



**ZENTRUM
ALPINES
BAUEN**

**Zentrum Alpines Bauen
2018–2022**

**Interdisziplinäre
Beiträge zur baulichen
Nachverdichtung**

Zentrum Alpines Bauen 2018–2022

**Interdisziplinäre Beiträge
zur baulichen Nachverdichtung**

INHALT

Grußworte	7
1. — Zentrum Alpines Bauen 2018 bis 2022	11
2. — Modellierung von Nachverdichtungspotenzialen mit Geoinformatik	21
3. — Simulationstool Flächenmanagement für Gemeinden	35
4. — Entwicklung von Modellgebäuden – Grundlagen und Archetypen	43
5. — Entwicklung von Modellgebäuden – Simulation und Validierung	55
6. — Entwicklung eines Holzbausystems für die Nachverdichtung – Entwicklungsziele, Systemgrenzen und Vorgangsweise	67
7. — Entwicklung eines Holzbausystems für die Nachverdichtung – Systembeschreibung und Anwendung	83
8. — Multifunktionale Gebäudehülle mit Bauteilaktivierung von Massivholz	99
9. — Use Cases	119
Autor*innenverzeichnis	135

Bucheinbandgestaltung auf Basis von
Web Map Service Sentinel 2 High Resolution Image Mosaic 2018 – True Colour (10m);
European Environment Agency (EEA) gefördert durch die Europäische Union
im Rahmen der Copernicus Earth observation digital services

Grußwort Landeshauptmann Dr. Wilfried Haslauer



Wenig Platz, Berge links und rechts, dazu die raue Natur während der vier Jahreszeiten: Das Bauen im alpinen Raum muss sich zahlreichen Herausforderungen stellen. Vor allem die Wetterextreme reichen von Hitzeperioden bis hin zu Starkregenfällen. Der Klimawandel verschärft diese Problematik zusätzlich.

Bedingt durch die topografischen Gegebenheiten des alpinen Raums ist gerade in Salzburg eine effiziente und nachhaltige Nutzung der vorhandenen Ressourcen im Sinne von Flächen- und Energieeffizienz sowie Infrastrukturauslastung wesentlich. Baulandflächen sind in alpinen Regionen nur begrenzt verfügbar, gleichzeitig steigen die Anforderungen im Bereich der Klima-, Energie- und Ökoeffizienz sowie der Digitalisierung. Deshalb ist es umso wichtiger, Flächen effizient zu nutzen, Gebäude sowohl gegen die äußeren Einflüsse zu schützen als auch ökologisch nachhaltig und effizient zu agieren: bei Neubau, Sanierung, Flächenverteilung und Betrieb.

Das Forschungszentrum Alpines Bauen als Kooperation zwischen der FH Salzburg und dem Studio iSPACE der Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH setzt sich genau mit diesen spannenden Themen seit mittlerweile fünf Jahren auseinander und fördert dabei den Austausch von Wissenschaft und Wirtschaft. Ich danke allen Verantwortlichen und bin überzeugt, dass bei der Lektüre des vorliegenden Ergebnisberichts viele zukunftsweisende Erkenntnisse zutage treten werden.

Mit den besten Grüßen

A handwritten signature in blue ink that reads "Wilfried Haslauer". The signature is written in a cursive, slightly stylized font.

Dr. Wilfried Haslauer

Landeshauptmann

Grußwort Wolfgang Schneider



Das Forschungszentrum Alpines Bauen bestätigt einmal mehr, dass unser schönes Land Salzburg eines der bedeutendsten Biotope für Forschung und Entwicklung ist. Die Geografie erfordert es, dass viele innovative Köpfe im Zentralraum eng zusammenleben, denn 80 Prozent des Bundeslandes sind nicht urbanisierbar. Durch diesen von der Natur vorgegebenen

Silicon Valley-Effekt entsteht ein ständiger Austausch auf kürzesten Wegen. Damit hat Salzburg ideale Voraussetzungen für aktive Denkfabriken.

Im Fall des Forschungszentrums Alpines Bauen wurden Kompetenzen gebündelt, die seit Jahren weit über die Grenzen Österreichs hinaus anerkannt sind. Die Fachhochschule punktet mit Smart Buildings und das Studio iSPACE der Research Studios Austria auf dem Gebiet der Geoinformatik.

Die Ergebnisse lassen sich sehen und bilden eine einzigartige Basis für Bauwirtschaft und Stadtplaner*innen. Energieeffizienzsteigerung und innovative Nutzung bei bestehenden sowie die Planung von zukünftigen ressourcenschonenden Siedlungsstrukturen werden dadurch angeregt. Gerade jetzt sind die Herausforderungen in Energie- und Raumplanungsangelegenheiten größer denn je. Ich bin stolz auf die Leistungen des Forschungszentrums Alpines Bauen und freue mich, dass ich ein Rad im Uhrwerk sein durfte.

Wolfgang Schneider

Sprecher des Projektbeirates Zentrum Alpines Bauen

Grußwort Mag. Walter Haas



Die Wissenschafts- und Innovationsstrategie Salzburg 2025 hat das Thema Alpines Bauen und Siedlungsentwicklung als wichtiges regionales Stärkefeld adressiert. Ziel ist es, das vielfach vorhandene Wissen zu bündeln und im Sinne einer intelligenten Spezialisierung weiterzuentwickeln. Darauf aufbauend sollen innovative Entwicklungen in Wirtschaft

und Gesellschaft angestoßen und neueste Erkenntnisse direkt in die Anwendung gebracht werden. Innovative Lösungsansätze in diesem Stärkefeld tragen maßgeblich zur Bewältigung der ambitionierten Klimaziele auf allen Ebenen bei. Eine besondere Herausforderung für Salzburg ist es, unseren begrenzten Dauersiedlungsraum in Zukunft intelligent(er) zu nutzen und smarte Lösungen für den Green Deal: made by Salzburg zu entwickeln.

Der Salzburger Zugang, Gebäude und Siedlung und damit unterschiedliche räumliche Ebenen, Systeme und Fachdisziplinen – vom Bauingenieurwesen, der Architektur, der Energie- und Haustechnik bis hin zur Geodatenforschung, Stadt-, Mobilitäts- und Raumplanung – miteinander eng zu verbinden, ergibt völlig neue Innovationsmöglichkeiten. Smart Building und Smart Region mit gesellschaftlichen Anforderungen im Verbund zu denken, ist unser vielversprechender Salzburger Ansatz. Die enge Einbindung von Wirtschaft, Akteuren verschiedenster Branchen, Stakeholdern, Verwaltung und Politik in die Arbeit des Forschungs- und Transferzentrums ermöglicht es zudem, unterschiedlichste Handlungsebenen zu verbinden, um für die komplexen Herausforderungen der Zukunft gemeinsam Lösungen zu entwickeln – ein gelebter Multi Level Governance-Ansatz in Salzburg.

Dieser transdisziplinäre Fach- und Prozesszugang, der das Alleinstellungsmerkmal des Zentrums ist, wurde auch im begleitenden Beirat aktiv umgesetzt. Ich bedanke mich für die ausgezeichnete fachliche Tiefe und Qualität der Diskussionen sowie das Engagement und den Einsatz aller Beiratsmitglieder. Ich gratuliere der Fachhochschule Salzburg und dem Research Studio iSPACE der RSA FG zur erfolgreichen Kooperation, der Zentrumsleitung und allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zur geleisteten Arbeit und zu den sehr guten und vorzeigbaren Ergebnissen. Der Europäische Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) und das Land Salzburg haben mit ihrer Förderung für den Zentrumsaufbau eine wichtige und nachhaltige Investition für den Standort Salzburg getätigt!

Mag. Walter Haas

Stellvertretender Sprecher des Projektbeirates Zentrum Alpines Bauen,
Geschäftsführer der Innovation Salzburg

1. Zentrum Alpines Bauen 2018 bis 2022

MARKUS LEEB

THOMAS PRINZ

MICHAEL GROBBAUER

Das Forschungs- und Transferzentrum Alpines Bauen beschäftigte sich in drei Forschungsschwerpunkten 2018 bis 2022 interdisziplinär mit Energie- und Ressourcenoptimierung, klimaangepasstem Bauen und als zentraler Querschnittsmaterie mit Nachverdichtung als Beitrag zur Innenentwicklung von Siedlungsgebieten sowie als Hebel zur Steigerung der Wertschöpfung und damit zur Finanzierung der Gebäudesanierung. Die inhaltliche Schwerpunktsetzung fand unter Einbeziehung relevanter regionaler Strategien statt.

