation in Construction, Bd. 179, S. 106427, Nov. 2025, doi: 10.1016/j.autcon.2025.106427.
- 3 P. Remmen, M. Lauster, M. Mans, M. Fuchs, T. Osterhage, und D. Müller, „TEASER: an open tool for urban energy modelling of building stocks“, Journal of Building Performance Simulation, Bd. 11, Nr. 1, Art. Nr. 1, Jan. 2018, doi: 10.1080/19401493.2017.1283539.
- 4 S. Eser u. a., „A modular Python framework for rapid development of advanced control algorithms for energy systems“, Applied Energy, Bd. 385, S. 125496, Mai 2025, doi: 10.1016/j.apenergy.2025.125496.

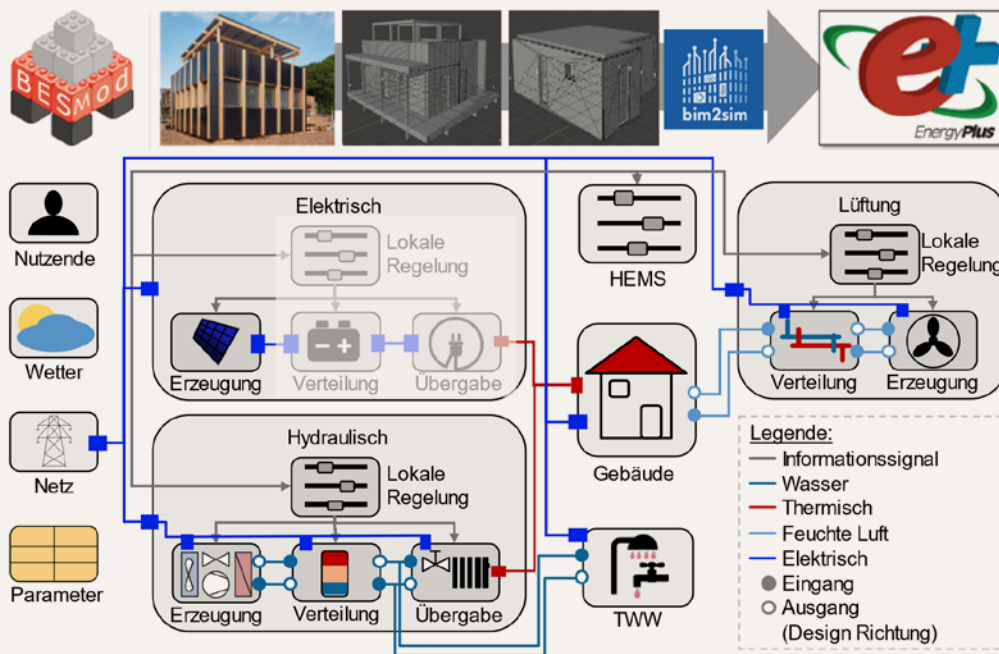


Abbildung 2:
Digitale, quelloffene Toolchain zur
dynamischen, gekoppelten Simulation
von Gebäude und Energiesystem.
© Fabian Römer

erlauben es, Regelungsstrategien in verschiedenen Gebäudekonfigurationen effizient einzusetzen.

Mit diesen Werkzeugen konnten wir verschiedenste praxisnahe Betriebsstrategien virtuell und real testen, mit steigender Komplexität. Beispielsweise haben wir robuste Parameter für eine regelbasierte, nicht-prädiktive PV-Überschussnutzung entwickelt, die mit verschiedenen Wärmepumpen- und Pufferspeichergrößen zuverlässig funktionieren⁵. Mit Methoden der erklärbaren künstlichen Intelligenz, wie die von Yu und Pavlak⁶, konnten erfolgreich Strategien zur regelbasiert prädiktiven PV-Überschussnutzung extrahiert und angewandt werden⁷. Dabei sind die Interaktionen der Betriebsstrategien mit der herstellerinternen, lokalen Regelung beispielhaft

in Abbildung 3 dargestellt. Approximative MPC-Methoden, basierend auf der Toolchain aus der Dissertation von Dr.-Ing. Laura Maier⁸, ermöglichen die prädiktive Optimierung der Vorlauftemperatur und erschließen so einen pragmatischen Zugang zu Einsparungen auch ohne vollständiges Optimierungsmodell. Gemeinsam zeigen diese Ansätze, dass sich die Vorteile komplexer MPC-Verfahren häufig mit geringerem Implementierungsaufwand erfolgreich imitieren lassen.

- 5 F. Wüllhorst, J. Reuter-Schniete, L. Maier, und D. Müller, „Heat pump and thermal energy storage: Influences of photovoltaic, the control strategy, and price assumptions on the optimal design“, Renewable Energy, Bd. 236, S. 121409, Dez. 2024, doi: 10.1016/j.renene.2024.121409.
- 6 M. G. Yu und G. S. Pavlak, „Extracting interpretable building control rules from multi-objective model predictive control data sets“, Energy, Bd. 240, S. 122691, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2021.122691.
- 7 F. Wüllhorst, L. Brockman, L. M. Maier, und D. Müller, „Development and assessment of a predictive rule-based control for heat pump systems with photovoltaics“, in ZCBE, Nottingham, UK, Juli 2024.
- 8 C. Maier, „Approximating Optimal Control Strategies for All-Electric Building Energy Systems“, Thesis, RWTH Aachen University, 2024.

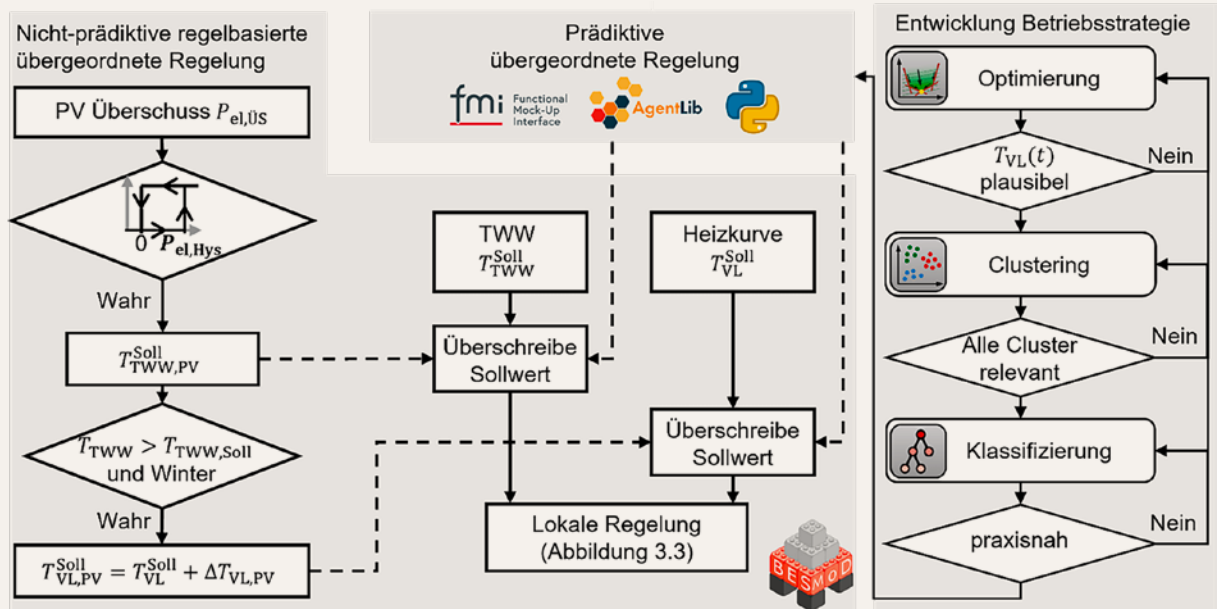


Abbildung 3:
Methode und Schnittstellen in der Entwicklung von praxistauglichen, übergeordneten Regelstrategien im Kontext der Photovoltaik-Überschussnutzung.
© Fabian Römer

Rolle des Living Lab NRW

Das Living Lab NRW spielte für PractiCon eine doppelte Rolle: Es war Motor durch wissenschaftlichen Austausch und Realitätscheck zugleich. Besonders wertvoll war der fachliche Austausch im Doktorandenkolleg. Regelmäßige Treffen, Diskussionen und der Blick auf reale Datensätze haben die Methodik geschärft und die Übertragbarkeit im Alltag stets in den Fokus gerückt. Für die Heizlastabschätzung und die Entwicklung digitaler Toolchains waren reale Gebäudedaten und BIM-Modelle entscheidend. Auch wenn diese Modelle nicht immer streng standardisiert vorlagen, lieferten sie den notwendigen Realitätsabgleich. Teilautomatisierte Anpassungen erlauben heute bereits anwendbare Workflows; mit Open-Source-Werkzeugen gelingt dadurch eine durchgängige Reglerentwicklung.

Gleichzeitig traten im Living Lab Herausforderungen auf: Einige Energiesysteme waren nicht funktionsfähig – teils durch Planungsmängel der Gebäude oder aufgrund von Vandalismus. Dazu kam eine heterogene Protokoll- und Softwarelandschaft mit proprietären SCADA-Lösungen, deren Nutzung Lizenz- und Schulungsaufwände verursacht hätten, die über das Projektbudget hinausgingen. Zudem fokussierte das Monitoring auf Energiebilanzen und Raumtemperaturen, während für Regelung und Modellvalidierung wichtige Werte nicht verfügbar waren. Diese Punkte reduzierten die Chancen für eine unmittelbare Demonstration im realen Gebäude. Um den Praxistest dennoch zu ermöglichen, hatten wir die Demonstration als „Field-test-in-the-Lab“ an den Lehrstuhl für Gebäude und Raumklimatechnik verlagert: Das Energiesystem lief real, das Gebäudeverhalten wurde simuliert. Dieser Aufbau verband Messbarkeit und Reproduzierbarkeit mit hoher Praxisnähe. In diesem Rahmen konnten die entwickelten Betriebsstrategien die Leistungen einer MPC erfolgreich nachbilden. Das Ergebnis ist ermutigend: Robustere, einfacher implementierbare Methoden erschließen einen Großteil des Einsparpotenzials komplexer Optimierer und senken gleichzeitig den Implementierungsaufwand.

Ausblick

Neben neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen und mehreren Publikationen ist die Betreuung von über zwanzig Studierenden im Rahmen von Abschlussarbeiten hervorzuheben. Das vermittelte und erworbene Know-how können die Studierenden direkt in die Praxis tragen und damit die Energiewende konkret voranbringen. Der nächste Schritt führt für Fabian Römer aus der Forschung in die Umsetzung: Mit der Ausgründung CodePlan GmbH (<https://www.code-plan.de/>) werden Digitalisierung, Simulation und Betriebsoptimierung entlang der Planung zusammengeführt, um integrale Prozesse zu beschleunigen. Das Spektrum reicht von automatisierter TGA-Planung über thermische Gebäudesimulation bis hin zur virtuellen Inbetriebnahme. Gerade Letztere profitiert unmittelbar von den Erkenntnissen aus PractiCon: Prädiktive Methoden und daraus abgeleitete Betriebsstrategien lassen sich früh testen, validieren und anschließend im realen Betrieb skalierbar ausrollen.



5 Bauphysikalische Forschung

Ein Living Lab ist kein Labor. Es bietet allerdings eine Plattform für Feldforschung im Maßstab 1:1 und die Verbindung zur Architektur. Die messtechnische Grundausstattung aus der Zeit des Wettbewerbs wurde dafür neu konfiguriert und ergänzt. Die Einbindung einer hochwertigen Wetterstation vor Ort erlaubte es, über die gesamte Zeit Standortwetterdaten in hoher zeitlicher Auflösung zu erfassen und daraus unter anderem Eingangsdaten für Simulationsrechnungen zu erzeugen. Nachfolgend werden ausgewählte Themen vorgestellt. Die kompakten Beiträge verweisen zur Vertiefung auf wissenschaftliche Veröffentlichungen.

ortsbezogene klimamessungen und ihre anwendung im living lab nrw

Jan Pieper

Detaillierte Klimadaten bilden die Grundlage für die Analyse und Bewertung bauklimatischer sowie mikroklimatischer Bedingungen im gebauten Umfeld. Sie ermöglichen es, die Wechselwirkungen zwischen Gebäuden, Freiräumen und Umwelteinflüssen realitätsnah zu erfassen und zu quantifizieren.

Insbesondere bei der Simulation und Bewertung thermischer Bedingungen sind präzise und ortsspezifische Wetterdaten unerlässlich. Die gewonnenen Messdaten erlauben es, Simulationsmodelle zu validieren, die Wirksamkeit baulicher Maßnahmen zu überprüfen und fundierte Aussagen zu Untersuchungen an den Demonstratoren zu treffen. Vor diesem Hintergrund wurden am Living Lab NRW umfangreiche Wetteraufzeichnungen durchgeführt.

Messtechnik

Eine Wetterstation des Living Lab NRW befand sich ca. 1 m oberhalb der Pergola der Dachterrasse des CTU Prag Gebäudes. Sie umfasst die Messung von Globalstrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Sämtliche Daten wurden als 5-Minutenwerte abgelegt und ausgewertet. Tabelle 1 listet die eingesetzte Sensorik. Zudem wird die Diffusstrahlung auf dem etwa 2 km

Bezeichnung	Position	Sensortyp
Globalstrahlung	1,2 m oberhalb Pergoladach	Kipp & Zonen Class B SMP6
Diffusstrahlung	Campus Haspel	Kipp & Zonen Class B SMP6, Schattenring
Lufttemperatur, -feuchte	1,2 m oberhalb Pergoladach	Vaisala Kombisensor
Windgeschwindigkeit	1,2 m oberhalb Pergoladach	Ahlborn Flügelradanemometer
Windrichtung	1,2 m oberhalb Pergoladach	Ahlborn Windrichtungsgeber

Abbildung 1:
Wetterstation



Bezeichnung	Einheit	min	max	Ø
Globalstrahlung	W/m ²	0	1036	126
Diffusstrahlung	W/m ²	0	657	76
Lufttemperatur	°C	- 7,4	35,7	11,6
Relative Luftfeuchte	%	17,0	99,7	78,5
Windgeschwindigkeit	m/s	0	6,9	1,0
Windrichtung	Grad	-	-	172

- Tabelle 1: Auflistung der Sensorik
- Tabelle 2: Statistische Übersicht aller Daten während der Messperiode vom 01.01.2024- 31.12.2024. Basis sind Stundenwerte.

südöstlich gelegenen Campus Haspel gemessen. Diese war für die Erstellung von Wetterdatensätzen zur Simulation relevant. Bei der Erarbeitung der Klimadatenätze wurden die Messdaten stündlich gemittelt.

Ergebnisse

Die Analysen basieren auf Messungen, die im Jahr 2024 durchgeführt wurden. Auf Grundlage der Stundenmittelwerte der Lufttemperatur wurden 26 Sommertage ($T_{\max} > 25\text{ °C}$), sieben Hitzetage ($T_{\max} > 30\text{ °C}$) und zwei tropische Nächte ($T_{\min} > 20\text{ °C}$) registriert. Der kälteste Tag des Jahres war der 09.01.2024 mit einer Durchschnittstemperatur von $-5,0\text{ °C}$. Auch der Januar war mit einer mittleren Temperatur von $3,0\text{ °C}$ der kälteste Monat des Jahres; an insgesamt sechs Tagen herrschten durchgehend Temperaturen unter 0 °C . Der August stellte den wärmsten Monat dar, mit einer Durchschnittstemperatur von $20,2\text{ °C}$. Der heißeste Tag war der 13.08.2024 mit $33,9\text{ °C}$. Zudem traten in diesem Monat drei der sieben Hitzetage, acht Sommertage sowie tropischen Nächte auf. Die höchste mittlere globale Strahlung wurde im Juni mit durchschnittlich 224 W/m^2 gemessen, die geringste im Dezember mit 18 W/m^2 . Das absolute Maximum der Globalstrahlung wurde am 09.06.2024 mit 1036 W/m^2 erreicht. Abbildung 2 zeigt dazu die zeitliche Entwicklung der Tagesmittel der Klimadaten für 2024. Tabelle 2 fasst die Statistik aller Messdaten für 2024 zusammen.

Nutzung der Daten

Die erhobenen Klimadaten kamen im Rahmen mehrerer Versuchsreihen zum Einsatz. Dies betrifft die Untersuchung des Mikroklimas an Gebäuden und Wärmepumpen sowie die Arbeiten im Rahmen des Forschungskollegs des Living Lab NRW.

Darüber hinaus wurden aus den Messwerten Klimadatenätze in stündlicher Auflösung erstellt, die für Simulationen mit den Programmen WUFI, Therakles und SimRoom in Forschung und Lehre verwendet wurden. Die Wetterdaten stehen für weiterführende wissenschaftliche Arbeiten auf Anfrage frei zur Verfügung.

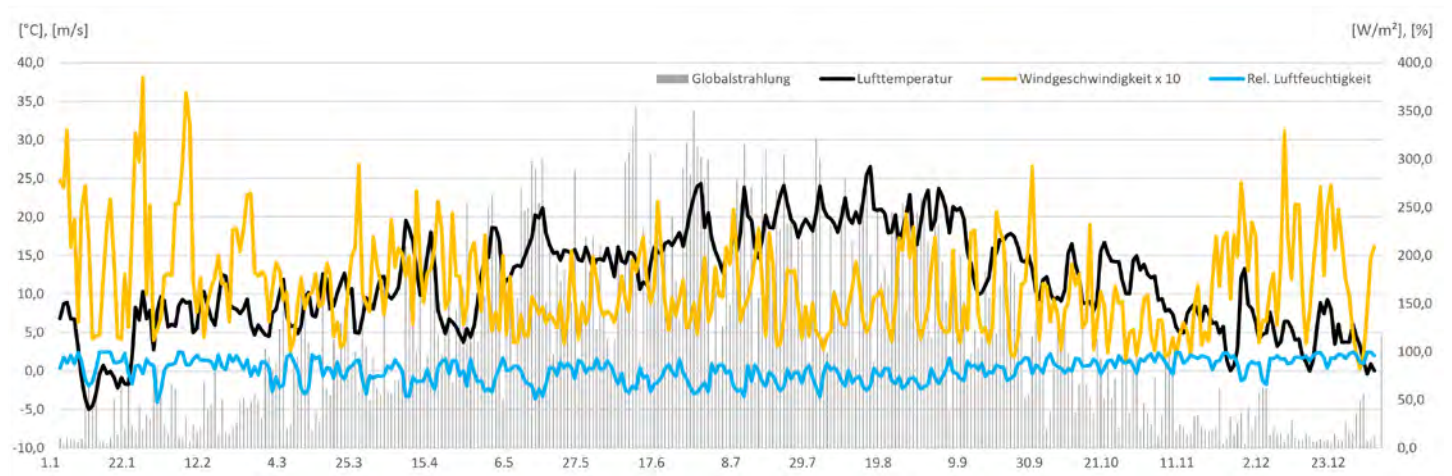


Abbildung 2:
Tagesmittel der Klimadaten 2024

temperaturen im umfeld einer außenluftwärmepumpe

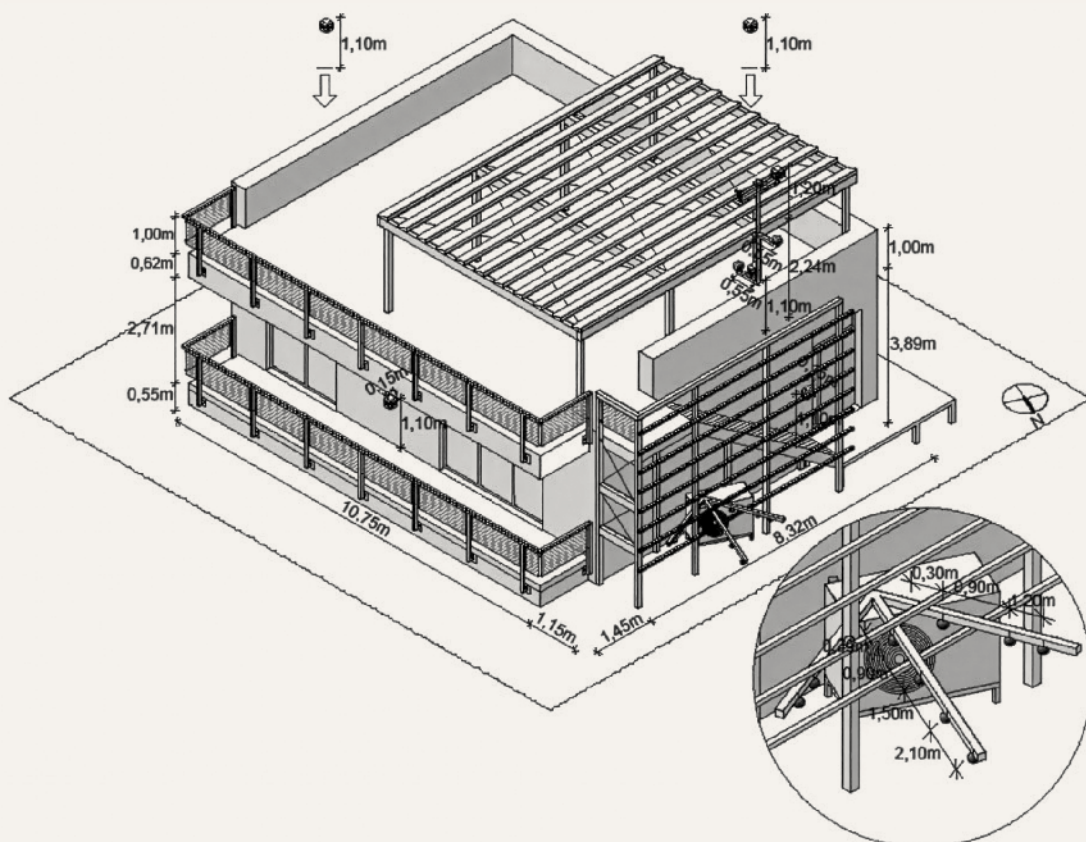
Karsten Voss, Tugcin Kirant Mitic

Außenluftwärmepumpen sind heute für die Deckung des Wärmebedarfs bei Neubauten zum Standard geworden. Im Living Lab NRW waren einige dieser Geräte im Einsatz. Exemplarisch wurde am CTU-Gebäude das Temperaturfeld im Bereich der Außeneinheit im Februar 2024 messtechnisch erfasst und ausgewertet.

Messaufbau

Die Messungen wurden am Gebäude der Technischen Universität Prag (CTU) durchgeführt. Das Gebäude besitzt eine in der Leistung modulierende Luft-Wasser-Wärmepumpe mit 2,5/6,0 kW Heizleistung an den beiden Betriebspunkten gemäß EN 14511. Die Außeneinheit befindet sich am Boden an der Nordwestseite des Gebäudes im Abstand von im Mittel 0,6 m bei angewinkelter Aufstellung vor der Fassade unter einer Außentreppe. Bei voller Leistung transportiert der integrierte Ventilator gemäß Datenblatt eine Luftmenge von 3.800 m³/h. Die Ansaugung erfolgt an der Fassade, die abgekühlte Luft wird nach vorne ausgeblasen. An den genannten Betriebspunkten

Abbildung 1:
Schematische Darstellung
der Sensorik an der Wärme-
pumpe, rechts unten im Bild



resultiert daraus rechnerisch eine Abkühlung der angesaugten Luft um 1,5 °C bzw. 3,2 °C. Dabei stellt sich die Frage, wie weit sich diese Abkühlung im Umfeld des Gerätes ausbreitet. Daraus ließe sich ein Mindestabstand bei der Aufstellung mehrerer Geräte dieser Leistungs-kategorie ableiten, um eine gegenseitige Beein-flussung zu vermeiden. Messreihen wurden im Februar 2024 aufgenommen und schwerpunkt-mäßig für die Woche 20.-26.02 ausgewertet¹. Eine Literaturrecherche hat aufgezeigt, dass bisher kaum Messergebnisse zu der untersuchten Frage-stellung veröffentlicht wurden. Lediglich für den sommerlichen Betrieb von Splitgeräten zur Kühlung wurden Ergebnisse veröffentlicht².

Insgesamt wurden 11 Temperaturdatenlogger ohne Strahlungsschutz im Umfeld der Außen-einheit der Luft-Wasser-Wärmepumpe in einer Höhe von 0,65 m platziert. Dies entspricht der

Höhe der Achse des integrierten Ventilators. Ein Messpunkt 0,3 m vor dem Ventilatoreintritt charakterisiert die Temperatur der an der Fassade angesaugten Luft. In Verlängerung der Ventilatorachse wurde die Ausblastemperatur in Abständen von 0,3 m, 0,9 m, 1,5 m und 2,1 m vom Ventilatoraustritt gemessen. Rechts und links der zentralen Achse fanden im Winkel von 45 Grad weitere Messungen in Abständen von 0,3 m, 0,9 m und 1,2 m statt.

Sämtliche Daten wurden als 5-Minutenwerte abgelegt und ausgewertet. Dabei sind die Daten der Wetterstation Mittelwerte bei hochfrequen-ter Messung, während die autarken Datenlogger lediglich Momentwerte speichern. Tabelle 1 listet die eingesetzte Sensorik, Abbildung 1 zeigt die Anordnung anhand einer Isometrie des Gebäudes.

1 Kirant-Mitic, T., Voss, K.: Heat Pump Microclimate Analysis – Findings from Living Lab NRW project, project report, University Wuppertal, School of Architecture and Civil Engineering, 2024

2 Bruelisauer, M., Meggers, M., Saber, E., Li, C. & Leibundgut, H. (2014). Stuck in a Stack – Temperature Measurements of the Microclimate around Split Type Condensing Units in a High Rise Building in Singapore, Energy and Buildings 71, 28–37.

	Höhe	Abstand	Sensortyp	
Wärmepumpe, Zuluft, mittig	0,65 m	0,3 m	HOBO UA-002-64 logger	±0,5°C
Wärmepumpe, Abluft, mittig	0,65 m	0,3 // 0,9 // 1,5 // 2,1 m	HOBO UA-002-64 logger	±0,5°C
Wärmepumpe, Abluft, rechts	0,65 m	0,3 // 0,9 // 1,2 m	HOBO UA-002-64 logger	±0,5°C
Wärmepumpe, Abluft, links	0,65 m	0,3 // 0,9 // 1,2 m	HOBO UA-002-64 logger	±0,5°C

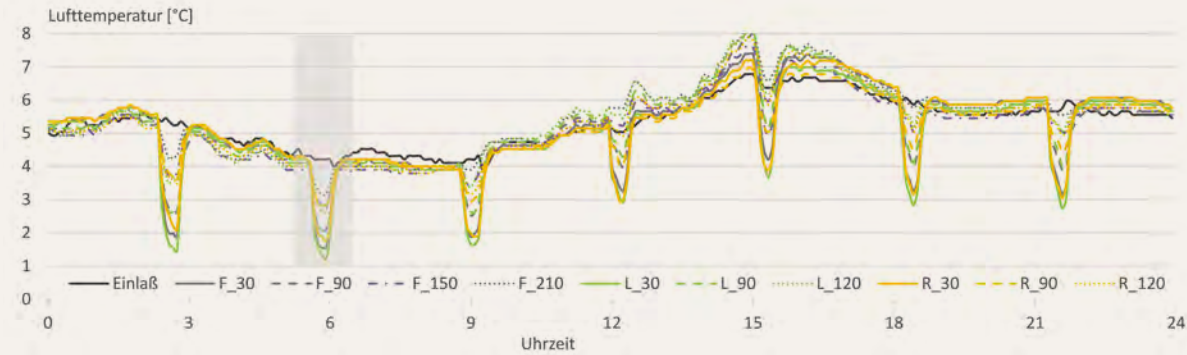


Tabelle 1: Auflistung der Sensorik

Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf
 Lufttemperaturen im Umfeld der Außenlufteinheit am 26. Februar 2024 (5-Minuten-Werte, F: front, L: left, R: right, Zahlenangaben verweisen auf den Abstand zum Gerät in cm). Das grau hinterlegte Zeitfenster wird in Abbildung 3 betrachtet.

Ergebnisse

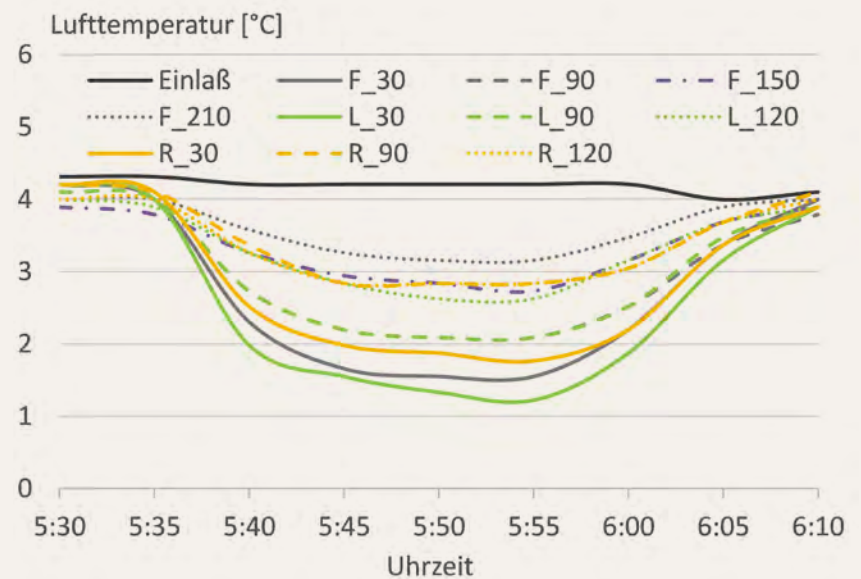
Die Messreihen zeigen je nach Abstand eine mehr oder weniger deutliche Abkühlung der Luft bei Betrieb der Wärmepumpe. Abbildung 2 zeigt beispielhaft den zeitlichen Verlauf der Messwerte für den 26. Februar in 5-minütlicher Auflösung,

Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt für ein Zeitfenster mit Betrieb der Wärmepumpe. Es gab an diesem Tag sieben Zeitfenster mit Wärmepumpenbetrieb über jeweils 20 bis 35 Minuten als Reaktion auf das Unterschreiten einer Solltemperatur im Pufferspeicher. Erwartungsgemäß tritt die höchste Abkühlung mit maximal 3,4 °C unmittelbar vor dem Ventilator auf (F-30, L-30, R-30). Die Größenordnung entspricht den Erwartungswerten, siehe oben. In größerer Entfernung nimmt der Einfluss sehr deutlich ab und liegt bei 2,1 m unter 0,5 °C. Da der Venti-

laturauslass aufgrund seiner Formgebung nur einen geringen Impuls generiert, verteilt sich die Temperaturstörung diffus im Umfeld. Die Einlasstemperatur ändert sich beim Wärmepumpenbetrieb nicht oder nur geringfügig (12:00, 15:00 Uhr). Demnach gibt es keinen signifikanten thermischen Kurzschluss und die Transmissionswärmeverluste der Wand ändern sich am Aufstellungsort nicht merklich.

Hohe Windgeschwindigkeiten tragen dazu bei, den Einfluss schneller abfallen zu lassen. Die baulichen Gegebenheiten zusammen mit Windeinfluss bewirken eine zur Ventilatorachse asymmetrische Verzerrung des Temperaturfeldes. Abbildung 4 fasst sämtliche Messungen bei Wärmepumpenbetrieb als Mittelwerte über die Auswertungswoche zusammen.

Abbildung 3:
Ausschnitt aus Abbildung 2 bei Betrieb der Wärmepumpe zwischen 5:35 und 5:55 Uhr



Fazit

Bei einer Abkühlung der vom Ventilator geförderten Luft unmittelbar vor dem Außenluftgerät um $2,5\text{ °C}$ beträgt die Temperaturveränderung in 2 m Entfernung weniger als $0,5\text{ °C}$. Es sind daher kaum negative Auswirkungen auf die Leistungszahl benachbarter Geräte in größerer Entfernung zu erwarten. Der Effekt bleibt lokal. Diese Einschätzung wird durch vergleichbare Messungen an einem privaten Einfamilienhaus bestätigt. Von Wärmepumpen mit deutlich größeren Leistungen und damit höheren Luftmengen sind größere Effekte zu erwarten.

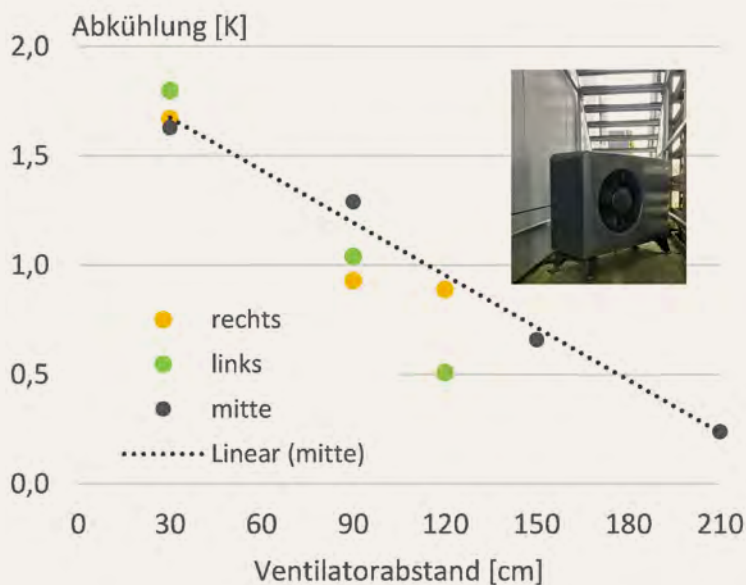


Abbildung 4:
Mittelwerte für die Luftabkühlung zwischen Ansaugung und Ausblasung für unterschiedliche Messpunkte während der Laufzeit der Wärmepumpe im Zeitfenster 20. bis 26.02.24. Bezugswert ist die Ansaugtemperatur.

luftdichtes bauen

Karsten Voss, Heiko Hansen

Alle Gebäude des Living Labs wurden als Holzbauten und mit hohem Vorfertigungsgrad erstellt. Luftdichtheit ist beim Holzbau ein wichtiges Kriterium für die Dauerhaftigkeit und einen geringen Heizwärmeverbrauch. Die Messung der Luftdichtheit erfolgte bereits 2022 als Teil des Wettbewerbs. Im Jahr 2025 wurden die Messungen an einigen Gebäuden wiederholt, um mögliche Veränderungen durch die Nutzung zu beobachten.

Messaufbau

Die messtechnische Ermittlung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle erfolgte nach der DIN EN 13829:2001-02 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Druckdifferenzmethode“. Alle absichtlich vorhandenen Öffnungen wurden geschlossen (Prüfverfahren B), um den Fokus auf die Qualität der Gebäudehülle, unabhängig von der Art der gewählten Lüftungsstrategie, zu legen. Türen zu angrenzenden Volumen innerhalb des Messvolumens wurden geöffnet. Siphons von Waschtischen, Toiletten etc. wurden entweder mit Wasser gefüllt oder temporär abgedichtet. Elemente der freien oder der dezentralen Lüftung wurden an den Durchstoßpunkten der Gebäude-

Abbildung 1:
Blower Door in
eingebautem Zustand.



hülle abgeklebt. Bei Lüftungsanlagen erfolgte die Abklebung an den Filtern der Zu- und Abluftkanäle im Gerät. Hierbei zeigten sich grundlegende, konzeptionelle Unterschiede in der Gebäudeplanung. Bei manchen befand sich die Lüftungsanlage außerhalb des beheizten Gebäudevolumens und außerhalb des Messvolumens. Alle Zu- und Abluftführungen einschließlich der sonstigen Installationen durchstießen dann in einem vergleichsweise kleinen Technikbereich die Gebäudehülle.

Messgröße war dabei die Luftwechselrate bei einem Prüfdruck von 50 Pascal. Das Messsystem bestand aus einer Minneapolis Blower Door (Modell 4.1) DG-700, Auswertesoftware Tectite Express Vers. 5.1 sowie zur Leckageortung ein Thermoanemometer Swema Air 40 und zur Visualisierung TEC Fog Puffer™ KIT.

Nach Messungen an 15 Gebäuden als Teil des Wettbewerbs 2022¹ wurden im Februar 2025 Wiederholungsmessungen an vier der acht im Living Lab verbliebenen Gebäude durchgeführt². Dies waren die Gebäude der Teams von Biberach, Delft, Aachen und Prag. Aufgrund der bereits im Wettbewerb festgestellten hohen Undichtigkeit der anderen vier Gebäude erfolgten dort keine Wiederholungsmessungen, da keine Maßnahmen durchgeführt wurden. Vergleichende Untersuchungen aus der Gebäudepraxis wurden u.a. 2005 veröffentlicht³.

Ergebnisse

Bei drei der untersuchten Gebäude hatten sich die Ergebnisse mehr oder weniger deutlich verschlechtert, bei einem weiteren konnte keine Veränderung festgestellt werden, Abbildung 1.

Besonders auffällig waren die Verschlechterungen bei den Gebäuden von Delft und Aachen. Beim TUD Gebäude liegt der Technikraum mit Lüftungsgerät und Wärmepumpe außerhalb der wärmedämmten Hülle. Bereits im Wettbewerb war festzustellen, dass solche Strategien zumeist

in höheren Undichtheiten resultieren. Diese Undichtheiten konnten zugenommen haben. Die Verschlechterung beim FHA Gebäude lag im Wesentlichen an den nicht mehr korrekt anliegenden Dichtungen bei einer der großen Schiebetüren und einem Fenster. Nach erfolgter Abdichtung lag das Drucktestergebnis nur unwesentlich über dem Wert von 2022.

Für das HBC Gebäude lag der Messwert geringfügig über dem Wert von 2022. Dabei war zu berücksichtigen, dass dieses Gebäude über mehrere 100 Meter versetzt wurde. Besonders erfreulich war die Bestätigung der wiederholt hohen Luftdichtheit beim Gebäude der TU Prag. Hier lieferten die Wiederholungsmessungen einen im Rahmen der Messgenauigkeit identischen Wert.

Fazit

Die Ergebnisse der Wiederholungsmessungen sind in guter Übereinstimmung mit den Feststellungen aus der ersten Messreihe 2022. Dabei wurde bereits auf die Herausforderungen bei externen Technikräumen und mangelndem Anpressdruck bei Fenster- und Türdichtungen hingewiesen. Erstmalig gut getestete Gebäude haben sich als weiterhin gut luftdicht erwiesen.

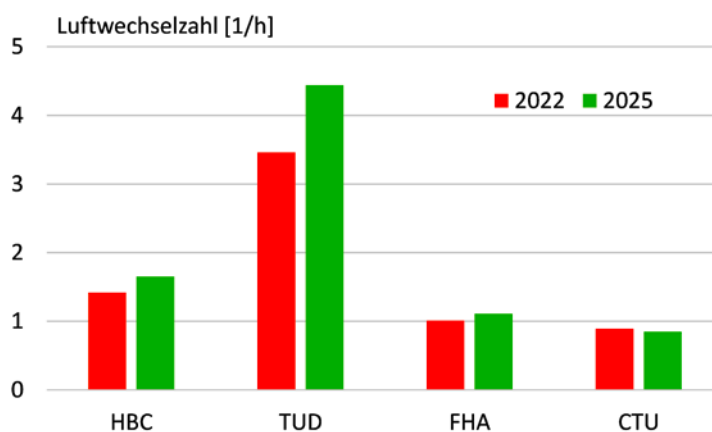


Abbildung 1:
Ergebnisse der Wiederholungsmessungen

1 Voss, K., Hansen, H., Kaliga, M., Kalpkirmaz Rizaoglu, I.: Solar Decathlon Europe 2022 - Bauphysikalische Ergebnisse von Demonstrationsgebäuden, Bauphysik Kalender 2023, Ernst & Sohn GmbH & Co. KG.

2 Berg, S., Hansen, H., Hansen, L.: Blower Door Test, interner Bericht 2647-2, Hansen und Partner, Wuppertal, 2025

3 Peper, S., Kah, O., Feist, W.: Zur Dauerhaftigkeit von Luftdichtheitskonzepten bei Passivhäusern – Feldmessungen, Passivhaus Institut, 2005, https://passiv.de/downloads/05_luftdichtheit.pdf

sommerliches mikroklima im nahen gebäudeumfeld

Karsten Voss, Tugcin Kirant Mitic

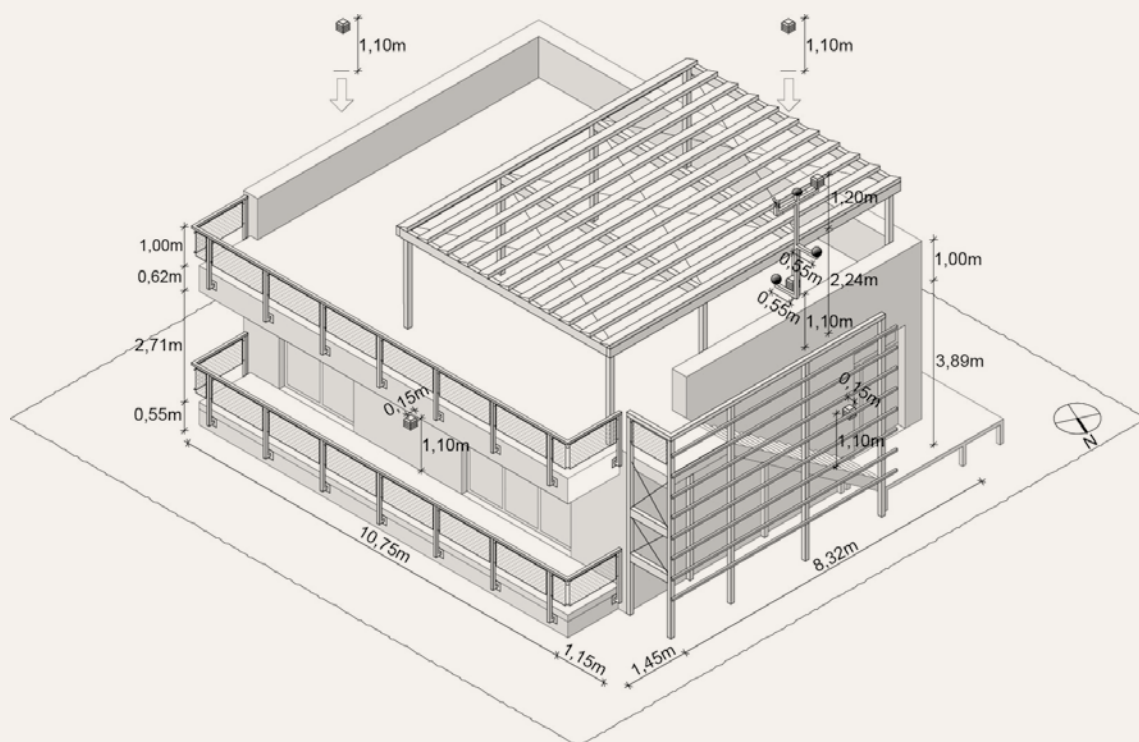
In den letzten Jahren wächst das Interesse an Klimadaten für die unmittelbare Umgebung von Gebäuden sowie innerhalb von Quartieren und Städten. Stichworte sind das Mikroklima und urbane Wärmeinseln. Vor diesem Hintergrund wurde das CTU Gebäude im Living Lab NRW mit einer Wetterstation und Temperaturmess-technik an den baugleichen Fassaden in allen vier Himmelsrichtungen sowie zwei teilweise überdachten Außenbereichen ausgestattet. Die Analysen beziehen sich schwerpunktmäßig auf die Messergebnisse im August 2024. Langzeitmessungen an fünf weiteren Gebäuden auf dem Gelände und für andere Zeiträume ergänzen die Betrachtungen.