Projektpartner waren die Fachhochschule Salzburg mit dem Forschungsbereich Smart Building und Smart City als Konsortialführung und die Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH mit dem Research Studio iSPACE Smart Settlement Systems als Kooperationspartner. Die Forschungs- und Transfertätigkeit wurde von einem neunköpfigen Projektbeirat mit Vertreter*innen von Interessensverbänden und öffentlicher Verwaltung begleitet.

1.1. Einleitung

Das Forschungs- und Transferzentrum Alpines Bauen wurde 2017 mit einer Laufzeit von 01. 01. 2018 bis 31. 12. 2022 mit dem Ziel, ökologische, ressourcenschonende, energieeffiziente, leistbare und komfortable Wohn- und Lebensräume für Salzburg im Kontext der Siedlungsumgebung zu entwickeln, ins Leben gerufen.

Aus der (Bau-)Geschichte und den aktuellen Herausforderungen des alpinen Raums wurden maßgebliche Randbedingungen identifiziert: Lokale Baustoffe insbesondere aus regenerativen Quellen sowie Reduktion des Energiebedarfs und intelligenter Umgang mit Energie unter Nutzung bauwerksimmanenter Speichermassen finden sich in unterschiedlichen technischen Lösungen im vernakulären Bauen. Sorgsamer Umgang mit begrenztem Siedlungsraum unter Beachtung der Flächenkonkurrenz von Bauen, Landwirtschaft und Energie- und Ressourcenproduktion prägen die Nutzung des Raums. Lösungen sind nur dann relevant, wenn sie in ihrem jeweiligen Umfeld auch wirtschaftlich sind.

Daraus wurden drei inhaltliche Leitlinien für die interdisziplinäre Bearbeitung festgelegt: Energie- und Ressourcenoptimierung, klimaangepasstes Bauen und als zentrale Querschnittsmaterie Nachverdichtung als Beitrag zur Innenentwicklung von Siedlungsgebieten sowie als Hebel zur Steigerung der Wertschöpfung und damit zur Finanzierung der Gebäudesanierung. Diese Leitlinien sind gleichermaßen im Neubau wie in der Sanierung zu berücksichtigen.

1.1.1. Forschungsschwerpunkte

In drei Forschungsschwerpunkten wurden fachbezogen und interdisziplinär Beiträge zu den genannten Zielsetzungen erarbeitet.

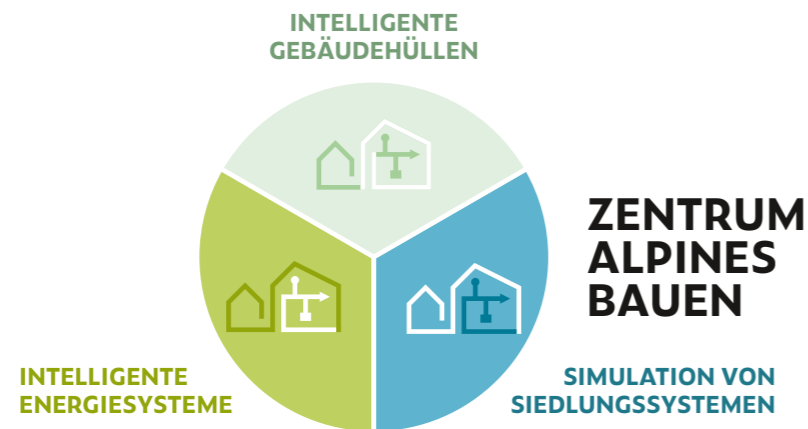


Abb. 1.01 Forschungsschwerpunkte im Zentrum Alpines Bauen

FSP 1 „Intelligente Energiesysteme“ befasste sich schwerpunktmäßig mit Wärmenetzen der vierten Generation, bei denen das Gebäude nicht nur Energiesenke (Consumer), sondern auch Energiequelle (Prosumer) sein kann. Diese Bidirektionalität wird durch die Nutzung der vorhandenen, baulichen Wärmespeichermasse oder auch durch gezielte

Aktivierung der Bauteile (TABS – thermisch aktive Bauteilsysteme) und durch Lastverschiebung, also Energieflexibilität erreicht. Im Fokus standen die Modellierung des baulichen Bestands auf Basis von Energieausweisdaten und räumlichen Gebäudemodellen des FSP 3 „Simulation von Siedlungssystemen“ und synthetischen Gebäudemodellen (Archetypen) sowie die Auswirkungen auf das Wärmenetz (validiert an realen Fernwärmenetzen). Entwickelt wurde am Beispiel einer Gemeinde und die Funktion an einem weiteren Fernwärmenetz erfolgreich angewandt. Mit dem Simulationsmodell können unterschiedliche Szenarien der Lastverschiebung und Gebäudesanierung in ihren Auswirkungen berechnet werden. Es ist bei Vorliegen geeigneter Eingangsdaten auf jegliche anderen Gebiete übertragbar.

FSP 2 „Intelligente Gebäudehüllen“ erarbeitete als Beitrag zur Verbreitung des Holzbaus in der urbanen Nachverdichtung methodisch ein Bausystem für die Holzrahmen- und Holzmassivbauweise für die Gebäudeklasse 5 zur Aufstockung von Bestandswohnbauten der 1950er bis 1970er Jahre. Das System wird Unternehmen kostenfrei und uneingeschränkt auch zur eigenen Anpassung und kommerziellen Verwendung zur Verfügung gestellt. Es kann einfach an andere Gebäudeklassen, Nutzungen und die horizontale Nachverdichtung angepasst werden. FSP 3 untersuchte dazu das Potenzial für die Nachverdichtung im Raum Salzburg. Das System wurde anhand eines Projekts in Hallein auf Anwendbarkeit überprüft.

FSP 3 „Simulation von Siedlungssystemen“ entwickelte Raumsimulationsmodelle für die Nachverdichtung (landesweit, Zielgruppe gemeinnütziger Wohnbau) sowie für das Flächenmanagement in Gemeinden unter Berücksichtigung der zukünftigen Nachfrage (Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung). Zur Anwendung wurden Visualisierungen und Web-Tools erstellt und mehrfach in Stakeholder-Workshops reflektiert. Die Entwicklung erfolgte anhand von Testgemeinden (Oberndorf, Bergheim) und die Überprüfung der Übertragbarkeit an einem Teilgebiet der Stadt Salzburg. FSP 1 und 2 wurden mit Daten Grundlagen, Berechnungen und Modellen unterstützt.

1.2. Fördergeber und strategisches regionales Umfeld

Fördergeber waren das Land Salzburg und der Europäische Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) im Förderprogramm Wachstum und Beschäftigung Österreich 2014 – 2020 mit einer Förderquote von 65 %. Die restlichen Kosten trugen die Kooperationspartner.

Das strategische regionale Umfeld ergab sich aus dem Rahmen der Wissenschafts- und Innovationsstrategie 2025 – WISS 2025, der Klima- und Energiestrategie des Landes Salzburg 2050 und dem Masterplan 2025 Smart City Salzburg der Stadt Salzburg. Das Zentrum ist im Rahmen der WISS 2025 (WISS 2025, 2016/29. 02. 2016) des Landes Salzburg in das Themenfeld 4 „Intelligentes Bauen und Siedlungssysteme“ einzuordnen und adressiert alle drei vorrangigen Bereiche (Eckpfeiler) des Salzburger Innovationssystems.



Abb. 1.02 ——— Zukunftsstandort Salzburg: Die strategischen Eckpfeiler der WISS 2025 (WISS 2025, 2016/29. 02. 2016), bearbeitet

Im Bereich Wissensstandort – Stärkung der Strukturen für Wissenschaft und Forschung wird das Ziel des Ausbaus von Humanressourcen durch die im Zentrum Alpines Bauen neu geschaffenen Stellen für sechs vollzeitäquivalente Forscher*innen über die gesamte Projektlaufzeit ebenso adressiert wie die Anschlussfähigkeit an regionale Unternehmensbedarfe.

Im Bereich Gründungs- und Verwertungsstandort – Verwertung von Ergebnissen in bzw. aus Wissenschaft und Forschung für Wirtschaft und Gesellschaft stellt die Stärkung der Wissens- und Technologietransferkapazitäten ein wesentliches Handlungsfeld dar, zu dem mit der Gründung des Zentrums Alpines Bauen ein wichtiger Beitrag geleistet wurde.

Ein niederschwelliger und schneller Zugang zu Forschungseinrichtungen und ihren Kompetenzen am Standort, die Zusammenarbeit in Forschungsfragen und im Wissenstransfer sowie die Einbindung von Unternehmen in regionale und überregionale Innovationsnetzwerke stellen wichtige Maßnahmen im Bereich Innovationsstandort zum Ausbau und zur Aktivierung der unternehmensgetragenen Forschungs- und Innovationsaktivitäten dar, die im Zentrum Alpines Bauen in der Einrichtung eines Projektbeirats und in einer Transferstrategie Niederschlag finden. Die Zusammenarbeit mit Beirat und Unternehmen wurde in der gesamten Projektlaufzeit durch zielgerichtete Information und Workshops verstetigt.

Die Klima- und Energiestrategie SALZBURG 2050 wurde 2012 von der Landesregierung beschlossen und ist die grundlegende klima- und energiepolitische Zielsetzung des Landes bis 2050. Sie sieht eine Konkretisierung in strategischen Planungsdokumenten vor – zum Zeitpunkt der Einrichtung des Zentrums Alpines Bauen der Masterplan Klima- und Energie 2020 (Sperka & Summerer, 2015) und aktuell der Masterplan Klima- und Energie 2030 (Moser & Graggaber, 2021).

Die Klima- und Energiestrategie legt konkrete Einsparungsziele an Treibhausgasen bezogen auf das Jahr 2005 fest (Abb. 1.03) sowie weitere Maßnahmen in fünf primären Aktionsfeldern, wobei für das Zentrum insbesondere die Optimierung der Wärmeversorgung durch technische Maßnahmen als Auftrag verstanden wurde.

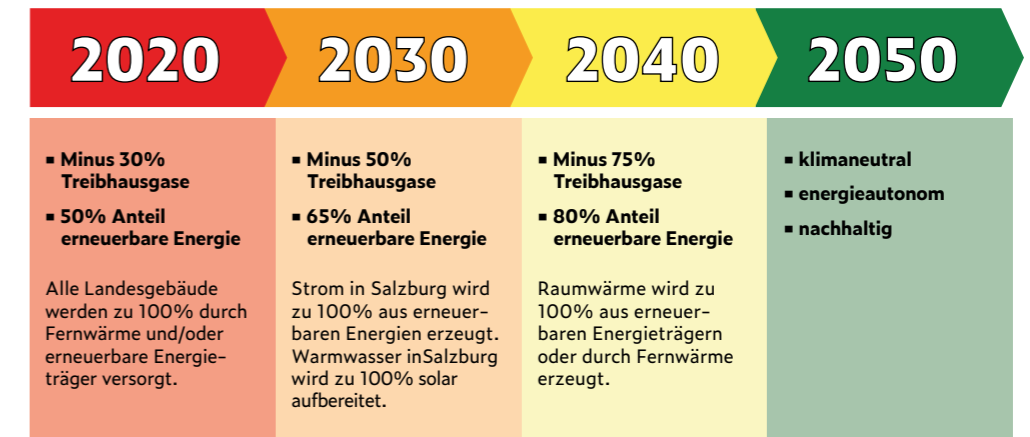


Abb. 1.03 ——— Zielsetzungen der Klima- und Energiestrategie SALZBURG 2050, bilanziell pro Jahr bezogen auf 2005 (Sperka & Summerer, 2015), bearbeitet

Der für das Zentrum Alpines Bauen zentrale Fokus, Beiträge für die urbane Nachverdichtung als Hebel für die die Steigerung der Sanierungsrate zu leisten, findet sich im Masterplan Klima + Energie 2030 unter dem Ziel Entwicklung zukunftsfähiger Raumstrukturen mit den begleitenden Maßnahmen Ausbau baulandmobilisierender Instrumente in Gunstlagen und Schaffung der notwendigen Datengrundlagen. Zu dieser Materie wurden sowohl aus baulicher Sicht (Bausystem) als auch mit Geoinformationsmethoden (Raumsimulationsmodell) Beiträge geleistet.

Der Masterplan 2025 Smart City Salzburg der Stadt Salzburg (Huemer et al., 2019) sieht als Ziele unter anderem eine Erhöhung der Sanierungsrate, CO₂-neutrale Siedlungen, Niedrigst-Energie-Bauweise, Vernetzung von Erzeugung, Speicherung und Verbrauch von Energie und Wohngebäude als erzeugende und speichernde Elemente des städtischen Energiesystems vor. Angestrebte Maßnahmen sind z.B. detaillierte räumliche Informationen als Grundlage räumlicher Optimierungen, gebäudeübergreifende Siedlungslösungen und kommunale Einrichtungen zur Energiespeicherung und -regelung wie thermische Gebäudemasse.

Das Zentrum Alpines Bauen hat insbesondere durch die gemeinsamen Ergebnisse der FSP 1 und FSP 3 zur Vernetzung in der Energieversorgung unter Nutzung der baulichen Wärmespeichermasse und der Auswirkungen auf das städtischen Energiesystem beigetragen. Die Modellierungen von Nachverdichtungspotenzialen und die bauliche Lösung durch das Holzbausystem sind Bausteine zur Verbesserung räumlicher Informationen und zur Optimierung der Nutzung des Raums sowie zur Erhöhung der Sanierungsrate durch Schaffung zusätzlicher Wertschöpfung.

1.3. ——— Organisation

Die FSPe waren die Träger der inhaltlichen Arbeit. Über die gesamte Projektlaufzeit waren je zwei vollzeitäquivalente Stellen pro FSP vorgesehen, wobei der Schwerpunkt der Beschäftigung in den letzten beiden Projektjahren mit im Mittel zehn Vollzeitäquivalenten lag.

Die Steuerungsgruppe wurde aus den Leiter*innen der FSPe und der Zentrumsleitung gebildet und diente der Überwachung der inhaltlichen Ziele und der Kommunikation mit Projektbeirat, Stakeholdern und Öffentlichkeit. Die Zentrumsleitung erfolgte durch die FH Salzburg, die stellvertretende Leitung durch die RSA FG. Sie war für die Zielplanung und die Strukturen, die Arbeitsaufteilung, die Koordination mit Fördergeberin und Förderstelle, die Berichtslegung und die Zeit- und Kostenkontrolle zuständig.

Als Impulsgeber für den Bedarf aus Wirtschaft, Politik und Verwaltung wurde ein neunköpfiger Projektbeirat mit Vertreter*innen der öffentlichen Verwaltung und von Interessensverbänden gebildet. Ihm oblag neben dem laufenden Feedback zu wissenschaftlichem Profil und den Projektergebnissen in Meetings und Workshops die Freigabe des jährlichen Tätigkeitsberichtes.

Zu Beginn des vierten Projektjahres erfolgte eine Evaluierung durch zwei Wissenschaftler (TU München und TH Rosenheim) und je eine/n Vertreter*in von Fördergeberin und Projektbeirat, die neben der Bewertung der vorliegenden Pläne und Ergebnisse Schwerpunkte und Empfehlungen für die restliche Projektlaufzeit und zukünftige Ausrichtung zum Inhalt hatte.

1.4. Transfer und Vernetzung

In Zusammenarbeit mit dem Projektbeirat wurde eine Transferstrategie erarbeitet und in Folge umgesetzt. Diese beinhaltet Transfermaßnahmen bezogen auf Stakeholdergruppen, deren wesentliche die Durchführung branchenspezifischer Workshops mit Unternehmensvertreter*innen und öffentlicher Verwaltung sowie branchenübergreifende Informationsveranstaltungen bildeten.

Im Zuge wissenschaftlicher Veranstaltungen, Informationsveranstaltungen und in direktem Kontakt wurde laufend über Aufgaben, Schwerpunkte und Ergebnisse des Zentrum Alpines Bauen informiert und Kooperationen eingeleitet.

Zu einer Vielzahl weiterer kooperativer Forschungsprojekte wurden Impulse gegeben. 14 Projekte konnten durch Beiträge des Zentrums zu geförderten Forschungsprojekten entwickelt werden. Auf Initiative des Zentrum Alpines Bauen und unter reger fachlicher Unterstützung wurde an der FH Salzburg ein Versuchsgebäude mit Fassadenprüfstand „Twin²Sim“ mit Fördermitteln des Landes Salzburg und Eigenmitteln der FH Salzburg errichtet und in Betrieb genommen. Durch das Zentrum Alpines Bauen wurde die Mitarbeit an sechs institutionellen Forschungsnetzwerken initiiert und durchgeführt.

Die Webseite alpinesbauen.at informierte laufend über Aktivitäten, Ergebnisse und Impulse.

Die Anwendung der Modellgebäude zur Abschätzung des stündlichen Wärmebedarfs von Straßenzügen, Siedlungen und Quartieren in Abhängigkeit von Nachverdichtungen, Zubauten und Sanierungen inklusive Energieflexibilität aus dem FSP 1 sind im Bundesland Salzburg für alle Regionen abbildbar. Bei ähnlicher Datengrundlage können die Simulationsmodelle auch in anderen Gebieten umgesetzt werden.