Hintergrund

Die Erwärmung der Luft in der näheren Umgebung von Gebäuden wird wesentlich durch die Materialität von Wegen, Fassaden und Dächern, durch Pflanzen sowie durch bauliche Maßnahmen wie Überdachungen bestimmt. Entscheidende physikalische Kenngrößen der Oberflächenmaterialien sind der solare Reflexionsgrad und die Temperaturleitfähigkeit. Hohe Übertemperaturen gegenüber der Lufttemperatur in der freien Umgebung treten insbesondere bei Windstille auf, während bei höheren Windgeschwindigkeiten der höhere konvektive Wärmeübergang die Temperaturunterschiede ausgleicht.

Die operative oder empfundene Temperatur von Personen im Außenraum wird neben der Lufttemperatur wesentlich durch den Strahlungsaustausch mit umgebenden Flächen wie beispielsweise Gebäudefassaden und unmittelbar den Körper treffende Sonneneinstrahlung bestimmt. Pflanzen oder bauliche Maßnahmen, wie z. B. Vordächer, bewirken eine Verschattung, senken damit die operative Temperatur am Ort der Verschattung und erhöhen die sommerliche Aufenthaltsqualität.

Abbildung 1:
Schematische
Darstellung der
Sensorik



Bei dem untersuchten Gebäude handelt es sich um das der CTU. Das als Passivhaus in Holzständerbauweise realisierte Gebäude besitzt eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade mit großformatigen, hellgrauen Platten aus Faserzement mit einem Lichtreflexionsgrad von 35 %. An der Ostseite besitzt das Gebäude eine überdachte Terrasse mit einer Tiefe von 1,45 m. An der Westseite und Teilen der Süd- und Nordseite befindet sich ein umlaufender Gang aus Holz für die barrierefreie Erschließung. Gang, Terrasse, Treppe und Dachterrasse sind mit Lärchenholzdielen belegt, deren Reflexionsgrad vor Ort zu 20 % bestimmt wurde. Die Dachterrasse wird durch eine offene Metalllamellenstruktur mit Südausrichtung als Pergola verschattet. Diese Lamellen sind mit Solarmodulen belegt.

Messaufbau

Die Wetterstation befindet sich oberhalb der Pergola der Dachterrasse. Darüber hinaus werden die Lufttemperatur 1,1 m oberhalb des Bodens der Dachterrasse sowie die dazu korrelierende Empfindungstemperatur mit einem Globe-Thermometer Durchmesser gemessen. Ein weiteres Globe-Thermometer misst die Empfindungstemperatur ohne Beschattung auf der Höhe der Pergola. An allen vier Fassaden befinden sich strahlungsgeschützte Lufttemperaturlogger in einer Höhe von 1,1 m (Nord, West, Ost) bzw. 1,5 m (Süd) im Abstand von 15 cm vor den Fassadenplatten. Sämtliche Daten wurden als 5-Minutenwerte abgelegt und ausgewertet. Tabelle 1 listet die eingesetzte Sensorik, Abbildung 1 zeigt die Anordnung anhand einer Isometrie des Gebäudes.

Ergebnisse

Die sommerlichen Analysen beziehen sich auf Messungen im August 2024. In dieser Zeit war es überwiegend sommerlich warm bis heiß. Tabelle 2 fasst die Statistik aller Messdaten über den gesamten Zeitraum zusammen.

Bezeichnung	Höhe	Abstand	Sensortyp	
Globe-Temperatur, frei	Pergoladach	0,5 m	Ahlborn, 4-Leiter PT 100 Klasse B	
Globe-Temperatur, Dachterrasse	1,1 m	0,5 m	Ahlborn, 4-Leiter PT 100 Klasse B	
Lufttemperatur Dachterrasse	1,1 m	0,15 m	Ahlborn, 4-Leiter PT 100 Klasse B	
Lufttemperatur Fassade Süd	1,5 m	0,15 m, mittig	HOBO U12-12 logger	±0,1°C
Lufttemperatur Fassade West	1,1 m	0,15 m, mittig	HOBO U12-12 logger	±0,1°C
Lufttemperatur Fassade Nord	1,1 m	0,15 m, mittig	HOBO U12-12 logger	±0,1°C
Lufttemperatur Fassade Terrasse Ost	1,1 m	0,15 m, mittig	HOBO U12-12 logger	±0,1°C

Tabelle 1:
Auflistung der Sensorik.

Aufenthaltsbereiche

Abbildung 2 zeigt die Zeitreihen der Messdaten der Wetterstation zusammen mit den auf der Dachterrasse gemessenen Werten auf der Basis von 5-Minuten-Werten. Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt für zwei durchgehend sonnige Tage. Die auf der Dachterrasse gemessene Lufttemperatur ist im Durchschnitt 1 °C höher als die Daten der Wetterstation. Ähnliche Effekte werden bei anderen Gebäudeterrassen auf dem Living Lab Gelände festgestellt¹. Der Hauptanstieg wird tagsüber beobachtet und ist daher auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Terrasse zeitweise das Sonnenlicht absorbiert. Die vom Kugelthermometer der Wetterstation aufgezeichnete gefühlte Temperatur liegt bis zu 14 °C über der Lufttemperatur, wenn die Sonne scheint. Unterhalb der Pergola beträgt der wahrgenommene Temperaturanstieg maximal 10 °C, je nachdem, ob dieser Bereich vollständig oder teilweise beschattet ist. Die Messungen dokumentieren den deutlich verbesserten sommerlichen Wärmekomfort von teilverschatteten Räumen an oder um Gebäude.

Fassaden

Die Sonneneinstrahlung bewirkt eine aufwärts gerichtete Auftriebsströmung. Die Luftströmung resultiert aus der Erwärmung der Luft durch die Absorption der Strahlung an der Fassade selbst, aber auch am Boden vor der Fassade. Wie Tabelle 2 zeigt, lagen die gemessenen mittleren Lufttemperaturen an den voll besonnten Fassaden zwischen 0,7 °C (West) und 0,9 °C (Süd) über den mit der Wetterstation gemessenen Werten, während an der Nordfassade mit überwiegend abendlicher Sonneneinstrahlung der Anstieg nur 0,4 °C betrug. Auf der Ostseite überlagern sich die Effekte der Sonneneinstrahlung und der Überdachung zu einem Anstieg von 0,8 °C. Bei den Maximalwerten traten an der West- und Südfassade Übertemperaturen von bis zu 5 °C auf, während es an der Ost- und Nordfassade nur 2 °C waren. Ähnliche Effekte wurden bei anderen Gebäuden am gleichen Standort in früheren Studien beobachtet¹.

Abbildung 4 zeigt die Zeitreihe der gemessenen Lufttemperaturen auf Basis der 5-Minuten-Auflösung, während Abbildung 5 einen Ausschnitt mit

¹ Kirant-Mitic, T., Voss, K.: Microclimate Analysis – Findings from Living Lab NRW project, project report, University Wuppertal, School of Architecture and Civil Engineering, 2023

Bezeichnung	Einheit	min	max	Φ	ΔΦ
Globalstrahlung	W/m ²	0	1.093	204	-
Lufttemperatur	°C	10,4	34,0	20,2	-
Relative Luftfeuchte	%	23,9	99,3	72,5	-
Windgeschwindigkeit	m/s	0	7,6	1,0	-
Windrichtung	Grad	-	-	201	-
Globe-Temperatur, frei	°C	8,6	53,3	23,4	+ 3,2
Globe-Temperatur, Dachterrasse	°C	9,1	46,7	21,6	+ 1,5
Lufttemperatur Dachterrasse	°C	11,9	36,4	21,2	+ 1,0
Lufttemperatur Fassade Süd	°C	10,0	38,6	21,0	+ 0,9
Lufttemperatur Fassade West	°C	9,8	39,0	20,9	+ 0,7
Lufttemperatur Fassade Nord	°C	10,0	36,3	20,6	+ 0,4
Lufttemperatur Fassade Terrasse Ost	°C	10,5	35,5	21,0	+ 0,8

Tabelle 2:

Statistische Übersicht aller Daten während der sommerlichen Messperiode vom 1. bis 31.8.2024. Basis sind 5-Minutenwerte. Zusätzlich ausgewiesen sind die mittleren Temperaturunterschiede ΔΦ gegenüber der Referenz, gemessen an der Wetterstation.

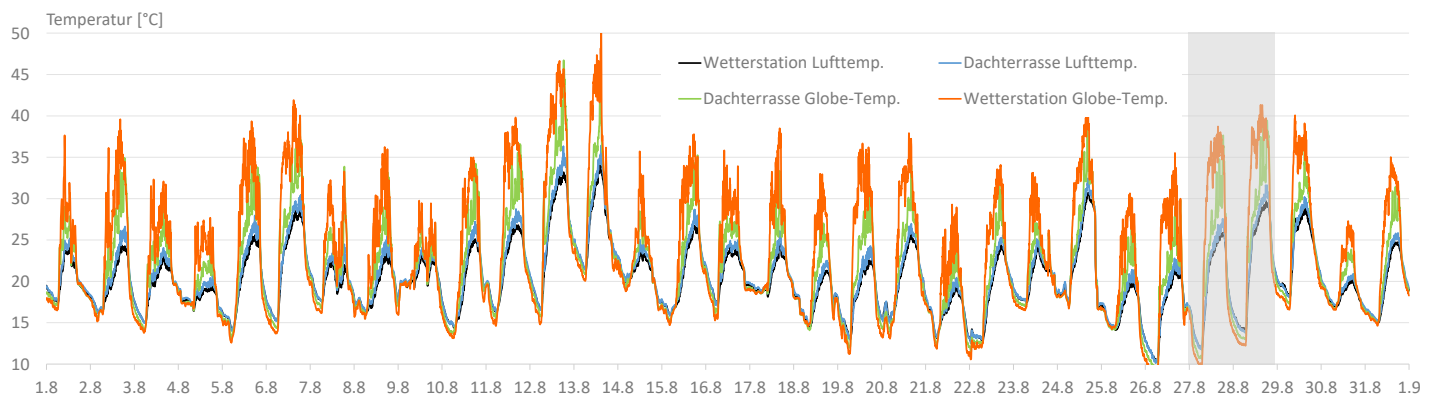


Abbildung 2:
Zeitlicher Verlauf der Luft-
temperaturen im August 2024.
Grau hinterlegt ist der Aus-
schnitt für die Detaillierung in
Abbildung 3

Abbildung 3:
Detailbetrachtung der Luft-
temperaturen an zwei durch-
gängig sonnigen Tagen.
Zusätzlich aufgenommen
wurde die Globalstrahlung.

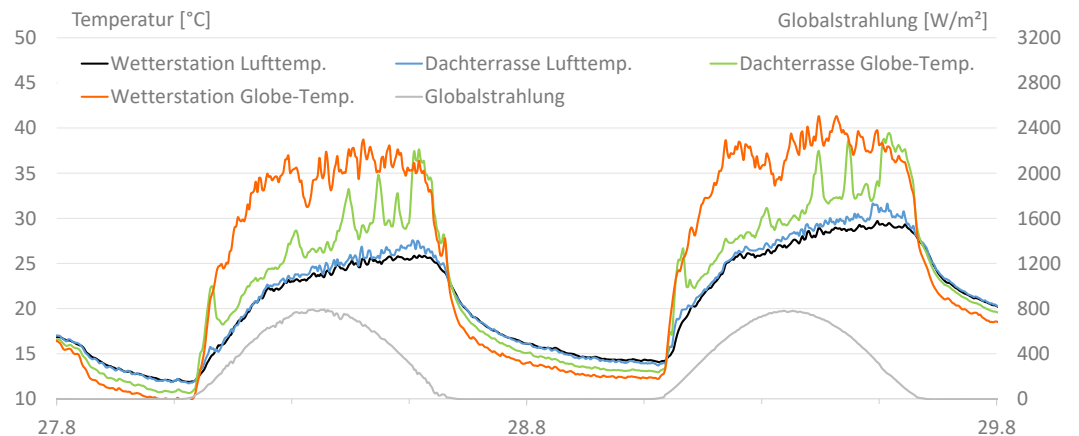
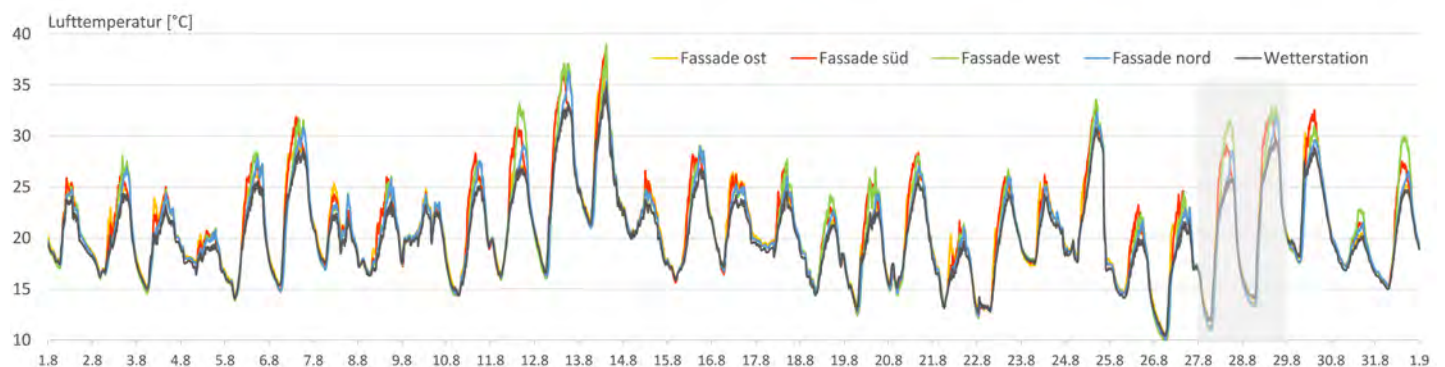


Abbildung 4:
Zeitlicher Verlauf der Luft-
temperaturen im August 2024.
Grau hinterlegt ist der Aus-
schnitt für die Detaillierung in
Abbildung 5

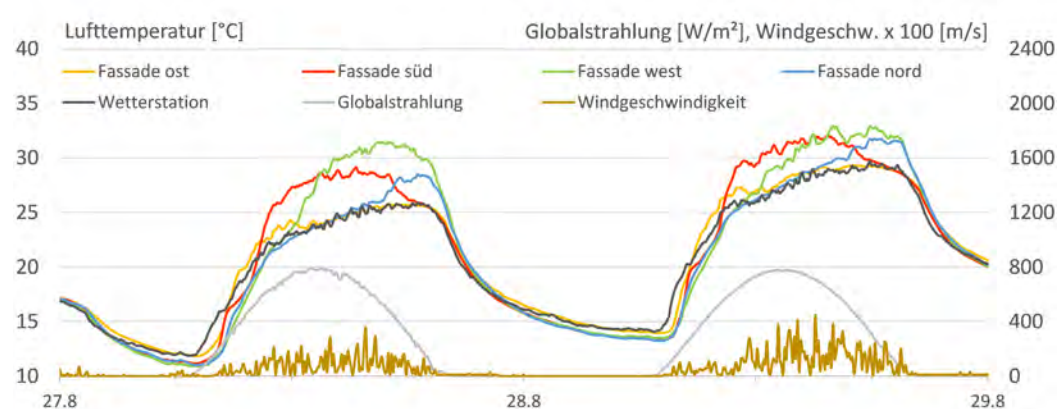


Abbildung 5:
Detailbetrachtung der Luft-
temperaturen an zwei durch-
gängig sonnigen Tagen. Zu-
sätzlich aufgenommen wurden
die Globalstrahlung und die
Windgeschwindigkeit.

zwei Sonnentagen und einer zusätzlichen Darstellung der Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit zeigt. Der wechselnde Sonnenstand im Tagesverlauf sorgt dafür, dass die Auswirkungen zunächst an der Ostfassade und schließlich an der Nordfassade zu beobachten sind. Da die Ostfassade ab ca. 10 Uhr beschattet wird, ist der Temperaturverlauf dann ähnlich wie bei der Wetterstation. Deutlicher sichtbar sind dagegen die Reaktionen an der unverschatteten Süd- und Westfassade. Nach dem Ende der jeweiligen Sonneneinstrahlung sinken die Temperaturen schnell wieder auf das Niveau der Wetterstation. Nennenswerte Speichereffekte sind aufgrund der geringen Materialstärke der Fassadenplatten nicht vorhanden.

Fazit

Die durchgeführten Untersuchungen haben am Beispiel eines heißen Sommermonats den Einfluss der Absorption der Sonnenstrahlung auf die Umgebungstemperatur eines Gebäudes gezeigt. An sonnigen Tagen lagen die Lufttemperaturen zeitweise um bis zu 5 °C höher. Da es jedoch nachts keine Einflüsse gibt, liegen die gemessenen Monatsmittelwerte unter 1 °C höher. Selbst unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit bleiben die Einflüsse aber erheblich. Auswirkungen auf das Innenraumklima können sich ergeben, wenn Zuluft aus dem fassadennahen Bereich durch Fensterlüftung oder Lüftungsanlagen in das Gebäude gelangt.

Die Messung der Lufttemperatur auf der Dachterrasse dokumentiert eine um 1 °C höhere Temperatur im Vergleich zur Wetterstation. Das Ausmaß ist abhängig vom Grad des baulichen Sonnen- und Windschutzes und – ähnlich wie bei den Fassaden – von der Materialität und Farbe der umgebenden Flächen. Die experimentellen Ergebnisse sind daher nur beispielhaft. Die Messungen der gefühlten Temperatur mit Globalthermometern verdeutlichen den positiven Einfluss von Verschattungsstrukturen wie Vordächern oder Terrassendächern auf die Aufenthaltsqualität in Gebäudenähe im Sommer.

Weitere Details und vergleichende Simulationsrechnungen enthält eine wissenschaftliche Veröffentlichung².

2 Voss, K., Kirant-Mitic, T.: Summer microclimate in the nearby building environment - An experimental case study, Central Europe towards Sustainable Buildings, Proceedings, Prague, 2025



tageslicht in innenräumen

Isil Kalpkirmaz Rizaoglu, Karsten Voss

Die Gebäude im Living Lab NRW wurden für eine Wohnnutzung entworfen. Daher ist eine angemessene Tageslichtverfügbarkeit ein wichtiges Entwurfskriterium. Im Folgenden wird am Beispiel eines ausgewählten Gebäudes die messtechnische Analyse der Tageslichtverhältnisse in Innenräumen vorgestellt. Die Messdaten wurden anschließend mit den Ergebnissen aus einem Simulationsmodell kritisch verglichen.

Beispielgebäude

Für die Untersuchung wurde das CTU-Haus im Living Lab genutzt. Sowohl der Gemeinschaftsraum als auch der Schlafraum des Gebäudes verfügen über großzügige Fensterflächen, Abbildung 1. Das Fenster-Wand-Verhältnis des Gemeinschaftsraums beträgt 33 %, das Fenster-Boden-Verhältnis des gesamten Hauses 28 %. Die lichte Raumhöhe liegt bei 2,7 m. Auf der Westseite befindet sich zudem eine horizontale Auskragung als konstruktives Verschattungselement mit einer Tiefe von 1,6 m und einer Breite von 8 m.

Abbildung 1:
Innenansicht vom
Gemeinschaftsraum
des CTU-Gebäudes

© Sigurd Steinprinz,
Bergische Universität
Wuppertal



Vorgehensweise

Für die Bewertung des Tageslichts wurden in-situ-Messungen und Tageslichtsimulationen durchgeführt. Als Kennwert für die Analyse der Tageslichtverfügbarkeit wurde der Tageslichtquotient (D) gewählt, da dieser einen direkten Vergleich zwischen Messungen und Simulationen ermöglicht, ohne dynamische Lichtverhältnisse berücksichtigen zu müssen. Sowohl während der Messungen als auch im Simulationsmodell werden nur fest eingebaute Möbel (z. B. Kücheneinbauten) berücksichtigt, nicht jedoch bewegliche Möbel. Der Tageslichtquotient beschreibt das Verhältnis der innen gemessenen horizontalen Beleuchtungsstärke (E_{innen}) zu der außen gemessenen horizontalen Beleuchtungsstärke ($E_{\text{außen}}$) unter einem unverschatteten, bedeckten Himmel¹. Die Messungen wurden am 30. Oktober 2024 unter bewölkten Wetterbedingungen durchgeführt. Während der gleichzeitig im Innen- und Außenraum durchgeführten Messungen lag die außen gemessene Beleuchtungsstärke zwischen 10,97 und 11,24 kilolux.

Gemäß EN 170371 gelten ein Zielwert des Tageslichtquotienten (DT) von 2,2 % für 50 % der relevanten Fläche sowie ein minimaler Wert (DTM) von 0,7 % für 95 % dieser Fläche.

Für die in-situ-Messungen der Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten, und damit auch für die Bestimmung der visuellen Lichttransmissionsgrade sowie der Lichtreflexionsgrade der begrenzenden Flächen, wurden digitale Luxmessgerät des Typs Minilux2² verwendet.

Als Simulationswerkzeug kam ClimateStudio³ zum Einsatz, ein Plug-in für das 3D-Modellierungsprogramm Rhinoceros 3D⁴. Das Simulationsmodell umfasst alle Raum- und Fassadendetails mit einer Toleranz von 2 cm. Die Höhe der Berechnungsebene betrug 0,9 m über dem Boden, und der Standardabstand für das Berechnungsraster lag bei 1,2 m; für detaillierte Untersuchungen wurde die räumliche Auflösung entsprechend erhöht. Die Methoden und Werkzeuge sind in Abbildung 2 dargestellt.

1 Kirant-Mitic, T., Voss, K.: Microclimate Analysis – Findings from Living Lab NRW project, project report, University Wuppertal, School of Architecture and Civil Engineering, 2023

2 Marx, P. (o. D.). Minilux. MX-Electronic. <https://mx-electronic.com/light-measurement-technology.html>

3 Solemma. (o. D.). ClimateStudio [Computer-Software]. <https://www.solemma.com/climatestudio>

4 Robert McNeel & Associates. (n.d.). Rhinoceros 3D [Computer-Software]. <https://www.rhino3d.com/>

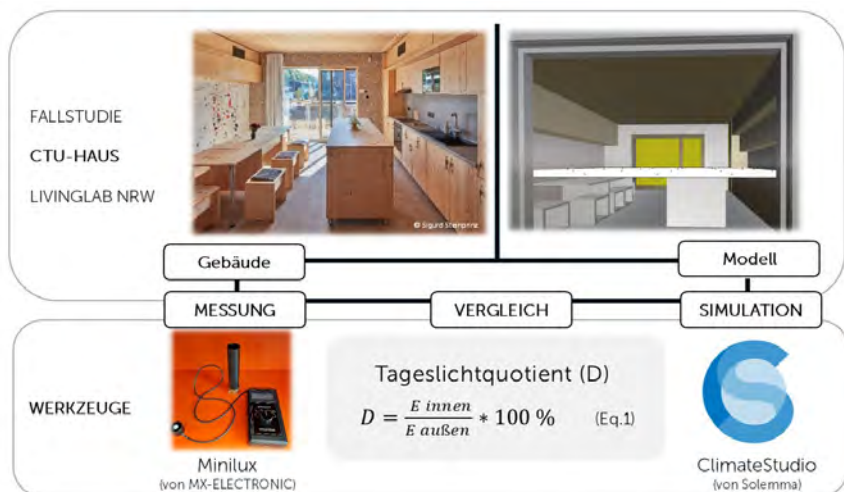


Abbildung 2:
Methoden und Werkzeuge

Tageslichtanalyse

Der Schwerpunkt lag zunächst auf der Erfassung der optischen Eigenschaften der Oberflächen, insbesondere der Lichttransmission und Lichtreflexion. Sie sind als spätere Eingabedaten für die Simulation entscheidend. Die simulierte Tageslichtverfügbarkeit fällt sehr häufig höher aus als die in realen Situationen gemessenen Werte⁵, was u. a. auf zu optimistischen Eingabedaten beruht.

Die optischen Eigenschaften der Oberflächen wurden in zwei Kategorien eingeteilt: (I) Werte, die während der Entwurfsphase auf Empfehlungen und/oder normativen Vorgaben basierten, und (II) Werte, die vor Ort gemessen wurden. Die optischen Eigenschaften sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Ergebnisse

Es entstanden zwei Simulationsmodelle: Eine Designwerte-basierte Simulation, die auf den während der Entwurfsphase angenommenen optischen Eigenschaften beruht, und eine Messwerte-basierte Simulation, die auf gemessenen optischen Eigenschaften der umgebenden Oberflächen basiert. Wie in Abbildung 3 dargestellt, zeigt die Designwerte-basierte Simulation eine höhere Tageslichtverfügbarkeit als die Messwerte-basierte Simulation.

Der in Abbildung 4 dargestellte Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Messdaten verdeutlicht, dass die Messwerte-basierte Simulation die reale Tageslichtperformance deutlich besser repräsentiert als die Designwerte-basierte Simulation. Die mittleren D-Werte, berechnet als arithmetisches Mittel der Messpunkte, betragen für die Designwerte-basierte Simulation 1,90 %, für die Messwerte-basierte Simulation 1,44 % und

⁵ Kalpkirmaz Rizaoglu, I., Voss, K., Liberska, M., Tywoniak, J. (2025). Input and Output Transformations in Daylighting Simulations: Teaching methods and materials for integrated daylighting teaching. In 6th Central European Symposium on Building Physics (CESBP 2025), Budapest, Ungarn

Bauteil	Material	Designwerte (Entwurfsphase)	Messwerte (nach Fertigstellung)
Lichtreflexionsgrad opaker Oberflächen [%]			
Gelände	Erde / Boden	0,20	0,20
Gebäudedeck	Holzwerkstoff	0,20	0,20
Fassadenoberfläche	Faserzementplatte	0,30	0,35
Bodenbelag			
- Flur	Dunkelgrauer Vinylboden	0,30	0,25
- übrige Räume	Hellgrauer Vinylboden	0,40	0,37
Decke	OSB-Platte	0,70	0,42
Wände			
- Gemeinschaftsraum (teilweise)	Weißer Tapete mit Handzeichnungen	0,90	0,60
- Küche	Graue Fliesen	0,50	0,35
- Fensterrahmen	Holzwerkstoff	n.v.	0,63
Möbel	Brettspertholz (CLT)	0,60	0,56
Lichttransmission [%]			
Fensterverglasung	6-18(Ar)-4-18(Ar)-4	0,70	0,66
Tür - Teilverglasung	4-18(Ar)-4-18(Ar)-4	0,70	0,66

Tabelle 1:
Optische Eigenschaften der Bauteile

für die In-situ-Messungen 1,40 %. Dieser Vergleich zeigt, dass ein kalibriertes Modell, das vor Ort gemessene optische Eigenschaften einbezieht, die tatsächliche Tageslichtperformance sehr gut annähert.

Fazit

Die Untersuchung zeigt, dass die simulierte Tageslichtperformance, hier ausgedrückt über den Tageslichtquotienten (D), höher ausfällt als die gemessene Performance. Diese Diskrepanz entsteht, weil die tatsächlichen optischen Eigenschaften der Materialien, insbesondere Lichtreflexion und Lichttransmission, in der Regel geringer sind als die während der Entwurfsphase angenommenen Werte. Entwurfswerte stützen sich häufig auf technische Datenblätter, die unter idealen oder laborähnlichen Bedingungen erstellt wurden, und berücksichtigen reale Einflüsse wie Staub, Verfärbung, Alterung oder Abweichungen in der Ausführung nicht. Zudem ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu beach-

ten, dass das CIE-Modell des bedeckten Himmels eine standardisierte Darstellung mit vollkommen gleichmäßiger Leuchtdichteverteilung ist, während reale bedeckte Himmel aufgrund von Wolkendichte, atmosphärischen Bedingungen und Luftverschmutzung deutlich variieren können. Eine weitere Vorgehensweise könnte daher darin bestehen, über längere Zeiträume unter bedeckten Himmelsbedingungen zu monitoren und die Messwerte zu mitteln, um eine repräsentativere Vergleichsbasis zu erhalten.

Die Verwendung sowohl angenommener als auch gemessener optischer Eigenschaften in den Simulationen verdeutlicht, wie Kalibrierung funktioniert. Die hohe Übereinstimmung zwischen der gemessenen Tageslichtperformance und der Simulation, die auf den vor Ort nach Fertigstellung des Baus ermittelten optischen Eigenschaften basiert, unterstreicht den Wert integrierter Methoden für die Kalibrierung von Simulationsmodellen.

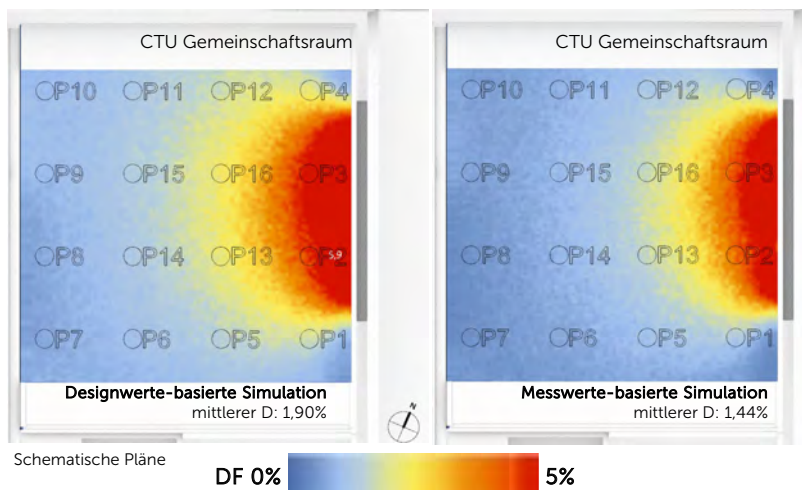


Abbildung 3:
Vergleich der Ergebnisse zur Tageslichtverfügbarkeit über den Tageslichtquotienten (D) zwischen der Designwerte-basierten Simulation und der Messwerte-basierten Simulation im Gemeinschaftsraum des CTU-Hauses⁵. P1 bis P16 beziehen sich auf die Mess- bzw. Simulationspunkte.

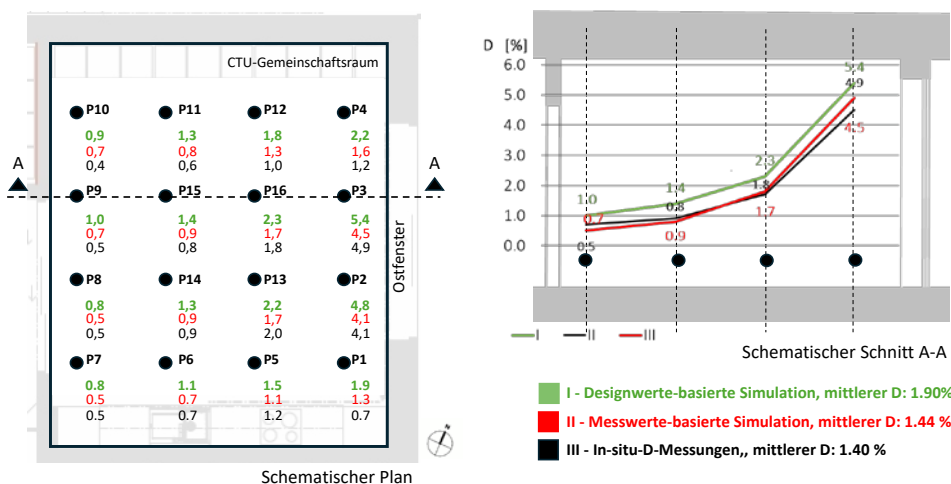


Abbildung 4:
Vergleich der Tageslichtverfügbarkeit (D: Tageslichtquotient) im Gemeinschaftsraum des CTU-Hauses: (I) D der Designwerte-basierten Simulation, (II) D der Messwerte-basierten Simulation und (III) D der In-situ-Messungen [5]. Links sind die D-Werte im schematischen Grundriss dargestellt, rechts die Variation dieser Werte (I, II und III) im schematischen Schnitt in Richtung des Fensters.

gebäudeintegrierte photovoltaik – modultemperaturen

Karsten Voss

Solarstromanlagen werden heute überwiegend aus Modulen mit kristallinen Siliziumzellen aufgebaut. Deren Wirkungsgrad nimmt mit steigender Temperatur ab. Bei der Integration von Modulen in die Gebäudehülle ist daher eine angemessene Wärmeabfuhr auch auf der Rückseite ein Kriterium. Ob und wie deutlich sich die Modultemperaturen je nach Art der Integration unterscheiden, wurde im Living Lab NRW an sechs Anlagen experimentell untersucht.

Hintergrund

Die elektrische Leistungsabgabe von Solargeneratoren folgt in erster Linie der Einstrahlung auf die Modulfläche und dem Wirkungsgrad der Module. Die Nennleistung und der Standardwirkungsgrad der Module werden unter genormten Prüfbedingungen bei 1.000 W Strahlungsleistung senkrecht zur Modulebene und 25 °C Modultemperatur bestimmt. Im realen Betrieb liegen solche Bedingungen nur äußerst selten vor, weshalb der jährliche Energieertrag nicht unmittelbar aus gemessenen Einstrahlungswerten und konstantem Wirkungsgrad bestimmt werden kann. Hohe Einstrahlungen insbesondere im Sommer bewirken eine Erwärmung der Module mehr oder weniger deutlich über die 25 °C. Dabei nimmt der Wirkungsgrad ab. Diese und weitere Effekte werden im sogenannten “performance ratio” zusammengefasst. Dieser drückt das Verhältnis des theoretisch möglichen zum real erreichten Ertrag aus¹. Während des Wettbewerbs wurden diese

¹ International Electro Technical Committee, „IEC 61724: Photovoltaic system performance monitoring guidelines for measurement, data exchange, and analysis“, 1998

Gebäude	Einbauort	Umgebung	Ausrichtung // 0° = Nord	Neigung // 0° = horizontal	Fabrikat	Modulleistung [Wp]	Temperaturkoeffizient [%/K]	Reflexionsgrad
NCT	Schrägdach	Außenraum	180°	11°	URE	420	-0,37	2
CTU	Dachpergola	Außenraum	156°	10°	eflex	85	-0,35	2
FHA	Fassade	Hinterlüftung	156°	90°	Sunovation	je nach Größe	-0,36	14
TUD	Fassade	Hinterlüftung	156°	90°	Kameleon Solar	je nach Größe	-0,36	6
HBC	Fassade	Hinterlüftung	156°	90°	ConSolar PVT	410	k.A.	2
UPH	Wintergarten	Pufferraum	156°	60°	Solarwatt	280	-0,38	2

Tabelle 1: Charakteristika der untersuchten PV-Anlagen

Tabelle 2: Liste der eingesetzten Messtechnik

	Logger	Sensor	
Modultemperatur	Hobo U12	TMC6-HE	± 0,25°C
Einstrahlung, Modul	Dydalog	IMT Siliziumsensor	-
Modultemperatur NCT	Hobo U30 NRC	onset-S-TMB-M0xx	± 0,25°C
Einstrahlung NCT, Modul	Hobo U30 NRC	onset-S-LIB-M003, Pyranometer	± 5%
Außentemperatur	Dydalog	Vaisala Kombisensor	± 0,3°C
Globalstrahlung	Dydalog	Kipp & Zonen Class B SMP6	-

Daten für alle aktiven Solaranlagen ausgewertet und in die Punktwertung einbezogen. Die Werte lagen zwischen 70 und 85 %².

Die untersuchten Anlagen

Die sechs im Living Lab untersuchten Anlagen repräsentieren unterschiedliche Arten von Modulen und Gebäudeapplikationen bzw. -integrationen, Tabelle 1³. Fast alle Anlagen bestehen aus Glas/Glas-Modulen mit monokristallinen Solarzellen. Eine Ausnahme bilden die Dünnschichtmodule bei der Dachpergola des CTU-Gebäudes. Gemäß den Datenblättern der verbauten PV-Module liegt die Leistungsabnahme bei steigender Modultemperatur im Mittel bei -0,36 % je Grad Temperaturerhöhung gegenüber den Prüfbedingungen. Die Unterschiede zwischen den Modulen sind gering. Ein Beispiel zeigt die Auswirkung auf: Bei 1.000 W Einstrahlung und 20 % Modulnennwirkungsgrad würden unter Standardprüfbedingungen 200 W elektrische Leistung erreicht, unter Berücksichtigung des mittleren Temperaturkoeffizienten gemäß Tabelle 1 wären es bei 50° Modultemperatur noch 191 W. Damit läge der Wirkungsgrad bei rund 19 %. Die Temperaturzunahme bei auftretender Solarstrahlung wird ganz wesentlich vom Reflexionsgrad der Module bestimmt. Dieser wurde vor Ort experimentell bestimmt, siehe Tabelle 1.

Die Art der Integration der Module in das Gebäude beeinflusst die Möglichkeit der Wärmeabgabe der Module an die Umgebung. Die Anlage auf dem NCT-Gebäude stellt eine typische Aufdachanlage dar, wie sie in der Praxis häufig anzutreffen ist. Zwischen den Modulen und dem darunterliegenden dunklen Blechdach besteht ein Abstand von ca. 20 cm. Die Module des CTU-Gebäudes bilden ein frei unterlüftetes Pergola-Dach. Die Module in den Fassaden der Gebäude FHA, TUD und HBC bilden die äußere Hülle von hinterlüfteten Vorhangfassaden. Die PV-Module des ungarischen Gebäudes sind Teil der Verglasung des Wintergartens (Einfachverglasung).

Die Temperaturmessungen erfolgten mit punktuell aufgeklebten Anlegefühlern auf der Rückseite der Module in Verbindung mit dezentralen Datenloggern. Bei der Positionierung der Fühler wurde darauf geachtet, dass die Stelle einerseits ausreichend repräsentativ, andererseits aber auch für die nachträgliche Montage gut erreichbar war. Hier waren Kompromisse erforderlich.

Der Messzeitraum lag zwischen Anfang April und Ende Mai 2025. In diesem Zeitraum lag die mittlere Außentemperatur bei 12 °C, bei maximal 23 °C. Die Solaranlagen waren während dieser Zeit elektrisch nicht in Betrieb, haben also keine Leistung abgegeben. Alle Daten wurden als 5-minütige Werte erfasst und für die Auswertung zu Stundenmitteln verdichtet. Anders als die Temperaturen der Moduloberflächen wurden die Strahlungs- und Klimadaten mit der zentralen Messtechnik des Living Labs aufgezeichnet. Nur beim NCT-Gebäude wurde die Einstrahlung auf die Modulfläche mit einem zusätzlichen Logger erfasst.

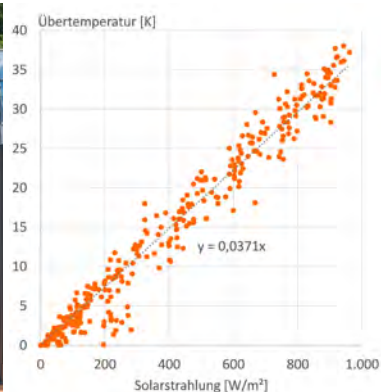
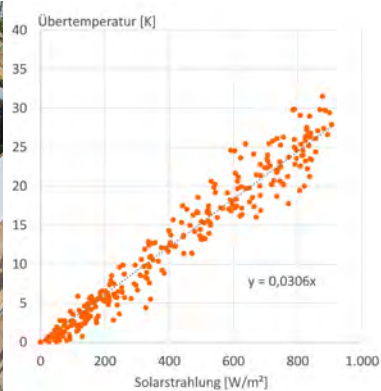
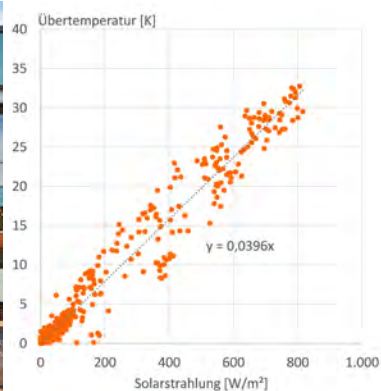
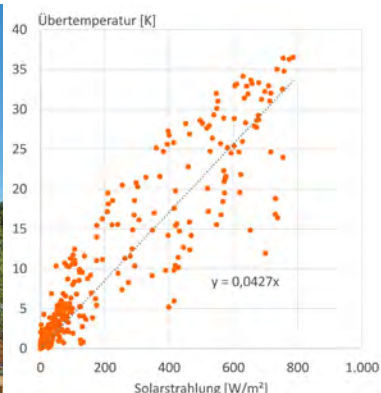
Ergebnisse

Die nachfolgenden Diagramme zeigen zu den untersuchten Anlagen die Übertemperatur als Funktion der Einstrahlung auf die Modulfläche. Als Übertemperatur wird die Temperaturdifferenz zwischen der gemessenen Modultemperatur und der mit der Wetterstation gemessenen Außentemperatur bezeichnet. Ausgewertet wurden nur Zeiten mit solarem Strahlungsangebot (Einstrahlung >0). Jeder Punkt des Kennfelds steht für ein Wertepaar aus stündlichen Mittelwerten. Neben der Punkteschar wird eine Trendlinie als linearer Fit und die dazugehörige Geradengleichung dargestellt. Starke Abweichungen von der Ausgleichsgerade weisen auf zusätzliche physikalische Prozesse wie unterschiedliche Windverhältnisse oder Verdunstung von Feuchtigkeit auf den Modulen nach klaren, kalten Nächten hin.

Die „Referenzanlage“ für einen üblichen Dachaufbau mit Hinterlüftung (NCT) zeigt einen eindeutig linearen Zusammenhang mit einem

2 Voss, K., Kalpkirmaz Rizaoglu, I., Balcerzak, A., Hansen, H.: Solar energy engineering and solar system integration – The solar Decathlon Europe 21/22 student competition experiences, Energy and Buildings, volume 285, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112891>

3 DIN EN 50583 VDE 0126-210: Photovoltaik im Bauwesen VDI Verlag, 2026



Temperaturanstieg von $0,037\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro Watt Strahlungsleistung. Dabei wirkt sich auch die dunkle Farbe des Blechdaches aus. Die Pergola PV des CTU-Gebäudes zeigt bei Solarstrahlung durch die freie Aufständering einen deutlich geringeren Temperaturanstieg ($0,031\text{ }^{\circ}\text{C/W}$). Dagegen ist die Erwärmung bei der Fassadenintegration bei Aachen etwas höher als bei der NCT-Anlage ($0,040\text{ }^{\circ}\text{C/W}$). Noch höher fällt die Erwärmung bei der TUD-Fassade aus ($0,043\text{ }^{\circ}\text{C/W}$). Hier könnte sich die Verbindung mit der Grünfassade beim FHA-Gebäude positiv auswirken.

Beide Fassaden besitzen Module mit höheren Reflexionsgraden. Dies gilt insbesondere für die Module beim FHA-Gebäude, siehe Tabelle 1. Einerseits senkt eine höhere Reflexion die Modultemperatur, andererseits sind beide Fassaden schlechter hinterlüftet als die frei hinterlüftete NCT-Anlage. Hier überlagern sich die Effekte und kompensieren sich anteilig.

Das HBC-Gebäude besitzt Module mit rückseitigem Luft-/Wasser-Wärmetauscher zur Nutzung der Abwärme der Module sowie der Wärme aus der Umgebungsluft (PVT). Auch diese Funktion war während der Messungen nicht in Betrieb. Durch den rückseitigen Wärmetauscher und eine gezielt erweiterte Hinterlüftungsebene wird die Wärme offenbar besser an die Umgebungsluft abgegeben. Der Anstieg der Übertemperatur mit der Einstrahlung fällt trotz sehr dunkler Module mit $0,034\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ geringer aus, als z. B. bei der Fassaden PV beim FHA-Gebäude.

Die PV-Verglasung im Wintergarten des UPH-Gebäudes besitzt die Besonderheit, dass hinter der Verglasung die Raumtemperatur des Wintergartens die innere Temperaturrandbedingung bildet: Je höher die Einstrahlung ist, desto mehr erwärmt sich der Wintergarten. Ab $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ Raumtemperatur wird der Wintergarten belüftet. Dies erklärt die Lage einiger Punkte unterhalb der

- Abbildung 1: Auswertung der Übertemperaturmessungen für die PV-Anlage des Gebäudes NCT. Gemessen wurde die Temperatur auf der Rückseite des linken Moduls der unteren Reihe.
- Abbildung 2: Auswertung der Übertemperaturmessungen für die PV-Anlage des Gebäudes CTU. Gemessen wurde die Temperatur auf der Rückseite des Moduls der dritten Reihe von unten im mittleren Feld.
- Abbildung 3: Auswertung der Übertemperaturmessungen für die PV-Anlage des Gebäudes FHA. Gemessen wurde die Temperatur auf der Rückseite des rechten Moduls der unteren Reihe.
- Abbildung 4: Auswertung der Übertemperaturmessungen für die PV-Anlage des Gebäudes TUD. Gemessen wurde die Temperatur auf der Rückseite des dritten Moduls von links in der unteren Reihe.

Trendlinie bei hohen Einstrahlungen. Die Trendlinie mit einem Korrelationskoeffizienten von $0,043\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ zeigt die am deutlichsten ausgeprägte Reaktion der Temperatur von allen untersuchten Anlagen. Bei Modulen in der oberen Reihe wären aufgrund der Lufttemperaturschichtung noch deutlichere Reaktionen zu erwarten.

Die ermittelten Korrelationen (linearer Fit) werden in Abbildung 8 vergleichend dargestellt. Neben den untersuchten PV-Anlagen wird als Vergleich die Korrelation für die vorgehängte Faserzementfassade beim CTU Gebäude abgebildet (gestrichelte Linie in Abbildung 8). Hier liegt der Absorptionsgrad der grauen Paneele bei 65 %, der Reflexionsgrad bei 35 %. Das Fassadenpanel besitzt rückseitig einen oben und unten schwach belüfteten Luftspalt von 40 mm. Bedingt durch den höheren Reflexionsgrad liegen die Temperaturen unter denen einer vergleichbaren PV-Fassade (FHA), aber ähnlich zu denen bei HBC.

Fazit

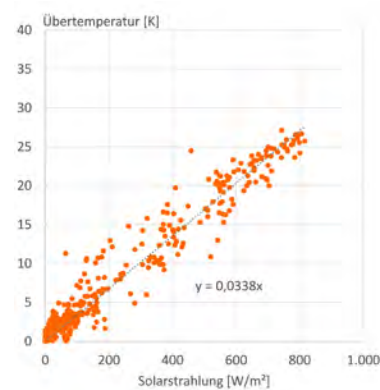
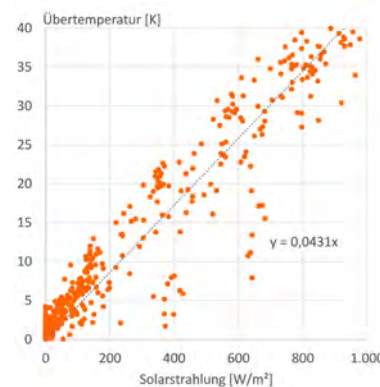
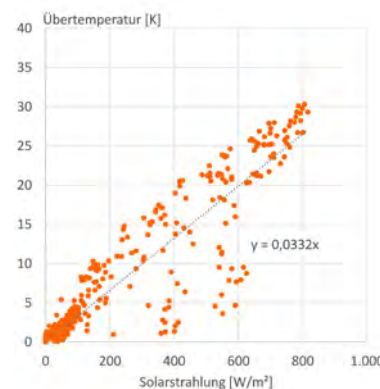
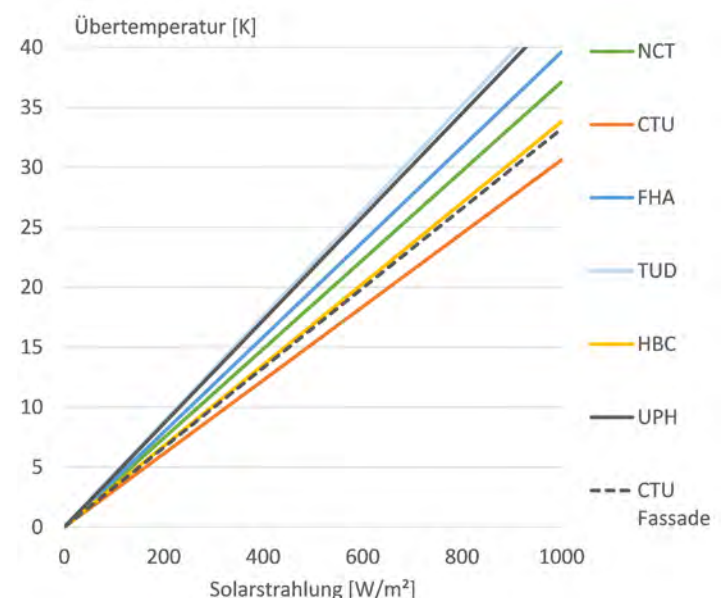
Mit Übertemperaturen von bis zu $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei 800 W Einstrahlung ordnen sich die Ergebnisse gut in bekannte Untersuchungen ein⁴. Neben dem solaren Reflexionsgrad der Module wirken sich der Grad der Hinterlüftung (Vorhangfassaden) und die rückseitige Temperaturrandbedingung (Wintergarten, ...) auf den Anstieg der Modultemperaturen aus.

Abbildung 5: Auswertung der Übertemperaturmessungen für die PV-Anlage des Gebäudes HBC. Gemessen wurde die Temperatur auf der Rückseite des zweiten Moduls von links in der unteren Reihe.

Abbildung 6: Auswertung der Übertemperaturmessungen für die PV-Anlage des Gebäudes UPH. Gemessen wurde die Temperatur auf der Rückseite des zweiten Moduls von links in der unteren Reihe.

Abbildung 7: Auswertung der Übertemperaturmessungen für die hinterlüftete Faserzementfassade des Gebäudes CTU. Gemessen wurde die Temperatur auf der Rückseite des Fassadenpanels rechts neben der Eingangstür.

Abbildung 8: Vergleichende Auswertung der Übertemperaturkennfelder auf Basis der linearen Fitfunktionen



thermische eigenschaften von verglasungen

Jan Tywoniak, Kamil Staněk, Karsten Voss,
Isil Kalpkirmaz Rizaoglu

Fenster und Verglasungen werden bei energetischen oder raumklimatischen Berechnungen meist vereinfachend als homogene Bauteile behandelt. Rahmen und Verglasungen besitzen aber durchaus unterschiedliche Eigenschaften. Bei genauerer Betrachtung zeigen sich auch inhomogene Eigenschaften der Glasflächen, insbesondere im Randbereich. Am Beispiel des CTU-Gebäudes wurden dazu experimentelle Untersuchungen im Living Lab NRW durchgeführt.

Hintergrund

Das wärmetechnische Verhalten von Fenstern wird im Detail durch mehrere Phänomene beeinflusst:

- Wärmetransportprozesse in den Hohlräumen zwischen den Glasscheiben,
- Strahlungswärmeübertragung zwischen der Innenoberfläche und den umgebenden Oberflächen des Raums,
- Konvektion an den Oberflächen zum Raum und an die Umgebung,
- variable Temperaturreandbedingungen von außen,

Ansicht der
Verglasung von
aussen und innen
© CTU Prag



- der Einfluss der einfallenden Sonnenstrahlung,
- Strahlungswärmeaustausch mit dem Himmel,
- Heiz- und Kühlflächen im Raum und
- mögliche Hindernisse wie Verschattungsvorrichtungen, sowie die Eigenschaften der angrenzenden Konstruktionen und Details eine wichtige Rolle spielen.

Häufig sind in der Praxis erhebliche Unterschiede bei der Oberflächentemperatur der raumseitigen Verglasung zu beobachten, selbst wenn die Lufttemperaturverteilung über die Höhe des Raumes gleichmäßig ist. So ist beispielsweise der untere Teil des Fensters aufgrund des Erreichens des Taupunkts anfälliger für Wasserdampfkondensation, insbesondere in der Nähe eines Abstandhalters. Die Auswirkungen gemischter Phänomene auf die Oberflächentemperatur von Verglasungselementen sind schwer zu quantifizieren. Die Ergebnisse von Standardberechnungen werden der Komplexität der Realität nicht gerecht und können nur in begrenztem Umfang überprüft werden. Für weitere theoretische Studien zur Behaglichkeit in Innenräumen, für eine genauere Berechnung des Energieverbrauchs und für die Entwicklungsarbeit ist es zweifellos nützlich, über effiziente Instrumente für die experimentelle Forschung in diesem Bereich zu verfügen.

Die Ostfassade des CTU-Gebäudes besitzt raumhohe Verglasungen, anteilig als feststehende Elemente und als Hebe-Schiebe-Türen. Es handelt sich um eine wärmetechnisch optimierte Ausführung mit Dreifachverglasungen in Holzrahmen^{1/2}, wie sie bereits bei Niedrigenergie- und Passivhäusern in großer Zahl erfolgreich eingesetzt wurde³. Im Rahmen der Living Lab-Aktivitäten wurden neben Langzeitmessungen der thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle besonders detaillierte experimentelle Untersuchungen der thermischen Eigenschaften der

großen Verglasungen im Gemeinschaftsraum durchgeführt (Breite 2,3 m, Höhe 2,25 m). Die Messungen fanden unter winterlichen Bedingungen im Januar 2025 statt. Die Aufgabe bestand darin, die thermischen Bedingungen auf und um die Verglasung herum mit Hilfe der Infrarottechnik zu messen. Dies war die erste Anwendung einer modifizierten Methode in einem realen Gebäude, die unter Laborbedingungen entwickelt wurde⁴.



Abbildung 1:
Raumseitiger Blick auf die Messanordnung mit Wärmeflussdichtemessplatten (rote Kreise), verschatteter und abgeklebter Glasfläche und grünen Stoffstreifen zur Sichtbarmachung der Lufttemperaturen über die Raumhöhe
© CTU Prag

- 1 Voss, K., Kalpirmaz Rizaoglu, I., Balcerzak, A., Hansen, H.: Solar energy engineering and solar system integration – The solar Decathlon Europe 21/22 student competition experiences, *Energy and Buildings*, volume 285, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112891>
- 2 Tywoniak, J., et al. Project Report: Thermal Performance of FIRSTLIFE House. *Buildings*. 2024, 14(11), ISSN 2075-5309. DOI 10.3390/buildings 14113600.
- 3 Informationen des Fensterherstellers Slavona, s.r.o., 2024 (nicht publiziert)
- 4 Tywoniak, J.; Staněk, K.; Kny, M. and Adamovský, D.: Studies on Internal Surface Heat Transfer in the Window Area. In: *E3S Web of Conferences Volume 172 (2020) - 12th Nordic Symposium on Building Physics (NSB 2020)*. Les Ulis Cedex A: EDP Sciences, 2020. E3S Web Conf. Vol. 172. ISSN 2555-0403.

Messaufbau

In der Mitte der großen Glasfläche wurden Sensoren für Wärmestromdichte, Oberflächentemperatur jeweils auf der Innen- und Außenseite angebracht.

Unter stationären Randbedingungen kann vereinfachend davon ausgegangen werden, dass die Wärmeübertragung ebenfalls stationär ist. Wenn ein Material mit geringer thermischer Trägheit und bekanntem Emissionsgrad im Luftraum angeordnet wird, sollte die Temperatur an seiner Oberfläche der Temperatur der Umgebungsluft nahe genug kommen. Diese Überlegung kann richtig sein, wenn die Abmessungen des Materials die Wärmeverteilung nicht wesentlich beeinflussen können und sich solche „Hindernisse“ an relevanten Stellen in Bezug auf die erwartete Wärmestromorientierung befinden. Für die praktische Anwendung im CTU-Gebäude kamen eine Reihe von dünnen Textilbändern mit einer Breite von 20 - 50 mm zum Einsatz, die in relevanten Abständen von der Oberfläche angebracht wurden. Zur Beobachtung wurde eine Infrarotkamera mit ausreichend hoher Auflösung eingesetzt. Die Textilbänder werden so positioniert, dass sie alle gleichzeitig in einem Bild dargestellt werden können. Aus der Bildauswertung entstehen die gewünschten Temperaturprofile entlang der Höhe des Raumes bzw. des eingebauten Fensters. Zusätzlich lässt sich die Lufttemperaturverteilung in Fensternähe detailliert untersuchen, indem das IR-Bild eines senkrecht angeordneten Papierblattes ausgewertet wird.

Eine bekannte Schwierigkeit bei der IR-Bildgebung sind Reflexionen an Glasoberflächen. Aus diesen Gründen wurde ein Streifen aus mattschwarzer Folie mit bekanntem Emissionsgrad (ϵ 0,95) über die gesamte Höhe auf die Glasoberfläche geklebt. Textilbänder (Dicke 0,1 mm, Breite 40 mm, 39 g/Laufmeter) wurden in verschiedenen Abständen von der Verglasung angebracht: 15 mm, 40 mm (entspricht der Breite des sichtbaren Teils des Rahmens), 200 mm (Abstand von der Verglasung zur umgebenden Wandfläche) und 1100 mm (entspricht der Luftverteilung im Raum). Der verglaste Bereich wird mit einem leichten Vorhang von außen beschattet.

Ergebnisse

Aus einem Zeitabschnitt der Messdaten mit quasi-stationären Temperaturrandbedingungen konnte der Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung unter Annahme der Standardwerte der Wärmeübergänge gemäß EN ISO 6946 zu $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bestimmt werden. Dies bestätigt die herstellereitigen Angaben. Zusätzliche Wärmestrom- und Temperatursensoren an der Innenfläche wurden wie in Abbildung 2 dargestellt angebracht. Die Messwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Es überrascht nicht, dass die Wärmestromdichten in der Nähe des Rahmens deutlich höher sind, als in der Mitte der Verglasung. Die Temperaturen an der Innenoberfläche sind in der Nähe des Rahmens deutlich niedriger. Der Wärmedurchgangskoeffizient in den Randbereichen

Wärmeflussdichte $Q \text{ [W/m}^2\text{]}$		Scheibenoberflächen- temperatur $T_s \text{ [}^\circ\text{C]}$			
Mitte	unten Mitte	Mitte	unten Mitte	unten rechts	aussen Mitte
Q1	Q2	Ts1	Ts2	Ts3	Ts, ext
9.4	15.1	19.6	15.7	13.0	7.2

Tabelle 1:

Gemessene Werte an der Verglasung

Zeitabschnitt 26.01.2025 0:00 - 26.01.2025 8:00

(Durchschnitte)

kann nicht direkt bestimmt werden, u. a. weil sich die Werte des Wärmeübergangswiderstands an diesen Stellen grundlegend von der Mitte der Verglasung unterscheiden. Gleichzeitig ist zu beachten, dass zum Zeitpunkt der Messungen ein relativ geringer Unterschied zwischen der Innen- und der Außenlufttemperatur bestand, was den Fehler erhöhte.

Abbildung 2 zeigt ergänzend ein IR-Bild und dessen Auswertung in Form von vertikalen Profilen, die den Positionen der Folie und der Bänder entsprechen.

Fazit

Die durchgeführte experimentelle Überwachung zeigte die Anwendbarkeit einer innovativen Methode, die relativ schnell ist und keine spezielle Ausrüstung erfordert, sofern die Forschungseinrichtung mit einer Infrarotkamera mit höherer Auflösung ausgestattet ist. Obwohl in unserem Fall die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft nur etwa 15 K betrug, waren die Temperaturprofile entlang der Höhe deutlich erkennbar und auswertbar.

Zur weiteren Vertiefung wird auch die Veröffentlichung in der Zeitschrift Bauphysik verwiesen⁵.

Hinweis

Die Arbeiten waren Teil des Projekts „Living Lab FIRSTLIFE“, 8J24DE009, das mit finanzieller Unterstützung des Ministeriums für Bildung, Jugend und Sport der Tschechischen Republik durch die Förderung bilateraler tschechisch-deutscher Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsprojekte im Rahmen der Mobilitätsaktivität durchgeführt wurde.

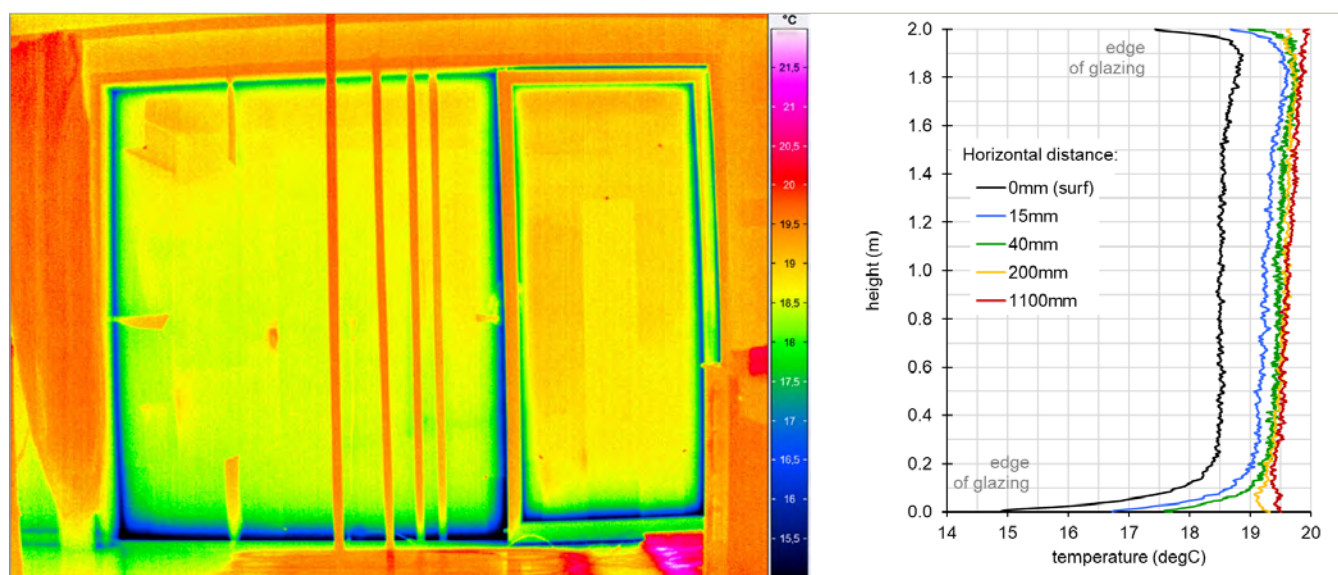


Abbildung 2:
Infrarotbild und dessen Auswertung in
Form von vertikalen Temperaturprofilen

⁵ Staněk, K.; Tywoniak, J.; Kalpkirmaz Rizaoglu, I.; Voss, K.; Monitoring der Raumlufttemperatur in der Nähe der Gebäudehülle durch Infrarotthermografie, Bauphysik 2/48, 2026, DOI: 10.1002/bapi.70040

gebäudeautarkie und stromnetze

Tugcin Kirant Mitic, Karsten Voss

Alle Gebäude im Living Lab NRW besaßen Solarstromanlagen und Batterien, waren aber mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden. Dies resultiert aus den Anforderungen des Regelwerks des SDE 21/22. Die Art der Interaktion mit dem Stromnetz ist das Ergebnis der Gebäudeintegration der Solaranlagen, der Anlagentechnik, des Verbrauchsverhaltens und der Regelungstechnik. Im Rückblick auf die Wettbewerbszeit wurden fünf Gebäude diesbezüglich beispielhaft betrachtet und für weitergehende Analysen genutzt.

Die Methodik

Für die Untersuchung wurden aufgrund ihrer Charakteristika fünf Gebäude aus dem SDE ausgewählt und in der Simulationsumgebung IDA ICE¹ einschließlich ihrer Solartechnik abgebildet. Drei davon waren Teil des Living Lab NRW. Ihre Solarstromanlagen vergleichbarer Leistung (3 kW) und Speicherkapazität (2,5 kWh) besaßen unterschiedliche Ausrichtungen und sind alle relativ flach geneigt, Abbildung 1.

1 <https://www.equa.se/de/ida-ice>

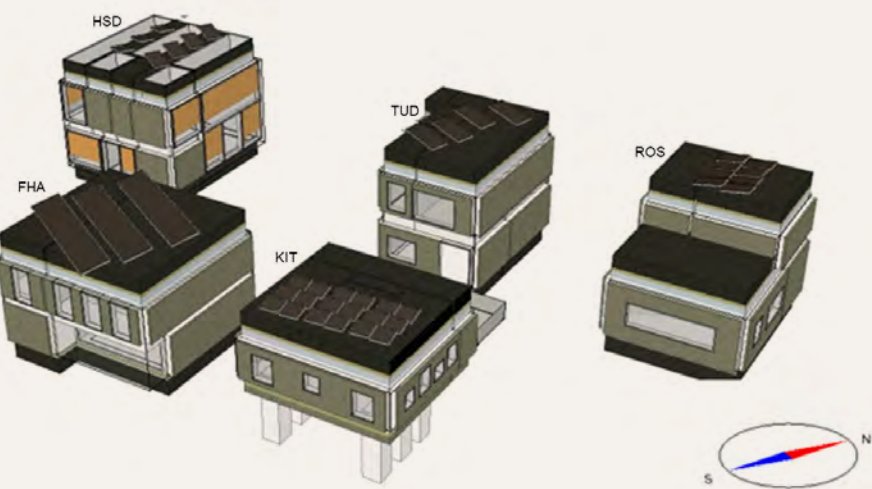


Abbildung 1:
Darstellung der fünf untersuchten Gebäude als Gebäudecluster in der Simulationsumgebung IDA ICE

	Orientierung	Neigung
HSD	90°/270°	10°
TUD	0°	10°
ROS	262°	12°
FHA	0°	15°
KIT	325°	10°

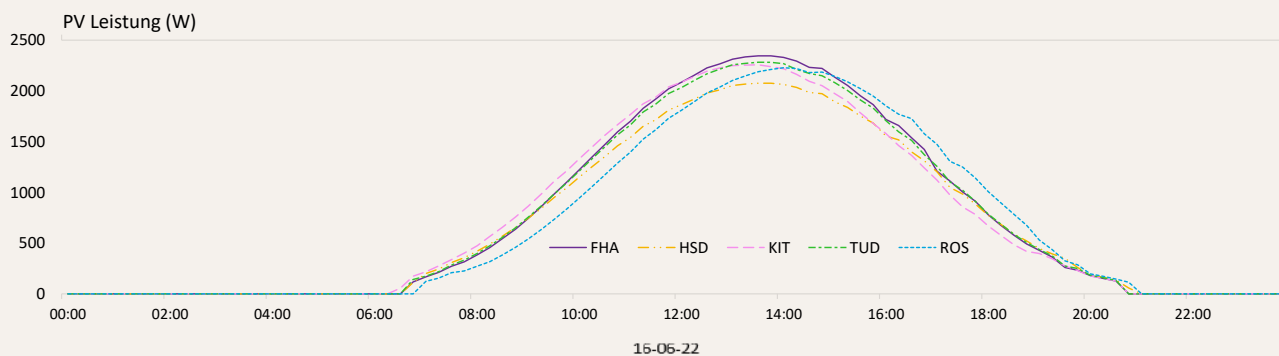
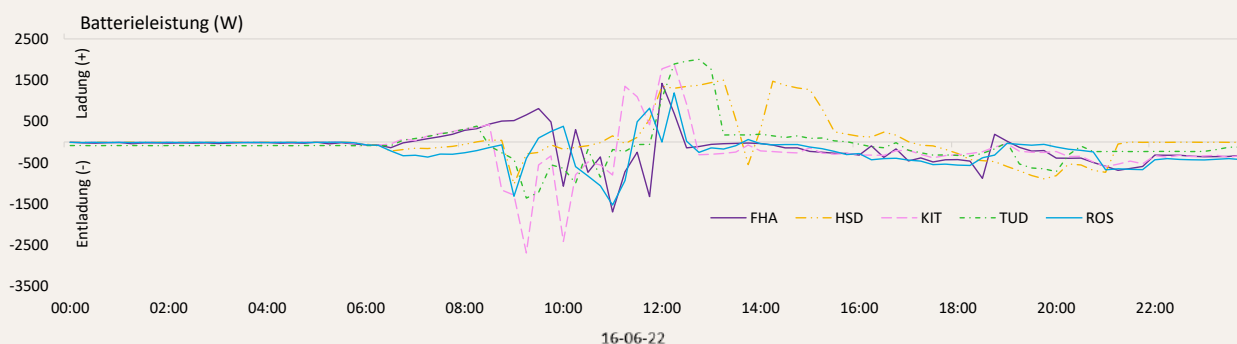
Tabelle 1:
Ausrichtung der Solaranlagen

Die Wetterdaten wurden mit einer zentralen Wetterstation auf dem Gelände erfasst. Nachdem die Einstrahlungsdaten auf die Flächen der Solaranlagen modelliert wurden, berechnet IDA ICE den zeitlichen Verlauf der Stromerzeugung. Ein Beispiel für die Tagesverläufe zeigt Abbildung 2. Im Falle des Gebäudes der HSD wird die kombinierte Erzeugung der beiden Anlagenteile mit Ost- und Westorientierung dargestellt. Trotz großer Unterschiede in der Ausrichtung unterscheiden sich die Erzeugungsprofile durch die geringe Neigung der Module nur geringfügig. Diese Erzeugungsdaten standen aus den Messungen im Wettbewerb nicht zur Verfügung, da nur die Kombination aus der Stromerzeugung und der Batterieentladung erfasst wurde. Durch die Modellbildung mit IDA ICE konnte in Verbindung mit den gemessenen Stromverbrauchsprofilen die Betriebsführungsstrategie und die Interaktion mit dem Netz nachgebildet und analysiert werden.

Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt beispielhaft für einen Tag das Lade- und Entladeverhalten der installierten Stromspeicher. Dabei zeigen sich Unterschiede, die im Wesentlichen durch die Unterschiede in den Verbrauchsprofilen verursacht werden. Gemeinsamkeit bei fast allen Gebäuden ist die Entladung am Abend, da dem Verbrauch keine solare Erzeugung mehr gegenübersteht. Auch der Verbrauch in der ersten Hälfte des Tages kann nicht allein solar gedeckt werden, was zur Entladung der Stromspeicher führt. Erst danach beginnt die Ladung bis in den späten Nachmittag hinein. Das Profil beim HSD-Gebäude ist dahingehend auffällig, da offenbar am Morgen und zeitweise am Abend die Batterie geladen wird. Dies deutet auf Laden aus dem öffentlichen Netz hin.

-  Abbildung 2:
Zeitlicher Verlauf der solaren Stromerzeugung an einem beispielhaften Sonnentag
-  Abbildung 3:
Zeitlicher Verlauf der Batterie-ladung bzw. -entladung an einem beispielhaften Sonnentag

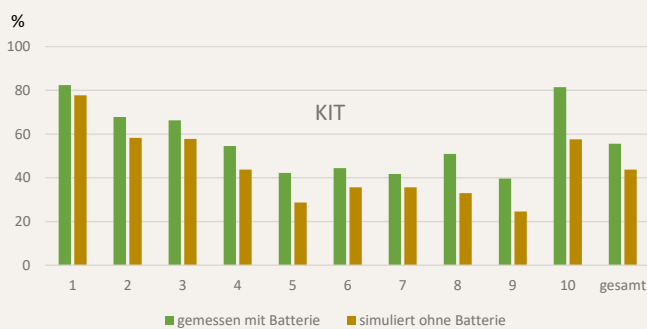
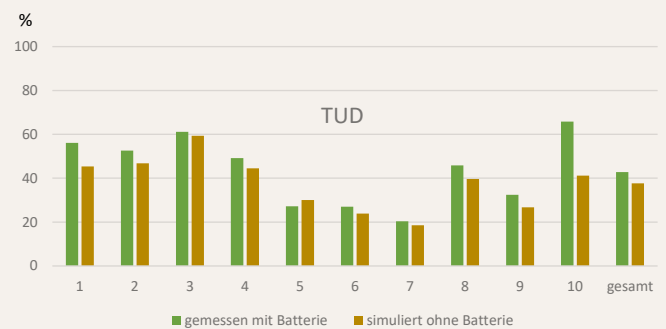
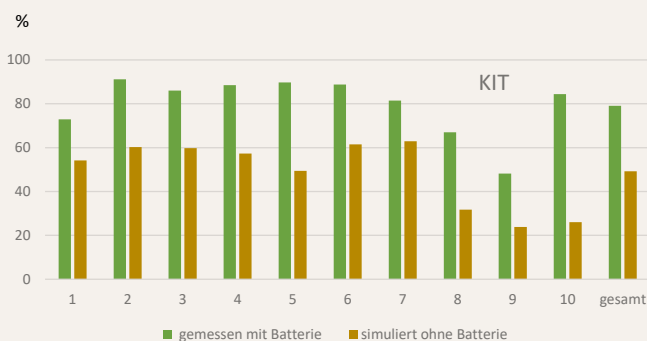
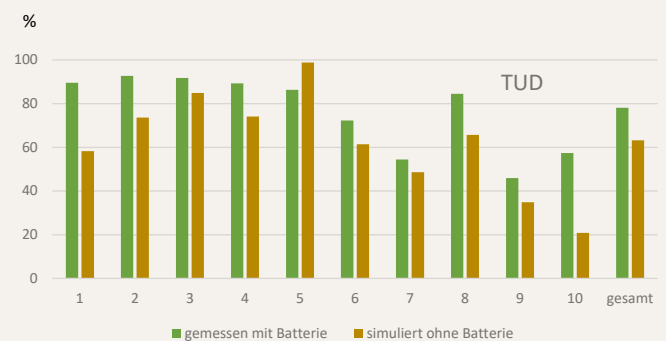


Die Bilanzierung von solarer Energiebereitstellung einschließlich Batteriepufferung und Verbrauch führt zur Bestimmung der Eigenverbrauchsquote. Für die Wettbewerbszeit war damals eine möglichst hohe Eigenverbrauchsquote zielführend. Diese wird aus dem Verhältnis der Erzeugung abzüglich der Netzeinspeisung zur Erzeugung mit hoher zeitlicher Auflösung bestimmt. Mit Berücksichtigung der Batteriepufferung konnten die Werte für die zehn Wettbewerbstage aus den Messdaten ermittelt werden. Durch die Simulation mit IDA ICE war es zusätzlich möglich, vergleichbare Daten ohne Batteriepufferung zu bestimmen. Abbildung 4 zeigt als Beispiel die Auswertung auf Basis von Tageswerten für die Gebäude KIT und TUD im Vergleich. Offenbar gelingt es beim KIT Gebäude durch das Verbrauchsverhalten und eine geeignete Betriebsführung deutlich höhere Eigenverbrauchsquoten als im Falle der TUD zu erreichen. Auch die Batteriepufferung wirkt sich signifikant deutlicher aus.

Eine andere Betrachtung ist die Bestimmung der elektrischen Autarkie der Gebäude. Hierbei wird die Erzeugung einschließlich Batterieentladung im Verhältnis zum Verbrauch betrachtet. Das Ergebnis sagt aus, zu wieviel Prozent der Verbrauch unmittelbar (ohne Stromspeicherung) oder mittelbar (mit Stromspeicherung) solar gedeckt wird. Abbildung 5 zeigt die Auswertung wieder für die beiden Gebäude. Mit Batteriepufferung liegt am Ende der zehn Tage der Autarkiegrad bei beiden Gebäuden bei etwa 80 %, wobei sich große Unterschiede zwischen den Tagen zeigen. Niedrige Werte korrelieren mit den strahlungsärmeren Tagen. Wiederum zeigt sich die Batteriepufferung beim KIT Gebäude als einflussreicher.

Abbildung 4:
Eigenverbrauchsquote für die beiden Gebäude KIT (links) und TUD (rechts) für die 10 Wettbewerbstage.

Abbildung 5:
Autarkiegrad für die beiden Gebäude KIT (links) und TUD (rechts) für die 10 Wettbewerbstage.



Fazit

Als Teil der Energiewende verändern sich die Stromnetze. Bereits heute beträgt der Anteil der Erneuerbaren Energien an der jährlichen Stromerzeugung in Deutschland über 50 %. Hinzu kommt die Veränderung an der Schnittstelle zu Gebäuden. Hier wird heute unmittelbar im Mittelspannungsnetz nicht nur Strom bezogen, sondern auch Strom dezentral eingespeist. Zukünftig kommt es darauf an, Strom möglichst dann zu verbrauchen, wenn er klimaneutral aus dem Netz bereitsteht. Diese Tatsache reflektieren dynamische Stromtarife. Zusätzlich sind Einspeisung und Verbrauch an der Schnittstelle zwischen Gebäude und Netzen so zu gestalten, dass Netze lokal nicht überlastet werden. Anderenfalls fallen hohe Kosten für den Netzausbau an. Hierfür sind Anreize für geeignete Betriebsführungsstrategien zu entwickeln. Untersuchungen am Beispiel des Living Lab NRW tragen dazu bei². Hierbei kommen neue Strategien jenseits von maximaler Eigenverbrauchsquote und maximalem Autarkiegrad zur Anwendung.³

2 Kirant-Mitic, T., Hall, M., Daws, G., Lopes, R. A.: Impact of Building-Grid interaction signals on energy flexibility at cluster Level: Insights from two case studies, *Energy & Buildings*, volume 346, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116235>

3 Kirant-Mitic, T., Voss, K.: Energy demand und generation analysis, University Wuppertal, project report, School of Architecture and Civil Engineering, 2024

in-situ messungen der wärmetechnischen eigenschaften von gebäuden

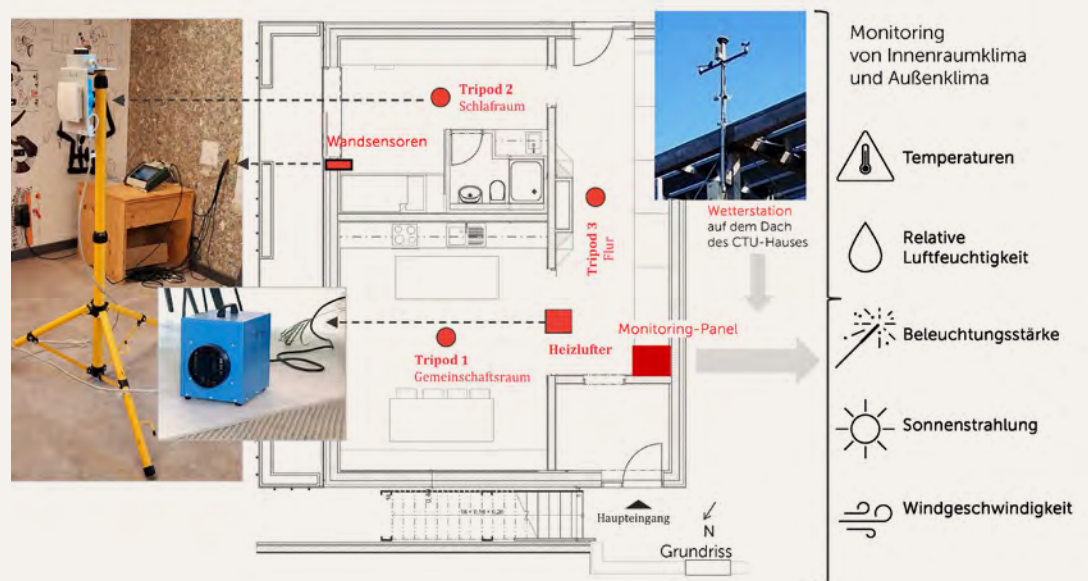
Isil Kalpkirmaz Rizaoglu, Karsten Voss

Der Co-Heating-Test ist ein etabliertes Verfahren zur Messung der thermischen Performance einer Gebäudehülle. In der Literatur^{1,2,3} wird der Begriff Heat Transfer Coefficient (HTC) verwendet, da „transfer“ den bidirektionalen Wärmefluss beschreibt und sowohl Heiz- als auch Kühlfälle umfasst. Aufgrund der umfassenderen Terminologie wird nachfolgend der Begriff HTC anstelle des Wärmeverlustkoeffizienten verwendet.

Der aus dem Test abgeleitete HTC liefert zentrale Informationen über das thermische Verhalten einer Gebäudehülle und dient zugleich als Grundlage für den Vergleich weiterer hüllenbezogener Kennwerte, etwa der U-Werte. Werden diese Messgrößen anschließend als Eingangsparameter in Simulationsmodellen genutzt, ermöglichen sie eine Modellkalibrierung und damit eine realitätsnähere Abbildung des thermischen Gebäudeverhaltens.

- 1 International Organization for Standardization. (2017) ISO 13789:2017 Thermal Performance of Buildings: Transmission and Ventilation Heat Transfer Coefficients – Calculation Method. <https://www.iso.org/standard/65713.html>.
- 2 Allinson, D., Elwell, C. and Fitton, R. (2024) Annex 94 Factsheet: Validation and Verification of In-Situ Building Energy Performance Measurement Techniques -. <https://annex94.iea-ebc.org/publications>.
- 3 Bauwens, G., Ritosa, K., Roels, S., Deltour, J., Masy, G., Senave, M., Zhang, X., Rasmussen, C., Rouchier, S., Skeie, K., Rovers, T., Struck, C., Gorse, C., Hardy, A., Hollick, F. and Allinson, D. (2021) EBC Annex 71 - Building Energy Performance Assessment Based on in-Situ Measurements Physical Parameter Identification. Belgium. www.iea-ebc.org.

Abbildung 1:
Test- und Messgeräte
im CTU-Haus



Beispielgebäude

Für die Untersuchung wurde das CTU-Haus im Living Lab NRW genutzt. Innen- und Außenklima wurden während des gesamten Tests kontinuierlich erfasst und aufgezeichnet. In den Räumen waren Stative mit Sensoren für das Innenraumklima (Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und CO₂-Konzentration) installiert. Zusätzlich wurden Oberflächentemperatur- und Wärmeflussdichtesensoren innerhalb der Außenwandkonstruktion sowie auf der Innenseite der Fensterverglasung angebracht.

Abbildung 1 zeigt die im CTU-Gebäude eingesetzten Test- und Messgeräte.

Vorgehensweise

Über die verschiedenen Co-Heating-Testphasen hinweg wurde ein elektrischer Heizlüfter mit einer Leistung von 3 kW zur Beheizung eingesetzt. Interne Wärmegewinne beschränkten sich auf die im Gebäude vorhandenen elektrischen Geräte, da das Gebäude während aller Testperioden unbewohnt war.

Abhängig von der jeweiligen Testperiode war die mechanische Lüftungsanlage entweder in Betrieb oder abgeschaltet; bei Betrieb arbeitete sie stets mit Wärmerückgewinnung. Fensterlüftung fand nicht statt.

Die Infiltrationsrate wurde mit $0,9 \text{ h}^{-1}(n_{50})$ angesetzt, basierend auf den Blower-Door-Tests. Tabelle 1 listet die Randbedingungen für die Testreihen.

Heat Transfer Coefficient

Der Heat Transfer Coefficient (HTC) wird in ISO 13789 als „Wärmeflussrate dividiert durch die Temperaturdifferenz zwischen zwei Umgebungen“ definiert; er beschreibt den aggregierten Wärmeübergang (Φ) durch die gesamte thermische Gebäudehülle infolge der Temperaturdifferenz (ΔT) zwischen Innen- und Außenumgebung und berücksichtigt sowohl Transmission als auch Infiltration³. Im Rahmen dieses Tests wird der HTC unter quasi-stationären Bedingungen experimentell bestimmt, wobei der Heizwärmebedarf in direkter Beziehung zur Außentemperatur steht.

Die Berechnungszeiträume für den HTC wurden so gewählt, dass direkte solare Gewinne ausgeschlossen sind. Dies erfolgte entweder bei bedeckten Bedingungen (globale Solarstrahlung $< 100 \text{ W/m}^2$) oder durch den Einsatz außenliegender Verschattung. Daher sind einige Auswertezeiträume kürzer als die gesamte Dauer des Co-Heating-Tests.

HTC-Berechnung und Ergebnisse

In Abbildung 2 sind die für die HTC-Berechnung ausgewählten Zeiträume, die Ergebnisse sowie die stündlich gemittelten Raum- und Außenlufttemperaturen dargestellt. HTC I-V bezeichnen die jeweiligen Berechnungszeiträume; Details sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Die Untersuchungen ergaben, dass nach Beginn der Aufheizung eine Übergangsphase von etwa zwei Tagen erforderlich ist, bis sich Innenluft- und operative Temperaturen stabilisieren; daher wurden die ersten beiden Tage aus jedem Berechnungszeitraum ausgeschlossen. HTC_I (56 W/K) und HTC_III (54 W/K) zeigen vergleichbare Ergebnisse, während HTC_II (99 W/K) nicht reprä-

Heizung	Elektrischer Heizlüfter mit 3 kW und einem Luftvolumenstrom von $250 \text{ m}^3/\text{h}$
Interne Gewinne	Geräte im Standby-Modus (konvektiver Wärmeeintrag ca. 256 W)
Belegung / Nutzung	Keine
Passive Lüftung	Nein (zusätzliche Maßnahmen durch Abdecken der Lüftungsöffnungen)
Infiltration	$0,90 \text{ l/h } (n_{50})$
Solare Gewinne	Nahezu eliminiert (immer bewölkter Himmel und/oder außenliegende Verschattung)

Tabelle 1:
Randbedingungen des Co-Heating-Tests in allen Testphasen

sentativ ist. Dies ist auf die niedrige anfängliche Innenraumtemperatur sowie auf eine unzureichende Stabilisierung zurückzuführen, da für diesen Zeitraum die zweitägige Übergangsphase zu Beginn nicht verfügbar war. Die aus längeren Zeiträumen ohne direkte solare Gewinne abgeleiteten Werte HTC_IV (53 W/K) und HTC_V (52 W/K) bestätigen die Stabilität des HTC nach Ausschluss der Effekte der thermischen Massenaufladung. Der Einfluss der Übergangsphase ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Ergebnisse wurden mit einer früheren Studie im selben Gebäude verglichen⁴. Dort wurde auf Basis der berechneten Wärmeverlustcharakteristik ein theoretischer HTC von 59–60 W/K angegeben. Die gemessenen Zeiträume zwischen 48 h, 11 h und 16 h ergaben HTC-Werte von 66, 80 bzw. 74 W/K und liegen damit sowohl über dem theoretischen Referenzwert als auch über den von uns ermittelten HTC-Werten. Dies lässt sich durch die kurzen Berechnungszeiträume sowie die Einbeziehung der frühen Konditionierungsphase erklären, die zu einer Überschätzung des HTC führt.