Die Unterlagen zum Holzbausystem für die urbane Nachverdichtung aus dem FSP 2 werden Unternehmen und Forschungseinrichtungen nach vorhergehender Registrierung kostenfrei über die Webseite <https://zab-db.fh-salzburg.ac.at/> zur Verfügung gestellt. Der Prototyp Multifunktionsfassade aus den FSPen 1 und 2 wurde mit Projektende in Betrieb genommen. Forschungsergebnisse werden nach Vorliegen publiziert.

Die Konzepte und GIS-basierten Modelle zur Abschätzung von Nachverdichtungspotenzialen aus dem FSP 3 stellen eine wichtige Grundlage für eine zukunftsfähige und flächensparende Siedlungsentwicklung dar. Die prototypischen Anwendungen wie das „Tool Flächenmanagement für Gemeinden“ oder „Bauliche Potenziale Wohnbauträger“ sind räumlich übertragbar gestaltet und können somit in weitere Regionen transferiert werden.

Wir freuen uns auf Feedback, Anfragen und die Weiterentwicklung sowie den Transfer der Ergebnisse in zukünftigen Kooperationen.

DANKSAGUNG

Unser Dank ergeht an Christian Salletmaier (Land Salzburg) und Walter Haas (Innovation Salzburg), die das Zentrum Alpines Bauen zur Stärkung der Forschungskompetenz im Bereich „Intelligentes Bauen und Siedlungssysteme“ von der ersten Projektidee über die Antragstellung bis zur Durchführung begleitet haben, und an Astrid Mayr, die die beratende Funktion im Projektbeirat von Herrn Salletmaier nach dessen Pensionierung übernommen hat.

Ebenfalls bedanken wir uns bei unseren Beiratsmitgliedern, die das Projekt begleitet und inhaltlich unterstützt haben:

- Wolfgang Schneider (Siemens Österreich, Beiratssprecher)
- Walter Haas (Innovation Salzburg, stellvertretender Beiratssprecher)
- Friedrich Egger (WKO, Landesinnung Holzbau Salzburg)
- Stephan Gröger (Gemeinnützige Bauvereinigungen Salzburg)
- Bernhard Hefinger (Land Salzburg, Referat 10/04 Raumplanung)
- Gerhard Löffler (Land Salzburg, Referat 4/04 – Energiewirtschaft und -beratung)
- Andreas Rotter (WKO, Landesinnung Sanitär-, Heizungs- und Lüftungstechniker)
- Harald Schlosser (Kammer der ZiviltechnikerInnen, ArchitektInnen und IngenieurkonsulentInnen für Oberösterreich und Salzburg)
- Arnold Schmitzer (WKO, Landesinnung Salzburg Bau, Bauakademie Salzburg)

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

FSP Forschungsschwerpunkt

LITERATURVERZEICHNIS

Huemer, F., Reithofer, J., Mostegl, N. & Tschandl, S. (2019). *Masterplan 2025: Masterplan Smart City Salzburg*. Salzburg. Stadt Salzburg.

Moser, F. & Graggaber, M. (Oktober 2021). *Masterplan Klima + Energie 2030: im Rahmen der Klima- und Energiestrategie SALZBURG 2050*. Salzburg. Land Salzburg.

https://www.salzburg.gv.at/umweltnaturwasser_/Documents/masterplan_2020_broschuere.pdf

Wissenschafts- und Innovationsstrategie Salzburg 2025,

https://www.salzburg.gv.at/wirtschaft_/Documents/wiss-langfassung.pdf (2016 & i.d.F.v. 29.02.2016).

https://www.salzburg.gv.at/wirtschaft_/Documents/wiss-langfassung.pdf

Sperka, G. & Summerer, W. (Dezember 2015). *Masterplan Klima + Energie 2020: im Rahmen der Klima- und Energiestrategie SALZBURG 2050*. Salzburg. Land Salzburg.

https://www.salzburg.gv.at/umweltnaturwasser_/Documents/masterplan_2020_broschuere.pdf

2. — Modellierung von Nachverdichtungspotenzialen mit Geoinformatik

WOLFGANG SPITZER

YINGWEN DENG

SABINE GADOCHA

THOMAS PRINZ

Für eine konsequente Umsetzung von Strategien zur Siedlungsinnenentwicklung und Nachverdichtung in Gemeinden, Städten und Ländern fehlen durchwegs flächendeckende und aktuelle Informationen zu den Potenzialen im Siedlungsbestand. Der vorliegende Artikel zeigt anhand der Datenlage im Land Salzburg, wie mit Methoden der Geoinformatik belastbare Planungsgrundlagen zum Gebäudebestand und zu den baulichen bzw. Nachverdichtungspotenzialen im Wohnbauland zeitnah bereitgestellt werden können, um sie in einer vorausschauenden Planung und Politik in Wert setzen zu können.

2.1. Aktuelle Herausforderungen in der alpinen Siedlungsentwicklung

Der Mix aus hohem Siedlungsdruck, beträchtlichem Flächenverbrauch und gleichzeitig eingeschränkter Flächenverfügbarkeit ist für Stadtregionen längst eine der zentralen planerischen Herausforderungen.

Im alpinen Raum wird diese zusätzlich durch den naturräumlich begrenzten Siedlungsraum (Topografie, Hochwasser, gravitative Naturgefahren) und nicht zuletzt auch durch den hohen Stellenwert des Landschafts- und Freiraumschutzes verschärft. Der Anteil des Dauersiedlungsraumes liegt z.B. mit 12 bis 30 % in Tirol, Salzburg, Vorarlberg, Kärnten und der Steiermark deutlich unter den 55 bis 76 % in Oberösterreich, Niederösterreich, Burgenland und Wien (Umweltbundesamt, 2021).

In den letzten Jahren führen veränderte Rahmenbedingungen – Niedrigzinsumfeld, Pandemie o. Ä. – dazu, dass die Leistbarkeit (Grundstücks-, Bau-, Wohnkosten etc.) für große Teile der Bevölkerung zunehmend erschwert und sozialer Wohnbau oft überhaupt nicht mehr möglich ist. Der Häuserpreisindex etwa hat sich im Zeitraum 2010 bis 2021 verdoppelt (von 100 auf 199,56) (Statistik Austria, 2022a, 2022b).

Dagegen sind Baulandüberhang und Flächenverbrauch nach wie vor auf hohem Niveau. So liegt in Österreich die durchschnittliche Flächeninanspruchnahme trotz sinkender Tendenz mit 42 km²/Jahr bzw. 11,5 ha/Tag immer noch deutlich über dem Zielwert von 9 km²/Jahr bzw. 2,5 ha/Tag (Umweltbundesamt, 2021). Der Baulandüberhang (Anteil des unbebauten Baulands am gesamten gewidmeten Bauland) liegt wiederum z. B. in Salzburg – je nach Berechnungsweise – in der Größenordnung von 10 bis 20 %; ein Großteil davon ist bereits seit zehn und mehr Jahren gewidmet (vgl. Banko & Weiß, 2016 oder Spitzer & Prinz 2016a, 2016b).

Da effektive Instrumente zur Mobilisierung von ungenutztem Bauland oder auch Leerstand noch fehlen bzw. erst zu wirken beginnen (z.B. Infrastruktur-Bereitstellungsbeitrag), ist zusätzlich eine konsequente Steigerung der Flächeneffizienz über Strategien zur Innenentwicklung und Nachverdichtung erforderlich. Entsprechende Zielformulierungen finden sich durchgängig in den Planungsinstrumenten auf allen Ebenen, z.B. im Räumlichen Entwicklungskonzept der Stadt Salzburg: *Leitsatz 7: Durch eine gezielte bauliche Innenentwicklung kann eine höhere Wirtschaftlichkeit der städtischen Infrastruktur erzielt und die prägenden Frei- und Landschaftsräume der Stadt gesichert werden.* (Amt für Stadtplanung und Verkehr, 2009).

Was der örtlichen Raumplanung (Gemeinden und Städte) und den Ländern als Kontrollinstanz jedoch oft fehlt, ist das Bewusstsein und die Kenntnis wie viel Potenzial zur Innenentwicklung und Nachverdichtung in ihrem Planungsgebiet überhaupt vorhanden ist und wo es liegt. Dessen Lokalisierung und Quantifizierung sind allerdings eine entscheidende Voraussetzung zur Planung der zukünftigen Siedlungsentwicklung unter Einbezug von Strategien zur Mobilisierung eben dieser Potenziale. Einschlägige Datensätze sind entweder projektbezogen und daher räumlich begrenzt bzw. nicht aktuell oder sehr spezifisch und auch restriktiv in der Zugänglichkeit und damit wiederum für die Fragestellungen einer ganzheitlichen Simulation von Siedlungssystemen nur bedingt geeignet.