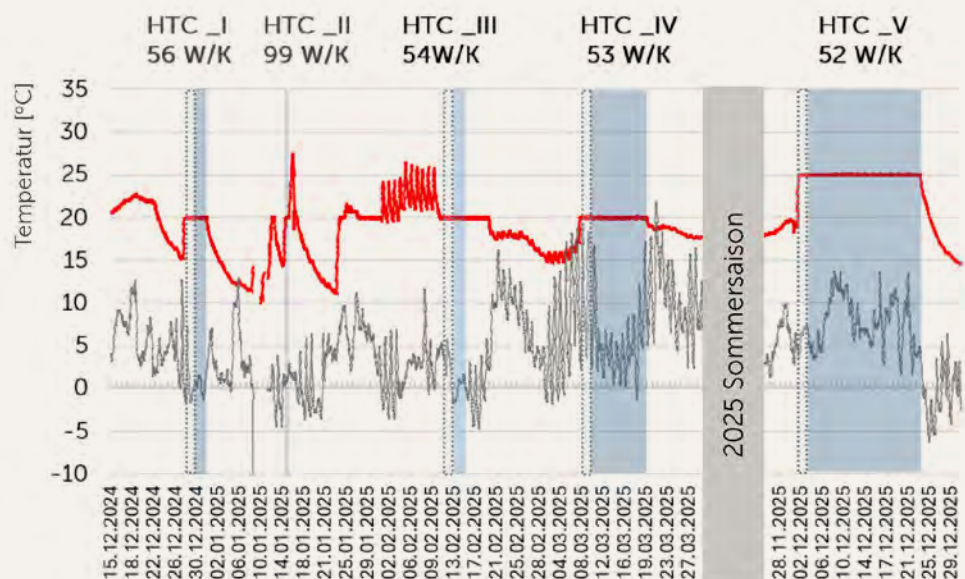
Für HTC_V wurde eine lineare Regression mit der Leistung (Φ) als Funktion der Temperaturdifferenz (ΔT) als unabhängige Variable durchgeführt (Abb. 4). Auf Basis von Tagesmittelwerten zeigt sich eine lineare Beziehung im Sinne einer Energiesignatur. Bei auf null fixiertem Achsenabschnitt nach⁵ ergibt sich ein HTC von 50,4 W/K, was gut mit dem aus stündlich gemittelten Daten abgeleiteten HTC-Wert von 52 W/K übereinstimmt.

Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass eine belastbare IN-Situ-Bestimmung des Wärmeverlustkoeffizienten unter dynamischen Bedingungen ausreichend lange Berechnungszeiträume und eine vorgelagerte Konditionierungsphase erfordern. Kurze oder von Übergangsphasen beeinflusste Zeiträume können zu fehlerhaften Werten führen, da Effekte der thermischen Masse die Ergebnisse vor Erreichen stationärer Bedingungen verfälschen können. Die Analyse unterstreicht die Bedeutung einer sorgfältigen Auswahl geeigneter Zeiträume sowie den Ausschluss von Zeitintervallen, die durch zusätzliche Wärmegewinne oder -verluste

- 4 Tywoniak, J., Malik, Z., Staněk, K. and Sojkova, K. (2024) Project Report: Thermal Performance of FIRSTLIFE House. Buildings, 14, 3600. <https://doi.org/10.3390/buildings14113600>
- 5 Bauwens, G., Ritosa, K., Roels, S., Deltour, J., Masy, G., Senave, M., Zhang, X., Rasmussen, C., Rouchier, S., Skeie, K., Rovers, T., Struck, C., Gorse, C., Hardy, A., Hollick, F. and Allinson, D. (2021) EBC Annex 71 - Building Energy Performance Assessment Based on in-Situ Measurements Physical Parameter Identification. Belgium. www.iea-ebc.org.

Abbildung 2:
HTC-Berechnungszeiträume, berechnete HTC-Werte sowie Raum- und Außentemperaturen. Hellblaue Bereiche markieren die für die HTC-Berechnung verwendeten Zeiträume. Die beiden Tage vor jedem Berechnungszeitraum sind durch gepunktete Linien gekennzeichnet



beeinflusst sind, die in der gewählten Berechnungsmethode nicht berücksichtigt werden. Wie bei jedem Feldtest ist zudem eine kontinuierliche Kontrolle der Testbedingungen entscheidend. Änderungen der Randbedingungen müssen während des Tests erkannt und bewertet werden, da Unterbrechungen, Sensorfehler oder Datenlücken die Ergebnisse beeinflussen können und eine sorgfältige Dokumentation sowie eine

kontextbezogene Interpretation der Messdaten erfordern. Co-Heating-Tests lieferten wichtige Erkenntnisse zum thermischen Verhalten von Gebäuden und zur Bewertung ihrer thermischen Eigenschaften. Die gewonnenen Felddaten bilden zugleich eine wertvolle Grundlage für die Erstellung und Kalibrierung von Simulationsmodellen.

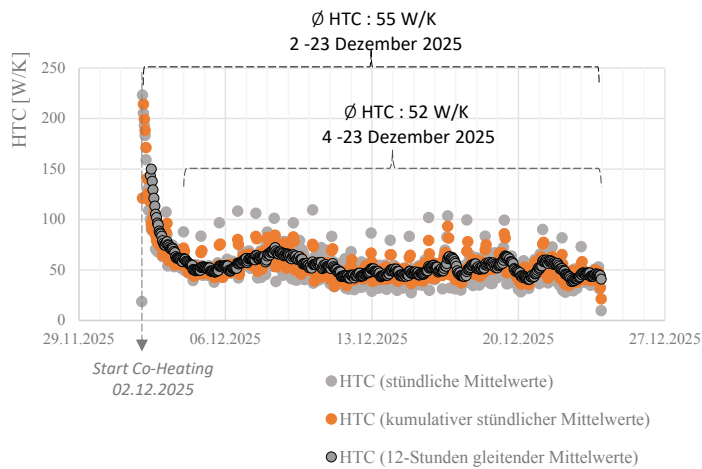


Abbildung 3:
HTC während des Zeitraums V (2.–23. Dez. 2025), dargestellt als stündliche Mittelwerte, kumulativer stündlicher Mittelwerte und 12-Stunden gleitender Mittelwerte.

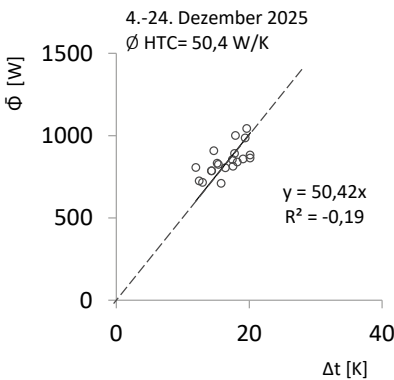


Abbildung 4:
Lineare Regression für den HTC-Zeitraum V; n bezeichnet die Anzahl der Tage.

HTC	Solargewinne	Zeitraum	Stunde [h]	Raumtemperatur [°C]	Außentemperatur [°C]	Mittl. Heizleistung [W]	Temperaturdifferenz [K]	HTC [W/K]
HTC I	Bewölkter Himmel	30.12.2024, 00:00 & 01.01.2025,00:00	48	20	1	1063	19,0	56
HTC II	Bewölkter Himmel	15.01.2025, 00:00 & 15.01.2025,15 :00	15	20	1,5	1832	18,5	99
HTC III	Bewölkter Himmel	13.02.2025 00:00 & 15.02.2025 00:00	48	20	0,6	1065	19,4	54
HTC IV	Außenliegende Verschattung aktiv	10.03.2025 00:00 & 20.03.2025 00:00	240	20	7,9	682	13,1	53
HTC V	Außenliegende Verschattung aktiv	04.12.2025 00:00 & 23.12.2025 22:00	480	25	8,4	844	16,6	52

Tabelle 2:
Betrachtungszeiträume, Mittelwerte von Temperaturen und Heizleistung sowie HTC-Berechnungen

temperaturen unter den gebäuden

Isil Kalpkirmaz Rizaoglu, Karsten Voss

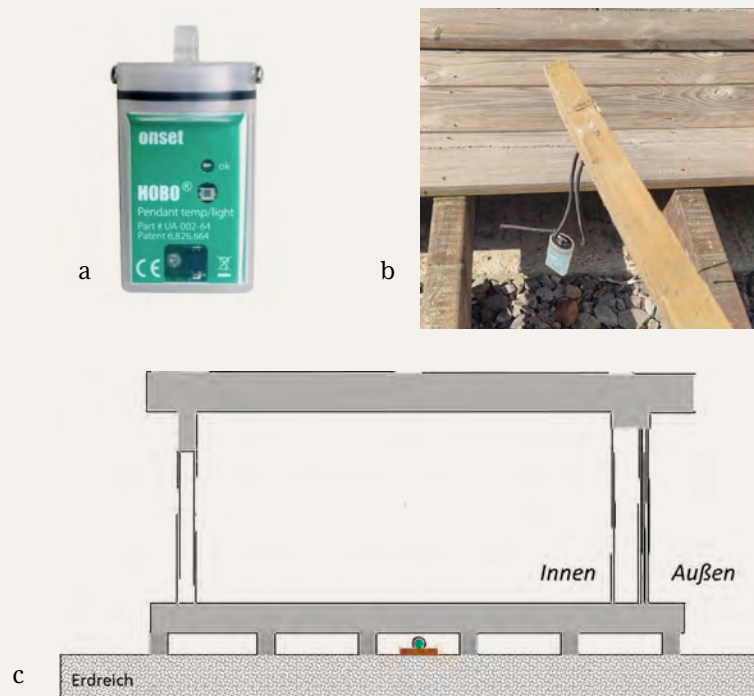
Eine Besonderheit der Gebäude im Living Lab NRW liegt darin, dass sie nicht unmittelbar auf dem Erdreich gegründet wurden. Damit sind sie Beispiele dafür, wie Bauwerke nach ihrer Nutzung rückstandsfrei entfernt werden können. Welche thermischen Randbedingungen sich daraus für die Geschossdecke zum Boden ergeben, wurde mit winterlichen Messungen untersucht.

Messaufbau

Bei der bauphysikalischen Bewertung eines Gebäudes werden Außenklimadaten in der Regel über eine Wetterstation gemessen oder aus Klimadatendateien entnommen. Die Gebäude des Living Lab NRW liegen mit ihren Bodenkonstruktionen weder direkt auf dem Erdreich auf, noch sind sie vollständig den freien Außenluftbedingungen ausgesetzt; stattdessen sind sie einem offenen bzw. teilweise offenen Außenraum zwischen Bodenkonstruktion und Erdreich ausgesetzt.

Abbildung 1:

(a) HOBO Pendant Datenlogger Temperatur, (b) an einem Holzstab befestigter Sensor, (c) schematischer Gebäudeschnitt. Der grüne Punkt markiert die Position des Sensors unter dem Gebäude.



Vor diesem Hintergrund wurden im Living Lab NRW während der Winterperiode 2024–2025 Lufttemperaturmessungen unter den Gebäuden mit aufgeständerten Bodenkonstruktionen durchgeführt. Ziel der Messungen war es, zu untersuchen, inwiefern sich diese mikroklimatischen Bedingungen unter den Gebäuden von der Außenlufttemperatur unterscheiden.

Für die Untersuchung wurden die Living Lab NRW Häuser CTU, HBC, FHA, HSD, UPH und TUD herangezogen. Die Temperaturmessungen erfolgten über 5,5 Monaten zwischen dem 14.10.2024 und dem 31.03.2025.

Hierfür wurden HOBO-Tempersensoren¹ eingesetzt, die ohne Bodenkontakt aber mit Kontakt zur Luft an einem Holzstab unter den Gebäuden befestigt wurden. Abbildung 1 zeigt den verwendeten Sensor sowie die schematische Position des Messpunkts unter dem Gebäude. Der grüne Punkt markiert die Position des Sensors im Zwischenraum zwischen Gebäude und Erdreich.

Messergebnisse

Die Abbildung 2 zeigt einen Vergleich zwischen an der lokalen Wetterstation gemessenen Außentemperatur und den unter den Gebäuden gemessenen Temperaturen. Die Temperaturen unter den Gebäuden folgen grundsätzlich dem Verlauf der Außenlufttemperatur, weisen jedoch eine geringere Schwankungsbreite und weniger ausgeprägte Amplituden auf. Insbesondere während kälterer Perioden liegen die Bodentemperaturen überwiegend über der Außenlufttemperatur.

Der gleitende 24-Stunden-Mittelwert (siehe Abb. 3) reduziert den Einfluss kurzfristiger Schwankungen und macht den übergeordneten thermischen Verlauf deutlicher sichtbar. Die geglättete Darstellung verdeutlicht insbesondere die verzögerte Reaktion der Bereiche unter den Gebäuden auf Änderungen der Außenlufttemperatur. Dies weist auf die thermische Trägheit durch die Pufferwirkung des Erdreichs hin.

1 HOBOware Software HOBOWare | Onset's HOBO Data Loggers, HOBO Pendant Temperature/Light 64K Data Logger (<https://www.onset-comp.com/products/data-loggers>)

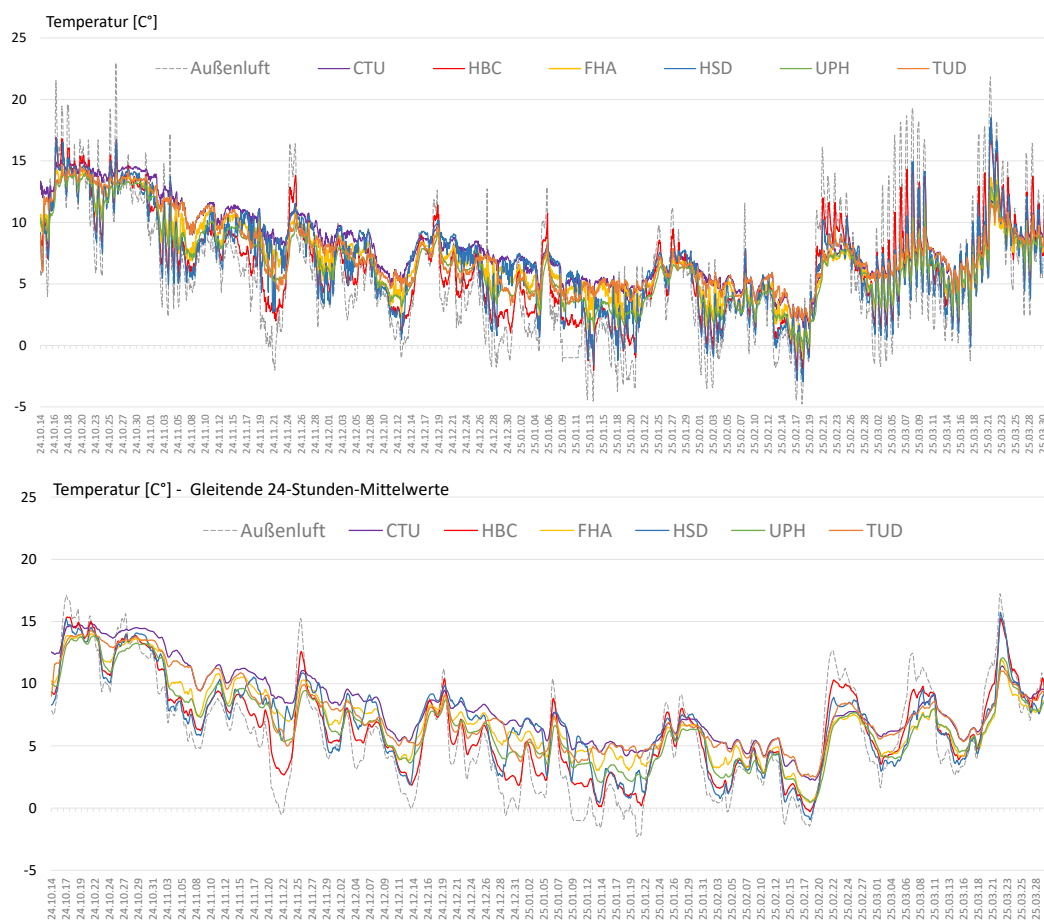


Abbildung 2: Außentemperatur und Lufttemperaturen unter den Gebäuden, basierend auf stündlichen Werten.

Abbildung 3: Außentemperatur und Lufttemperaturen unter den Gebäuden als gleitende 24-Stunden-Mittelwerte.

Um besser zu beurteilen, wie sich die Temperaturen unter den Gebäuden von der Außenlufttemperatur sowie voneinander unterscheiden, bietet die kumulative Häufigkeitsverteilung eine geeignete Darstellungsform (siehe Abb. 4). Sie zeigt den Anteil der Zeit, in dem bestimmte Temperaturniveaus während des Messzeitraums erreicht oder überschritten werden.

Zwischen den Gebäuden sind Unterschiede erkennbar. CTU weist über weite Teile der Verteilung die höchsten Temperaturen auf, insbesondere im Bereich von etwa 6 bis 9 °C. Auch FHA und TUD zeigen vergleichsweise hohe Werte, während UPH sowie teilweise HBC und HSD niedrigere Temperaturbereiche aufweisen. Insgesamt bestätigt die Verteilung, dass die Temperaturen unter allen untersuchten Gebäuden in der Heizperiode über der Außenlufttemperatur liegen.

In Tabelle 1 zeigen die Mittelwerte der Temperaturdifferenz zwischen den unter den Gebäuden gemessenen Temperaturen und der Außenlufttemperatur während des Monitoring-Zeitraums. Positive Werte weisen darauf hin, dass die Temperaturen unter den Gebäuden im Mittel höher

lagen als die Außenlufttemperatur. Die höchsten mittleren Temperaturdifferenzen wurden bei CTU und TUD festgestellt, während HBC und UPH geringere Differenzen aufweisen.

Für die Ausprägung der Temperaturen unter den Gebäuden sind drei Faktoren relevant: die Innenraumlufttemperatur, die thermische Qualität der Bodenkonstruktion sowie die bodenstrukturbezogenen Bedingungen. Tabelle 2 fasst diese Einflussgrößen zusammen. Sie enthält die schematischen Fundamentschnitte und Fundamentpläne, die mittlere Höhe der Bodenkonstruktion über dem Erdreich, den U-Wert der Bodenkonstruktion sowie die mittlere Innenraumlufttemperatur während des Messzeitraums.

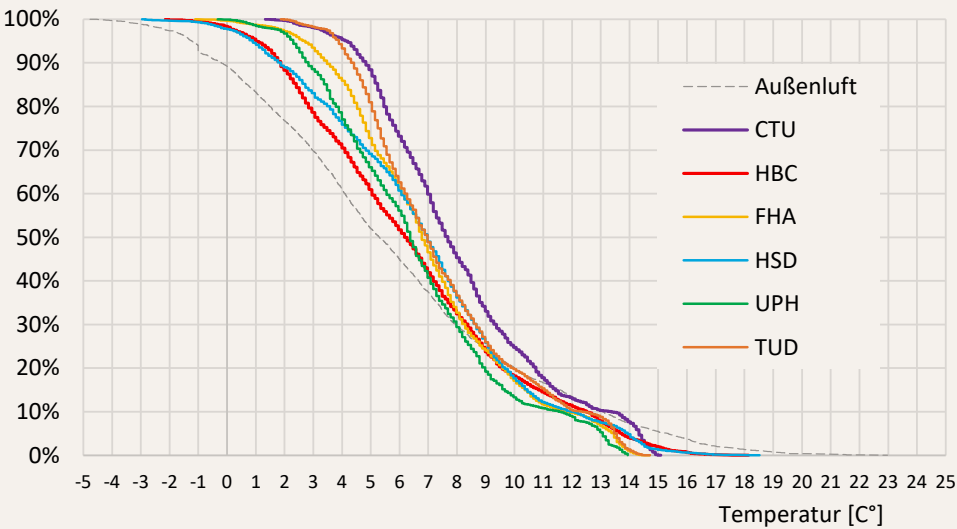
Innenraumlufttemperatur

Im Rahmen einer weiteren Testreihe zwischen dem 28.12.2024 und dem 23.01.2025 wurden die Häuser CTU, UPH, HSD, HBC, FHA und TUD zeitweise beheizt. Anschließend wurde der Wintertest zwischen dem 23.01.2025 und dem 04.04.2025 mit den Häusern CTU, HBC, TUD und FHA fortgeführt. Während des gesamten Testzeit-

Tabelle 1:
Durchschnittliche Temperaturdifferenz ($\bar{\Delta t}$) zwischen den unter den Gebäuden gemessenen Temperaturen und der Außenlufttemperatur.

	CTU	HBC	FHA	HSD	UPH	TUD
$\bar{\Delta t}$ [K]	2,29	0,62	1,2	0,98	0,73	1,64

Abbildung 4:
Kumulative Häufigkeitsverteilung der stündlichen Temperaturen unter den Gebäuden im Vergleich zur Außenlufttemperatur.



raums wurde für die Innenraumlufttemperatur ein maximaler Sollwert von 20 °C und ein minimaler Sollwert von 5 °C festgelegt. Außerhalb der Testzeiträume wurden alle Häuser lediglich zum Frostschutz beheizt, d. h. mit einem Sollwert von 5 °C. Die Besonderheit beim TUD Gebäude ist das unbeheizte Erdgeschoss. Hier wurde nur das OG beheizt. Beim Gebäude HSD reichte die Heizleistung zur Einhaltung von 20°C nicht aus.

U-Wert der Bodenkonstruktion

Die U-Werte der untersuchten Bodenkonstruktionen liegen insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau und reichen von 0,08 bis 0,18 W/(m²K). Die Temperaturunterschiede sind daher nur unwesentlich durch unterschiedliche U-Werte zu erklären.

Bodenstruktur und Randbedingungen der Gebäude

Die mittlere Höhe der Bodenkonstruktion über dem Erdreich variiert zwischen 0,14 m und 0,50 m. Aufgrund der teilweise geneigten Geländeoberflächen reichen die minimalen und maximalen Höhenwerte von etwa 0,05 m bis 0,60 m. Die in Tabelle 2 dargestellten schematischen Fundamentschnitte und Fundamentpläne zeigen, dass sich die untersuchten Gebäude nicht allein

über die mittlere Höhe des Zwischenraums unter der Bodenkonstruktion unterscheiden lassen.

Neben der Höhe des Zwischenraums sind die Randbedingungen der Gebäude im Bereich der Aufständigung relevant. Dazu zählen beispielsweise erhöhte Plattformen, seitliche Abschlüsse oder angrenzende Bauteile, die den Luftaustausch unter dem Gebäude beeinflussen können. Je nachdem, wie offen dieser Bereich gegenüber Luftströmungen und äußeren Umgebungsbedingungen ist, kann die Außenluft mehr oder weniger intensiv auf den Zwischenraum unter dem Gebäude einwirken.

Fazit

Die Aufständigung von Gebäuden führt gegenüber unmittelbarem Erdreichkontakt der Bodenplatte zu anderen Temperaturrandbedingungen. Diese wurden exemplarisch erfasst. Das winterliche Temperaturniveau im Luftzwischenraum liegt zwischen dem der Außenluft und dem des Erdreichs. Dabei zeigt sich insbesondere der seitliche Abschluss der Gebäude im bodennahen Bereich und damit der Grad der Durchlüftung des Zwischenraums bedeutsam. Dies ist bei der Auslegung des Wärmeschutzes der Bodenkonstruktion zu berücksichtigen. Des Weiteren ist der Feuchteschutz auf die Situation anzupassen.

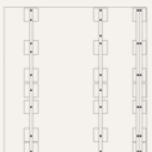
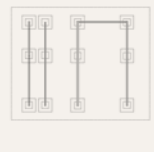
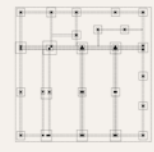
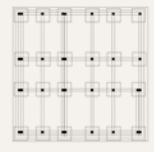
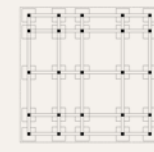
	CTU	HBC	FHA	HSD	UPH	TUD
Schematischer Fundamentschnitt						
schematischer Fundamentplan						
Höhe der Bodenkonstruktion über dem Erdreich						
Mittelwert [m]	0,36	0,26	0,20	0,30	0,50	0,14
U-Wert Bodenplatte [W/(m²K)]	0,09	0,08	0,15	0,15	0,13	0,18
Mittlere Innenraumlufttemperatur [°C]	19,3	19,5	18,3	15,8	18,5	11,9

Tabelle 2:

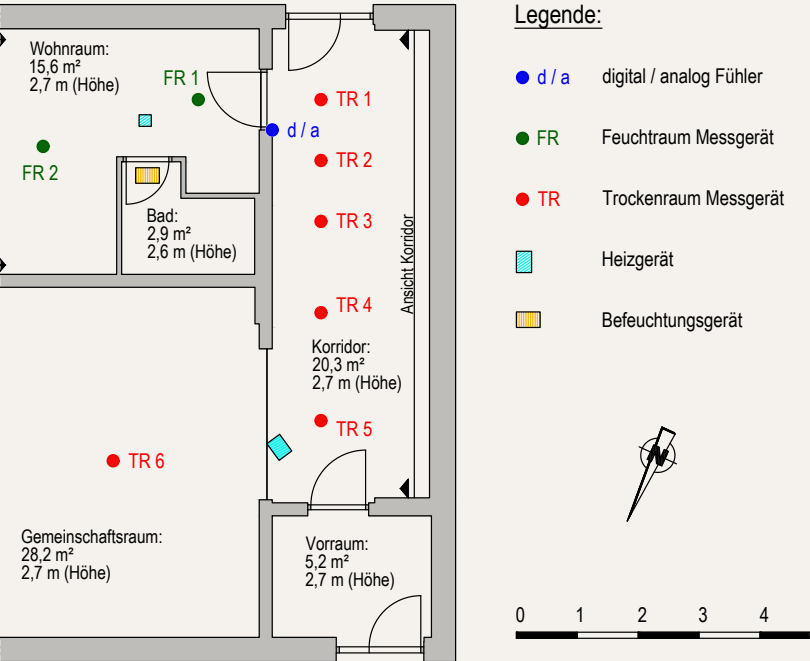
Übersicht über schematische Fundamentdarstellungen, mittlere Höhe der Bodenkonstruktion über dem Erdreich, U-Wert der Bodenplatte und mittlere Innenraumlufttemperatur der untersuchten Gebäude.

feuchteausbreitung zwischen unterschiedlich konditionierten räumen

Olivia Paulina Quednau, Karsten Voss

Einige Gebäude im Living Lab NRW zeichneten sich durch thermisch unterschiedlich temperierte Räume aus. Beispielfhaft dafür stehen die Gebäude Mimo und First Life mit vergleichsweise großen Gemeinschaftsräumen und kleinen, individuellen Wohnräumen mit Sanitäreinheiten. Während die Individualräume im winterlichen Betrieb kontinuierlich beheizt werden, bieten die Gemeinschaftsflächen in Zeiten ohne Nutzung das Potenzial einer Temperaturabsenkung und ggf. auch das Potential einer weniger hochwertig wärmegeädämmten Hülle. Bei solchen Bedingungen ist das Feuchteverhalten ein Thema von besonderer Bedeutung für langfristig schadensfreies Bauen. Abhängig von der thermischen Qualität der Gebäudehüllflächen in den Gemeinschaftsräumen besteht die Gefahr von Tauwasserbildung, wenn durch geöffnete Innentüren der Wohnräume warme, feuchte Luft in kühlere Räume einströmt. Das instationäre Verhalten nach Öffnen einer Innentür wurde dazu beispielhaft experimentell untersucht.

Abbildung 1:
Schematische Darstellung der Sensorik im Grundriss (links), sowie Foto mit Blick auf die Eingangstür zum Bad mit positioniertem Befeuchtungsgerät (rechts)



Messaufbau

Die Messungen wurden im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit unter winterlichen Bedingungen im Februar 2025 am Gebäude First Life durchgeführt¹. In diesem Gebäude bildete der Wohnraum mit dem Badezimmer den Feuchtraum (FR) und der Korridor mit dem Gemeinschaftsraum den Trockenraum (TR) mit vorgelagertem Korridor (K), Abbildung 1. Die Zimmertür zwischen Wohnraum und Korridor stellt die Verbindungstür dar. Die Badezimmer-tür zum Wohnraum war ständig geöffnet, sodass Wohnraum und Bad nahezu identische Bedingungen aufwiesen.

Die Untersuchungsreihe erforderte vor Öffnen der Tür zwischen Wohnraum und Korridor eine geeignete Konditionierung der Räume. Für die technische Umsetzung wurden ein Befeuch-tungsgerät und zwei Heizlüfter genutzt. Die Heizlüfter wurden bei konstanter Heizleistung

von 2 bzw. 3 kW thermostatisch über die jeweilige Raumlufttemperatur geregelt. Für die Befeuch-tung kam ein Elektroden-Dampfluftbefeuchter vom Typ „MiniSteam E“ zum Einsatz². Dessen Wirkungsweise beruht auf der Wärmeerzeugung durch die elektrische Leitfähigkeit von Wasser. Dazu sind zwei mit Spannung beaufschlagte Elektroden in einem Zylinder so verbaut, dass sich bei einem bestimmten Wasserstand der Stromkreis schließt und das Wasser bis zum Siedepunkt (100 °C) erhitzt. Der erzeugte Dampf wird mit einem Gebläse abgeführt. Mit sinken-dem Wasserstand verringert sich die Dampfleis-tung des Gerätes und der Zylinder wird durch eine automatisierte Gerätesteuerung mit Frisch-wasser aufgefüllt. Dadurch schwankt die Dampf-menge über die Zeit. Für die Anwendung in der Untersuchungsreihe wurde die Dampfleistung von 5 bis 10 kg/h auf < 2,5 kg/h bereits hersteller-seitig reduziert.

1 Quednau, O.P.: Instationäre Feuchteausbreitung zwischen Räumen ungleicher thermischer Konditionierung, Bergische Universität Wuppertal, Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, 2025

2 <https://www.hygromatik.com/de/ministeam-e-direkte-luftbefeuchtung>

	Heizzeit [Minuten]	Befeuchtungszeit [Minuten]		Abklingzeit [Minuten]	Tür geöffnet [Minuten]	Versuchslänge [Minuten]
Versuch 60 %	60	133	9	40	242	
Versuch 65 %	60	120	8	40	228	
Versuch 70 %	60	99	6	40	205	
Versuch 75 %	60	100	4	40	204	

Tabelle 1:
Übersicht über die durchgeführten Versuchsreihe

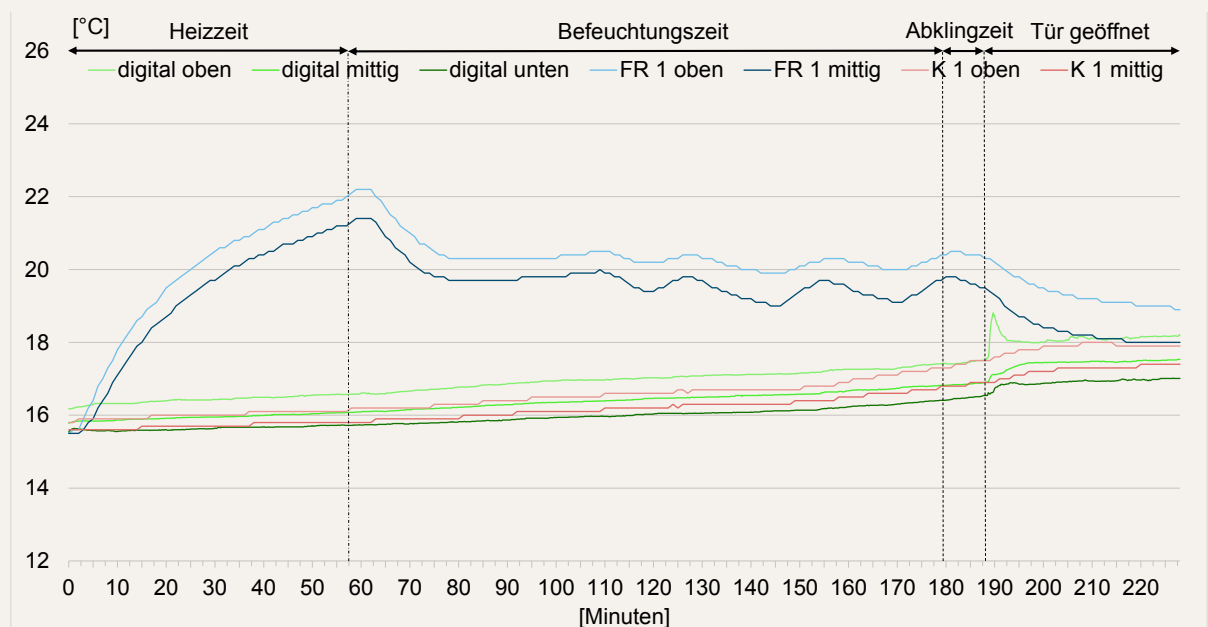
Es wurden Versuchsreihen mit unterschiedlicher Feuchtebeaufschlagung des Warmraumes durchgeführt. Eine Übersicht zeigt Tabelle 1. Hervorzuheben ist die Versuchsreihe mit einer Zielfeuchte von 65% im Warmraum, deren Ergebnisse im Folgenden exemplarisch vorgestellt werden. Die Zielfeuchte wurde jeweils über einen Hygrostaten im Warmraum als Reglervorgabe für den Befeuchter eingestellt. Während der Warmraum auf etwa 22 °C temperiert wurde, lag die Temperatur im Gemeinschaftsraum zu Beginn der jeweiligen Versuchsreihe bei etwa 16 °C. Aufgrund dieser Verhältnisse herrscht vor Öffnen der Verbindungstür zwischen den beiden Räumen sowohl eine Feuchte- als auch eine Temperaturdifferenz.

Bedingt durch vorgelagerte Versuchsreihen konnte bestehende Sensorik anteilig genutzt werden. Dies betrifft die Klimastation auf dem Dach des Gebäudes, sowie die Stative im Kalt- und Warmraum mit der Raumklimasensorik (Temperatur und Feuchte). Sie wurde gezielt durch dezentrale Datenlogger für Temperatur und Feuchte (Testo 174h) sowie Hitzdrahtanemometer zur Erfassung der Luftgeschwindigkeiten im Türbereich ergänzt. Abbildung 1 zeigt die Positionierung der Sensorik im Grundriss.

Ergebnisse

Beispielhaft für die durchgeführten Versuchsreihen zeigen Abbildung 2 und Abbildung 3 eine Auswahl der erfassten Messwerte mit minutlicher Auflösung für einen Versuch mit Konditionierung des Warmraumes auf eine Zielfeuchte von 65 % am Hygrostaten. Zu Beginn der Versuchsreihe wird der Warmraum bei geschlossener Zwischentür auf die Zieltemperatur von 22 °C beheizt, während der Kaltraum und der dazugehörige Flurbereich seine Ausgangstemperatur von ca. 16 °C beibehalten, Abbildung 2. Nach etwa einer Stunde startet die Befeuchtung über einen Zeitraum von zwei Stunden, Abbildung 3. Dabei stellen sich an den Feuchtesensoren Werte zwischen 68 und 82 % ein, also deutlich oberhalb des eingestellten Reglersollwertes. Als Resultat der Befeuchtung sinkt die Temperatur in diesem Raum auf etwa 20 °C ab. Zum Nachbarraum verbleibt damit eine Temperaturdifferenz von 4 K und eine Differenz der relativen Feuchte von etwa 25 %-Punkten. Nach Öffnen der Tür kommt es zu einer thermisch induzierten Luftströmung. Dabei strömt feuchte Luft im oberen Bereich der Tür aus dem Warmraum ab und kühlere, trockenere Luft im unteren Bereich in den Warmraum nach. Nach etwa 15 Minuten stellt sich ein Mischzustand ein. Die Feuchte im Korridor zum Gemeinschaftsraum (K1 und K2) steigt von 50 % auf 58 %, die Temperatur von 16 °C auf 18 °C.

Abbildung 2:
Temperaturverhalten



Fazit

Die dargestellten Ergebnisse stellen nur einen kleinen Ausschnitt der experimentellen Arbeiten im Living Lab NRW vor und bedürfen weiterer Auswertungen. Dazu wurden bereits vergleichende Simulationen mit dem dynamischen Gebäudesimulationsprogramm „WufiPlus“ als Mehrzonenmodell durchgeführt.

Von besonderer Bedeutung ist es, ob es zur Tauwasserbildung an der Hüllfläche des Gemeinschaftsraumes kommen könnte, wenn aus Kostengründen hier auf eine wärmetechnisch hochwertige Bauweise verzichtet würde. Neben der baulichen Qualität hängt dies wesentlich vom Größenverhältnis der Räume ab. Große Gemeinschaftsräume bilden einen größeren „Puffer“ als im Verhältnis zu den Warmräumen kleine.

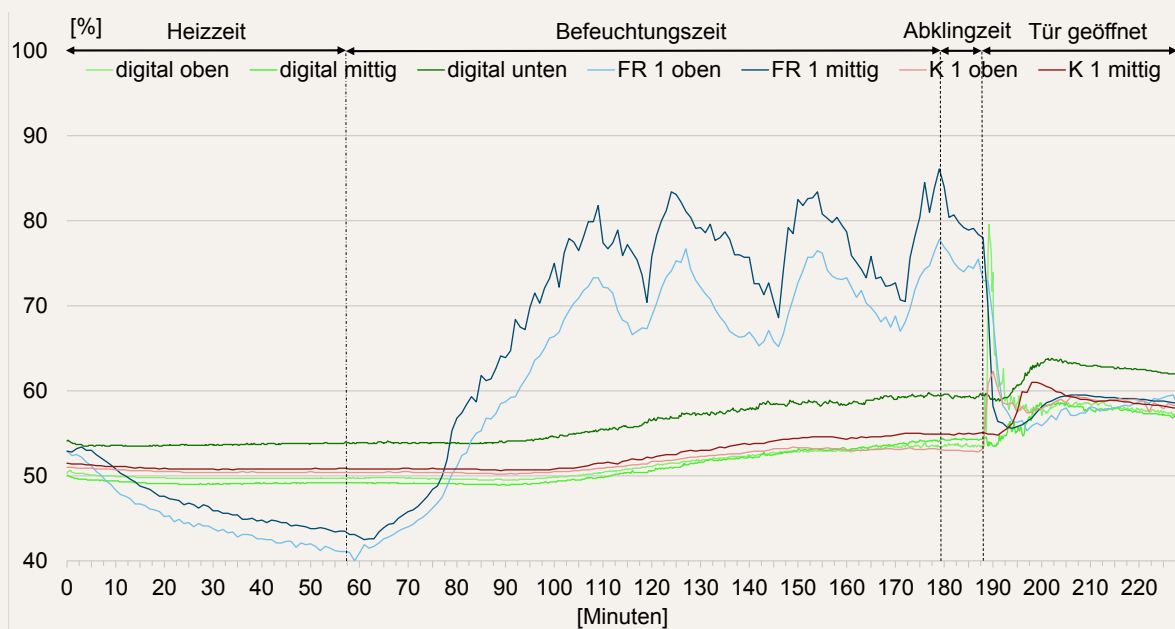


Abbildung 3:
Feuchteverhalten



6 Architektur- forschung

Die Architekturforschung war integraler Bestandteil der Säule „Forschung“ im Living Lab NRW. Im Mittelpunkt stand die Betrachtung der Demonstrationsgebäude über ihren gesamten Lebenszyklus. Die Beiträge dieses Kapitels zeigen exemplarisch, wie architektonische Fragestellungen im Maßstab 1:1 untersucht wurden. Themen waren unter anderem flächensuffiziente Wohnkonzepte, die Akzeptanz innovativer Wohnformen, material- und konstruktionsbedingte Alterungsprozesse sowie der Rückbau als Bestandteil zirkulärer Planungsansätze. Qualitative und quantitative Methoden wurden dabei miteinander verknüpft und durch Begehungen vor Ort ergänzt.

Das Living Lab NRW bot die Möglichkeit, den Zusammenhang zwischen planerischem Anspruch und der gebauten Realität zu untersuchen.

wohnen im reallabor

Katja Indorf, Katharina Simon



☞ Beginn einer Wohnphase: Gemeinsames Essen auf der Dachterrasse von Haus Prag

☞ Arbeiten im Living Lab

© Living Lab NRW

Acht Studierende, die in acht zukunftsweisenden Gebäuden auf dem Gelände des Living Lab NRW lebten – auch das ist Forschung und Lehre an der Bergischen Universität Wuppertal. Was auf den ersten Blick wie ein ungewöhnliches Wohnexperiment erscheint, war Teil des Forschungs- und Bildungsanspruchs des Projektes.

Als Reallabor vereinte das Living Lab NRW Theorie und Praxis, Forschung und Alltag, Nachhaltigkeit und Umsetzbarkeit. Genau das machte diesen Ort so wertvoll – insbesondere für die Studierenden, die hier nicht nur alles über innovative Gebäudekonzepte lernten, sondern sie selbst erproben konnten.

„Wir waren sehr begeistert und haben uns gefreut, mitmachen zu dürfen“, erinnert sich eine Studentin, die gemeinsam mit Mitstudierenden für fünf Tage in einem der energieeffizienten Solarhäuser lebte. Besonders in Erinnerung geblieben ist ihr das Haus MIMO: „Das Haus roch wunderbar nach Kork, wenn man reinkam.“ Teile der Wände waren mit dem natürlichen Material verkleidet, eine Wand aus Lehmziegeln regulierte die Luftfeuchtigkeit. „Hohe Lufträume sorgten für ein atemberaubendes Raumgefühl. Trotz seiner Kleinheit wirkte das Gebäude groß, trotz des modernen Designs war es gemütlich und einladend.“

Weniger kann mehr sein

Die Masterstudierenden des berufsbegleitenden Studiengangs „Nachhaltiges und ressourcenschonendes Bauen“ erfuhren unmittelbar, wie es ist, mit weniger Individual- und mehr Gemeinschaftsfläche zu leben. Sie konnten natürliche Materialien wahrnehmen und ungewöhnliche Raumkonzepte ausprobieren.