Die mittlerweile beachtlichen räumlichen Datenbestände der Länder-Rauminformationssysteme (z.B. SAGIS – Salzburger Geographisches Informationssystem) bieten jedoch die Möglichkeit, durch intelligente Verknüpfung und Modellbildung belastbare Informationen zu den Entwicklungsmöglichkeiten innerhalb des Siedlungsbestandes bereitzustellen und damit genau diesem Bedürfnis nachzukommen.

2.2. Simulation von Siedlungssystemen mit Geoinformatik

Es besteht also ein Defizit an planerisch belastbarer Information hinsichtlich der Potenziale für Innenentwicklung und Nachverdichtung, um sie für die zukünftige Siedlungsentwicklung in Wert setzen zu können. Vor diesem Hintergrund wurden im Projekt Zentrum Alpines Bauen (alpinesbauen.at) räumliche Analysemodelle und Planungswerkzeuge mit Methoden der Geoinformatik (GIS) entwickelt, die sich in der Simulation von Siedlungssystemen für unterschiedliche Fragestellungen rund um eine zukunftsfähige Siedlungsentwicklung (siehe Abb. 2.01) zielgerichtet einsetzen lassen, und zwar auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen: Auf der Objektebene geht es um die Beschreibung von Gebäuden bzw. ihrer Bauteile (Kubatur, Nutzung etc.), deren Kenntnis entscheidend für die Identifikation und Quantifizierung von Nachverdichtungspotenzialen auf Parzellebene ist.

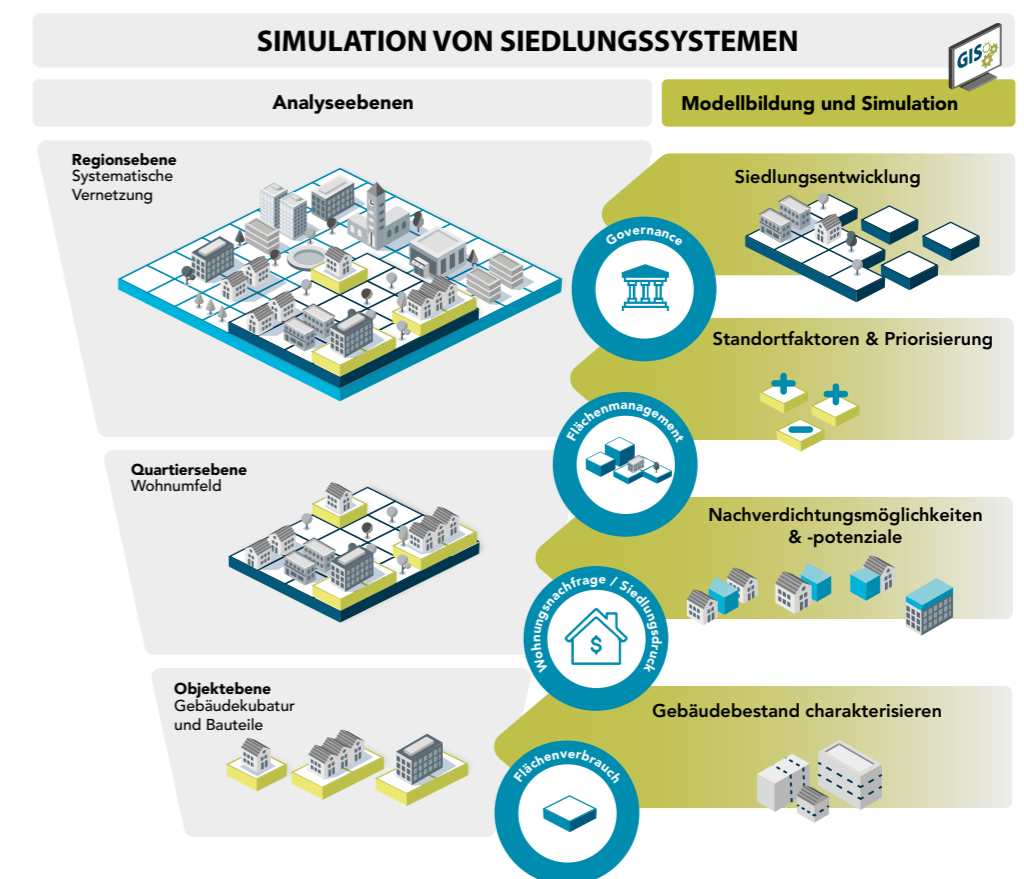


Abb. 2.01 Simulation von Siedlungssystemen

Auf Quartiersebene werden diese mit dem Wohnumfeld (z.B. Standortqualität und Infrastruktur) verschränkt, um eine Beurteilung ihrer Qualität sowie eine Priorisierung und damit eine verbesserte Mobilisierung zu unterstützen. Auf Siedlungs- und Regionsebene erfolgt zunehmend die systematische Vernetzung hin zu einem objektivierten Flächenmanagement unter Berücksichtigung des Wohnraumbedarfs. Damit können planungs- und entscheidungsunterstützende Grundlagen für unterschiedliche Zielgruppen (Governance, Länder/Gemeinden, Wohnbauträger, Ortsplaner etc.) bereitgestellt werden.

2.3. Wie kann Geoinformatik die Siedlungsinnenentwicklung unterstützen?

Geoinformatik bietet mit räumlichen Analysemethoden die Möglichkeit, aus verfügbaren amtlichen bzw. öffentlich zugänglichen räumlichen Datengrundlagen belastbare Informationen zu Innenentwicklungs- und Nachverdichtungspotenzialen bereitzustellen. Die vom Studio iSPACE der RSA FG für das Land Salzburg entwickelten GIS-Analysenmodelle sind dabei typischerweise weitgehend automatisiert sowie räumlich und zeitlich übertragbar (Aktualisierung / Monitoring). Sie decken ein großes Spektrum ab – von der Beschreibung des Gebäudebestands über die Abschätzung der optimalen baulichen Ausnutzung von Grundstücken unter Berücksichtigung von baulichen Höchstdichten bis hin zur Konkretisierung unterschiedlicher Typen der Nachverdichtung – und können zusammen mit Indikatoren zur Standortqualität, zur Mobilisierbarkeit und zum Baulandbedarf in unterschiedlichsten Anwendungen für Gemeinden, Wohnbauträger und Landesplanungen eingesetzt werden (siehe Abb. 2.02). Im gegenständlichen Abschnitt werden daraus ausgewählte Analysemodelle vorgestellt.

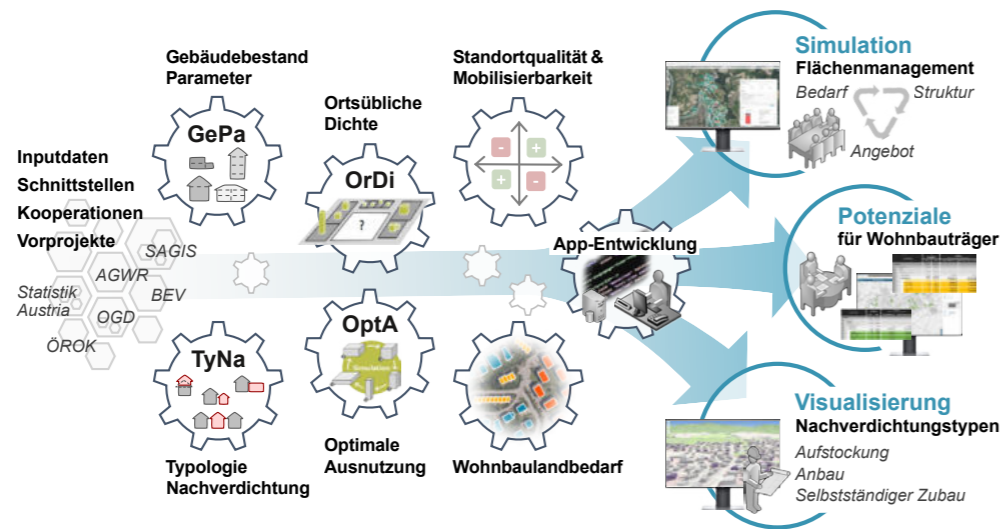


Abb. 2.02 Von Datengrundlagen über GIS-Analysenmodelle hin zu Anwendungen

2.3.1. Modell Gebäudebestand Parameter

Um belastbare grundstücksscharfe Ergebnisse zum Nachverdichtungspotenzial und in weiterer Folge zum Nachverdichtungstyp erzielen zu können, ist die Kenntnis des

Gebäudebestands entscheidend. Da öffentliche Datenbestände hier keine zufriedenstellenden Informationen bereitstellen können (vgl. Spitzer et al. 2021), wurde für das Land Salzburg eine Methode entwickelt, die eine automatisierte Ableitung raumplanungsrelevanter Parameter von Gebäuden (Gebäudegeometrien) ermöglicht. Ausgangslage ist eine Kartierung von Gebäudeflächen aus Orthofoto-Befliegungen, die mit Informationen zur Gebäudehauptnutzung sowie zur Bauperiode angereichert wurden (siehe Götzlich et al. 2021). Daneben werden Gelände- und Oberflächenmodelle aus Laserscanbefliegungen, Flächenwidmungsinformationen, Abgrenzungen zu Ortsbildschutzgebieten bzw. Schutzzonen nach dem Altstadterhaltungsgesetz sowie die digitale Katastralmappe eingesetzt. In Abhängigkeit von Gebäudenutzung, Bauperiode und Flächenwidmung können für jedes Gebäude im Land Salzburg die wesentlichen raumplanungsrelevanten Parameter als Grundlage für die weiterführenden Modelle abgeschätzt werden: Gebäudefläche, Gebäudefirsthöhe, Gebäudevolumen, Anzahl der Geschosse, Bruttogeschossfläche von Teil- und Vollgeschossen, Außenwandfläche mit Orientierung (Nord, Nordost, Ost usw.), Gebäudedachfläche (siehe Abb. 2.03).

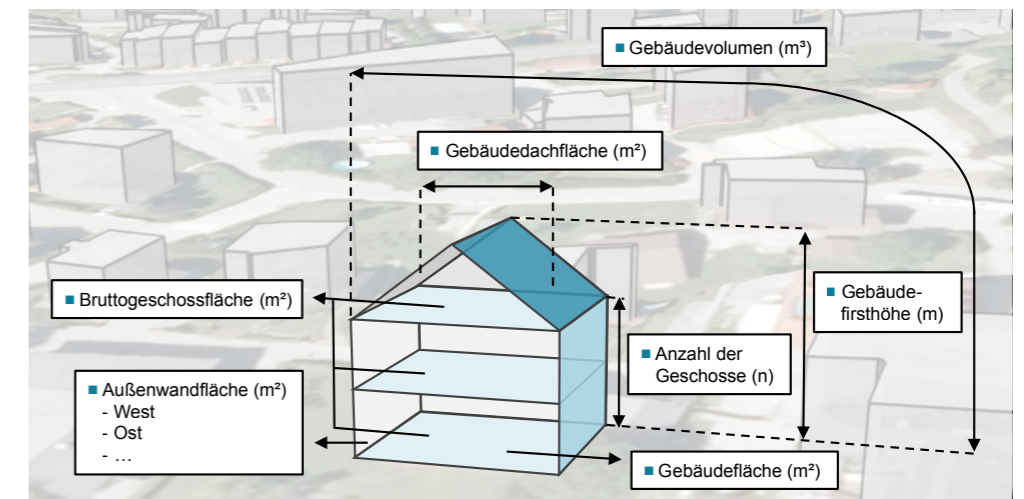


Abb. 2.03 Raumplanungsrelevante Parameter des Gebäudebestands

2.3.2. Modell Ortsübliche Dichte

Neben dem Gebäudebestand (vgl. Abschnitt 2.3.1) ist die bauliche Ausnutzbarkeit maßgebend für das Ausmaß des Nachverdichtungspotenzials bzw. für den Nachverdichtungstyp auf einem Grundstück. Die bauliche Ausnutzbarkeit eines Grundstücks wird in der Bebauungsplanung festgelegt. In der Regel kommen eine oder mehrere der folgenden Kennzahlen zur Anwendung: Grundflächenzahl (GRZ), Geschossflächenzahl (GFZ), Baumassenzahl (BMZ), Anzahl der Vollgeschosse (VG), Firsthöhe (FH). Da für die Gemeinden im Land Salzburg – mit Ausnahme der Stadt Salzburg – in der Regel keine digitalen Bebauungspläne zur Verfügung stehen, aus denen die bauliche Höchstdichte automatisiert ausgelesen werden kann, wird das Konzept „Ortsübliche Dichte“ herangezogen. Dabei wird für jedes Grundstück aus den nächsten umliegenden acht bereits bebauten Grundstücken die jeweils zweithöchste bauliche Bestandsdichte abgeleitet und als ortsübliche Dichte verspeichert (vgl. Abb. 2.04).

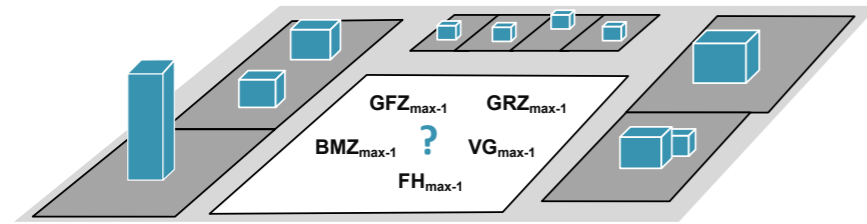


Abb. 2.04 — Ableitung der ortsüblichen Dichte eines Grundstücks aus den umliegenden acht Nachbargrundstücken

2.3.3. — Modell Optimale Ausnutzung

Auf Basis des Gebäudebestands (siehe Abschnitt 2.3.1) und der ortsüblichen Dichte (siehe Abschnitt 2.3.2) lässt sich nun das Nachverdichtungspotenzial als Differenz zwischen der optimalen Ausnutzung der baulichen Dichte und dem Gebäudebestand abschätzen. Dafür wird für jedes Grundstück unter Einhaltung der gesetzlichen Abstandsvorgaben (Mindestabstand 3/4 der Traufenhöhe, jedenfalls aber 4 m, § 25 Bebauungsgrundlagengesetz – BGG) eine Fülle an möglichen Kubaturen (1 – n) simuliert. Anschließend wird diejenige Kubatur mit der größten Bruttogeschossfläche (BGF) als „Optimale Ausnutzung“ ausgewählt, die keinen der Grenzwerte der jeweiligen ortsüblichen Dichte überschreitet (vgl. dazu auch Abb. 2.05 links Ersatzneubau).

Die einzelnen Simulationsschritte werden über den mit der Höhe zunehmenden Abstand zu den Grundstücksgrenzen gesteuert. Aus Gründen der Modellperformanz werden die vielen kleineren Parzellen geometrisch sehr genau analysiert, wohingegen bei den weniger größeren Parzellen eine gewisse Unschärfe in Kauf genommen wird.

Die Differenz zwischen der BGF der optimalen Ausnutzung und der BGF des Gebäudebestands entspricht dem baulichen Potenzial bzw. Nachverdichtungspotenzial eines Grundstücks. Um Aspekte der Realisierbarkeit zu berücksichtigen, werden Potenziale erst ab 85 m² BGF je Grundstück ausgewiesen. Diese 85 m² BGF entsprechen einer durchschnittlichen Wohneinheit von 68 m² Wohngröße unter der Annahme eines Aufschlags von 25 % für Konstruktions- und Nebenflächen.

2.3.4. — Modell Typologie Nachverdichtung

Die in Abschnitt 2.3.3 beschriebene optimale Ausnutzung eines Grundstücks entspricht im Grunde einem Neubau auf einem unbebauten bzw. Ersatzneubau auf einem bereits bebauten Grundstück. Da Nachverdichtung im engeren Sinne auch die Erweiterungsspielräume des Gebäudebestands anspricht, wurden für drei Grundtypen (Aufstockung, Anbau, selbstständiger Zubau) die spezifischen Anforderungen an Grundstücke und Gebäude abgeleitet (vgl. z.B. Bundesstiftung Baukultur & Nagel 2018). In starker Anlehnung an diese Typologie wurden frei parametrisierbare GIS-Analysemodelle auf Basis des Grundmodells „Optimale Ausnutzung“ entwickelt, um diese Nachverdichtungstypen identifizieren, quantifizieren und visualisieren zu können (vgl. Abb. 2.05):

- Der **Typ Ersatzneubau** entspricht der optimalen Ausnutzung (vgl. Abschnitt 2.3.3): Für jedes Grundstück werden mögliche Kubaturen simuliert. Unter kombinierter Berücksichtigung der ortsüblichen Dichte und gesetzlicher Abstandsvorgaben wird für jedes Grundstück die Kubatur mit der größten BGF ausgewählt.