Eine Studentin, die in den kleinen Schlafkuben des Hauses Local+ wohnte, sah darin einen klaren Mehrwert: „Ich fühlte mich da mega wohl – trotz oder gerade wegen der flächenreduzierten Raumkonzepte.“

Im Erdgeschoss des Hauses befanden sich die Küche und eine großzügige Gemeinschaftsfläche, in der gemeinsam gekocht und gegessen wurde. Eine Terrasse mit Blick auf die Nordbahntrasse lud zum ersten Kaffee ein. Die begrünte Fassade prägte nicht nur das Erscheinungsbild, sondern sorgte an heißen Tagen für ein angenehmes Mikroklima.

Im Obergeschoss befanden sich das Bad und drei im Raum verschiebbare Schlafkuben. Auf jeweils zwei mal zwei Metern boten sie ein Bett, Ablageflächen und sogar einen kleinen Schreibtisch. „Mehr brauchten wir nicht, um uns wohlfühlen.“

Reale Räume für reale Erfahrungen

Die Studierenden kochten gemeinsam, wuschen Wäsche, lernten für die Universität und gingen ihrem Alltag nach. Gleichzeitig diskutierten sie über Wohnkomfort und Energiebilanzen und beobachteten bewusst die Auswirkungen ihres eigenen Verhaltens auf Raumklima und Energieverbrauch. Türstellung, Verschattung, Fensterlüftung – auch vermeintliche Kleinigkeiten wurden dokumentiert und damit Teil der Wohnforschung.

Gerade für Studierende, die mitten im Berufsleben stehen, eröffnete sich damit eine besondere Perspektive. Gebäude, Materialien und technische Konzepte wurden aus der Perspektive derjenigen betrachtet, die sie tatsächlich nutzen. Dieser Alltagscheck war deshalb mehr als ein Exkurs. Er ergänzte das gewohnte Denken in Plänen, Kennwerten und Bauvorschriften um die unmittelbare Erfahrung von Raum, Materialität und Technik. So wurden die Auswirkungen architektonischer und technischer Entscheidungen auf das tägliche Leben konkret erfahrbar.

Vom Wohnerlebnis zur Forschungsarbeit

Das Wohnen im Living Lab NRW eröffnete den Studierenden damit eine weitere Dimension des Lernens. Nachhaltigkeit stand nicht allein als planerisches oder technisches Konzept im Mittelpunkt. Es ging ebenso um Komfort und Raumgefühl, den Umgang mit Technik und die Frage, wie sich innovative Wohnkonzepte in den Alltag integrieren lassen.

Gleichzeitig war die Wohnphase Teil einer wissenschaftlich begleiteten Untersuchung. Sensoren erfassten unter realen Wohnbedingungen kontinuierlich Daten zum Raumklima. Die Beobachtungen und das Verhalten der Bewohnerinnen und Bewohner ergänzten die technische Betrachtung.

Das Living Lab NRW war damit weit mehr als ein Anschauungsobjekt: Es war ein aktives

Forschungslabor, in dem die berufsbegleitenden Studierenden selbst Teil des Forschungsprozesses wurden.

Wenn die Nutzerperspektive den Blick verändert

Für den berufsbegleitenden Masterstudiengang „Nachhaltiges und ressourcenschonendes Bauen“ war das Living Lab NRW eine besondere Ergänzung der klassischen Lehrformate. Die Studierenden erhielten nicht nur Einblick in zukunftsweisende Bauweisen, sondern konnten selbst überprüfen, wie ressourcenschonendes Bauen im Alltag funktioniert und wie es sich anfühlt. Gerade darin liegt ein besonderer Wert für die wissenschaftliche Weiterbildung. Wer beruflich plant, baut, berät oder Entscheidungen über Gebäude trifft, betrachtet sie normalerweise aus einer professionellen Perspektive. Im Living Lab NRW wechselten die Studierenden für einige Tage die Seite: Sie wurden selbst zu Nutzer*innen der Konzepte, mit denen sie sich fachlich auseinandersetzen.

Die Wohnphasen bereicherten das Studium und ermöglichten es, fachliches Wissen mit persönlicher Erfahrung abzugleichen und die berufliche Perspektive zu erweitern. Das Living Lab NRW zeigte auf besondere Weise, was ein Reallabor für die wissenschaftliche Weiterbildung leisten kann: Es schafft einen Raum, in dem Wissen, Forschung und eigene Erfahrung zusammenkommen – und aus theoretischem Verständnis fundierte Urteilsfähigkeit entstehen kann.



Wohnphase im Living Lab
© Living Lab NRW

wohnen auf kleiner fläche: erfahrungen aus den wohnphasen

Katharina Simon, Manuela Immecke



Gemeinsames Kochen während
der Wohnphasen
© Living Lab NRW

Der Bausektor steht vor einer doppelten Herausforderung: Steigender Wohnraumbedarf vor allem in Ballungsräumen trifft auf wachsende Anforderungen in den Bereichen Energieeffizienz, Ressourcenschonung und Chancengleichheit¹. In diesem Spannungsfeld gewinnen alternative Wohnmodelle, die auf Flächensuffizienz, gemeinschaftliche Nutzung und zirkuläre Bauprinzipien setzen, an Relevanz.

Das Living Lab NRW stellte in diesem Kontext ein praxisnahes Testfeld mit experimentellen Wohnprototypen und unterschiedlichen Konzepten nachhaltiger Architektur zur Verfügung. Fünf der Demonstrationsgebäude wurden im Rahmen mehrtägiger Wohnphasen von Studierenden bewohnt und anschließend anhand eines Fragebogens und individueller Interviews bewertet. Akzeptanz und Alltagstauglichkeit suffizienter Wohnkonzepte ließen sich so auf Basis zeitlich befristeter Wohnerfahrungen untersuchen.

Methodik

Bewohnt wurden fünf Demonstrationsgebäude Local+ (FH Aachen), MIMO (Hochschule Düsseldorf), FIRSTLIFE (CTU Prag), SUM (TU Delft) und X4S (Hochschule Biberach). Sie zeigten unterschied-

1 Umweltbundesamt (UBA) / Kommission Nachhaltiges Bauen (KNBau): Umwelt und Klima schützen – Wohnraum schaffen. Empfehlungen für einen nachhaltigen Wohnungs- und Städtebau. 2. Aufl. Dessau-Roßlau 2023.

Gebäude	Gemeinschaftsfläche*	Individualfläche**	Außenbereich	privates Bad	flexible Einbauten
Local+	102 m ²	4 m ²	Überdachte Terrasse, 15 m ²	nein	ja
MIMO	63 m ²	20 m ²	-	ja	ja
FIRSTLIFE	28 m ²	15 m ²	Dachterrasse + Balkon 125 m ²	ja	ja
SUM	Kein separater Bereich	45 m ²	-	ja	ja
X4S	Kein separater Bereich	54 m ²	Dachterrasse 64 m ²	ja	nein

*Gemeinschaftsfläche bezieht sich immer auf die Gesamtfläche, unabhängig von der Bewohnerzahl.
**Individualfläche bezieht sich auf den privat nutzbaren Bereich einer Person. Gibt es keine Trennung zwischen Gemeinschaftsfläche und Individualfläche, wird die Gesamtfläche angegeben.

Tabelle 1:
Kenndaten und Merkmale der bewohnten
Demonstrationsgebäude

liche Strategien suffizienten und kreislaufgerechten Bauens und unterschieden sich deutlich in den Bereichen Flächenangebot, Grundrissorganisation, Materialität und Ausstattung, vgl. Tab. 1.

Drei Gebäude, Local+, MIMO und FIRSTLIFE, verfügten über eine eindeutige Trennung in einen kleineren individuell nutzbaren und einen größeren gemeinschaftlichen Bereich. Fragen zum innenliegenden Gemeinschaftsbereich wurden daher nur für diese drei Gebäude ausgewertet.

Grundlage der Bewertung war ein standardisierter Online-Fragebogen mit 53 Fragen. In die Auswertung gingen insgesamt 44 auswertbare Bögen ein. 26 Personen bewohnten die drei Gebäude mit separatem Gemeinschaftsbereich im Innenbereich. Von diesen lagen 23 vollständige Bögen zu den Gemeinschaftsräumen vor, die in der Auswertung betrachtet wurden.

Die Auswertung folgte einem Mixed-Methods-Design aus quantitativer Fragebogenerhebung und qualitativen Leitfadeninterviews². Mehrere Wohnphasen mit je vier Nächten wurden in den Sommermonaten zwischen 2023 und 2025 von unterschiedlichen Probandengruppen durchlaufen. Ergänzend fanden zwei Winterwohnphasen im November 2025 statt.

2 Mayring einbauen: Mayring, P. (2022): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 13., überarbeitete Auflage. Weinheim/Basel: Beltz.

Die Teilnehmenden der Befragung waren überwiegend Studierende der Studiengänge Architektur, Bauingenieurwesen, Verkehrs-wirtschaftsingenieurwesen (VWING) sowie des berufsbegleitenden Studiengangs „Nachhaltiges und Ressourcenschonendes Bauen“, kurz SUM, vgl. Tab. 2. Mit 16 Personen machten die SUM-Studierenden den größten Anteil der Befragten aus. Sie waren durchschnittlich älter als die restlichen Befragten und verfügten zum Befragungszeitpunkt studien- und berufsbedingt über vertiefte Vorkenntnisse im Bereich des nachhaltigen Bauens und waren mit den geführten öffentlichen Diskussionen vertraut.



Freizeit im Living Lab NRW
© Living Lab NRW

Merkmal	Kategorie	Probandenanzahl (n)	Anteil %
Geschlecht	weiblich / männlich / divers	25 / 18 / 1	57 / 41 / 2
Alter	18–25 / 26–30 / 31–35 / 35–40 J. / k. A.	15 / 11 / 8 / 9 / 1	34 / 25 / 18 / 20 / 2
Studiengang	SUM / Architektur / VWING / Bauingenieurwesen/ k. A.	16 / 10 / 7 / 5 / 6	36 / 23 / 16 / 11 / 14
bewohntes Gebäude	Local+ / MIMO / FIRSTLIFE / SUM / X4S	11 / 10 / 5 / 9 / 9	25 / 23 / 11 / 20 / 20
private Wohnform	Wohnung / Haus	39 / 5	89 / 11
allein wohnend	nein / ja / k. A.	35 / 8 / 1	80 / 18 / 2
private Wohnfläche	gesamt: Ø 83,0 m² (Median 74,5 m²); individuell: Ø 24,6 m²/Person (Median 18,0 m²)	44 / 40	–

Tabelle 2:
Ausgewählte soziodemografische Merkmale
der Probandengruppe (n = 44)

Insgesamt wies die Befragung eine weitgehend ausgewogene Geschlechterverteilung auf. 89 % der Teilnehmenden lebten zum Zeitpunkt der Erhebung in einer Wohnung, 80 % in einem Mehrpersonenhaushalt. Die Verteilung der Probanden auf die einzelnen Häuser hing mit den zur Verfügung stehenden Schlafplätzen in den jeweiligen Häusern zusammen.

Um Neutralitätstendenzen zu vermeiden, wurden ausschließlich vierstufige Likert-Skalen ohne Mittelwert eingesetzt (z. B. „gut“ – „eher gut“ – „eher nicht gut“ – „nicht gut“). Diese methodische Entscheidung sollte die Tendenzen bei den Antworten gegenüber ungeraden Skalen klar herausstellen³. Die Skalen deckten Zufriedenheit, wahrgenommene Qualität, gestalterische Bewertung und Nutzungsintensität ab.

Ergebnisse

Hohe Grundakzeptanz des Suffizienzprinzips

Die Ergebnisse zu Akzeptanz und Flächenwahrnehmung zeigten ein durchweg positives Bild: Die Unterteilung der Gebäude in einen individuellen, also einen abgetrennten und eigenständig nutzbaren Bereich, und einen gemeinschaftlichen Bereich wurde mehrheitlich von den Befragten positiv bewertet. SUM-Studierende beurteilten dieses Konzept mit 80 % „gut“-Stimmen deutlich positiver als die übrigen Befragten (54 %). In den Interviews wurde die positive Gesamteinschätzung damit begründet, dass die Gemeinschaftsflächen als Erweiterung des eigenen Wohnraums positiv empfunden wurden und sehr gut funktionierten.

Auch die zwischen rund 4 m² (persönlicher Rückzugs-Cube Local+) und 54 m² (Gesamtfläche X4S) großen Individualflächen wurden mehrheitlich als „angemessen“ (57 %) bzw. sogar „optimal“ (30 %) eingestuft. Nur 14 % empfanden sie als zu klein, während niemand für „zu groß“ stimmte.

3 Weijters, B.; Cabooter, E.; Schillewaert, N. (2010): The effect of rating scale format on response styles: The number of response categories and response category labels. Working Paper, Universiteit Gent.

Abbildung 1:

Bewertung der Unterteilung in einen gemeinschaftlichen und einen individuellen Bereich (Anteile in %), nur Bewohner*innen der drei Gebäude mit separatem Gemeinschaftsbereich (Local+, MIMO, FIRSTLIFE).

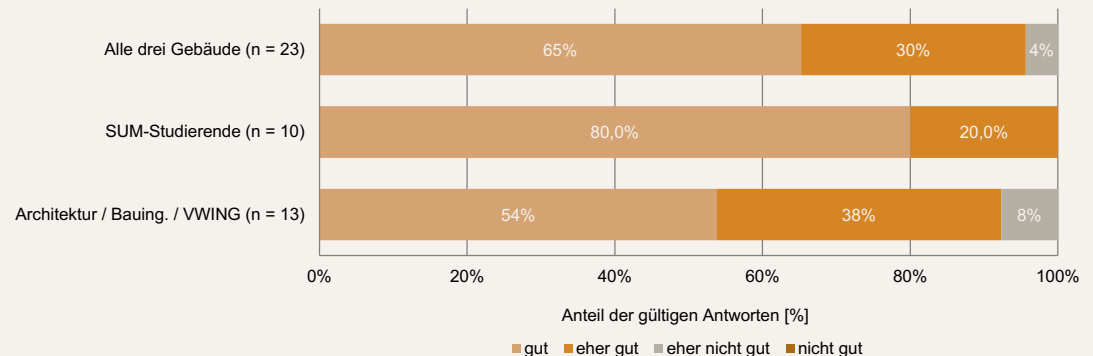
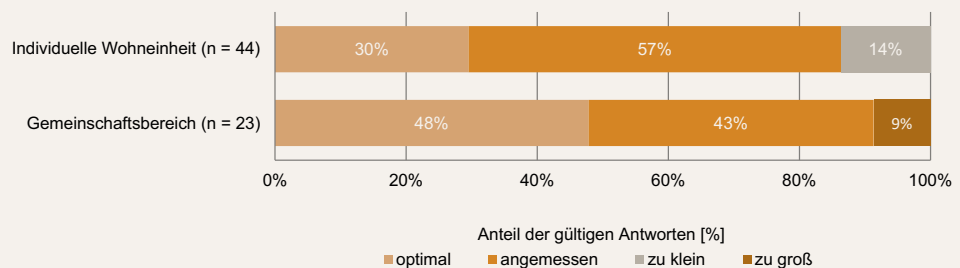


Abbildung 2:

Bewertung der Flächenverfügbarkeit (Anteile in %). Fragen zum Gemeinschaftsbereich nur für Local+, MIMO und FIRSTLIFE.



Der Gemeinschaftsbereich schnitt sogar noch etwas besser ab. Hier fiel ins Auge, dass 9 % den Gemeinschaftsbereich sogar als „zu groß“ empfanden. Unterschiede zwischen Geschlechtern waren in der Auswertung moderat. Bemerkenswert war aber, dass die private Wohnsituation der Teilnehmenden keinen Einfluss auf die Bewertung zu haben schien. Die subjektiv empfundene Angemessenheit der Wohnraumgröße hing offenbar weniger vom gewohnten Flächenstandard als von der Qualität des konkreten Raumangebots ab.

Funktionale und gestalterische Qualität

Sowohl die funktionale Qualität der Individualbereiche, wie Flexibilität oder Stauraum, als auch die gestalterische Qualität wurden überwiegend positiv bewertet. 77 % (41 % „gut“ Stimmen) bewerteten die funktionale Qualität der Individualbereiche eher positiv, bei der gestalterischen Qualität stimmten sogar 84 % für „eher gut“ und „gut“.

Im Gemeinschaftsbereich zeigte sich ein ähnliches Bild, wobei die „gut“ bewertete Gestaltung des Gemeinschaftsbereichs mit 65 % herausstach. Die funktionale Qualität lag auf einem vergleichbaren Niveau zum Individualbereich, vgl. Abb. 3.

Die Interviews präzisierten die persönlichen Bewertungen der Studierenden: Bemängelt wurden der knappe Stauraum, zu kleine Arbeits- und Ablageflächen sowie ein fehlendes separates Bad im Gemeinschaftsbereich. Positiv hervorgehoben wurden hingegen flexible Elemente, wie der mobile Küchenblock in FIRSTLIFE, die multifunktionale „Wohnwand“ in SUM, rollbare Arbeitstische, Treppen mit Stauraum, sowie die vertikale Zonierung des Gemeinschaftsbereichs im MIMO, die zusätzliche Rückzugsorte schuf.

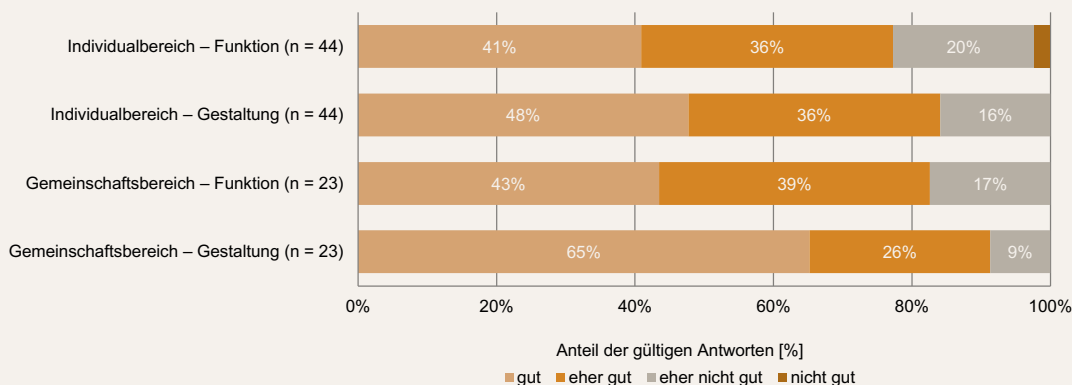


Abbildung 3:
Funktionale und gestalterische Qualität der Wohnbereiche (Anteile in %). Fragen zum Gemeinschaftsbereich nur für Local+, MIMO und FIRSTLIFE.

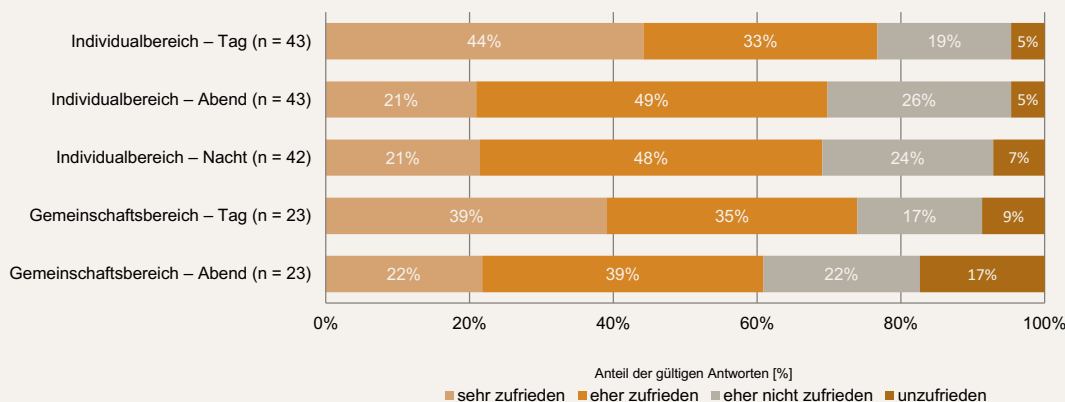


Abbildung 4:
Zufriedenheit mit der Privatsphäre im Tagesverlauf (Anteile in %). Fragen zum Gemeinschaftsbereich nur für Local+, MIMO und FIRSTLIFE.

Gemeinschaftliche Außenbereiche: Positive Bewertung versus tatsächliche Nutzung

Das Vorhandensein eines gemeinschaftlichen Außenbereichs bewerteten 93 % der Befragten positiv, begrünte Flächen wie Dachgärten und Hochbeete 86 %. Trotz dieser positiven Bewertung wurden die gemeinschaftlichen Außenbereiche nur vergleichsweise selten genutzt. Während der innenliegende Gemeinschaftsbereich von 95 % regelmäßig genutzt wurde, davon von 64 % der Befragten sogar „intensiv“, nutzte den Außenbereich nur die Hälfte der Befragten überhaupt (23 % „intensiv“, 27 % „sporadisch“).

Diese Diskrepanz zwischen positiver Bewertung und tatsächlicher Nutzung dürfte unterschiedliche Ursachen gehabt haben: Zum einen könnte dies an der Terminierung der Wohnphasen gelegen haben. Die Studierenden wohnten nur unter der Woche im Living Lab NRW. Neben dem Studium hatten sie vermutlich nur begrenzt Freizeit, in der die Außenbereiche genutzt werden konnten. Zum anderen wies die Auswertung darauf hin, dass Ausstattung, Witterungsschutz und konkrete Nutzungsangebote wesentliche Voraussetzungen dafür sind, dass gemeinschaftliche Außenräume tatsächlich angenommen und genutzt werden.

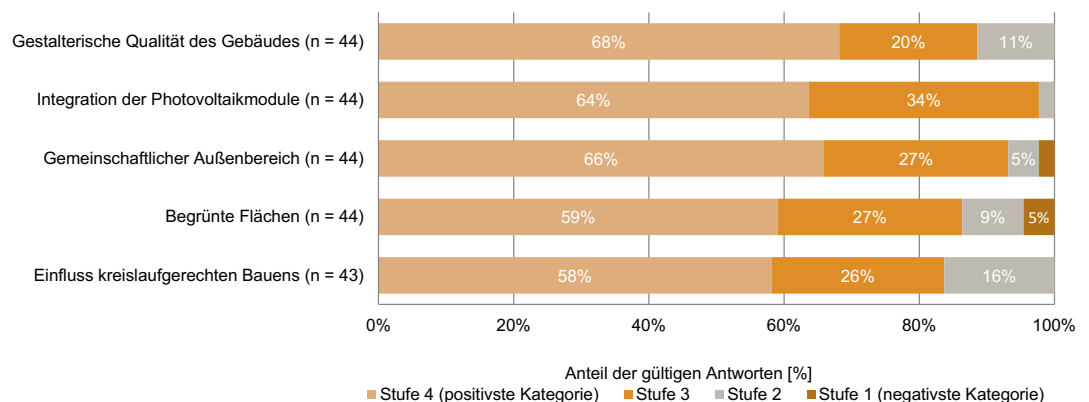
Sichtschutz als Schlüsselfaktor der Privatsphäre

Zufriedenheit mit der Privatsphäre in den Demonstrationsgebäuden nahm im üblichen Tagesablauf ab, vgl. Abb.4: Im Individualbereich waren tagsüber 77 % der Befragten „sehr zufrieden“ bzw. „eher zufrieden“, nachts sank die Zufriedenheit auf 69 %. Im Gemeinschaftsbereich wurde der Rückgang noch deutlicher: Von 71 % am Tag auf 57 % am Abend. Die Interviews führten dies auf großflächige, bodentiefe Verglasungen ohne konzeptionell mitgedachten Sichtschutz zurück. Im Erdgeschoss von Local+ bspw. sorgte die Sichtachse zur stark frequentierten Nordbahntrasse abends für Unbehagen. Als gelungen galt die Lösung im X4S, dessen umlaufendes Fensterband dank Brüstungshöhe und in die Fenster eingelassener Lamellen gute Belichtung mit zuverlässigem Sichtschutz verband. Ebenso positiv wurde FIRSTLIFE wahrgenommen: Zum einen überzeugte die Positionierung der verglasten Fassade weg von der exponierten Nordbahntrasse, zum anderen wurden die blickdichten Vorhänge als besonders vorteilhaft bewertet.

Nachhaltige Gestaltungselemente als Akzeptanztreiber

Die gestalterische Gesamtqualität der Gebäude bewerteten 68 % als „ansprechend“ (vgl. Abb. 5). Die Einbindung der Photovoltaikmodule erreichte mit 64 % „gut“-Stimmen und 34 % „eher gut“-Stimmen die höchste Zustimmung. In den Interviews wurde die konzeptionelle Integration der PV in die Architektur, im Gegensatz zu additiven Lösungen, als ausschlaggebend für die durchweg positive Bewertungen hervorgehoben.

Abbildung 5:
Wahrnehmung nachhaltiger Gestaltungselemente (Anteile in %). Skalenaufschlüsselung: Gestaltungsqualität „ansprechend“ ... „nicht ansprechend“; PV-Integration „gut“ ... „nicht gut“; Außenbereich/Begrünung „vorteilhaft“ ... „unvorteilhaft“; Einfluss kreislaufgerechten Bauens „hoch“ – „eher nicht hoch“ – „eher niedrig“ – „niedrig“.



Den Einfluss des kreislaufgerechten Bauens auf das Erscheinungsbild schätzten 58 % als „hoch“ ein. Haptik und Sichtbarkeit der natürlichen, sortenreinen Materialien wurden ebenfalls durchgängig positiv beschrieben.

Der Vergleich der Auswertung nach Studiengängen differenzierte dieses Bild: SUM-Studierende vergaben für die gestalterische Qualität (81 % gegenüber 61 %) und die Begrünung (75 % gegenüber 50 %) deutlich häufiger die Bestnote als die übrigen Befragten. Der wahrgenommene Einfluss des kreislaufgerechten Bauens unterschied sich hingegen kaum (56 % gegenüber 59 %). Es ist zu vermuten, dass der Unterschied demnach weniger in der Wahrnehmung der Nachhaltigkeitsmerkmale als in deren Wertschätzung lag. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass das Fachwissen und die Berufserfahrung der SUM-Studierenden die positive Bewertung nachhaltiger Architektur begünstigten.

Die Demonstrationsgebäude im Vergleich

Über die Gesamtbetrachtung hinaus wurden die fünf Gebäude anhand von sechs Kriterien direkt miteinander verglichen: nach der Größe der individuellen und der gemeinschaftlichen Wohnfläche, der funktionalen und der gestalterischen Qualität, der gestalterischen Einbindung der Photovoltaik sowie der Privatsphäre. Für den Vergleich wurde der Median der vierstufigen Bewertungsskalen (überwiegend positiv = 4 bis überwiegend negativ = 1) verwendet. Für die Flächenbewertung wurde die Skala als „optimal = 4“, „angemessen = 3“, zu „klein = 2“ und „zu groß = 1“ kodiert, Gestaltung, Qualität und Privatsphäre als „gut = 4“, „eher gut = 3“, „eher nicht gut = 2“ und „nicht gut = 1“. Die Privatsphäre wurde als Median über die drei Tageszeiten gebildet. Die gemeinschaftliche Wohnfläche konnte nur für die drei Gebäude mit separatem Gemeinschaftsbereich bewertet und verglichen werden.

Der Vergleich zeigte, dass die Medianwerte durchweg zwischen 2 und 4 auf einem hohen Gesamtniveau lagen. Eine durchgängige Rangfolge konnte nicht festgestellt werden, vielmehr rückten spezifische Stärken der einzelnen Demonstrationsgebäude in den Vordergrund, vgl. Abb. 6.

Die individuelle Wohnfläche wurde in allen fünf Gebäuden übereinstimmend mit dem Median 3 bewertet. Das Flächenangebot wurde demnach unabhängig von der konkreten Größe als „angemessen“ empfunden. Deutlicher unterschieden sich die übrigen Kriterien.

FIRSTLIFE erreichte trotz der individuellen Wohnfläche von rund 15 m² sowohl bei der funktionalen als auch bei der gestalterischen Qualität den Bestwert (Median 4). MIMO wurde nach fast allen Kriterien als ausgewogener Demonstrator bewertet.

X4S, SUM und Local+ erzielten bei der PV(T)-Integration den Bestwert (Median 4), zeigten in den anderen Bewertungen aber Schwächen: So wurde bspw. SUM bei der Privatsphäre als einziges Gebäude im gesamten Vergleich mit einem Median von 2 als „eher nicht zufrieden“ bewertet.

Local+ erzielte überwiegend mittlere Bewertungen und konnte sich im soliden Mittelfeld positionieren. Bei der gemeinschaftlichen Wohnfläche sowie der PV(T)-Integration erreichte das Gebäude jeweils den Bestwert (Median = 4).

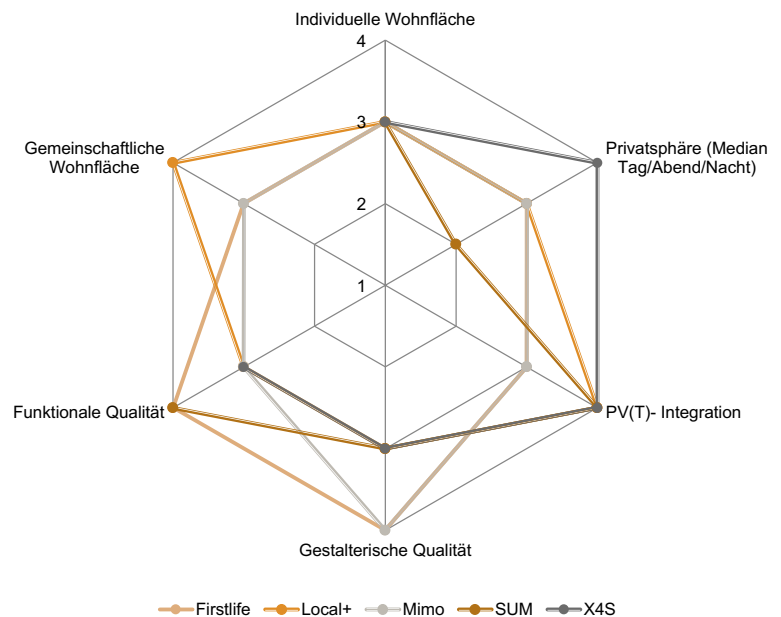


Abbildung 6:
Vergleichende Bewertung der Demonstrationsgebäude nach sechs Kriterien.

Bei der Privatsphäre traten die konzeptionellen Unterschiede besonders in Erscheinung. X4S war das einzige Gebäude, in dem die Zufriedenheit sowohl tags als auch nachts aufgrund der in die Fenster integrierten Lamellen auf einem hohen Niveau blieb (Median 4). In SUM sank der Median dagegen von 3 am Tag auf 2 in der Nacht, was sich mit den in den Interviews benannten Defiziten bei Sichtschutz und Verdunklung deckte.

Insgesamt bestätigte der Gebäudevergleich die These, dass nicht die Größe der Wohnfläche, sondern die Qualität von Ausstattung, Gestaltung und Sichtschutzkonzept die Bewertung der Bewohner*innen bestimmt.

Fazit

Die Auswertung der Befragungen und Interviews stützt die These, dass Wohnqualität nicht primär über Quadratmeter definiert wird. Trotz zum Teil recht kleiner Individualflächen bewerteten die Bewohner*innen das Flächenangebot mehrheitlich als angemessen oder optimal. Die Ergebnisse zeigen, dass die Akzeptanz kompakter Wohnformen aus dem Zusammenspiel mehrerer Faktoren entsteht.

Erstens muss die reduzierte Wohnfläche funktional kompensiert werden. Dies gelingt etwa durch ausreichend Stauraum, flexible Einbauten und eine durchdachte Zonierung mit Raum für Gemeinschaft aber auch Rückzug. Gerade in diesem Bereich sahen die kritisch eingestellten Befragten das größte Optimierungspotenzial.

Zweitens erweist sich Privatsphäre als zentrale Voraussetzung. Der Rückgang der Zufriedenheit in den Abendstunden verdeutlicht, dass ein Sichtschutz von Beginn an Bestandteile der Planung sein und zugleich intuitiv bedienbar sein muss. Akustische Privatheit ist ebenso gefragt.

Drittens lässt die Diskrepanz zwischen der positiven Bewertung der gemeinschaftlichen Außenbereiche und der vergleichsweise geringen Nutzung der Außenbereiche vermuten, dass Gemeinschaftsflächen besonders gut angenommen werden, wenn sie konkrete Nutzungsanlässe bieten und durch geeignete Möblierung sowie Witterungsschutz unterstützt werden. Allein das Vorhandensein reicht nicht.

Viertens deutet der Vergleich der befragten Studierendengruppen darauf hin, dass Vorwissen die Wertschätzung nachhaltiger Gestaltungsmerkmale erhöht. Dies unterstreicht das Potenzial von Kommunikation und Bildung zur Akzeptanzsteigerung.



Entspannen auf der Dachterrasse des Hauses FIRSTLIFE

Zeit für sportliche Aktivitäten auf dem Living Lab NRW Campus.

Die Aussagekraft der Ergebnisse wird jedoch durch mehrere Faktoren eingeschränkt: Die Befragung von Studierenden baunaher Berufe dürfte die Einschätzungen tendenziell positiv beeinflusst haben. Zudem begrenzen die geringe Fallzahl und die kurze Wohndauer die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf dauerhaftes Wohnen und heterogenere Nutzergruppen.

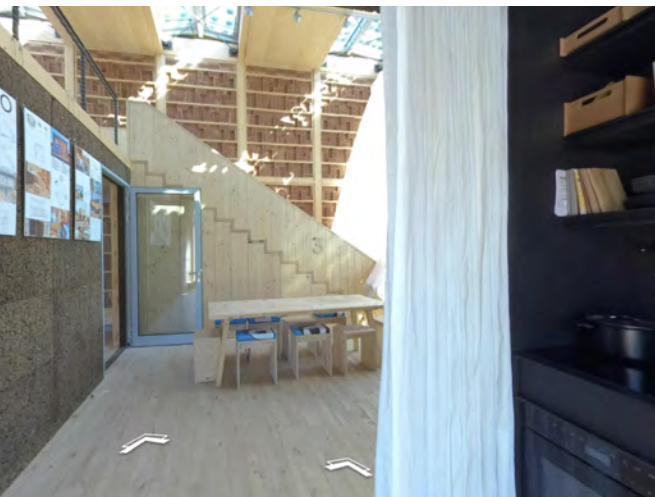
Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass flächensuffiziente und kreislaufgerechte Wohnkonzepte nicht im Widerspruch zu hoher Wohnqualität stehen, sondern bei einer ganzheitlichen Planung eine hohe Akzeptanz und Alltagstauglichkeit erreichen können.

Gemeinsames Essen in Haus MIMO
© Living Lab NRW



raumwahrnehmung in realität und virtual reality (vr)

Jan Pieper, Katharina Simon



VR-Perspektive FHA

VR-Perspektive HSD

© Living Lab NRW

Vor dem Hintergrund zunehmender Verfügbarkeit immersiver Medien stellt sich die Frage, ob VR-Rundgänge reale Exkursionen in der Architektur- und Bauphysiklehre ersetzen oder die Lehre bereichern können. Voraussetzung dafür ist, dass die in VR vermittelte Raumwahrnehmung der realen Erfahrung hinreichend nahekommt.

Einleitung

Das Living Lab NRW erprobte zukunftsfähige Wohnkonzepte. Zur Bewertung der Demonstrationsgebäude wurden Wohnphasen durchgeführt: Studierende übernachteten in ausgewählten Gebäuden und beurteilten anschließend deren architektonische, gestalterische und bauphysikalische Eigenschaften. Die hier ausgewerteten Übernachtungen beziehen sich auf die Demonstrationsgebäude Local+ (Aachen) und Mimo (Düsseldorf).

Parallel zu den Wohnphasen wurden VR-Rundgänge entwickelt, die diese zwei Gebäude als begehbbare virtuelle Modelle erlebbar machen. Eine Befragung zu den VR-Rundgängen wurde mit Studierenden an der Tschechischen Technischen Universität in Prag durchgeführt. Sie kannten die Gebäude nicht als reale Objekte. Damit wurden dieselben Bauwerke sowohl real bewohnt als auch virtuell begangen und nach vergleichbaren Kriterien bewertet.

Frühere Forschung zur Umwelt- und Kognitionspsychologie in virtuellen Welten zeigt, dass die Raum- und Distanzwahrnehmung in immersiven Umgebungen systematischen Verzerrungen unterliegt. Insbesondere Raumgrößen, Deckenhöhen und Distanzen werden in VR im Vergleich zur realen Umgebung häufig signifikant unterschätzt.¹ Während visuelle Oberflächenqualitäten und Lichtverhältnisse durch moderne Rendering-Engines hochgradig realistisch transportiert werden können, führt das Fehlen körperlicher, haptischer und kinästhetischer Tiefenreize, vor allem in engen Raumsituationen, oft zu einem Gefühl der visuellen Kompression.²

Dieser Effekt verstärkt sich psychophysiologisch, wenn statt frei begehbarer, dynamisch gerenderter

¹ Kuliga, S. F., Thrash, T., Dalton, R. C., & Hölscher, C. (2015). Virtual reality as an empirical research tool – Exploring user experience in a real building and a corresponding virtual model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 363-375.

² Ebenda

3D-Szenen statische, fotobasierte Medien genutzt werden. Durch die Fixierung auf vordefinierte Kamerapositionen und den Verzicht auf eine kontinuierliche Eigenbewegung fehlt dem visuellen System der sogenannte optische Fluss (optical flow). Die abrupte Punkt-zu-Punkt-Teleportation verhindert, dass das Gehirn die Raumgrenzen durch die Dynamik der Bewegung im Raum korrekt dekodiert.³ Zudem zeigt die Forschung, dass die Reduktion des Detaillierungsgrades (Level of Details, LOD) in virtuellen Umgebungen die räumliche Wahrnehmung und Distanzschätzung von Nutzenden negativ beeinflussen kann, während eine schrittweise Erhöhung der physischen Objektdetails die Wahrnehmungsgenauigkeit signifikant steigert.⁴

Aus dieser Ausgangslage leiten sich folgende Forschungsfragen ab:

- Inwieweit stimmt die architektonisch-räumliche Bewertung der Demonstrationsgebäude im VR-Rundgang mit der realen Vor-Ort-Bewertung überein?
- Wie bewerten die Teilnehmenden die Eignung des Mediums selbst hinsichtlich räumlicher Wahrnehmung, Orientierung und Vorstellbarkeit einer künftigen Lehrnutzung?
- Eignen sich VR-Rundgänge in der Folge eher zum Ersatz oder zur Ergänzung realer Exkursionen in der universitären Lehre?

Methodik

Es handelt sich um einen Vergleich zweier unabhängiger Querschnittsbefragungen. Da reale und virtuelle Bewertung von unterschiedlichen Personengruppen vorgenommen wurden, konzentriert sich die Auswertung auf einen deskriptiven Vergleich der Gruppenmodalwerte entlang der erhobenen Bewertungsdimensionen.

An der Realbefragung nahmen 23 Personen teil, die in den beiden untersuchten Demonstrationsgebäuden übernachtet haben. Die Befragten waren Studierende aus den Studiengängen „Sustainable Construction | Urban Mining“ (10), Bauingenieurwesen (6) und Architektur (7).

An der VR-Befragung an der Tschechischen Technischen Universität (CTU) in Prag nahmen insgesamt 15 Personen teil, die beide VR-Rundgänge der Demonstrationsgebäude bewerteten, woraus sich ein aggregierter Datensatz von n=30 Objektbewertungen ergibt. Die Prager Stichprobe setzte sich aus 13 Studierenden des Masterstudiengangs „Bauingenieurwesen | Building and Environment“ sowie zwei wissenschaftlichen Mitarbeitenden der Fakultät für Bauingenieurwesen zusammen.

Technisch basierten die VR-Rundgänge auf realen, hochauflösenden 360°-Fotografien der Demonstrationsgebäude und nicht auf animierten oder frei modellierten 3D-CAD-Umgebungen. Die Fortbewegung innerhalb der virtuellen Modelle erfolgte diskontinuierlich über eine vordefinierte Punkt-zu-Punkt-Teleportation zwischen festen Standorten; eine freie, kontinuierliche Bewegung im virtuellen Raum war nicht möglich. Während des gesamten, etwa 30-minütigen VR-Versuchs nahmen die Probanden eine stehende Körperhaltung ein, um eine visuelle Orientierung auf Augenhöhe der Kamerapositionen zu gewährleisten.

Beide Befragungen nutzten eine vierstufige Bewertungsskala (1 = sehr schlecht, 2 = eher schlecht, 3 = eher gut, 4 = sehr gut). Um die methodische Vergleichbarkeit mit Befragungen zu gewährleisten, wurde bewusst eine Likert-Skala ohne neutrale Mittelkategorie gewählt, wodurch die Teilnehmenden zu einer eindeutigen Tendenzbeurteilung bezüglich der abgefragten Kriterien bewegt wurden. Erfasst wurden Designqualität, Größe und Privatsphäre, jeweils getrennt für den gemeinschaftlichen und den individuellen Bereich; die VR-Befragung ergänzte zudem drei medienspezifische Aspekte (räumliche Wahrnehmung in VR, Orientierung, Vorstellbarkeit künftiger Nutzung).

Für jede Dimension wurden Modalwerte berechnet und miteinander verglichen. Angesichts der kleinen Stichproben sind die Kennwerte deskriptiv zu interpretieren.

3 Riecke, B. E., van Veen, H. A., & Bühlhoff, H. H. (2002). Visual homing is possible without landmarks: A path integration study in virtual reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11(5), 443-473.

4 Abouelkhier, N., Shawky, D., & Marzouk, M. (2022). Evaluating distance perception for architecture design alternatives in immersive virtual environment: a comparative study. *Construction Innovation*, 22(2), 205-221.

Ergebnisse

Übereinstimmung der Evaluation durch Realität oder VR

Abbildung 1 stellt die Modalwerte der Bewertungen für die sechs identisch erhobenen Bewertungskategorien gegenüber. Im gemeinschaftlichen Bereich liegen die reale und die virtuelle Bewertung sehr nahe beieinander; lediglich die Privatsphäre wird im Rahmen der virtuellen Begehung geringfügig schlechter eingestuft. Im individuellen Bereich zeigt sich ein differenzierteres Bild: Während die Privatsphäre in der VR-Befragung positiver bewertet wurde als in der Realität, fiel die Beurteilung der Designqualität virtuell negativer aus. Die subjektive Raumgröße des individuellen Bereichs wurde in beiden Untersuchungsgruppen übereinstimmend mit einem Modalwert von 3 bewertet.

Abhängigkeit vom einzelnen Demonstrator

Bei einer differenzierten Betrachtung der beiden Demonstrationsgebäude offenbaren sich jedoch erhebliche Unterschiede in der Wahrnehmung (Abbildung 4 und 5). Die Virtual-Reality-Evaluation des Aachener Gebäudes weicht in vier der sechs abgefragten Kriterien von den Bewertungen der realen Bewohnerinnen und Bewohner ab. Während der offene Gemeinschaftsraum in VR bezüglich seiner Designqualität und Größe

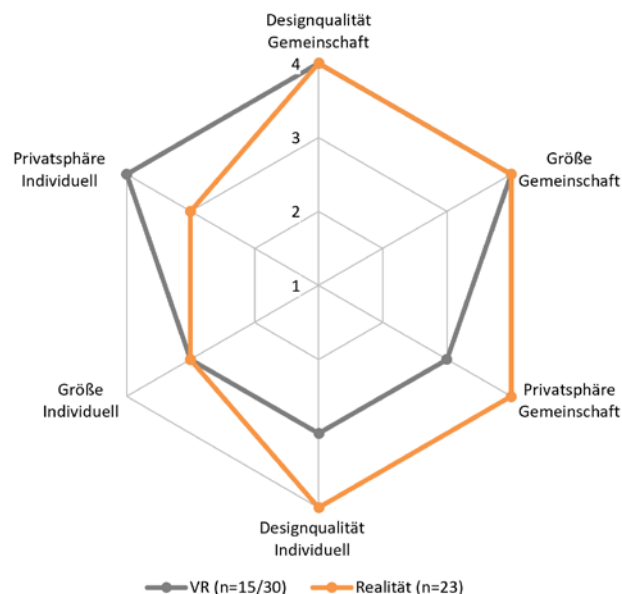
sogar höhere Bewertungen erhielt, wurden die Größe und die Privatsphäre des individuellen Bereichs in der virtuellen Umgebung deutlich negativer beurteilt.

Beim Gebäude der Hochschule Düsseldorf zeigt sich hingegen ein homogeneres Bild mit lediglich einer nennenswerten Verschiebung bei der Einschätzung der Privatsphäre. Interessanterweise wurde die Privatsphäre des individuellen Bereichs im VR-Versuch als höher eingestuft, wohingegen die Bewertung durch die realen Bewohner genau gegenteilig ausfiel.

Eignung von VR

Unabhängig vom direkten Abgleich mit der Realität beurteilen die Teilnehmenden das VR-Medium selbst als sehr positiv (Abbildung 3). Die Orientierung innerhalb der virtuellen Umgebung wurde in beiden Rundgängen mit einem Modalwert von 4 als „sehr gut“ bewertet. Unterschiede zeigen sich jedoch bei der räumlichen Wahrnehmung sowie bei der Vorstellbarkeit einer künftigen Nutzung in der Lehre: Hier schnitt das Aachener Gebäude im Vergleich zum Düsseldorfer Gebäude etwas schwächer ab. Während für das Gebäude der Hochschule Düsseldorf in beiden Kategorien ein Modalwert von 4 erzielt wurde, lag dieser für die FH Aachen jeweils bei 3. Dies deutet darauf hin, dass die Geometrie und die Raumstruktur des jeweiligen Objekts einen

Abbildung 1:
Modalwert Bewertung (Skala 1–4) in
Realität (n = 23) und VR (n = 15/30) für
die sechs deckungsgleichen Dimen-
sionen.



direkten Einfluss auf die Akzeptanz und die Wahrnehmungsqualität des virtuellen Mediums haben.

Fazit

Großzügige, offene und atmosphärisch geprägte Gemeinschaftsbereiche wurden in der Stichprobe in VR praktisch identisch oder sogar besser als in der Realität bewertet. Während bei dem Düsseldorf-Gebäude die Designqualität und Größe im Gemeinschaftsbereich in beiden Medien gleichauf lagen, wurde das Aachener Gebäude in VR in diesen Kategorien sogar besser beurteilt als in der Realität. Diese positivere Wahrnehmung lässt sich maßgeblich auf die idealen Aufnahmebedingungen zurückführen: Die für die 360°-Fotografien genutzten Räume waren optimal ausgeleuchtet, visuell ansprechend hergerichtet und boten somit einen idealisierten Raumeindruck, der die gestalterische Qualität in der virtuellen Darstellung begünstigte.

Gleichzeitig traten bei der Bewertung der Privatsphäre und der kleinteiligen, intimen Individualbereiche deutliche Diskrepanzen auf. Ein wesentlicher Grund für diese Abweichungen liegt in der mangelnden sozialen Interaktion während der VR-Begehung. Während die realen Bewohner die Räume im dynamischen Alltag und im Austausch

mit anderen Personen erlebten, bewegten sich die VR-Probanden in einem vollkommen menschenleeren virtuellen Raum. Ohne die physische Präsenz anderer Personen bleibt die Beurteilung von Privatsphäre und räumlicher Enge in VR eine rein fiktionale Einschätzung, da die tatsächliche soziale Dichte und die alltägliche Raumnutzung nicht nachempfunden werden können.

Besonders deutlich zeigte sich die medienspezifische Grenze bei der Einschätzung der privaten Raumgröße. Während das großzügiger geschnittene Düsseldorf-Gebäude kaum Abweichungen aufwies, wurden die kompakten Schlafkuben des Aachener Gebäudes in VR systematisch als deutlich beengter wahrgenommen. Diese abweichende Wahrnehmung des privaten Raums erklärt sich durch die Art der Darstellung und die extrem kompakten Raumverhältnisse des Aachener Entwurfs.

Dieses Muster lässt sich maßgeblich auf die Wechselwirkung aus Medienformat, Fortbewegungsart und Körperhaltung zurückführen. Während beim längeren, realen Aufenthalt das physische Bewohnen (z. B. das Liegen im Schlafkubus, das Sitzen und das Berühren von Oberflächen) ergänzende Reize und adäquate Skalierung erzeugt, verbleiben VR-Nutzende in einer gänzlich anderen Reizsituation. Da die Probanden

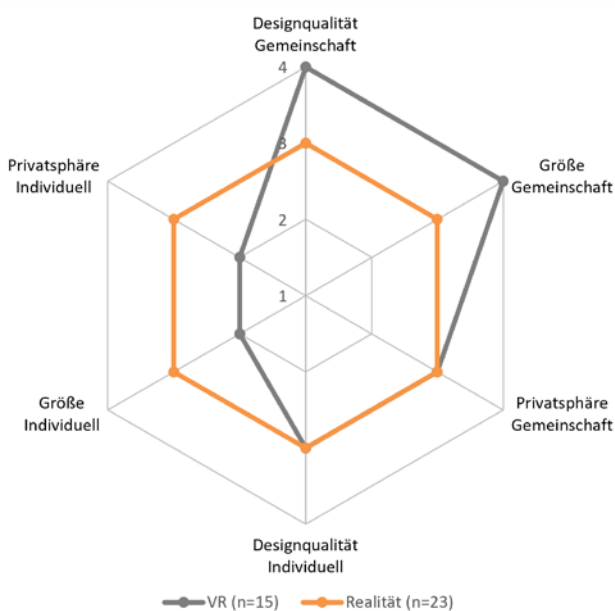


Abbildung 2:
Individueller Bereich – VR-Bewertung FHA
Aachen gegenüber dem realen Modalwert.

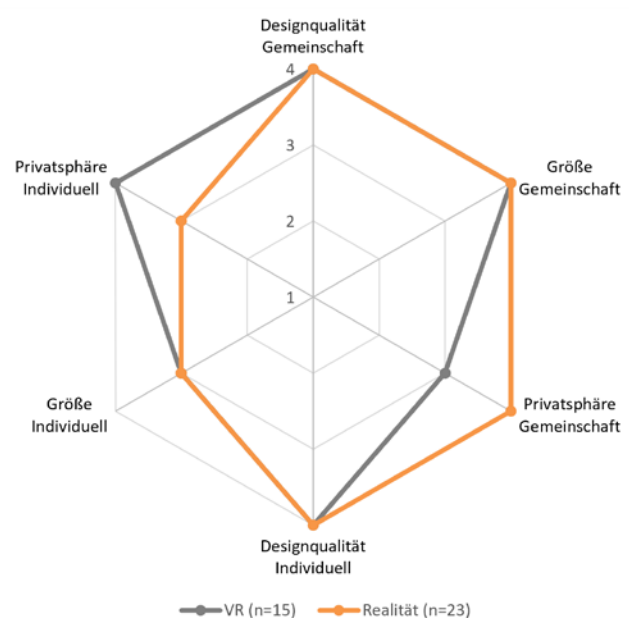


Abbildung 3:
Individueller Bereich – VR-Bewertung HSD
gegenüber dem realen Modalwert.

während der Versuche starr im Raum standen und sich ausschließlich per Teleportation von Fixpunkt zu Fixpunkt bewegten, fehlte dem Gehirn die propriozeptive und kinästhetische Rückmeldung einer echten Eigenbewegung.⁵

Da es sich zudem um fotobasierte Panoramen handelte, fehlt die dreidimensionale Tiefenwirkung einer dynamisch berechneten 3D-Geometrie bei Annäherung an Wände. Der Mangel an einem kontinuierlichen optischen Fluss (optical flow) führt bei kleinen, eng dimensionierten Räumen dazu, dass die Raumgrenzen visuell komprimiert wahrgenommen werden.⁶ Während in großen Gemeinschaftsräumen dieses Defizit kaum ins Gewicht fällt, führt diese medienspezifische Barriere in engen Strukturen zu einer systematischen Unterschätzung der Raumgröße.⁷ Zudem stützt die Forschung, dass das Vorhandensein realer Einrichtungsgegenstände die Distanzwahrnehmung in VR im Vergleich zu leeren Räumen maßgeblich beeinflusst und präzisiert, was die Übereinstimmung in den möblierten Gemeinschaftsbereichen erklärt.⁸

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass virtuelle Rundgänge ein hervorragendes Werkzeug sind, um architektonisch-räumliche Qualitäten von offenen Strukturen realitätsnah und

unter Idealbedingungen erfahrbar zu machen. Sie eignen sich in der universitären Lehre ideal zur Ergänzung und Vorbereitung von Exkursionen sowie zur Erschließung sonst unzugänglicher oder weit entfernter Objekte.

Eine fundamentale didaktische und methodische Stärke des VR-Rundgangs liegt dabei in der vollständigen Kontrollierbarkeit der virtuellen Umgebung. Während die Bedingungen vor Ort bei einer realen Exkursion stark von unvorhersehbaren äußeren Faktoren abhängen, bietet VR eine konstante, reproduzierbare Lernumgebung. Zudem lässt sich die VR-Umgebung durch gezielte unterschiedliche Aufnahmen oder gezielte Modellierungen flexibel anpassen: So können beispielsweise verschiedene Lichtverhältnisse (Tag, Nacht, Kunstlicht) oder alternative Möblierungen im direkten Vergleich abgebildet und für die Studierenden analysierbar gemacht werden.

Ein vollständiger Ersatz realer Begehungen ist hingegen kritisch zu sehen, sobald es auf die sensible Einschätzung kompakter Räume, haptische Qualitäten und die reale soziale Dynamik im bewohnten Raum ankommt: Hier stößt die rein visuelle, statische VR-Vermittlung an ihre systemischen Grenzen.

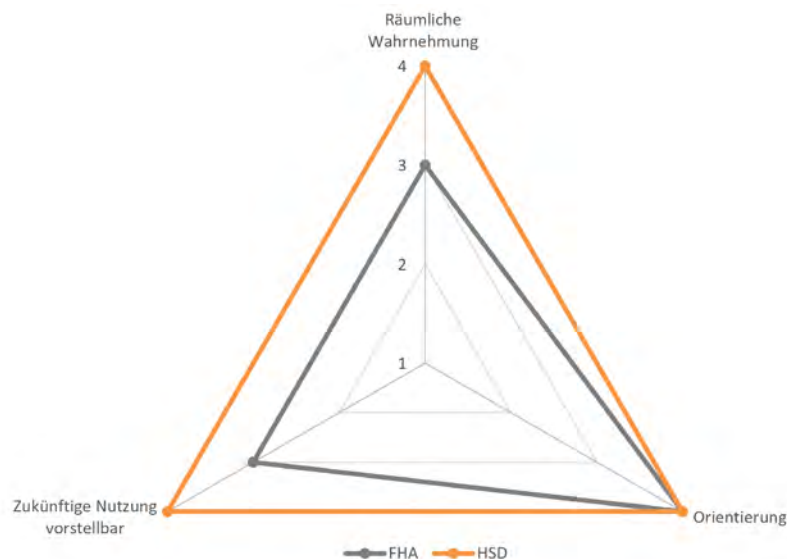
5 Riecke et al. (2002).

6 Ebenda

7 Kuliga et al. (2015).

8 Abouelkhier et al. (2022).

Abbildung 4:
VR-spezifische Eignungsmerkmale
(Modalwert, Skala 1–4).





An der TU Prag konnten Studierende die VR Umgebung testen und anhand eines Fragebogens bewerten.
© Living Lab NRW

alterungsverhalten von fassadenoberflächen

Katharina Simon, Kersten Schmitz

Die äußere Schicht von Fassaden übernimmt bei Gebäuden wichtige Funktionen. Sie schützt die dahinter liegende Konstruktion vor Witterungseinflüssen und prägt das architektonische Erscheinungsbild. Im Kontext des zirkulären Bauens kommen weitere Anforderungen hinzu: Fassadensysteme sollen möglichst ressourcenschonend hergestellt, rückbaubar konstruiert und somit am Ende des Gebäudelebenszyklus eine Wieder- oder Weiterverwendung ermöglichen. Das betrifft damit auch die äußere, sichtbare Schicht.

Während Fassaden im Wohnungsbau heute häufig aus Verbundkonstruktionen bestehen, verfolgen Fassaden einen anderen Ansatz. Durch demontierbare Konstruktionen, trennbare Fügungen und Sortenreinheit sollen Materialien möglichst lange im Kreislauf gehalten werden.

Gebäude/Oberflächenmaterial	Verformungen	farbliche flächige Veränderungen	farbliche punktuelle Veränderungen	Abkratzen	Feuchtigkeitsschäden	Abbrüche
Valencia						
Kachelsystem (Flexbrick)	● ● ●	● ●	● ●	● ● ●	● ●	● ● ●
Polycarbonat Doppelsteg	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	● ● ●	●
Keramik-Panel	● ● ●	● ●	● ● ●	● ●	● ● ●	● ●
Rahmenkonstruktion Holz	●	○	○	● ●	○	● ●
Taiwan						
Kachelsystem (Kunststoff)	● ●	○	○	●	● ●	●
Delft						
Plattensystem (landwirtschaftliche Reststoffe)	○	●	● ●	● ●	○	●
Fassadenintegrierte Photovoltaik	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	● ● ●
Biberach						
Fassadenintegrierte Photovoltaik-Thermie-Module	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
Holzrahmen Konstruktion	●	● ●	● ●	● ●	●	● ● ●
Pécs						
Holzverkleidung	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	● ●	● ● ●
Prag						
Faserzementplatten	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●

● ● ● keine Veränderungen

● ● moderat verändert

● durch Veränderungen beeinträchtigt

○ stark durch Veränderungen beeinträchtigt

Tabelle 1:
Matrix zur Bewertung der Fassadensysteme
von sechs Demonstratoren

Mit den Demonstrationsgebäuden des Living Lab NRW bot sich die Möglichkeit, unterschiedliche dem Anspruch nach kreislaufgerechte Fassaden, über einen Zeitraum von drei Jahren unter vergleichbaren Bedingungen zu beobachten. Die Fassadenkonzepte der Demonstrationsgebäude waren unterschiedlich und verwendeten in der Praxis etablierte als auch experimentelle Materialien und Konstruktionen. Ziel der Analyse war es, Veränderungen an den Fassadenoberflächen zu dokumentieren und daraus Erkenntnisse für Planung, Konstruktion und Rückbau abzuleiten.

Methodisches Vorgehen

Analysiert wurden Fassaden von sechs Demonstrationsgebäuden im Living Lab NRW, die sich durch einen hohen Innovationsgrad, den Einsatz nachwachsender oder recycelter Materialien sowie durch demontierbare Konstruktionen auszeichneten. Die Analyse erfolgte anhand von Planunterlagen, Vor-Ort-Sichtprüfungen sowie vergleichenden Fotodokumentationen aus den Jahren 2022 und 2025. Die Ergebnisse wurden in einer Matrix hinsichtlich Materialität und Konstruktion sowie sichtbaren Veränderungen wie Verfärbungen, Verformungen, Rissbildungen oder Abbrüchen dargestellt und ausgewertet.

Ergebnisse

Bewährte Robustheit: Keramik, Glas und Faserzement

Die Analysen zeigen, dass die in den Gebäuden Valencia, Delft, Biberach und Prag eingesetzten Materialien und Konstruktionen im betrachteten Zeitraum witterungsbeständig waren.

In Valencia wurden keramische Kacheln verwendet, die ohne Mörtel oder Kleber in ein Trägersystem aus Edelstahl-Draht eingehängt wurden (vgl. Abb. 1 und 2), sowie großformatige Keramik-Paneele die mittels eines Klemmverfahrens an einer Metall-Unterkonstruktion befestigt waren. Beide Systeme zeigten nach drei Jahren nahezu keine Schäden am Material. Lediglich die rauhen, weißen Kacheln wiesen leichte Farbveränderungen auf, während die glasierten Oberflächen unverändert blieben.

Ebenso robust erwiesen sich die fassadenintegrierten Photovoltaik-Systeme mit ihren Glasoberflächen am Gebäude Delft, die punktuell

an einer Edelstahl-Unterkonstruktion befestigt waren, sowie die Photovoltaik-Thermie-Module (PV-T) des Biberacher Gebäudes. Auch die in Prag verbauten Faserzement-Paneele, die auf einer marktüblichen, klebstofffreien Holz-Unterkonstruktion befestigt waren, wiesen keinerlei sichtbare Veränderungen auf, vgl. Abb. 3 und 4.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die untersuchten Oberflächenmaterialien in Verbindung mit demontierbaren Befestigungssystemen über den betrachteten Zeitraum hinweg keine relevanten Einschränkungen hinsichtlich ihrer Witterungsbeständigkeit erkennen ließen.

Herausforderungen von Innovationen: Kunststoff und Biomasse

Im Unterschied dazu wurden bei experimentellen Fassaden, die auf neuartigen Materialentwicklungen basierten, deutliche Veränderungen festgestellt. Besonders sichtbar wurde dies am Gebäude Taiwan. Die westliche Fassade bestand aus rahmenlosen, rückseitig verschraubten Kacheln aus recyceltem Kunststoff, die auf einem kunststoffbasierten Tragsystem befestigt waren, vgl. Abb. 5 und 6. Die Kacheln beinhalteten eine thermochrome Funktion mit einem Farbwechsel, u. a. zur Reduktion des Wärmeeintrags. Diese Fähigkeit ging bereits nach kurzer Zeit verloren. Nach drei Jahren war die Oberfläche zudem durch Materialabbrüche, fehlende Kacheln und Schrauben sowie dunkle Verfärbungen und Rostspuren stark beeinträchtigt.

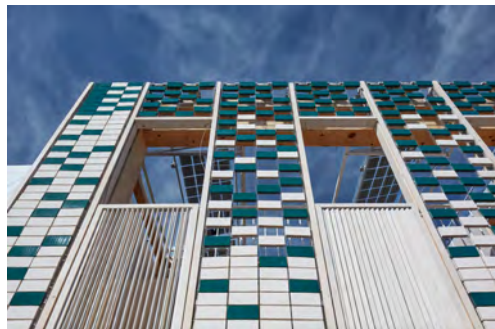


Abb. 1 und 2:
Fassade Valencia bestehend aus einem Trägersystem aus Edelstahl mit eingehängten, glasierten und unglasierten keramischen Kacheln; oben im Jahr 2022, unten 2025.
© Sigurd Steinprinz

Ein vergleichbares Alterungsverhalten war bei den Fassadenpaneelen des Gebäudes Delft zu beobachten. Die Platten in der Optik von Holz wurden aus landwirtschaftlichen Reststoffen gefertigt und auf einer Holz-Unterkonstruktion montiert. Die Oberflächen wiesen bereits frühzeitig deutliche Verwitterungserscheinungen und Verformungen auf, was schließlich zum vollständigen Entfernen der Paneele führte, vgl. Abb. 7 und 8.

Diese Ergebnisse zeigen, dass innovative Materialien oft noch nicht die Robustheit etablierter Systeme erreichen und eine deutliche Verbesserung hinsichtlich ihrer Witterungsbeständigkeit benötigen.

Die Ästhetik des Alterns: Holzfassaden

An mehreren Demonstrationsgebäuden kamen unbehandelte Holzoberflächen zum Einsatz. Wie zu erwarten, hängt die visuelle Veränderung maßgeblich von der Holzart und der verwendeten Konstruktion ab. Während die vertikale Lärchenschalung des Gebäudes Pécs, die rückseitig auf eine Holzunterkonstruktion aufgeschraubt war, trotz Witterungseinflüssen kaum visuelle Veränderungen aufwies, zeigten sich in Biberach

und Valencia deutliche Veränderungen, vgl. Abb. 9 und 10.

Die in Biberach verwendeten Vollholzbretter aus Fichte zeigten eine deutliche Vergrauung und Verformung, Abb. 11 und 12. In Valencia litten die aus nicht für den Außeneinsatz vorgesehenen Furnierschichthölzern gefertigten Türzargen und Fensterlaibungen deutlich. Hier traten insbesondere an den Anschlusspunkten zwischen dem Furnierschichtholz und den Keramikpaneelen bzw. Polycarbonatplatten starke farbliche Veränderungen und Deformationen auf.

Diese Erkenntnisse unterstreichen die zentrale Bedeutung der Materialwahl und des konstruktiven Holzschutzes. Natürliche Alterungsprozesse müssen bei unbehandelten Oberflächen bereits in der Entwurfsphase gestalterisch berücksichtigt werden.

Systemische Schwachstellen: Unterkonstruktionen und Materialübergänge

Auch die Konstruktion und Fügung tragen zu Veränderungen des visuellen Erscheinungsbildes bei. Mehrere Fassadensysteme wiesen Deformationen der Unterkonstruktion oder Veränderungen



Abb.3 und 4:
Fassade Prag aus Faserzement-Paneelen,
oben im Jahr 2022, unten 2025.

Abb.5 und 6:
Fassade Taiwan aus Kacheln hergestellt aus
recyceltem Kunststoff, oben im Jahr 2022,
unten 2025.

Abb.7 und 8:
Fassade Delft aus Platten hergestellt aus
landwirtschaftlichen Reststoffen, oben im
Jahr 2022, unten 2025 bereits demontierter
Zustand.

gen an Materialübergängen auf. Exemplarisch hierfür steht die keramische Fassade in Valencia: Während die Kacheln selbst intakt blieben, verformte sich die filigrane Unterkonstruktion aus Edelstahl-Seilen über den Zeitraum von drei Jahren unregelmäßig, was zu einer Auflösung des ursprünglich präzisen Fugenbildes führte, vgl. Abb. 1 und 2.

Kritisch erwies sich zudem die Kombination formstabiler Materialien wie Keramik, PV-Module oder Polycarbonat mit Holzbauteilen. Während die harten Oberflächen ihre Geometrie unverändert beibehielten, führte das Quellen und Schwinden des Holzes zu sichtbaren Spannungen und Fugenverschiebungen an den Anschlusspunkten.

Die Untersuchungen verdeutlichen somit, dass ein dauerhaft positives äußeres Erscheinungsbild kreislaufgerecht konstruierter Fassaden maßgeblich von der geeigneten Materialwahl, der richtigen Unterkonstruktion sowie der präzisen Detailierung von Materialübergängen abhängt.

Fazit

Die Analysen an den Demonstrationsgebäuden des Living Lab NRW zeigen, dass kreislaufgerecht

te Fassaden nicht allein anhand ihrer Möglichkeit zur Wiederverwendbarkeit bewertet werden können. Ebenso entscheidend sind Dauerhaftigkeit, Wartungsaufwand und die Qualität der konstruktiven Details.

Während sich keramische Fassaden, Faserzementpaneele und fassadenintegrierte Solarsysteme als robust erwiesen, zeigten insbesondere experimentelle Materialien und neuartige Konstruktionsansätze deutliche Alterungsspuren und Schäden. Gleichzeitig wurde deutlich, dass viele Veränderungen nicht auf die Fassadenmaterialien selbst zurückzuführen sind, sondern auf Unterkonstruktionen, Anschlüsse und Materialübergänge.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass Zirkularität nicht allein eine Frage der Materialwahl ist. Vielmehr müssen Rückbaubarkeit, Dauerhaftigkeit, konstruktive Qualität und Alltags-tauglichkeit gemeinsam betrachtet werden. Das Living Lab NRW bot hierfür einen besonderen Forschungsrahmen, da das Erscheinungsbild unterschiedlicher Fassadensysteme über mehrere Jahre unter identischen Standortbedingungen analysiert und miteinander verglichen werden konnten.



Abb.9 und 10:
Fassade Haus Pécs aus vertikal verbauter geriffelter Lärche, oben im Jahr 2022, unten 2025.



Abb.11 und 12:
Fassade Haus Biberach Vollholzbretter aus Fichte, oben im Jahr 2022, unten 2025.

© Sigurd Steinprinz,
Bergische Universität Wuppertal

rückbau als ressource

Katharina Simon

Zirkuläres Bauen wird häufig über die Wahl sortenreiner Materialien, reversibler Verbindungen oder modularer Konstruktionen definiert. Der Prüfstein dieser Prinzipien liegt im Rückbau. Im Moment der Demontage wird sichtbar, ob konstruktive Entscheidungen und die bauliche Umsetzung tragfähig sind.

Mit dem Ende des Living Lab NRW wurde der Rückbau bewusst als „forschender Rückbau“ konzipiert. Ziel war es, Prozesse, Materialströme, wirtschaftliche Rahmenbedingungen und Marktmechanismen zu analysieren und in den Kontext des zirkulären Bauens einzuordnen.

Die überwiegend aus Holz errichteten Demonstrationsgebäude waren, zumindest dem Anspruch nach, kreislaufgerecht geplant. Der Rückbau bot somit die Möglichkeit, Planung und Umsetzungsrealität miteinander zu vergleichen.

Im Verlauf des Projekts kristallisierten sich drei grundsätzliche Strategien heraus, die unterschiedliche Grade zirkulärer Wertschöpfung aufzeigen: die Weiternutzung am Standort, der Rückbau mit Wiederaufbau an einem neuen Standort sowie der Rückbau mit selektiver Bauteilerhaltung.

Drei Strategien im Vergleich

Die erste Strategie bestand darin, ein Gebäude am selben Standort in eine neue Nutzung zu überführen. Diese Variante stellt aus Sicht des Ressourcenerhalts die effizienteste Form der Zirkularität dar, da der energetische und der materielle Aufwand für Demontage, Transport und Neuerrichtung entfällt. Die Verlängerung des Nutzungszyklus bedeutet in diesem Fall die maximale Ausschöpfung der bereits gebundenen Ressourcen. Voraussetzung hierfür waren im konkreten Fall des Living Lab NRW baurechtliche Anpassungen sowie die Überführung aus einem temporären Wettbewerbsbetrieb in einen regulären Dauerbetrieb.

Die zweite Strategie verfolgte den Rückbau eines Gebäudes mit dem Ziel des Wiederaufbaus an einem neuen Standort. Hierbei bleibt das Gebäude als funktionale Einheit erhalten, wird jedoch



Abbildung 1:
Rückbau und Abtransport der Module
des Hauses SUM, Delft
© Living Lab NRW

räumlich umgesetzt. Diese Form der Zirkularität setzt eine modulare Konstruktion voraus, die eine Demontage ohne Beschädigung der baulichen Substanz ermöglicht.

Die dritte Strategie bestand im Rückbau mit selektiver Bauteilerhaltung. Hier wurde das Gebäude nicht als Ganzes weiterverwendet, sondern in seine Bestandteile zerlegt. Diese Option entspricht am ehesten dem Gedanken des Urban Mining, da einzelne Bauteile als Ressource verstanden und einer erneuten Nutzung zugeführt werden sollen. Zugleich ist diese Strategie mit dem höchsten organisatorischen und finanziellen Aufwand verbunden.

Rückbau und Wiederaufbau am Beispiel des Gebäudes „Delft“

Das Demonstrationsgebäude des Teams Delft wurde nach Abschluss der Forschungsphase zurückgebaut und zum Teil an einem neuen Standort in den Niederlanden wieder aufgebaut. Die Initiative ging von einem Unternehmen aus, das bereits während des Wettbewerbs als Sponsor beteiligt war und Interesse an der Übernahme des Gebäudes zeigte.

Die modulare Bauweise erwies sich als entscheidender Vorteil. Ganze Raummodule konnten mit Kran- und Hebetechnik demontiert und transportfähig gemacht werden. Der Rückbau dauerte sieben Tage. Insgesamt wurden 331 Arbeitsstunden geleistet, verteilt auf Vorarbeiter, Bauarbeiter und Helfer. Zum Einsatz kamen unter anderem knapp 10 Kranstunden sowie Hebe- und Transporttechnik. Der Abtransport erfolgte mit vier LKW, vgl. Abb. 3 Arbeits- und Maschinenstunden Rückbau Delft.

Gleichwohl zeigte sich auch hier eine Differenz zwischen planerischem Anspruch und baulicher Realität. Teile der Terrassenkonstruktion waren bereits beschädigt, die außenliegende Treppeanlage war aufgrund einer nachträglichen Abdichtung nicht mehr zerstörungsfrei rückbaubar, und der Technikraum erwies sich am neuen Standort als entbehrlich. Diese Aspekte verdeutlichen, dass Kreislauffähigkeit nicht allein durch Materialwahl bestimmt wird, sondern maßgeb-

lich von Detailplanung, Instandhaltungsstrategien und späteren Nutzungskontexten abhängt.

Die Erfahrungen aus diesem Fallbeispiel zeigen, dass Modularität und eine frühzeitige Wiederverwendungsstrategie den Rückbau erheblich erleichtern. Zudem zeigte sich, dass die Beteiligung von Personen, die bereits am Aufbau beteiligt waren, den Prozess organisatorisch und technisch deutlich beschleunigte.

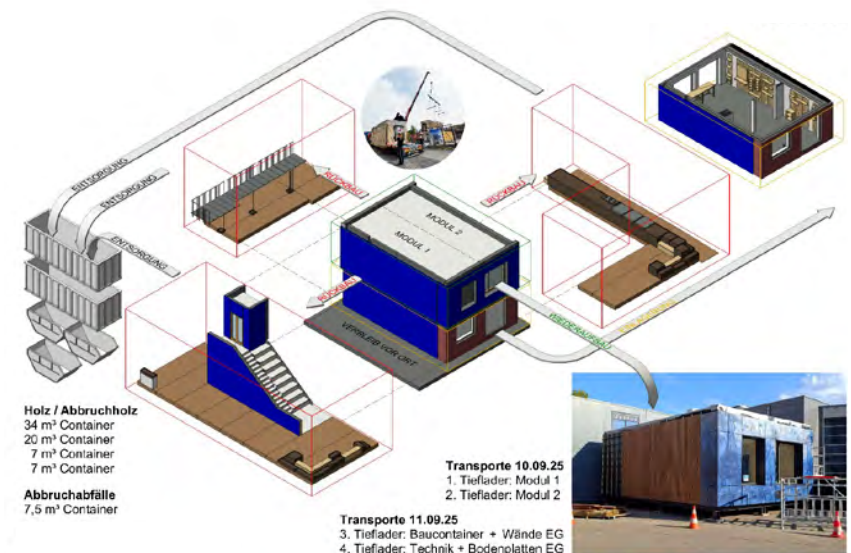
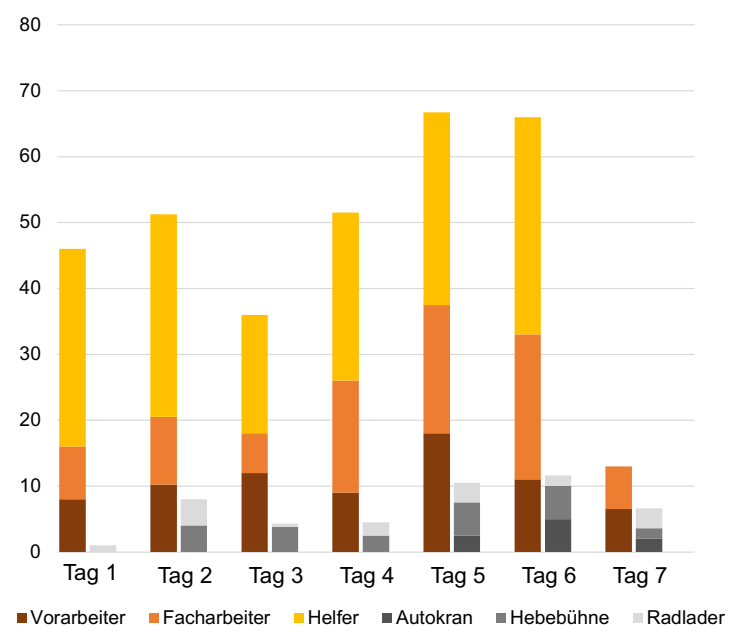


Abbildung 2:
 Vorgehensweise beim Rückbau Delft
 © Zusammenstellung Stefan Schulz,
 Living Lab NRW

Abbildung 3:
 Arbeits- und Maschinenstunden
 Rückbau Delft

Forschender Rückbau mit Bauteilerhaltung am Beispiel des Gebäudes Taiwan

Komplexer gestaltete sich der Rückbau des Gebäudes aus Taiwan. Hier war das Ziel die weitgehende Erhaltung einzelner Bauteile. Der Prozess wurde bewusst als wissenschaftlich begleiteter Rückbau angestoßen. In einem begleitenden Seminar wurden detaillierte Bauteilverzeichnisse erstellt. Dokumentiert wurden Verbindungstechniken, Abmessungen, Quantitäten, optischer Zustand von Bauteilen sowie die Möglichkeit der Zerlegung. Die Gebäude wurden hierarchisch analysiert – von Modulen bzw. Elementen über

Baugruppen bis hin zu einzelnen Baustoffen. Diese systematische Erfassung machte deutlich, dass zirkuläres Bauen eine differenzierte Datenerfassung benötigt, die über konventionelle Bauwerksdokumentationen hinausgeht.

Building Information Modeling (BIM) kann solche Prozesse grundsätzlich unterstützen. Im konkreten Fall zeigte sich jedoch, dass das während des Wettbewerbs erstellte BIM-Modell lückenhaft und für eine Auswertung qualitativ nicht geeignet war. Aus diesem Grund wurde entschieden, ein Excel-basiertes Bauteilverzeichnis zu erstellen.

In der Praxis zeigte sich, dass die theoretisch entwickelten Rückbauszenarien nur eingeschränkt realisierbar waren. Baustellenlogistik, Witterungsschutz und sicherheitstechnische Anforderungen führten zu Anpassungen im Ablauf. Hinzu kamen typische „Überraschungen“ wie verklebte Bauteile, uneinheitliche Verbindungstechniken oder Schimmelbildung. Diese Aspekte relativierten den Anspruch, die Wiederverwendungsquote möglichst hoch zu halten.

Der Rückbau dauerte 15 Tage und erforderte 615 Arbeitsstunden. Der Aufwand lag damit deutlich über dem des Rückbaus des Gebäudes Delft. Rund ein Drittel der Gebäudemasse, insbesondere die Primärkonstruktion aus Zedernholz, konnte wiederverwendet werden, der Rest wurde entsorgt.

Zentral war die Frage der Wirtschaftlichkeit. Der selektive Erhalt von Bauteilen erforderte zusätzliche Zeit und Sorgfalt. Es musste abgewogen werden zwischen zerstörungsfreier Demontage und effizienter Trennung von Bauteilen. Diese Spannungsfelder zeigen deutlich, dass nachhaltige Zielsetzungen im Rückbau stets in Konkurrenz zur Wirtschaftlichkeit stehen.

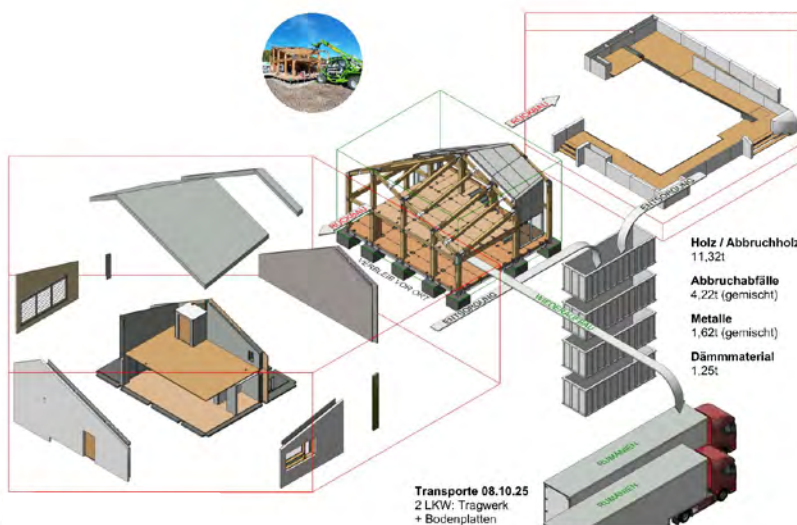
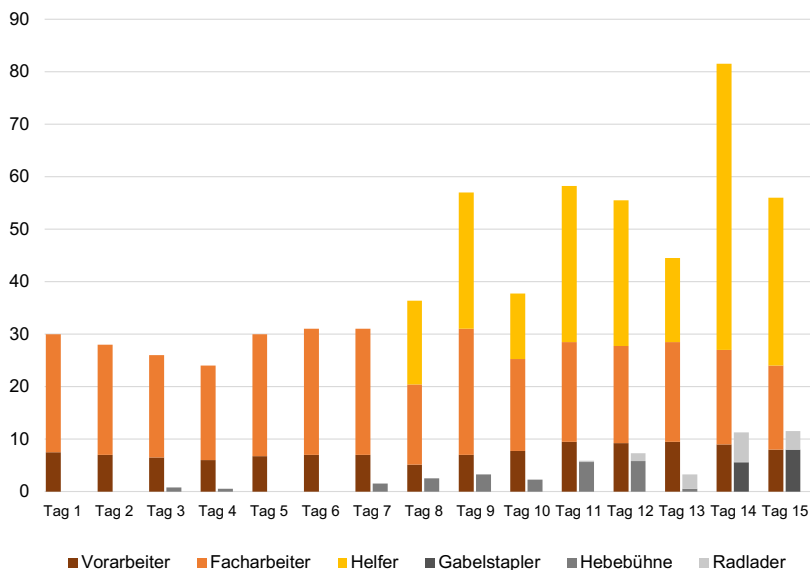


Abbildung 4:
Vorgehensweise beim Rückbau Taiwan
© Zusammenstellung Stefan Schulz,
Living Lab NRW

Abbildung 5:
Arbeits- und Maschinenstunden
Rückbau Taiwan

Marktmechanismen und regulatorische Hürden

Ein wesentliches Thema beim forschenden Rückbau ist die Vermarktung rückgebauter Bauteile. Versuche technische Komponenten über bekannte digitale Plattformen zu veräußern, blieben weitgehend erfolglos. Gewährleistungsfragen, fehlende CE-Kennzeichnungen sowie baurechtliche Unsicherheiten erschwerten eine Wiederverwendung im regulären Marktumfeld.

Darüber hinaus zeigte sich, dass Bauteildimensionen eine zentrale Rolle spielen. Groß dimensionierte Holzbalken lassen sich nicht ohne Weiteres mit gängigen Maschinen weiterverarbeiten. Die Frage, wer als Abnehmer, z. B. Schreiner oder Zimmerer, infrage kommt, hängt unmittelbar mit den maschinellen Bearbeitungsmöglichkeiten zusammen.

Diese Erkenntnisse verdeutlichen, dass Zirkularität von technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen abhängig ist.

Vergleich mit konventionellem Rückbau

Zum Vergleich wurde das Demonstrationsgebäude aus Valencia konventionell rückgebaut. Dieser Rückbau dauerte sieben Tage und erforderte lediglich 129 Arbeitsstunden. Der direkte Vergleich mit den beiden zirkulären Strategien macht deutlich, dass selektive Rückbauprozesse gegenwärtig mit einem erheblichen Mehraufwand an Arbeitszeit und somit Kosten verbunden sind.

Schlussfolgerung

Der Rückbau im Living Lab NRW hat gezeigt, dass zirkuläre Bauprinzipien ihre Bewährungsprobe im Rückbau erfahren. Zwischen planerischem Anspruch und baulicher Realität bestehen deutliche Spannungsfelder. Modularität erleichtert Wiederverwendung, selektive Bauteilerhaltung ist technisch möglich, jedoch mit erheblichem Mehraufwand verbunden. Marktmechanismen und regulatorische Rahmenbedingungen stellen zusätzliche Hürden dar.

Zirkuläres Bauen endet somit nicht mit der Fertigstellung eines Gebäudes. Erst im kontrollierten Rückbau entscheidet sich, ob Materialien tatsächlich als Ressource verstanden und im Kreislauf geführt werden können. Der forschende Rückbau im Living Lab NRW erweitert das Verständnis nachhaltiger Planung um diese oftmals vernachlässigte Phase im Gebäudelebenszyklus.



Abbildung 6:
Rückbau und Erhalt der Primärkonstruktion aus Holz
© Living Lab NRW

Delft	Taiwan	Valencia
Wiederverwendung Obergeschoss	Wiederverwendung Holzskelettbau	konventioneller Abriss
7 Tage	15 Tage	7 Tage
331 Arbeitsstunden	615 Arbeitsstunden	129 Arbeitsstunden
Kran: 9,5 Std. Manitou:15 Std. Hebebühne: 22 Std.	Gabelstapler: 14 Std. Hebebühne: 23 Std. Radlader: 14 Std.	Bagger: 39 Std.
4 x Transport LKW	2 x Transport LKW	

Tabelle 1:
Gegenüberstellung des Aufwands beim Rückbau mit Bauteilerhaltung im Vergleich zum konventionellen Abriss



7 Nutzungs- perspektiven

Während das Living Lab NRW erstmals nach einem Solar Decathlon die Möglichkeit bot, acht der Gebäude über mehrere Jahre weiter zu betreiben und zu beforschen, entwickelten auch die anderen am Wettbewerb teilnehmenden Hochschulen individuelle Nachnutzungskonzepte. Die Strategien reichten von der dauerhaften Integration in Forschung und Lehre über öffentliche Informations- und Ausstellungsgebäude bis hin zu Kooperationen mit Unternehmen.

Das war keine neue Herausforderung: Schon 2010, bei der Teilnahme der Bergischen Universität Wuppertal am Solar Decathlon in Madrid, musste ein kurzfristig nach dem Wettbewerb nicht mehr verfügbares Grundstück im heimatlichen Wuppertal kompensiert werden. Das Haus wurde abgebaut, zwischengelagert und erst später an einem neuen Ort in der Stadt wiederaufgebaut. Anschließend wurde es über zwei Jahre bewohnt und für Forschung und Lehre genutzt.

neue orte, neue aufgaben: die nachnutzung der demonstrationsgebäude des living lab nrw

Katharina Simon

Das Living Lab NRW war von Beginn an als temporäres Reallabor geplant. Bereits während der Projektlaufzeit stellte sich die Frage nach geeigneten Nutzungsperspektiven nach Abschluss des Projektes. Die Entwicklung geeigneter Nachnutzungskonzepte war ein zentrales Element des Gesamtkonzepts. Sie folgte den Leitgedanken der Kreislaufwirtschaft, der lokalen Wertschöpfung und der Transformation bestehender Ressourcen in neue Nutzungskontexte.