- Für den **Typ Aufstockung** wird die Simulation auf das Ausmaß der Bestandsgebäudefläche begrenzt. Es wird die größtmögliche Aufstockung (in m² BGF) ausgewählt, die oberhalb der im Gebäudemodell abgeleiteten Firsthöhe möglich ist. Die Gesamtkubatur (Gebäudebestand + Aufstockungsmodell) darf dabei keinen der Grenzwerte der jeweiligen baulichen Dichte überschreiten. Zusätzlich kann eine Mindestbreite (z.B. 5 m) bzw. Mindestgröße (85 m² BGF, ~ 1 Wohneinheit) für das Aufstockungsmodell festgelegt werden.
- Bei der Simulation des **Typs Anbau** wird das Grundstück abzüglich der Bestandsgebäudefläche herangezogen und die größtmögliche Kubatur (in m² BGF) ausgewählt, die direkt an das Bestandsgebäude angebunden ist. Wiederum dürfen Gebäudebestand plus Anbaumodell keinen der Grenzwerte der jeweiligen baulichen Dichte überschreiten. Eine weitere Einflussmöglichkeit ist – neben der Mindestgröße von 85 m² BGF – auch die Mindestbreite des Anbaumodells (z.B. 5 m für Wohnraumerweiterung oder 8 m für eine zusätzliche Wohneinheit).
- In der Simulation des **Typs Zubau** wird – wie beim Typ Anbau – ebenfalls das Grundstück abzüglich der Bestandsgebäudefläche analysiert. Allerdings muss das Zubaumodell neben einer gewissen Breite auch einen Mindestabstand zum Gebäudebestand aufweisen: Für einen Zubau ohne Grundstücksteilung werden 3/4 der Höhe des Bestands plus 3/4 der Höhe des Zubaumodells veranschlagt. Für einen möglichen Subtyp Zubau mit Grundstücksteilung sind weitere Parameter – Mindestgrundstücksgröße (z.B. ab 1.200 m²), absoluter Mindestabstand zum Gebäudebestand (z.B. 15 m) oder Mindestanforderungen an die Kubatur des Zubaumodells (z.B. 180 m² BGF – vorgesehen).

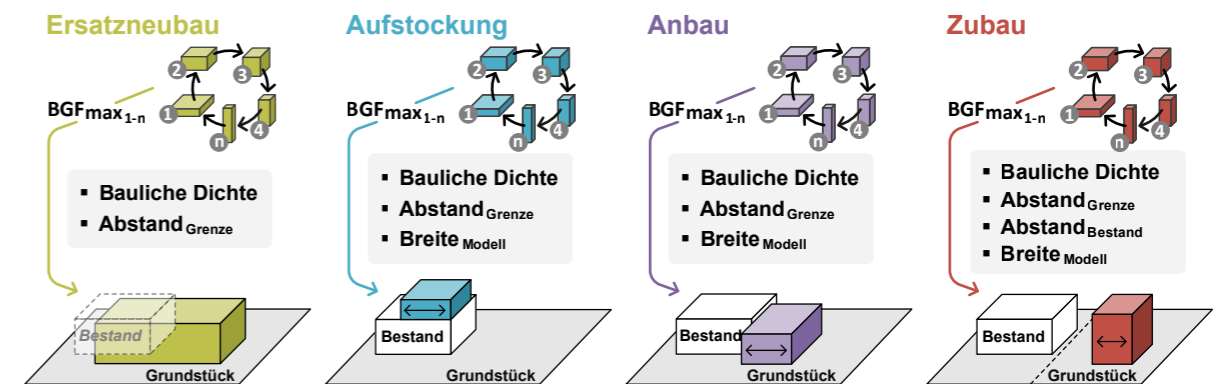


Abb. 2.05 — Simulation der Nachverdichtungstypen Ersatzneubau, Aufstockung, Anbau und Zubau je Grundstück aus 1 – n möglichen Kubaturen

2.4. — Bauliche und Nachverdichtungspotenziale im Land Salzburg (Ergebnisse und Evaluierung)

Die im Rahmen des Projekts Zentrum Alpines Bauen entwickelten GIS-Analysemodelle zu Nachverdichtungspotenzialen (siehe Abschnitt 2.3) wurden auf die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen im Land Salzburg (u. a. Flächenwidmung, Digitale

Katastralmappe, Gelände- und Oberflächenmodell) angewendet. Damit können landesweit raumplanungsrelevante Parameter des Gebäudebestands, bauliche Potenziale im nicht bebauten Wohnbaugebiet auf der Ebene von Grundstücken sowie Nachverdichtungspotenziale im bebauten Wohnbaugebiet und im Bereich des Lebensmitteleinzelhandels ausgewiesen werden. Die Parametrisierung der Analysemodelle erfolgte vorrangig für die Zielgruppe „Gemeinnützige Wohnbauträger“ und ihre Fragestellungen (z. B.: Wie groß ist das Nachverdichtungspotenzial im bebauten Wohnbaugebiet ab einer Größe von zusätzlich mindestens zehn Wohneinheiten?). In direkter Abhängigkeit von den heterogenen einfließenden Datengrundlagen weisen die vorliegenden Ergebnisse eine mittlere Aktualität etwa zwischen 2018–2020 auf.

2.4.1. — Raumplanungsrelevante Parameter des Gebäudebestands

Von der Gesamtzahl der aus Orthofoto-Befliegungen extrahierten Gebäude im Land Salzburg weisen etwa 273.000 eine Mindestfläche von 12 m² auf. Sie lassen sich überwiegend mit expliziten Informationen zur Gebäudenutzung bzw. zum Baualter verknüpfen und somit im Modell Gebäudebestand Parameter detailliert analysieren. Für etwa 243.000 (89 %) Gebäude können plausible Ergebnisse zu deren raumplanungsrelevanten Parametern für Fragestellungen und Analysen mit Bezug zu Nachverdichtung erzeugt werden. Bei den verbleibenden 11 % führen entweder ungünstige Gebäudegrundrisse (sehr schmal) oder die teils unzureichende Synchronisierung mit den Oberflächen- und Geländemodellen (z. B. Jahr 2007 versus Jahr 2018) zu wenig belastbaren Ergebnissen.

2.4.2. — Bauliche Potenziale im nicht bebauten Wohnbaugebiet

Im Land Salzburg sind insgesamt etwa 256.000 Grundstücke (aufgelöst nach Besitzverhältnissen) vorhanden, ca. 150.000 davon im Wohnbaugebiet (siehe Tab. 2.01). 9.309 Grundstücke sind nicht oder nur mit Nebengebäuden bebaut. Auf diesen Grundstücken lässt sich in Summe ein bauliches Potenzial von 6.089.322 m² BGF ermitteln. Davon sind 1.364 Grundstücke mindestens 1.500 m² groß und damit für Wohnbauträger von Interesse. Unter der Annahme von 85 m² BGF je Wohneinheit entspricht dies einem theoretischen Potenzial für 27.928 Wohneinheiten. 1.276 dieser Grundstücke ab 1.500 m² haben bis zu zwei Eigentümer; bei 297 Grundstücken sind diese Eigentümer ausschließlich Rechtspersonen und damit aus Sicht der Mobilisierbarkeit von Bedeutung.

Land Salzburg	Grundstücke (n)	Potenzial BGF (m ²)
Grundstücke	255.794	-
im Wohnbaugebiet	150.250	-
nicht bebaut, mit Potenzial	9.309	6.089.322 m ²
≥ 1.500 m²	1.364	2.430.762 m ²
≤ 2 Eigentümer	1.276	2.217.483 m ²
nur Rechtspersonen	297	736.500 m ²

Tab. 2.01 — Bauliche Potenziale im nicht bebauten Wohnbaugebiet nach Eigentumsverhältnissen

2.4.3. — Nachverdichtungspotenziale im bebauten Wohnbaugebiet

Auf 35.261 bebauten Grundstücken im Wohnbaugebiet lässt sich ein theoretisches Nachverdichtungspotenzial von in Summe 15.366.981 m² BGF ermitteln (siehe Tab. 2.02). Für Wohnbauträger interessant sind Grundstücke, auf denen sich theoretisch mindestens zehn zusätzliche Wohneinheiten realisieren lassen, was für 3.446 Grundstücke zutrifft. Rechnerisch ließen sich hier 6.256.169 m² BGF bzw. 71.936 Wohneinheiten realisieren. Nach Besitzverhältnissen aufgeschlüsselt weisen 3.051 Grundstücke bis zu zwei Eigentümer auf; bei 850 Grundstücken sind diese Eigentümer ausschließlich Rechtspersonen.