Für die acht Demonstrationsgebäude des Living Lab NRW und den Infopavillon Urban Hub wurden unterschiedliche Wege der Weiterverwendung entwickelt. Zwei Gebäude verblieben am bisherigen Standort an der Wuppertaler Nordbahntrasse, vier Gebäude und der Urban Hub wurden beziehungsweise werden an neue Standorte versetzt. Zwei weitere Gebäude wurden zurückgebaut. Damit reicht das Spektrum von

der Weiter- und Umnutzung am bestehenden Standort über die Überführung an neue Orte bis zur Wiederverwendung einzelner Bauteile.

Die Umsetzung dieser unterschiedlichen Perspektiven wurde insbesondere durch das bestehende Netzwerk in Wuppertal und der Region ermöglicht. Die Gebäude konnten dadurch frühzeitig in neue Vorhaben und Nutzungskontexte eingebunden werden. Im Frühjahr 2026 wurde dieser Übergang mit einer symbolischen Schlüsselübergabe an die neuen Eigentümer*innen besiegelt.

Neue Aufgaben am Standort des Living Lab NRW

Zwei der Demonstrationsgebäude verblieben am heutigen Standort an der Wuppertaler Nordbahntrasse.

Das Gebäude Local+, gebaut von der FH Aachen, wird durch die Alte Feuerwache gGmbH als quartiersbezogene Begegnungsstätte genutzt. Angeboten werden insbesondere Bildungsveranstaltungen und Beratungen für Kinder und Familien mit Schwerpunkten auf Ernährung, Bewegung und mentaler Gesundheit. Damit erhält das Gebäude eine soziale Funktion innerhalb der Wuppertaler Nordstadt und wird Teil der lokalen Nachbarschaft.

Auch das Gebäude Lungs of the City verblieb am Standort. Es wird von der Bundesgartenschau 2031 gGmbH als Informations- und Begegnungsort am innerstädtischen Standort an der Nordbahntrasse genutzt. Diese Weiternutzung knüpft an die bereits im Living Lab NRW verfolgten Ziele der Wissensvermittlung und Öffentlichkeitsarbeit an und erweitert diese um touristische und stadtgesellschaftliche Angebote.



Katharina Simon begrüßt die Teilnehmenden bei der symbolischen Schlüsselübergabe im Frühjahr 2026 im Haus MIMO.

© Jan Pieper

Neue Orte innerhalb der Region

Mehrere Gebäude wurden bereits oder werden an neue Standorte umgesetzt und dort in bestehende Entwicklungsprojekte integriert.

Das Demonstrationsgebäude FIRSTLIFE der Technischen Universität Prag wird im Rahmen der Bundesgartenschau 2031 nach Wuppertal-Vohwinkel versetzt. Dort soll es als öffentliche Anlaufstelle dienen und Besucherinnen und Besuchern innovative Ansätze nachhaltigen Bauens vermitteln. Damit bleibt das Gebäude weiterhin Bestandteil der Wuppertaler Stadtentwicklung und übernimmt erneut eine demonstrative Funktion.

Das Gebäude MIMO der Hochschule Düsseldorf wird künftig im Müngstener Brückenpark eingesetzt. Nach einer Anpassung der Gebäudehülle entsteht dort ein Besucherzentrum für den Brückensteig sowie das Bergische Städtedreieck. Gleichzeitig soll das Gebäude perspektivisch in die Aktivitäten der Bundesgartenschau 2031 eingebunden werden. Die Nachnutzung zeigt exemplarisch, wie modulare Demonstrationsgebäude an neue räumliche und funktionale Anforderungen angepasst werden können.

Der Urban Hub, der während des Living Lab NRW als Informationspavillon diente, wird von den Wirtschaftsbetrieben Duisburg genutzt. Im Rahmen der Internationalen Gartenausstellung 2027 in Duisburg wird der Pavillon Bestandteil eines Umweltlernpfades und für Bildungs- und Vermittlungsangebote eingesetzt. Die ursprünglich temporär konzipierte Informationsstruktur erhält damit eine neue öffentliche Nutzung.

Zurück an die Hochschule

Nicht alle Demonstrationsgebäude wechseln in öffentliche oder touristische Nutzungen. Das Gebäude X4S kehrte an den Campus der Hochschule Biberach zurück. Dort wird es künftig erneut in Forschung und Lehre eingesetzt und als Demonstrationsgebäude im Rahmen der Entwicklung eines klimaneutralen Hochschulcampus genutzt. Das Gebäude bleibt also Forschungsobjekt.

Fazit

Die Weiterverwendung der Demonstrationsgebäude zeigt, dass das Living Lab NRW weit über die eigentliche Projektlaufzeit hinaus Wirkung entfaltet. Die Gebäude wechseln aus einem wissenschaftlichen Reallabor in konkrete Anwendungsfelder der Stadtentwicklung, Bildung, Forschung und des Tourismus. Damit übernehmen sie neue gesellschaftliche Funktionen und tragen die im Solar Decathlon Europe 21/22 sowie im Living Lab NRW entwickelten Ideen und verfolgten Ziele in unterschiedliche Kontexte weiter.

Gleichzeitig veranschaulichen die unterschiedlichen Perspektiven das Potenzial modularer und demontierbarer Gebäude. Sie können an veränderte Anforderungen angepasst und an neue Standorte versetzt werden. Nachhaltigkeit endet damit nicht mit dem Abschluss eines Forschungsprojektes. Vielmehr eröffnet die Weiterverwendung der Demonstrationsgebäude eine weitere Phase ihres Lebenszyklus und macht sie selbst zu einem praktischen Beispiel zirkulären Bauens.



- Rektorin Prof. Birgitta Wolff unterstreicht die Bedeutung der Nachnutzungen für die Region.
© Friederike von Heyden
- Prof. Karsten Voss leitet die Schlüsselübergaben ein.
© Stefan Schulz

der verbleib aller wettbewerbsgebäude – eine übersicht

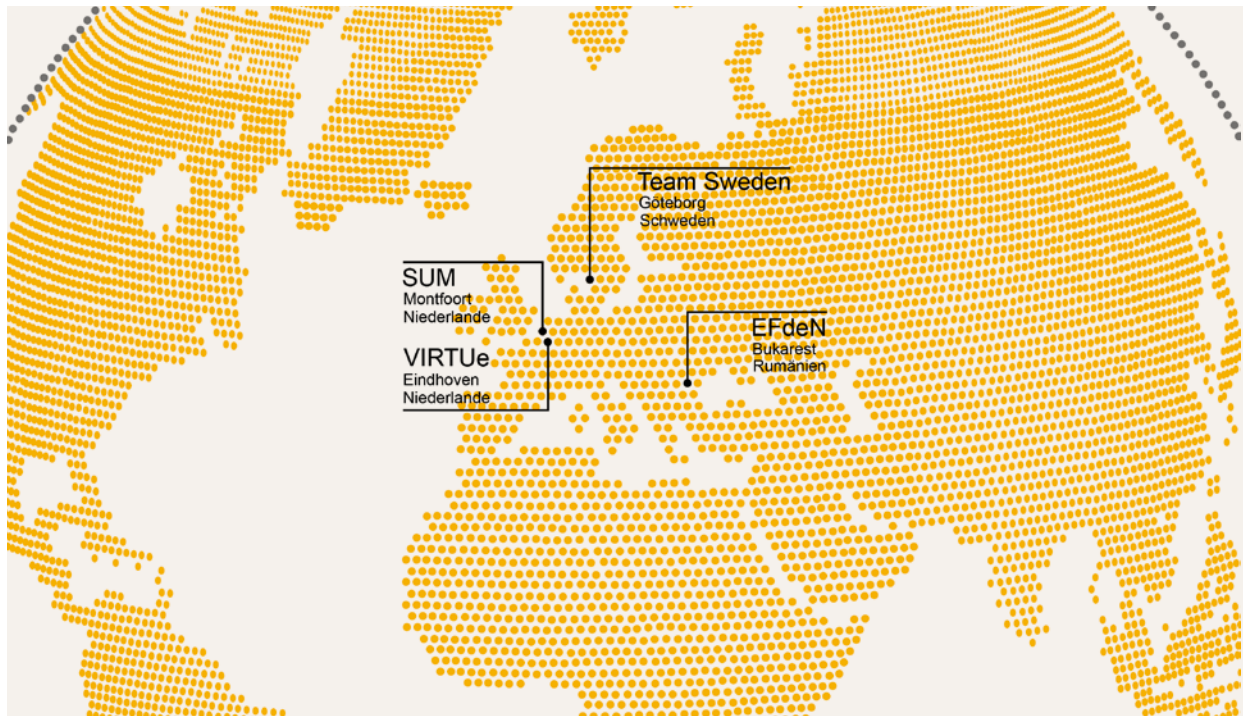
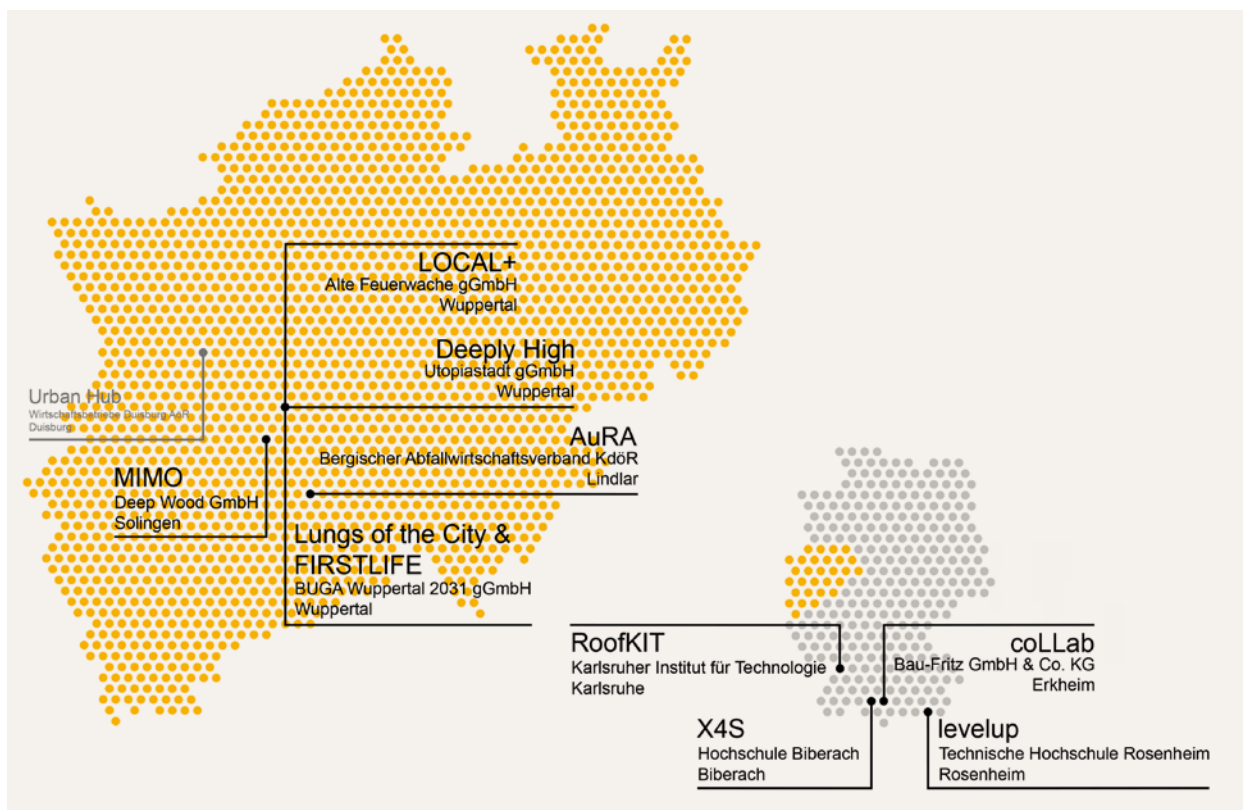


Abbildung 1:
Projektlandkarte der aktuellen Standorte
aller Demonstrationsgebäude
© Living Lab NRW

Acht Demonstrationsgebäude sind nach dem SDE 21/22 direkt weitergezogen

Die Hälfte der Demonstrationsgebäude des Solar Decathlon Europe 21/22 wurde Teil des Reallabors in Wuppertal. Die andere Hälfte wechselte nach dem Wettbewerb an neue Standorte. Manche wurden dort sofort wiederaufgebaut, andere zunächst eingelagert, wieder andere zerlegt und dienten als Basis für neue Projekte.

Einen Überblick über den Verbleib aller Wettbewerbsgebäude zeigt die Projektlandkarte. Nach der Zeit im Living Lab NRW holte das Team SUM das Gebäude für eine Nachnutzung als Demonstrator bei seinem Industriepartner ins niederländische Montfoort ab. Für die anderen Projekte außerhalb des Living Lab NRW konnten die folgenden Nachnutzungen ermittelt werden:

- Wesentliche Teile des Gebäudes vom Team aus Göteborg wurden nach der Demontage zurück nach Göteborg gebracht. Dort wurden Teile für universitäre Analysen und Projekte im Bereich zirkuläres Bauen mit Holz-Zellulose-Mischungen durch 3D-Druck eingesetzt.
- Das Gebäude vom Team VIRTUe wurde nach dem Rückbau Bestandteil des living lab 040 in Eindhoven (<https://www.livinglab040.com>). Dort dient es als Forschungs- und Testobjekt für innovative, nachhaltige Wohnkonzepte und das soziale Verhalten von Bewohnern im Alltag.
- Das Team EFdeN demontierte ihr Haus nach dem Wettbewerb und baute es 100 km außerhalb von Bukarest wieder auf. Dort dient es seit September 2025 als öffentlich zugängliches Living Lab für Nachhaltigkeit, Gesundheit und regenerative Architektur mit therapeutischer, sozialer und pädagogischer Nutzung.
- Das Haus des Teams Deeply High verblieb in Wuppertal, wurde aber an einen neuen Standort im nahen Umfeld des Mirker Bahnhofs „verschoben“. Es wird 2026 für neue Nutzungen durch den Eigentümer Utopiastadt vorbereitet.
- Das Rosenheimer Team baute sein levelup zur Zwischenlagerung an der Hochschule ab.

Die nachfolgenden drei Beiträge stellen exemplarisch und ausführlich vor, welche Erfahrungen und Herausforderungen mit der direkten Nachnutzung nach dem Wettbewerb verbunden waren und welche technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit dies gelingt. RoofKIT zog als Gewinnerteam unmittelbar nach Karlsruhe um, CoLLab fand einen neuen Standort beim Kooperationspartner Baufritz im Allgäu. Das Haus Grenoble fand am nahen Innovationsstandort :metabolon in NRW eine neue Nutzung.

roofkit in karlsruhe

Andreas Wagner, Dirk E. Hebel,
Elena Boerman

Nach einer emotionsgeladenen und für das KIT äußerst erfolgreich abgeschlossenen Wettbewerbsphase des Solar Decathlon 2021-22 im Juni 2022 in Wuppertal (Abb. 1) wurden unmittelbar die Planung des Abtransports der Demonstratoreinheit des Gewinnerteams RoofKIT und der Wiederaufbau auf dem innerstädtischen Campus Süd des Karlsruher Instituts für Technologie begonnen. Dazu zählten die Auswahl des Standorts, die Bereitstellung aller Infrastrukturen (Wasser/Abwasser/Strom/Daten) und das Einholen sämtlicher notwendiger Genehmigungen, bis hin zur Sondierung des neuen Aufstellungsortes auf Kampfmittel aus dem Zweiten Weltkrieg.

Nach erfolgreicher Vorbereitung in Karlsruhe wurden dann im Herbst 2022 die für eine begrenzte Zeit ausgeliehenen Gebäudeteile und Materialien an die jeweiligen Unternehmen und Partner*innen in Wuppertal und der Region zurückgegeben. Dazu gehörten zum einen die im Außenbereich lose verlegten Pflastersteine, die, wie vorab geplant, wieder ausgebaut, auf die Anlieferungspaletten gestapelt und von einer Spedition abgeholt werden konnten. Zum anderen wurden die als Widerlager genutzten und

Abbildung 1:
Team RoofKIT gewann im Juni 2022 den
Solar Decathlon Europe 21-22
© SDE 21/22



mit Natursteinbruch gefüllten Gabionen zurückgebaut, und die Materialien in den ausgeliehenen Transportsäcken wieder an den lokalen Baustoffhändler im Bergischen Land zurückgegeben. Auch die beiden der dezentralen Wasseraufbereitung dienlichen Speicherbehälter konnten wieder zur Nachnutzung freigegeben werden.

Von Wuppertal nach Karlsruhe

Im November 2022 wurde dann die modular geplante und zusammengesetzte Demonstratoreinheit RoofKIT in Wuppertal innerhalb eines Tages mithilfe eines Krans und unter Zusammenarbeit von Studierenden und Zimmerleuten rückgebaut, auf die bereitstehenden LKWs verladen, gesichert und nach Karlsruhe transportiert (Abb. 2 und Abb. 3). Die unter dem Holzmodulbau befindliche Gerüstkonstruktion war nur für den Wuppertaler Standort gemietet worden und konnte deshalb unmittelbar nach dem Abbau des Demonstrators an das Gerüstbauunternehmen zurückgegeben werden. Somit konnte die These des Projekts bewiesen werden, dass bei sorgfältiger und kreislauffähiger Planung keinerlei Abfall oder sonstiger Ausschuss entsteht. Dies galt bis hin zu den

Transportsicherungen und Planen, die während der Standzeit in Wuppertal zwischengelagert wurden.

Die Demonstratoreinheit wurde am Folgetag des Transports dann, wie geplant wiederum nur an einem Tag, auf dem innerstädtischen Campus Süd des Karlsruher Instituts für Technologie ohne Probleme unweit der Architekturfakultät auf dem vorbereiteten Grundstück wieder aufgestellt und unmittelbar in einem sehr grünen Bereich des Campus in Betrieb genommen.

Am neuen Karlsruher Standort wurde die Gebäudeeinheit annähernd ebenerdig auf einer Unterkonstruktion aus lose gesetzten, gemieteten Fundamentsteinen aus mineralischem Recyclingmaterial wieder aufgestellt (Abb. 4). Aufgrund der vorgefundenen Bepflanzungssituation mussten die Raummodule dazu von einem Kran von den Transport-LKWs abgehoben und über die Baumkronen hinweg versetzt werden (Abb. 5).

Um den Zugang zum Gebäude wiederherzustellen, wurde die Absturzsicherung vom Wuppertaler Standort wiederverwendet, in veränderter Form an der Veranda angebracht und mit einer



Abbildung 2:
Abbau des Holzmodulbaus
© Professur Nachhaltiges Bauen



Abbildung 3:
Abtransport aus Wuppertal
© Professur Nachhaltiges Bauen



Abbildung 4:
Der Gebäudedemonstrator von RoofKIT
auf dem KIT Campus Süd
© Christoph Enge

Abbildung 5:
Versetzen des Holzmodulbaus am
KIT Campus Süd
© Johannes Müller

Abbildung 6:
Eingangstreppe zum Gebäudedemonstrator
© Christoph Engel

Abbildung 7:
Ein neues Gebäudeinformationsschild
aus wiederverwendeten Holztafeln
© Christoph Engel

fünfstufigen Stahltreppe aus unbehandeltem Stahl ergänzt (Abb. 6). An der von Fahrradfahrer*innen und Fußgänger*innen hochfrequentierten Richard-Willstätter-Allee am Rande des Karlsruher Schlossparks, zu welcher die charakteristische Lagerfensterfassade des RoofKIT ausgerichtet ist, wurde ein Gebäudeinformationsschild aufgestellt (Abb. 7). Dieses wurde aus den wiederverwendeten hölzernen Informationstafeln konstruiert, welche am Wuppertaler Standort unterhalb des Gebäudes an der Gerüstkonstruktion aufgehängt waren und dort über den Projektverlauf informierten. Weitere kleinere Änderungen am Gebäudedemonstrator können im Innenraum der Gebäudeeinheit festgestellt werden. So wurden zwei Vorhänge zur räumlichen Abtrennung des Schlafbereichs als Sichtschutz für zukünftige Bewohnende, die im Rahmen von Forschungsprojekten vorgesehen sind, ergänzt.



Der reibungslose und schadenfreie Ablauf von Abbau, Bauteil- und Baustoffrückgabe, Transport, Wiederaufbau und Inbetriebnahme der RoofKIT-Gebäudeeinheit konnte die der Planung und Umsetzung des Projekts zugrundeliegende Strategie einer präzisen und umfassenden Vorfertigung von reversiblen Modulleichtbauten in die Tat umsetzen und die Zielsetzung kurzer Baustellenzeiten bei Nachverdichtungsmaßnahmen im städtischen Kontext unter Beweis stellen.

RoofKIT in Karlsruhe gelandet – wie geht es weiter?

Ein wichtiges Ziel für das Forschendenteam der Professuren Building Science and Technology (Prof. Andreas Wagner) und Nachhaltiges Bauen (Prof. Dirk E. Hebel) war von Projektbeginn an die Weiternutzung von RoofKIT an seinem neuen Karlsruher Standort als Living Lab, wobei sich die grundsätzlichen Forschungsziele direkt aus der Wettbewerbsaufgabe des SDE ableiteten: So soll das Energiemanagement dahingehend optimiert werden, dass unter echter Gebäudenutzung in der Jahresenergiebilanz auch tatsächlich CO₂-Neutralität erreicht wird bei gleichzeitig netzdienlicher Betriebsweise des Gebäudes für einen stabilen Stromnetzbetrieb. Die Wettbewerbsphase des SDE bot hier nur kurz Gelegenheit, das dafür entwickelte Konzept zu testen. Ein weiteres Ziel ist der Gebäudebetrieb mit realen Nutzern, bei dem auf deren Präferenzen und Gewohnheiten reagiert oder versucht werden muss, ihr Verhalten über Information und Anreize in Richtung einer netzdienlichen Betriebsweise zu beeinflussen. Zur Bearbeitung dieser Fragestellungen ist es gelungen, eine Förderung durch das BBSR im Rahmen des Programms Zukunft Bau zu erhalten.

Da die Gebäudeeinheit in Karlsruhe ebenerdig aufgestellt wurde, musste für sämtliche Komponenten, die in Wuppertal unter dem Gebäude platziert wurden, ein neuer Aufstellungsort gefunden werden. Für den 1000 Liter fassenden Pufferspeicher blieb dabei kein Platz innerhalb des Gebäudes. Unter dem Aspekt, auch noch eine neue Speichertechnologie näher zu untersuchen, wurde entschieden, vier sog. Erdkörbe in das Hydraulikkonzept zu integrieren (Abb. 8). Dazu wurden vier 7 m tiefe Bohrungen abgeteuft, in welche die Erdkörbe mit einer Länge von 6 m

und einem Durchmesser von 0,5 m eingebracht wurden. Das untere Ende liegt damit etwa auf Höhe des Grundwasserspiegels. Die Länge der Kunststoffleitung pro Erdkorb beträgt 100 m, der Abstand der im Quadrat eingebauten Erdkörbe beträgt jeweils 4 m, womit eine Fläche von 25 m² aufgespannt wird. Der Abstand des Feldes zum Gebäude beträgt ca. 20 m. Die Nennleistung der Geothermieranlage beträgt ca. 3 kW (750 W/Korb) für eine maximale Wärmeleistung der Wärmepumpe von 3,4 kW.



Abbildung 8:
Einbringen eines Erdkorbs am Standort des RoofKIT
© Team RoofKIT

Das Forschungsprojekt:

Netzdienlicher Stromnetzbetrieb bei innerstädtischer Nachverdichtung – Experimentelle Untersuchungen an einem Living Lab

Energetische Sanierung und Nachverdichtung – hier durch Aufstockung – bieten die Möglichkeit, einen signifikanten Beitrag in Richtung Klimaneutralität des Gebäudebestands und zur effizienteren Flächenausnutzung ohne zusätzliche Versiegelung in Städten zu leisten. Wenn zusätzlich Solargewinnflächen aktiviert und in das urbane Energiesystem einbezogen werden, kann der Energiemehrbedarf für den zusätzlichen Wohnraum im Idealfall vollständig kompensiert werden. Gleichzeitig stellen solche Lösungen, d. h. die Einbindung einer wachsenden Anzahl von Gebäuden mit Solarsystemen in das Stromnetz, neue Herausforderungen für den Betrieb des Stromnetzes dar, denn die kontinuierliche Anpassung der Einspeisung und des Verbrauchs in Echtzeit ist ein wesentlicher Faktor für einen stabilen Netzbetrieb. Gleichzeitig muss auf weitere Änderungen im Stromnetz im Zuge der Energiewende (z. B. Elektromobilität, Wärmepumpen) reagiert werden.

Mit der Kopplung der Infrastrukturen RoofKIT (KIT Campus Süd) und Energy Lab am KIT Campus Nord soll deshalb der Fokus genau auf diese Interaktion zwischen Gebäude und Stromnetz unter Berücksichtigung realer Nutzer*innen gelegt werden. Wesentliche Forschungsfragen sind dabei:

- Welche Auswirkung haben Aufstockungen im größeren Umfang (Konzept RoofKIT) auf das Stromnetz in einem Quartier in Bezug auf (omnidirektionale) Lastflüsse und Netzdynamik? Wie muss stromnetzseitig darauf reagiert werden?
- Welchen Einfluss haben verschiedene Betriebsführungsstrategien einer strombasierter Wärmeversorgung der Aufstockungen (Wärmepumpe + PVT-Kollektoren + Speicher) auf den Stromnetzbetrieb und die Wärmeversorgung und wie kann eine hohe Netzdienlichkeit erreicht werden?

→ Inwieweit kann das Nutzer*innenverhalten durch Informationen bzgl. der Energierelevanz ihrer Aktionen beeinflusst werden und damit durch angepasste Nutzungsverhaltensmuster zu einer höheren Netzdienlichkeit beitragen?

Diese Fragen sollen zum einen experimentell beantwortet werden, in dem mithilfe eines Power-Hardware-in-the-Loop Systems eine bidirektionale Kopplung zwischen RoofKIT und dem Energy Lab realisiert wird und dem RoofKIT generische Stromprofile in Echtzeit aufgeprägt werden können. Diese stammen aus dem Stromnetz eines städtischen Quartiers, das wiederum für Simulationen modelliert wird und somit für weitere Untersuchungen zur Verfügung steht, um die Auswirkungen von zusätzlichen virtuellen Nachverdichtungen zu erforschen.

Das Projekt startete im Januar 2025 und die Laufzeit beträgt 34 Monate. In einem ersten Schritt erfolgt ein umfangreicher Umbau der Gebäudetechnik im RoofKIT sowie die Aufrüstung mit dem Power-Hardware-in-the-Loop System, das in einem Container neben der Gebäudeeinheit untergebracht wird. Zusätzlich wird das Gebäude mit umfangreicher MSR-Technik ausgestattet. Nach Implementierung eines neuen Energiemanagementsystems soll im September 2025 die Inbetriebnahme der modifizierten Wärme- und Stromversorgung erfolgen und im Anschluss beginnt die erste neunmonatige Messphase mit Bewohner*innen. Nach Modifizierung der Regelungsstrategie und Implementierung des Informationssystems für die Bewohner*innen im Sommer 2026 folgt dann ab Herbst 2026 die zweite neunmonatige Messphase mit verändertem experimental design.

Öffentlichkeitsarbeit, Kommunikation und Wissensvermittlung

Nur wenige Monate nach dem Wiederaufbau der Gebäudeeinheit von RoofKIT in Karlsruhe fand am 26. April 2023 eine Wiedereröffnungsfeier statt, zu der nicht nur das gesamte Team RoofKIT und die Professuren der KIT-Fakultät für Architektur, sondern auch das Präsidium des KIT sowie Projektsponsor*innen und Pressever-

treter*innen eingeladen waren (Abb. 9). Diese öffentlichkeitswirksame Veranstaltung diente als Auftakt für die aktuelle Nutzungsphase, in der das RoofKIT als Anschauungs- und Studienobjekt für die universitäre Lehre dient und für Besichtigungen durch die interessierte (Fach-) Öffentlichkeit zur Verfügung steht.

Um dies zu realisieren, werden zum Beispiel bestehende Veranstaltungsformate genutzt, in die das Führungsangebot für bestimmte Alters- und Interessengruppen integriert werden kann. Dazu gehören in der Stadt Karlsruhe die deutsch-französischen Architekturtage oder der Karlsruher Tag der Architektur und am Karlsruher Institut für Technologie die KIT Science Week und die KIT Kinder Uni. Darüber hinaus gibt es ein regelmäßiges Angebot öffentlicher Führungen; hier sind die Besucher*innenzahlen jedoch stark rückläufig. Die Nachfrage nach Gruppenführungen ist im Gegensatz dazu tendenziell als steigend zu beobachten. So empfängt Team RoofKIT im Gebäudedemonstrator mehrmals im Monat Schul- und Handwerksklassen oder Studierendengruppen mit ihren Lehrenden, Vertretende aus Stadt-, Kommunal und Landespolitik, Architekturbüros und Gruppen aus architekturbezogenen Fortbildungsprogrammen sowie ehemalige Projektsporen, Bauunternehmen oder Handwerksbetriebe zu etwa einstündigen interaktiven Führungen (Abb. 10).

An die Führungen schließt sich oft eine Diskussions- und Fragerunde an, die die Kernthemen des zukunftsfähigen und kreislaufgerechten Bauens thematisiert (Abb. 11). So können, ähnlich wie in der öffentlichen Wettbewerbsphase in Wuppertal, reflektierte Gespräche über die Veränderung von Rückbaumaßnahmen, die Wiederbringung von Baustoffen, die vorteilhaften Eigenschaften sortenreiner Materialien sowie zukunftsgerichtete Konzepte für das Bauwesen in Deutschland geführt werden. So kann das gesellschaftliche Interesse an aktuellen Forschungsthemen sowie neuartigen und innovativen Herangehensweisen der interessierten (Fach-) Öffentlichkeit nähergebracht und die Akzeptanz und das Verständnis gesteigert werden.



- Abbildung 9:
Wiedereröffnungsfeier des RoofKIT im April 2023
© Bernd Seeland
- Abbildung 10:
RoofKIT-Führung mit einer Handwerksklasse der
Heinrich-Hübsch-Schule
© Professur Nachhaltiges Bauen
- Abbildung 11:
Diskussionsrunden nach einer RoofKIT-Führung
© Bernd Seeland

collab - von wuppertal nach erkheim

Jan Cremers

Für die HFT Stuttgart war die Teilnahme am SDE21>22 die zweite Teilnahme an einem Solar Decathlon Europe. Das erste Mal waren wir 2010 in Madrid dabei, auch damals unter meiner Leitung. Während der Wettbewerb sich damals noch sehr am amerikanischen Ursprungsformat orientierte (freistehendes, kleines Gebäude auf der grünen Wiese mit de facto hohen Anforderungen an den Technisierungsgrad), zeigte der Wettbewerb 12 Jahre später in Wuppertal eine aus unserer Sicht sehr positive Weiterentwicklung des Formats (Bauen im Bestand, Nachverdichtung, Umnutzung, Weiterbauen, Einbeziehung des Quartiers, Angemessenheit der Technisierung usw.). Dazu gehört insbesondere auch ein anderer Umgang mit baulichen Strukturen nach der Wettbewerbszeit, was schon 2010 stark in der Kritik stand. Mit enormem Aufwand und erheblichem Ressourceneinsatz entstehen an den beteiligten Hochschulen und mit Partnern Gebäude (dafür sind zumindest die Hochschulen gar nicht ausgerüstet), die oft über große Distanzen transportiert wurden. Dann werden diese intensiv aber nur für sehr kurze Zeit in der Wettbewerbsphase genutzt. Und dann? Von den Häusern aus

CoLLab an seinem neuen Standort in Erkheim.
© HFT Stuttgart



2010 konnte nur ein kleiner Teil später an anderen Orten weitergenutzt werden. Und auch das nur, wenn damit einhergehende Probleme gelöst werden konnten: Finden eines Grundstücks, Einholen einer Baugenehmigung, Finanzierung und Realisierung des Wiederaufbaus, Entwicklung eines Nachnutzungskonzepts (inhaltlich, aber auch zur Finanzierung von Betrieb und Unterhalt). Uns war das 2010 tatsächlich in unmittelbarer Nähe zum Hochschulcampus in der Innenstadt von Stuttgart gelungen, allerdings nur, bis das Haus extrem kurzfristig innerhalb weniger Wochen einem Flüchtlingsheim weichen musste. Das erzwang dann damals mangels Alternativperspektive den „Rückbau“ des Hauses. Immerhin konnten wesentliche Bestandteile des Gebäudes erhalten, eingelagert und im Nachgang anderweitig eingesetzt werden - teilweise sogar im Gebäude für den SDE 21/22. Insofern fanden wir das Wuppertaler Living-Konzept als Nachnutzungsoption für den SDE 21/22 großartig.

Das Ziel des Beitrags der HFT Stuttgart, mit einem nachhaltigen Aufstockungs- und Sanierungskonzept bezahlbaren Wohnraum zu schaffen und dabei Themen wie Nachhaltigkeit, Energieeffizienz und verantwortungsvolles Ressourcenmanagement zu adressieren, deckte sich in hohem Maße mit der Firmenphilosophie der Baufritz-Geschäftsführerin Dagmar Fritz-Kramer. Das Unternehmen baut fast ausschließlich mit Holz und genau das war der Plan unseres Teams coLLab. Der Wettbewerbsbeitrag sah eine Aufstockung eines Bestandsgebäudes auf dem Hochschul-Campus Stuttgart vor. Die Entscheidung, Holz als Baustoff zu nehmen, fiel angesichts der hervorragenden Öko-Bilanz des natürlichen Rohstoffs leicht. Holz speichert große Mengen an Kohlenstoff, immerhin 500 Kilogramm Kohlenstoff pro Tonne Holz. Das Material und die Firma Baufritz waren daher eine ideale Kombination für ein klimafreundliches Bauen. Letztlich haben wir uns in enger Abstimmung mit der Fa. Baufritz für eine andere Nachnutzungslösung entschieden und diese dann auch umgesetzt.

Nach dem Wettbewerb wurde das Gebäude in Wuppertal demontiert, verladen und wie geplant zu unserem Kooperationspartner Baufritz nach Erkheim transportiert. Da die Hochschule keine Möglichkeit hatte und hat, ein solches Gebäude in Hochschulnähe aufzustellen und zu betreiben, erschien es allen Beteiligten die beste Lösung zu sein, das Gebäude in den Musterhaus-Park der Fa. Baufritz zu integrieren, und dort der Hochschule und der Öffentlichkeit zugänglich zu halten. Ziele und Inhalte der Nachnutzung wurden in einem ausführlichen Kooperationsabkommen zwischen Hochschule und Firma einvernehmlich geregelt und inhaltlich auch mit dem Fördermittelgeber abgestimmt. Ziel und Zweck der Vereinbarung lauten wie folgt: Das Gebäude wird von der HFT Stuttgart und der Firma Baufritz weiterhin gemeinsam und auf unbestimmte Zeit für Forschung und Lehre genutzt. Geplant ist ein Zeitraum von mindestens 3 Jahren mit der Option auf Verlängerung. Die Firma Baufritz stellt für diese Nutzung entsprechendes Firmengelände dauerhaft kostenfrei zur Verfügung und gestattet der Hochschule diese Nutzung unentgeltlich, inkl. aller dazu erforderlichen Voraussetzungen/Ressourcen (z. B. Zugang vor Ort, Energie, Internet, etc..). Konkrete Inhalte sind:

- kontinuierliches Monitoring mit übermittelten Gebäudedaten inkl. PV-Anlage, Innenraumklima zur Bewertung der Gebäudeperformance, insbesondere der innovativen Bestandteile der Gebäudetechnik
- Kooperation in der Lehre, Nutzung für Exkursionen mit Studierenden usw.

Dementsprechend fand der Wiederaufbau in Erkheim statt, wobei es leichte Anpassungen im Innenausbau gab.

Für Dagmar Fritz-Kramer, geschäftsführende Gesellschafterin von Baufritz, war die Kooperation mit der HFT Stuttgart ein weiteres gelungenes Beispiel hin zu einem Wandel der Baubranche: „Die junge Generation an Bauingenieuren, Architektinnen, Stadtplanern und Bauphysikerinnen erhält bei Projekten wie dem Solar Decathlon Europe wichtige Impulse für ein anderes Verständnis von Bauen als es in den vergangenen Jahrzehnten üblich war. Wie berücksichtigen wir den Klimaschutz, wie schonen wir kostbare Ressourcen und setzen erneuerbare Energien ein? Alle diese Fragen sind bereits heute elementare Bestandteile einer verantwortungsvollen Stadt- und Bauplanung. Daher war es für uns keine Frage, die HFT Stuttgart bei diesem wichtigen Wettbewerb zu unterstützen.“

Dieses Statement wurde von Dagmar Fritz-Kramer später ergänzt: „Die Aufgabe des Wettbewerbs, ein bestehendes Gebäude um zwei Geschosse aufzustocken, war sehr reizvoll. Insbesondere, da die Montage und die Bezugsfertigkeit des Gebäudes innerhalb von nur zwei Wochen realisiert werden sollte. Gerade die Entwicklung der Halbfertigteile und der Komponenten für den schlüsselfertigen Ausbau, inklusive autarker Versorgungslösung hat uns sehr angespornt.“

Wie wird es heute genutzt?

Der aktuellen Nutzung liegt weiterhin die Kooperationsvereinbarung zugrunde, über deren Verlängerung noch nicht entschieden wurde.

Der Kontakt zur Firma Baufritz beschränkt sich dabei nicht nur auf die gemeinsame Nutzung des Gebäudes, vielmehr gibt es auch im Bereich Forschung aktuelle und geplante Kooperationen. Die Firma Baufritz nutzt das Gebäude aktuell auch für Besprechungen und als Workspace für Projektsteuernde und Architekt*innen.

Welche Erkenntnisse wurden gewonnen?

Aus Sicht der Hochschule vertieft sich die Erfahrung, die wir schon mit der Nachnutzung unseres Wettbewerbsbeitrag home+ von 2010 gemacht hatten: Es braucht nicht nur ein inhaltlich gutes Konzept, sondern auch entsprechende Ressourcen in der Umsetzung. Da unser Hochschultyp kaum ausfinanzierte Dauerstellen hat, die hierfür herangezogen werden können und Drittmittel für solche Nachnutzung nur sehr schwer zu gewinnen sind, ist das eine nicht zu unterschätzende Herausforderung. Dies gilt auch für den aktuellen Fall, also für die Nachnutzung des Gebäudes, das aber eben nicht mehr an der Hochschule steht, sondern ca. 2 Stunden entfernt im Allgäu. Exkursionen sind möglich und werden auch umgesetzt, allerdings sind das immer besondere Aktionen. MitarbeiterInnen aus der Hochschule betreuen das Monitoring größtenteils „nebenher“ mit, der mögliche Zeiteinsatz ist dementsprechend begrenzt. Auch ist sowohl der Aufstellort und die Orientierung zur Sonne, als auch die konkrete Nachnutzung (kein regelmäßiger Betrieb) vor Ort nicht ideal zur Gewinnung wertvoller und auswertbarer Daten. Als weitere Schwierigkeit haben sich formale Anforderungen herausgestellt, z. B. ist es nicht einfach, eine PV-Anlage, die der Hochschule gehört, aber auf einem Gebäude auf Baufritz-Gelände montiert ist, wirklich in Betrieb zu nehmen.

Insofern ist der wissenschaftliche Mehrwert der bisherigen Monitoring-Maßnahmen nicht mehr im Vordergrund der Bemühungen.

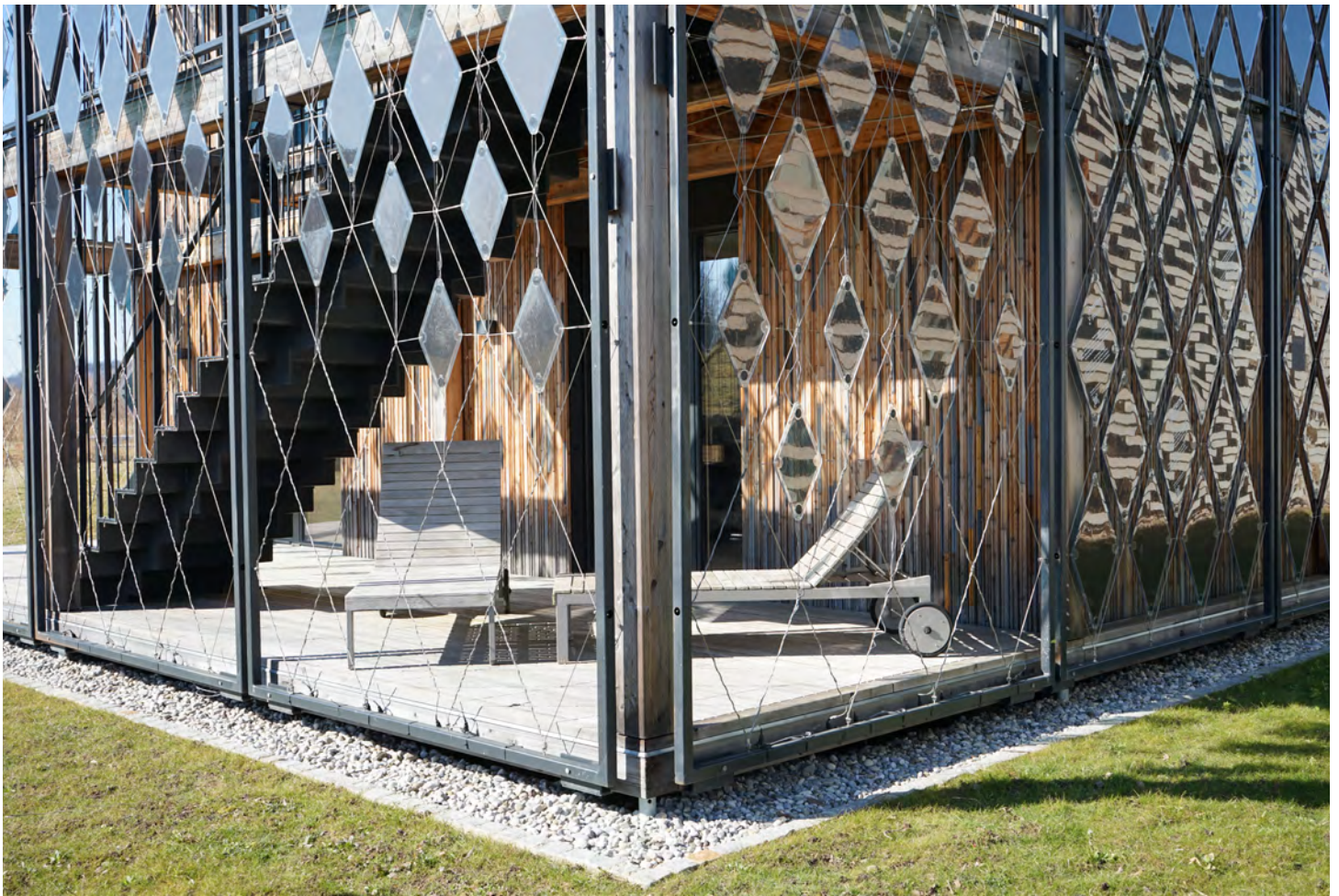


Außenansicht
© Wolf Jaiser, Fa. Baufritz

 Detailansicht Fassade

 Innenraum

© Wolf Jaiser, Fa. Baufritz



haus grenoble – eine vision findet eine neue heimat am innovationsstandort :metabolon

Annette Göddertz, Teresa Schmidt

Im Juni 2022 traten beim Solar Decathlon Europe 21/22 in Wuppertal Hochschulteams aus ganz Europa in einem Wettstreit an, um ihre visionären Ideen für nachhaltiges, energie- und ressourcenschonendes Bauen zu präsentieren. Eines dieser Projekte war die Hausdemonstrationseinheit des Teams AuRA aus Grenoble – ein Modellprojekt, das nicht nur architektonisch überzeugte, sondern vor allem durch seinen ressourcenschonenden, zirkulären Ansatz beeindruckte. Heute steht das Haus nicht mehr auf dem Wettbewerbsgelände in Wuppertal, sondern hat einen neuen, zukunftsweisenden Ort gefunden: Auf dem Innovationsstandort :metabolon in Lindlar wird es nun als „Haus Grenoble – Solar Decathlon“ Teil einer lebendigen Lernlandschaft für nachhaltiges Bauen und Leben. Die Nachnutzung des Gebäudes wurde durch NRW-Fördermittel in der Programmlinie Progress NRW ermöglicht, die der Bergische Abfallwirtschaftsverband einwerben konnte.

Außenansicht

© Annette Göddertz, :metabolon



Zirkuläres Denken als gebaute Realität

Das Haus Grenoble verkörpert einen Bauansatz, der ökologische Verantwortung und modernes Design miteinander verbindet. Verwendet wurden vorwiegend regionale, nachwachsende und recyclingfähige Materialien – darunter Holz aus regionaler Forstwirtschaft, Dämmstoffe aus Naturfasern und Stroh sowie Lehm. Diese Kombination steht für ein ganzheitliches Verständnis von Nachhaltigkeit: vom ressourcenschonenden Einsatz über Rückbaubarkeit bis zur Wiederverwendung. Das Projekt folgt den Prinzipien des zirkulären Bauens im Bestand – einem Ansatz, der Materialkreisläufe schließt und Ressourcen langfristig erhält. Die Parallelität der Ansätze auf :metabolon mit jenen des Haus Grenoble veranlassten die Projektverantwortlichen :metabolons, ein Konzept für eine lebendige Nachnutzung am Standort in Lindlar aufzusetzen und die Realisierung des „Umzuges“ anzustoßen. Mittlerweile ist das Gebäude auf dem Gelände angekommen und wurde behutsam wieder aufgebaut. Fachleute sind aktuell bei der Fertigstellung von Fassade und Aufbauten. Die Inbetriebnahme fand 2026 statt.

Doch das Gebäude ist mehr als nur technisches Anschauungsobjekt. Es ist ein sichtbares Zeichen für den Wandel im Bauwesen – weg von linearem Verbrauch, hin zu einem werterhaltenden, kreislauforientierten Verständnis von Architektur. Wohnen, Arbeiten und Lernen gehen in diesem Raum fließend ineinander über, und genau diese Mehrfachnutzung ist bewusst Teil des architektonischen und pädagogischen Konzepts.

Von Frankreich ins Bergische Land

Der neue Standort des Hauses befindet sich auf :metabolon, der ehemaligen Zentraldeponie im Oberbergischen Lindlar, das mit Unterstützung von EU-, Bundes- und Landesfördermitteln zu einem lokalen, regionalen und internationalen Bildungs-, Demonstrations- und Forschungsstandort entwickelt wurde. Hier ist in den vergangenen Jahren eine authentische Lernlandschaft entstanden – mit vielfältigen Formaten, Themenfeldern und Räumen für den aktiven Wissenstransfer.

Zu den zentralen Themen zählen MINT-Kompetenzen, alternative Energieformen, Energieeffizienz, energetische Gebäudesanierung sowie die Kreislaufwirtschaft – insbesondere der Weg vom Abfall zum Rohstoff. Die Angebote sind entlang der gesamten Bildungskette angelegt – von der Grundschule bis zur beruflichen Weiterbildung – und richten sich gleichermaßen an Fachpublikum und die breite Öffentlichkeit. Interaktive Ausstellungen, Schulungsräume, Experimentierflächen und Demonstratoren ermöglichen ein praxisnahes, erfahrungsbasiertes Lernen.

bergische rohstoffschmiede – Demonstratoren für zirkuläres Bauen

Im Rahmen des Förderprojekts :bergische rohstoffschmiede wird der Bereich zirkuläres und nachhaltiges Bauen systematisch weiterentwickelt. Kern dieses Ansatzes sind sogenannte Demonstratoren – reale Bauwerke mit hoher Anschaulichkeit, die sowohl Forschungs- als auch Vermittlungszwecken dienen. Das Haus Grenoble nimmt dabei eine zentrale Rolle ein: Als erstes international entwickeltes Gebäude in diesem Kontext wird es in unmittelbarer Nähe weiterer Demonstrationsbauten und des Informationszentrums für nachhaltiges Bauen positioniert.

Ein besonderer Fokus liegt auf dem Verhältnis zwischen Raum und Nutzer*in – also der Frage, wie das Gebäude auf seine Umgebung und die Menschen, die es nutzen, wirkt. Da das Haus ursprünglich als modularer Hotelprototyp konzipiert wurde, sind für die neue Nutzung als Lernraum gezielte bauliche und konzeptionelle Weiterentwicklungen notwendig.

Vom Wettbewerbsbeitrag zum Lern- und Transferraum

Um das Haus Grenoble für den Wissenstransfer nutzbar zu machen, wird es technisch und räumlich weiterentwickelt. Neben energetischen und funktionalen Anpassungen steht vor allem die Entwicklung eines fundierten didaktischen Konzepts im Mittelpunkt. Dabei wird auf das Know-how etablierter Partner zurückgegriffen – insbesondere auf das Bergische Energie- und Ressourcenzentrum sowie weitere Akteur*innen aus Bildung, Forschung und Praxis.

Die Wissensvermittlung soll direkt im und am Gebäude stattfinden. Interaktive Exponate, digitale Anwendungen, Live-Simulationen und Best-Practice-Beispiele vermitteln zentrale Prinzipien zirkulären Bauens auf verständliche, greifbare Weise.

Wissenstransfer für alle – flexibel, interaktiv, zielgruppengerecht

Das Haus wird so ausgestattet, dass in kokreativen Lehr- und Lernformaten der formellen und informellen Bildung Gruppen darin lernen, diskutieren und experimentieren können. Unter Einbeziehung des :metabolon-Institutes der Technischen Hochschule Köln und des Bergischen Abfallwirtschaftsverbandes wird das didaktische Spektrum von klassischen Schulungen über kooperative Workshops bis hin zu interaktiven und partizipativen Lernstationen reichen. Ein zentrales Element ist die modulare Struktur der Inhalte, die eine flexible Anpassung an unterschiedliche Zielgruppen ermöglicht: Kinder,

Jugendliche, Studierende, Bürger*innen, Kommunen, Unternehmen sowie Fachleute aus Architektur, Planung und Bauwesen.

Lernen durch Erleben: Nachhaltigkeit zum Anfassen

Um Nachhaltigkeit nicht nur zu erklären, sondern erlebbar zu machen, wird das Haus mit konkreten Anschauungsobjekten ausgestattet. Diese zeigen, wie Materialwahl, Rückbaubarkeit, Energieeffizienz und ressourcenschonende Innenraumkonzepte in der Praxis funktionieren. Besonders eindrücklich ist dabei die Verbindung von Theorie und baulicher Realität: Besucher*innen können sehen, anfassen und nachvollziehen, wie ein kreislaforientiertes Gebäude aufgebaut ist – von der Materialität über die Möblierung bis hin zur technischen Ausstattung.

Ein Ort mit Strahlkraft – regional verwurzelt, europäisch inspiriert

Im Zusammenspiel mit weiteren Bausteinen der :bergischen rohstoffschmiede wird das Haus Grenoble zu einem sichtbaren Symbol einer neuen Baukultur: Es verknüpft Wissenschaft, Bildung, Praxis und Gesellschaft – nicht als Einzelprojekt, sondern als Teil einer größeren, langfristigen Vision. Dabei bleibt die europäische Herkunft stets präsent und sichtbar.

Als dauerhaftes Exponat auf dem Gelände von :metabolon erinnert das Haus an einen der ambitioniertesten Hochschulwettbewerbe Europas – und entwickelt sich gleichzeitig zu einem aktiven Ort des Lernens, der Transformation und des gelebten Wandels. Hier wird nicht nur Wissen vermittelt, sondern Zukunft gestaltet.

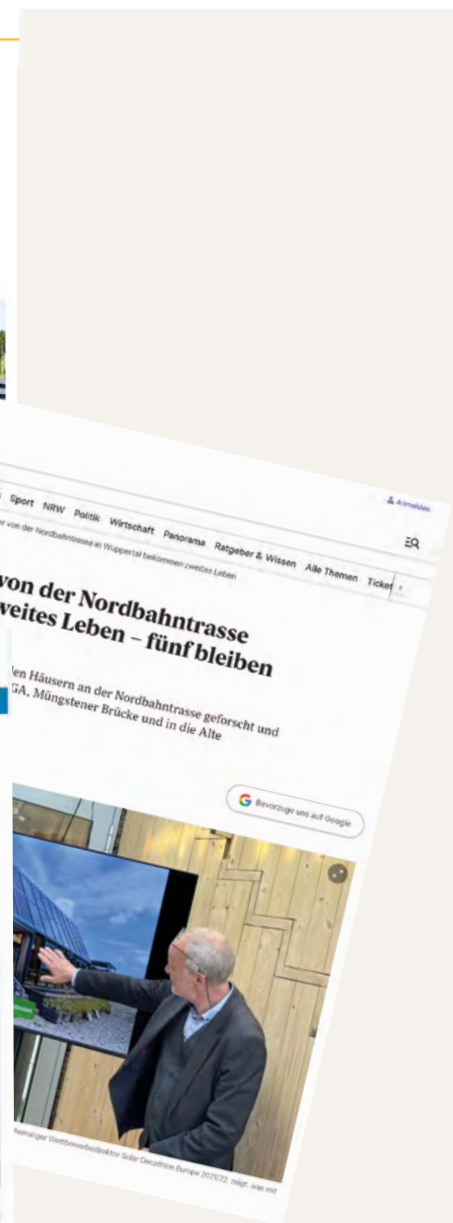
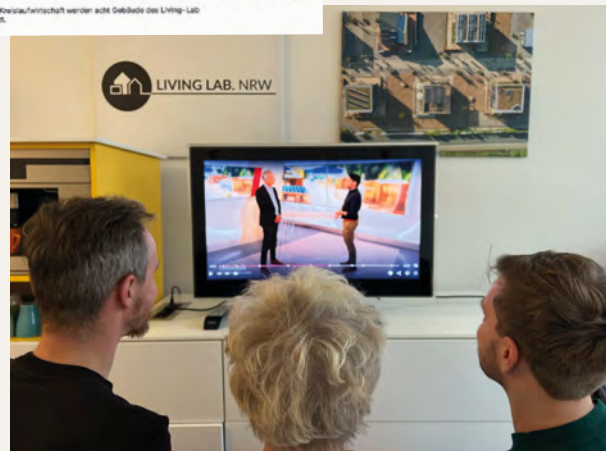


Ansicht Straßenseite
© Annette Göddertz, metabolon

-  Dachterrasse mit Ausblick ins Grüne
-  Treppenerschließung Dachterrasse und Detailansicht Fassade

© Annette Göddertz, metabolon





8 Fazit

„Das Projekt Living Lab NRW zeigt eindrucksvoll, wie der Dreiklang aus Klimaschutz, Klimaanpassung und Ressourcenschonung gelingen kann. Besonders hervorheben möchte ich die enge Verbindung von Forschung, Lehre und Architektur, die dieses Projekt geprägt haben. Für die Zukunft des klimagerechten Bauens sind die Erkenntnisse und das erarbeitete Know-how in der Ausbildung der nächsten Generationen von Architekt*innen und Planer*innen von großer Bedeutung.“

Katja Bettina Schmidt

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen

bilanz und resonanz des living lab nrw

Katharina Simon, Karsten Voss

„Was bleibt?“ lautete die naheliegende Frage der Westdeutschen Zeitung nach dem Ende des Wettbewerbs Solar Decathlon Europe 21/22. Der Anspruch an das Living Lab NRW war zu diesem Zeitpunkt bereits klar formuliert. „Ich freue mich, dass in Wuppertal ein Ort des Austauschs vieler Akteur*innen entsteht, die die urbane Energiewende mitgestalten und weiterentwickeln.“, sagte der damalige nordrhein-westfälische Wirtschaftsminister Andreas Pinkwart beim offiziellen Start des Projekts am 5. Mai 2021 am Campus Haspel der Bergischen Universität. Er lud Forschende, Institutionen und Praxispartner dazu ein, das Living Lab NRW als Plattform zu nutzen, um Wissen zu teilen, neue Wege zu erproben und den Diskurs über eine klimaneutrale Zukunft voranzubringen. Nach vier Jahren Projektlaufzeit war es nun an der Zeit, mit diesem Buch eine Dokumentation vorzulegen und eine Bilanz zu ziehen.

Eine Bewertung des Living Lab NRW kann anhand wissenschaftlicher Publikationen, der gewonnenen Reichweite sowie des Umfangs, in dem Wissenschaft, Lehre, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft erfolgreich miteinander vernetzt werden konnten, erfolgen. Die im Projekt kontinuierlich erhobenen Daten und Fakten ermöglichen eine quantitative Einordnung dieser Transfer- und Vermittlungsleistungen und binden die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten fachlichen Ergebnisse ab.



Startschuss für das Living Lab NRW während der Corona Pandemie: Damaliger NRW-Wirtschaftsminister Andreas Pinkwart und Katharina Simon im Gespräch.
© Living Lab NRW

Ein Ort des Austauschs

Vom 15. Juli 2022 bis zum 30. September 2025 fanden im Living Lab NRW insgesamt 225 Termine unterschiedlicher Art und Größe mit mehr als 4.000 Teilnehmenden statt. Die ersten fachbezogenen Veranstaltungen und Führungen begannen bereits während der Umbauphase. Die Säule „Vermittlung“, die sich vornehmlich an die breite Öffentlichkeit richtete, wurde Ende September 2025 beendet. Ein virtueller Rundgang über das Gelände und die einzelnen Gebäude sorgen für Ersatz und Kontinuität über das Projektende hinaus.¹ Ab Herbst 2025 bis Herbst 2026 fanden „nur noch“ Fachveranstaltungen und auf dem Campus selbst Forschungs- und Rückbauaktivitäten statt.

Die durchgeführten Termine spiegelten die Projektphasen wider, vgl. Abb. 1. 2022 war das Gelände noch im Umbau, die 26 Termine dieses Jahres richteten sich ausschließlich ans Fachpublikum. Mit der Eröffnung am 9. Mai 2023 - hier fand das Fachforum „SDE 21/22 goes Living Lab NRW“ mit rund 100 Teilnehmenden statt - und der anschließenden Öffnung für Privatpersonen, Unternehmen, Vereine und Bildungseinrichtungen stiegen Nutzung und Besuchszahlen des Living Lab NRW deutlich an. Auf die Jahre 2023 und 2024 entfielen 181 der 225 Termine mit 3.389 der 4.097 Teilnehmenden. Dass die Frequenz über die Projektlaufzeit abnahm, reflektiert den Fokus auf NRW und die Region mit einer definierten aber auch begrenzten Reichweite.

Auch die Art der Besuche wurde dokumentiert. Die mittlere Gruppengröße lag bei 13 Personen, die Aufenthaltsdauer bei ca. 3,5 Stunden. Insgesamt kamen rund 742 Stunden zusammen, in denen das Gelände aktiv, organisiert und begleitet durch das Living Lab NRW Team, für Führung, Seminare, Veranstaltungen genutzt wurde. Die Wohnphasen wurden hier nicht eingerechnet. Die recht kleinen Gruppengrößen und die lange Verweildauer unterstreichen, dass der Besuch im Living Lab NRW in der Regel kein schneller Rundgang war, sondern eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Demonstrationsgebäuden und den dort vorgefundenen Themen.

Forschung, Lehre und Vermittlung

Die nach den drei Säulen des Living Lab NRW differenzierte Auswertung der durchgeführten Termine zeigt, dass diese unterschiedliche Reichweiten erzielten und Ziele hatten (vgl. Abb. 2).

Die meisten Einzelveranstaltungen mit 96 Terminen fanden in der Säule „Hochschullehre und Bildung“ statt. Die Demonstrationsgebäude dienten hier als Lehr- und Lernumgebung im Maßstab 1:1. Dafür erreichte die Säule „Öffentlichkeit und Vermittlung“ mit 65 Terminen die größte Zahl an Teilnehmenden von rund 2.063. Der Grund dafür waren Formate wie der „Tag der Architektur“, die mehrere Dutzend Personen auf das Gelände brachten, während Lehrveranstaltungen meistens in Seminargrößen von max. 20 Studierenden stattfanden. Die Säule „Forschung“ hatte mit 64 Terminen und 441 Teilnehmenden im Mittel mit fünf Personen die kleinste Gruppengröße. Das Forschungskolleg und einzelne Vorhaben nutzten das Gelände wiederholt und über längere Zeiträume. 25 Termine dienten unmittelbar der Arbeit an Dissertationen.

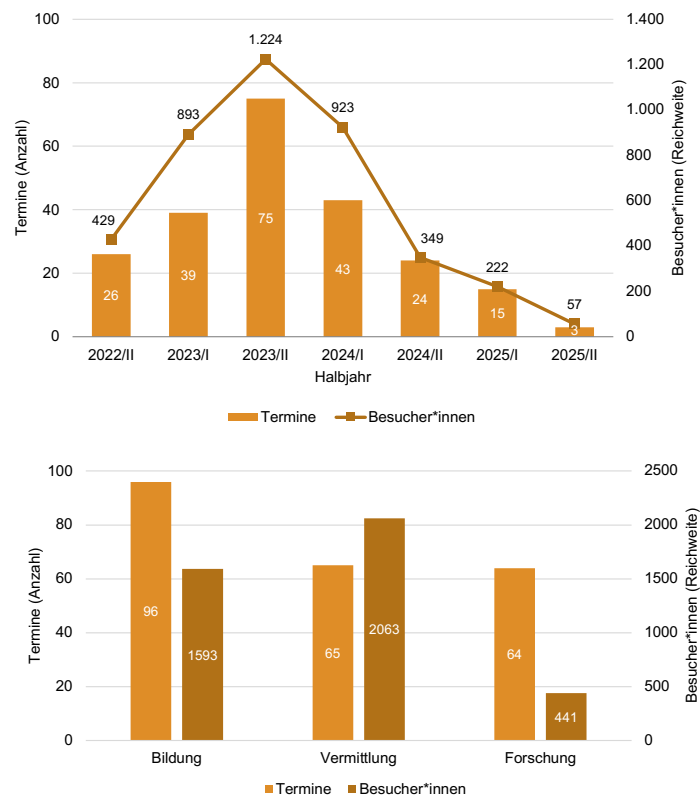


Abbildung 1:
Termine und Teilnehmende je Halbjahr, 2022 bis 2025.

Abbildung 2:
Termine und Teilnehmende je Säule, 2022 bis 2025.

¹ Virtueller Rundgang durch Living Lab NRW:
<https://livinglabnrw.uni-wuppertal.de/de/forschung-lehre/virtual-reality-rundgang-living-lab-nrw/>

Das Living Lab NRW funktionierte gleichermaßen als Ort der Erkenntnisgewinnung als auch des Wissenstransfers.

Wer kam?

Vertreten waren Hochschulen aus dem gesamten Bundesgebiet, Berufsverbände wie der Bund Deutscher Baumeister, kommunale Bauverwaltungen, wie das Bauamt Bremen, Ministerien, Unternehmen der Bau- und Zulieferindustrie sowie Fachnetzwerke der Energiewirtschaft. Ebenso kamen Schulen und Berufskollegs, die Arbeitsgruppe für ökologische Fragen der Deutschen Bischofskonferenz, Delegationen aus Ghana und Belgien, das ungarische Konsulat und nicht zuletzt Kinder ab sechs Jahren, die das Angebot [Kistenweise Wissen] wahrgenommen hatten.

Betrachtet man die berufliche Herkunft der Besuchenden, ergab sich ein bemerkenswert ausgewogenes Bild, vgl. Abb. 3: 1.198 Teilnehmende aus Planung, Bau und Energie, 1.053 Studierende, 645 Einzelpersonen der breiten Öffentlichkeit, 474 aus Schule und Ausbildung, 362 aus Wissenschaft und Lehre. Fachpublikum, akademische Ausbildung, schulische Bildung und interessierte Öffentlichkeit wurden in vergleichbarem Umfang erreicht. Dies entsprach genau der Mehrebenenperspektive, die das Projekt sich vorgenommen hatte.

Regional war das Living Lab NRW deutlich verankert. 100 Termine entfielen auf Gruppen aus Wuppertal, 64 weitere auf das übrige Nord-

rhein-Westfalen. Diese regionale Verbundenheit zeigte sich auch in der Auswertung der besuchten Demonstrationsgebäude: Am häufigsten gezeigt wurden MIMO der Hochschule Düsseldorf (121 Termine) und Local+ der Fachhochschule Aachen (119), also zwei NRW-Projekte, gefolgt von Lungs of the City, X4S, FIRSTLIFE, SUM, One House for All und Azalea. Diese Verteilung begründet sich neben dem regionalen Interesse durch die zeitweise Einbindung der Gebäude in Forschungsvorhaben und vor allem durch ihre thematische Eignung für die jeweiligen thematischen Schwerpunkte „Architektur und urbane Bauwende“ oder „Technik der Energiesysteme“.

Zugleich blieb der internationale Bezug des Solar Decathlon Europe 21/22 erkennbar: 33 Termine mit 236 Teilnehmenden wurden in englischer Sprache durchgeführt.

Resonanz in Medien und Fachwelt

Neben den Besucherzahlen stellt auch die Resonanz nach außen einen wichtigen Indikator für die Wirkung des Projekts dar. Das Living Lab NRW wurde über seine gesamte Laufzeit kontinuierlich von regionalen Medien begleitet. So berichteten die Westdeutsche Zeitung, die Wuppertaler Rundschau und talzeit von der Ankündigung im Mai 2021 über verschiedene Veranstaltungsformate und das Probewohnen bis hin zum Rückbau und der Übergabe der Gebäude an die neuen Eigentümer*innen im April 2026. Ergänzt wurde diese Berichterstattung durch mehrere

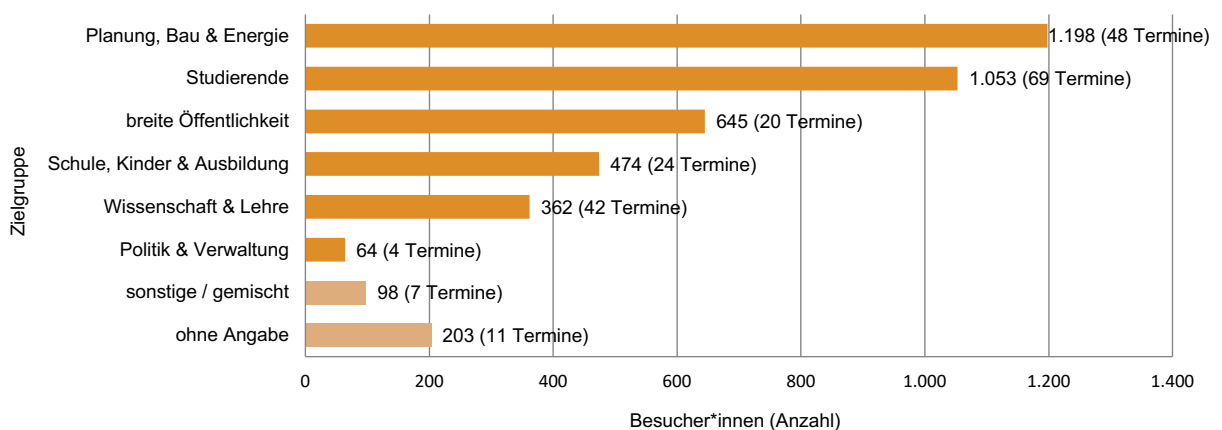


Abbildung 3:
Teilnehmende nach Zielgruppe; in Klammern die Anzahl der Termine.

Beiträge der WDR-Lokalzeit Bergisches Land, die sowohl vom Living Lab NRW Gelände als auch live aus dem Studio sendete.

Auch in der Fachöffentlichkeit stieß das Projekt auf anhaltendes Interesse. Fachmedien griffen unterschiedliche Aspekte des Living Lab NRW auf, etwa die Sommerakademie „Wert der Dinge“², über die baunetz CAMPUS berichtete, oder den VDI-Wettbewerb „Integrale Planung-Gateway Wuppertal“³, dessen Ergebnisse in der Deutschen BauZeitschrift vorgestellt wurden. Die überregionale Wahrnehmung zeigte sich zudem in der Einladung zur „Woche der Umwelt“⁴ im Park von Schloss Bellevue im Juni 2024, bei der das Living Lab NRW als eines von rund 190 Projekten aus mehr als 400 Bewerbungen vertreten war.

Die positive Resonanz spiegelte sich schließlich auch in mehreren Auszeichnungen und Nominierungen wider. Der Bund Deutscher Architektinnen und Architekten Wuppertal würdigte das Living Lab NRW im Rahmen des Architekturpreises Wuppertal 2023 mit einer Anerkennung. Die Jury hob insbesondere den innovativen Forschungsansatz hervor und sah darin einen Qualitätssprung für die Architekturausbildung: „Für die Teilnehmenden ist es ein erheblicher Unterschied, sich nur planerisch abstrakt mit einer Aufgabenstellung zu beschäftigen oder diese am realen Objekt zu verifizieren.“ hieß es in der Jurybegründung.⁵

Im Dezember 2023 gehörte das Living Lab NRW zu den acht Nominierungen für den erstmals vergebenen Humboldtⁿ-Preis für Nachhaltigkeit der nordrhein-westfälischen Universitäten und des Wuppertal Instituts⁶. Das Bildungsangebot [Kistenweise Wissen] stand auf der Shortlist des Nachhaltigkeitspreises der Bergischen Universität Wuppertal.⁷



Im Rahmen der Woche der Umwelt in Berlin überreichte Karsten Voss Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier als Dank das Buch zum Solar Decathlon Europe 21/22.
© Living Lab NRW

2 <https://www.baunetz-campus.de/news/aufbau-eines-wertekanons-der-transformation-die-baunetz-campus-sommerschule-wert-der-dinge-8576539>

3 <https://www.dbz.de/news/gateway-wuppertal-neues-aus-bestehendem-schaffen-4401792.html>

4 Woche der Umwelt: <https://www.woche-der-umwelt.de/wdu-ausstellende/bergische-universitaet-wuppertal-living-lab-nrw/>

5 Bund Deutscher Architektinnen und Architekten, BDA Wuppertal: Architekturpreis Wuppertal 2023, verliehen am 12. Januar 2024. Juryurteil zum Living Lab NRW, www.bda-wuppertal.de/awards/living-lab-nrw

6 Humboldtⁿ – Initiative der Universitäten des Landes Nordrhein-Westfalen und des Wuppertal Instituts: Verleihung des 1. Humboldtⁿ-Preises für Nachhaltigkeit, 4. Dezember 2023. Das Living Lab NRW gehörte zu den acht nominierten Projekten. – Bergische Universität Wuppertal: Nachhaltigkeitspreis der BUW, Shortlist 2024.

7 Nachhaltigkeitspreis der Bergischen Universität Wuppertal 2024- Shortlist. <https://www.uni-wuppertal.de/de/universitaet/nachhaltigkeit/nachhaltigkeitspreis-der-buw/siegerprojekte-und-shortlist/>

Was bleibt?

Die eingangs zitierte Frage lässt sich nach vier Jahren differenziert beantworten.

Es bleibt eine Bilanz des Austauschs: 225 Termine, 4.097 Teilnehmende aus 121 unterschiedlichen Gruppen, rund 742 begleitete Stunden auf dem Gelände, dazu mehrere Wohnphasen. Fachpublikum, akademische Ausbildung, schulische Bildung und interessierte Öffentlichkeit wurden in vergleichbarem Umfang erreicht. Das Living Lab NRW kann auch nach Projektende virtuell begangen werden.

Es bleiben Erkenntnisse. Aus den Arbeiten des Forschungskollegs gingen Promotionen sowie wissenschaftliche Veröffentlichungen hervor. Darüber hinaus wurden an der Universität Wuppertal vier Promotionen sowie Master- und Bachelorarbeiten erfolgreich abgeschlossen. Hinzu kommen 8 wissenschaftliche Veröffentlichungen und 4 Kongressvorträge. Es entstanden Lehr- und Lernmaterialien in Form von Klima- und Raumklimadaten, Simulationsmodellen, katalogisierten Bauteilverzeichnissen und dem Bildungsangebot [Kistenweise Wissen].



Enge Zusammenarbeit des Living Lab NRW mit der Stadt Wuppertal und regionalen Akteuren, hier am Beispiel der BUGA Wuppertal 2031 und des VDI e.V v.l.n.r.: Frank Jansen, Miriam Scherff, Katharina Simon, Susanne Brambora-Schulz.
© Jan Pieper

Das Living Lab NRW hat die akademische Ausbildung insbesondere die Auseinandersetzung mit dem Einsatz von Simulationen in der Architekturlehre befördert. Eine besondere Rolle kam der Validierung der jeweiligen Berechnungen durch die vergleichenden Messungen im Living Lab NRW zu. Hierzu entstand eine Reihe von wichtigen nationalen und internationalen Veröffentlichungen. Die intensive Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Prag zur Forschung am Demonstrationsgebäude FIRSTLIFE war ein ausgezeichnetes Beispiel für die erfolgreiche internationale Netzbildung.

Bereits bei der Reflexion zum Solar Decathlon Europe 21/22 wurde die Idee eines Netzwerkes von nationalen oder europäischen Hochschulen thematisiert, die jeweils ein eigenes Demonstrationsgebäude am jeweiligen Hochschulstandort für Lehre und Forschung betreiben. In Zeiten von virtuellen Welten und KI in der Lehre steigt der Stellenwert der baulichen Realität für die Ausbildung von Studierenden der Architektur und des Bauingenieurwesens. Einen derartigen Verbund mit gemeinsamen Fragestellungen anzustoßen und umzusetzen, erscheint nach wie vor ein zeitgemäßes Anliegen.

Regional bleibt mehr, als die Frage der Westdeutschen Zeitung von 2022 erwarten ließ: Teile des Living Lab NRW bleiben in Wuppertal und der Region erhalten. Lungs of the City und FIRSTLIFE gingen an die Bundesgartenschau 2031 Wuppertal, MIMO in den Müngstener Brückenpark, der Infopavillon Urban Hub an die Wirtschaftsbetriebe Duisburg für die Internationale Gartenausstellung 2027.

Und es bleibt eine Einsicht: Das Living Lab NRW hat gezeigt, dass ein Reallabor viele Facetten haben kann: Das Living Lab NRW verband Erkenntnisgewinnung, Lehre, Wissenstransfer und gesellschaftlichen Dialog an einem realen Ort und machte die Aushandlung einer klimaneutralen Zukunft direkt erfahrbar. Der von Andreas Pinkwart 2021 formulierte Anspruch, einen Ort zu schaffen, an dem diese Zukunft gemeinsam mit unterschiedlichen Akteurinnen und Akteuren verhandelt wird, wurde eingelöst – und seine Wirkung reicht über die Projektlaufzeit hinaus.



das team



Andrea Balcerzak, MSc (Arch)

Melina Freudenthal, MSc, MA

Jan Pieper, MFA (Arch), BSc (Arch)

Adriano Hofmann

Manuela Immecke, Dipl.-Ing. (FH)

Paul Kaiser

Marvin Kaliga, MSc (Arch)

Isil Kalpkirmaz Rızaoğlu, Dr.-Ing. MSc (Arch)

Tugcin Kirant Mitiç, Dr.-Ing.

Marcus Kistmacher

Niklas Klöfer, BSc (Arch)

Karolyn Kruse

Felix Lehmann, BSc (Arch)

Jan Martin Müller, MSc (Arch)

Kersten Schmitz, Dipl.-Ing. (FH)

Stefan Schulz, MA (Arch)

Katharina Simon, Dr.-Ing. MSc (Arch)

Antje Thrams

Karsten Voss, Prof. Dr.-Ing.

Tjado Voß, Dr.-Ing.

die herausgeber

Simon, Katharina, Dr.-Ing. MSc (Arch)

Voss, Karsten, Prof. Dr.-Ing.

Bergische Universität Wuppertal
Fakultät für Architektur und
Bauingenieurwesen

die autoren

Freudenthal, Melina, MSc, MA

Pieper, Jan, MFA (Arch),

Hoffmann, Holger, Prof. Dipl.-Ing.

Immecke, Manuela, Dipl.-Ing. (FH)

Kalpkırmaz Rızaoğlu, Işıl, Dr.-Ing. MSc (Arch)

Kırant Mitiç, Hale Tuğçin, Dr.-Ing.

Klöfer, Niklas, BSc (Arch)

Kruse, Karolyn

Nadji, Linda

Schmitz, Kersten, Dipl.-Ing. (FH)

Schulz, Stefan, MA (Arch)

Simon, Katharina, Dr.-Ing. MSc (Arch)

Verhaeg, Heiner, MSc

Voss, Karsten, Prof. Dr.-Ing.

Weid, Heinrich, Prof.

Externe

Bardey, Janine, MSc - RWTH

Boerman, Elena, MSc - KIT

Carrasco Serrano, Francisco Antonio – TH Köln

Cremers, Jan, Prof. Dr.-Ing., HFT Stuttgart

Fuchs, Nico, MSc - RWTH

Göddertz, Annette, Metabolon Lindlar

Grinewitschus, Viktor, Prof. Dr.-Ing. – Hochschule Ruhr West

Hansen, Heiko, Dipl.-Ing. - Hansen + Partner Ingenieure
GmbH, Wuppertal

Hebel, Dirk E., Prof. Dipl. Arch. - KIT

Immecke, Michael, Dipl.-Ing. -
Immecke & Immecke Planungsbüro Wuppertal

Indorf, Katja, WWW-G Wuppertal

Kubik, Steffen, MSc - Hochschule Ruhr West

May, Johanna, Prof. Dr.-Ing. – TH Köln

Müller, Dirk, Prof. Dr.-Ing. - RWTH

Römer, Fabian, Dr.-Ing. - RWTH

Schmidt, Teresa, Metabolon Lindlar

Schwarz, Frank, Dipl.-Ing., WSW

Schweiker, Marcel, Prof. Dr.-Ing. - RWTH

Staněk, Kamil, Dr. - CTU Prag

Tywoniak, Jan, Prof. Dr.-Ing. - CTU Prag

Wagner, Andreas, Prof. Dipl.-Ing. - KIT

veröffentlichungen

**Gebäudesimulation in der Architekturausbildung –
Erfahrungen aus der universitären Lehre**

I. Miño Rodríguez, I. Kalpkirmaz Rizaoglu, A. Wagner, K. Voss
Bauphysik 48/1, 2026
<https://doi.org/10.1002/bapi.70028>

**Monitoring der Raumlufttemperatur in der Nähe
der Gebäudehülle durch Infrarotthermografie**

J. Tywoniak, K. Stanek, I. Kalpkirmaz Rizaoglu, K. Voss
Bauphysik 48/2, 2026
<https://doi.org/10.1002/bapi.70040>

**Input and Output Transformations in Daylighting Simulations:
Teaching methods and materials for integrated daylighting teaching**

I. Kalpkirmaz Rizaoglu, M. Liberska, K. Voss, J. Tywoniak
Proceedings of CESBP 2025 - 6th Central European Symposium
on Building Physics, Budapest
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-032-14019-7_82

**Impact of Building-Grid interaction signals on energy flexibility
at cluster Level: Insights from two case studies**

T. Kırant Mitiç, M. Hall, G. Dawes, R. Amaral Lopes
Energy and Buildings, vol. 346, 2025 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877882500965X?via%3Dihub>

**Summer microclimate in the nearby building environment -
An experimental case study**

K. Voss, T. Kırant Mitiç
Proceedings of Central Europe towards Sustainable Building 2025, Prag
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1546/1/012085>

Dynamic Co-Heating Tests at Living Lab NRW

I. Kalpkirmaz Rizaoglu, K. Voss
Proceedings of BauSIM 2024, Wien
<https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/206122/1/KALPKIRMAZ%20RIZAOGLU-2024-Dynamic%20Co-Heating%20Tests%20at%20Living%20Lab%20NRW-vor.pdf>

vorträge

03.2026

Bauphysikalische Reallaborforschung - Solar Decathlon Europe und Living Lab NRW
Bauphysiktage, Kaiserslautern

12.2025

„Stadt ohne Abfall? Strategien und Strukturen für Zero Waste“
im Rahmen der Ringvorlesung „Klimakrise und Nachhaltigkeit“ an der Uni Wuppertal

11.2025

Rückbau als Ressource – Erfahrungen aus dem Living Lab NRW
im Rahmen des Kompetenzforums Bauen Neu Denken, Wuppertal

10.2025

Living Lab NRW als urbane Mine
im Rahmen des VDI Wettbewerbes, Wuppertal

08.2025

Klimawandel und Klimafolgenanpassung
Gesundes Bauen - Kompetenzforum Bauen neu denken

07.2025

Rückblick auf den Solar Decathlon Europe 21/22,
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Fakultät für Architektur, Institut Entwerfen
und Bautechnik (IEB) bei Prof. Andreas Wagner (online)

11.2024

Living Lab NRW – Bauphysik praxisnah vermitteln
Bauphysiktage der Ingenieurkammer NRW, Wuppertal

12.2024

**Living Lab NRW - Die Plattform für nachhaltiges Bauen im Bereich Forschung und Bildung für
TRANSFORM.NRW (online)**

12.2024

Living Lab NRW - Die Plattform für nachhaltiges Bauen im Bereich Forschung und Bildung,
VDI-Netzwerktreffen, Wuppertal

09.2024

Lüftung - Einfach notwendig
BauImpulse 2024

08.2024

Nachhaltiges Bauen der Zukunft,
Natur- und Umweltschutz-Akademie NRW (NUA), Recklinghausen

vorträge

07.2024

Solares und ressourcenschonendes Bauen,

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Fakultät für Architektur,
Institut Entwerfen und Bautechnik (IEB) bei Prof. Andreas Wagner (online)

10.2023

Living Lab NRW- die Plattform für Forschung und Lehre,

Pitch beim Humboldt-Preis für Nachhaltigkeit, Düsseldorf

10.2023

Solar Decathlon Europe & Living Lab NRW

Hochschule Augsburg

09.2023

Netzdienliche Betriebsführung von Gebäuden

Living Lab Fachforum

05.2023

Das neue Schön- Architektonische Herausforderungen annehmen,

Fachforum, Wuppertal

11.2022

Living Lab NRW- die Plattform für Forschung und Lehre,

Ma(h)lzeit, Stadthalle Wuppertal

09.2022

Solar Decathlon goes urban- Rückblick auf den Gebäude-Energie-Wettbewerb,

Kompetenzforum Bauen, Wuppertal

09.2022

Experiences and Perspectives of a Student Building Competition

EuroSun, Kassel

06.2022

Architektur trifft Klimaschutz,

RTHNK BKLTR – „Rethink Baukultur“ Architektenkammer NRW, Wuppertal

05.2022

Utopie, Vision, Jetzt: Architektur und Klima,

Politische Runde Wuppertal

09.2021

Living Lab NRW

Schwerte

impressum

Living Lab NRW

Nachhaltiges Bauen erforschen,
erproben und vermitteln.

Herausgeber

Katharina Simon, Karsten Voss
Bergische Universität Wuppertal
Fakultät für Architektur & Bauingenieurwesen
Pauluskirchstr. 7
42285 Wuppertal
<https://archbau.uni-wuppertal.de/de/>

November 2026

<https://DOI.10.25926/BUW/0-1071>

Umschlagbilder

Jan Kampshoff
Karolyn Kruse, Bergische Universität Wuppertal
Living Lab NRW
Local+ (FH Aachen), Überarbeitung Living Lab NRW
Malte Reiter, Neue Effizienz gGmbH
Sigurd Steinprinz, Bergische Universität Wuppertal
Vincent Tups, Bergische Universität Wuppertal
Karsten Voss, Bergische Universität Wuppertal

Gestaltung

Triolog, Freiburg

Druck

Druckerei Glauco, Wuppertal

Das Projekt Living Lab NRW wurde durch
das Ministerium für Wirtschaft, Industrie,
Klimaschutz und Energie des Landes
Nordrhein-Westfalen gefördert.

danksagung

Die Herausgeber bedanken sich in erster Linie beim Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE), ohne dessen Förderung es das Living Lab NRW nicht gegeben hätte. Frau Schmidt hat uns dabei seitens des MWIKE in allen Phase kompetent und engagiert zur Seite gestanden.

Das gesamte Team Living Lab NRW aus der Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen hat das Projekt zu dem gemacht, was in diesem Buch beschrieben wird. Für dessen engagierten Einsatz bedanken wir uns mit besonderem Nachdruck.

Die Verwaltung der Bergischen Universität hat uns dabei immer kompetent mit Rat und Tat unterstützt.

Mit Utopiastadt und der Alten Feuerwache als Eigentümer der Grundstücke und als Nachbarn konnten wir all die Jahre vertrauensvoll zusammenarbeiten.

Den Mitarbeitern der Agentur Triolog danken wir für die professionelle Gestaltung und Umsetzung des vorliegenden Buches.

Katharina Simon, Karsten Voss
Die Herausgeber

Mitten in Wuppertal entstand ein Ort, an dem nachhaltiges Bauen erforscht, erprobt und vermittelt wurde: das Living Lab NRW. Das Reallabor bestand aus acht Demonstrationsgebäuden des internationalen Wettbewerbs Solar Decathlon Europe 21/22 und einer Energiezentrale. Es war eine vom Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen geförderte Forschungs- und Bildungseinrichtung an der Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen der Bergischen Universität Wuppertal.

Zwischen Juli 2022 und September 2026 fanden im Living Lab NRW mehr als 200 Veranstaltungen im Kontext von Lehre, Forschung und Öffentlichkeitsarbeit mit insgesamt über 4.000 Teilnehmenden statt.

Das Buch dokumentiert die Konzeption, den Aufbau und den Betrieb des Reallabors, stellt zentrale Forschungsergebnisse aus Bauphysik, Gebäudetechnik und Architektur vor und bilanziert die Nutzungs- und Vermittlungsformate des Projekts. Abschließend werden die Nachnutzungsperspektiven der einzelnen Gebäude sowie die Resonanz und die Wirkung des Living Lab NRW eingeordnet.