Land Salzburg	Grundstücke (n)	Potenzial BGF (m ²)
Grundstücke	255.794	-
im Wohnbaugebiet	150.250	-
bebaut, mit Potenzial	35.261	15.366.981 m ²
+ ≥ 10 Wohneinheiten	3.446	6.256.169 m ²
≤ 2 Eigentümer	3.051	5.560.954 m ²
nur Rechtspersonen	850	2.184.930 m ²

Tab. 2.02 — Nachverdichtungspotenziale im bebauten Wohnbaugebiet nach Eigentumsverhältnissen

2.4.4. — Potenziale auf Grundstücken des Lebensmitteleinzelhandels

Über verschiedene Raumordnungsinstrumente – wie Standortverordnungen für Handelsgrößbetriebe, Mindestdichten, Schichtenwidmung – wird die Transformation von eingeschossigen monofunktionalen hin zu Nutzungsgemischten überbauten Einzelhandelsmärkten angestrebt. Im Land Salzburg sind 299 Grundstücke vorhanden, die dem Lebensmitteleinzelhandel mit Vollversorger-Funktion und mindestens 200 m² Verkaufsfläche zugeordnet werden können (siehe Tab. 2.03), wovon wiederum 148 Grundstücke überwiegend eingeschossig bebaut sind.

101 Grundstücke weisen mit insgesamt 303.412 m² BGF bzw. 3.518 Wohneinheiten ein Potenzial für mindestens zehn zusätzliche Wohneinheiten auf.

Land Salzburg	Grundstücke (n)	Potenzial BGF (m ²)
Lebensmitteleinzelhandel (Vollversorger, Standorte)	299	-
Bestandsgebäude eingeschossig	148	-
mit Potenzial	135	317.249 m ²
+ ≥ 10 Wohneinheiten	101	303.412 m ²

Tab. 2.03 — Potenziale auf Grundstücken des Lebensmitteleinzelhandels

2.5. Evaluierung und Anwendungsfälle

Die oben beschriebenen Modelle wurden in ArcGIS ModelBuilder entwickelt und sind – in Abhängigkeit der Datenlage – weitgehend auf andere Länder übertragbar. Damit stehen erstmals flächendeckende, vergleichbare und aktualisierbare Informationen zu den Innenentwicklungs- und Nachverdichtungspotenzialen grundstücksscharf bereit. Etwas, das bisher nur anlassbezogen für einzelne Gemeinden (z.B. im Zuge der Erstellung von Räumlichen Entwicklungskonzepten) vorgelegen ist.

Möglich wird dadurch eine erstmalige objektivierte Sicht auf die Entwicklungsmöglichkeiten einzelner Siedlungen – von Gemeinden bis hin zu Regionen – in einer vergleichbaren Qualität. Die Modelle sind so gestaltet, dass sie dauerhaft implementiert werden können, da die zugrundeliegenden Daten mittlerweile überwiegend zum Standardangebot von Landes-GIS-Systemen gehören. Updates sind also verhältnismäßig einfach umsetzbar.

Angereichert mit Informationen zur Standortqualität und Mobilisierbarkeit reichen die möglichen Anwendungsfälle der beschriebenen Modelle von der Nutzung als Grundlage für die energetische Optimierung des Gebäudebestandes, der Visualisierung von möglichen baulichen Entwicklungen, der Simulation des zukünftigen Flächenbedarfs, der Erfolgskontrolle von Raumplanungsinstrumenten und -maßnahmen bis hin zu Planungsgrundlagen für zukünftige Projekte des gemeinnützigen Wohnbaus (vgl. auch Abb. 2.02).

Zur Beurteilung der Modellgüte der vorliegenden Modelle wurden verschiedene Evaluierungen durchgeführt. Ein Vergleich des Modells Gebäudebestand Parameter mit einer Gebäudekartierung der Stadt Salzburg als Referenz über eine Korrelationsanalyse zeigt, dass die Schätzung der Bruttogeschossfläche (BGF) sehr gut gelingt, die Schätzung der Anzahl der Vollgeschosse (VG) jedoch größere Abweichungen aufweist (siehe Abb. 2.06 oben, vgl. auch Spitzer et al. 2021). Bei der Evaluierung des Modells Ortsübliche Dichte durch Bebauungsplandaten der Stadt Salzburg zeigt sich, dass die Schätzung der ortsüblichen Dichte nur bedingt aussagekräftig ist, da in das Konzept allein die umliegende Bestandsdichte unabhängig vom tatsächlichen Ausschöpfungsgrad der möglichen baulichen Dichte sowie keine planerische Sicht eingehen (Abb. 2.06 unten). Für homogene Strukturen (z.B. Einfamilienhausiedlungen mit ähnlichen Grundstücksgrößen und Bauungsgrad) funktioniert das besser als für stark durchmischte Strukturen, wie sie typischerweise verstärkt in städtischen Gebieten zu finden sind. Diese mehr oder minder großen Schätzfehler überlagern sich im Modell Optimale Ausnutzung als Fehlerfortpflanzung, sodass es bei den Ergebnissen zu den baulichen Potenzialen im nicht bebauten Wohnbauland und bei den Nachverdichtungspotenzialen im bebauten Wohnbauland zu fallweise beachtlichen Über- bzw. Unterschätzungen kommt.

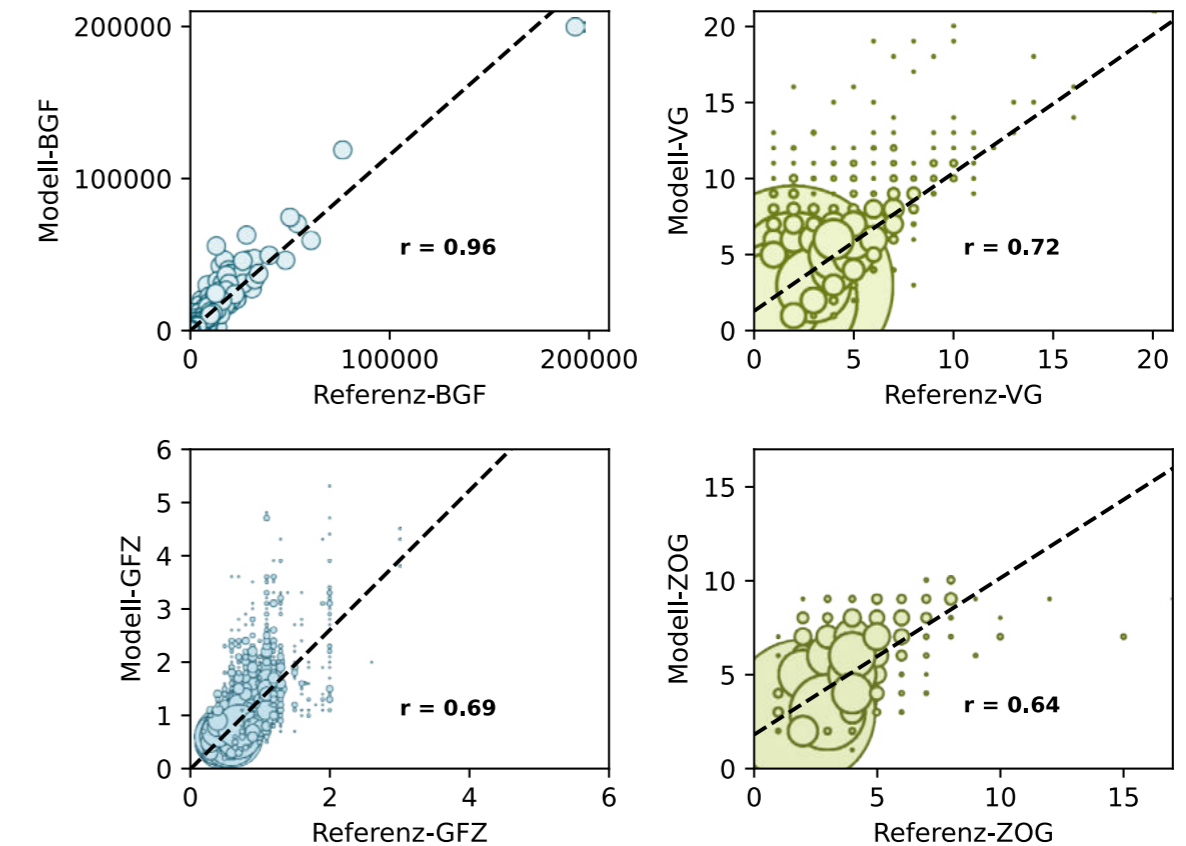


Abb. 2.06 Evaluierung ausgewählter Modellergebnisse mit Referenzdaten, Pearson Korrelation

Insgesamt kann die Belastbarkeit der vorgestellten Modelle als ausreichend für die vorrangig beabsichtigten Anwendungsfälle (s. o.) erachtet werden. Nichtsdestoweniger werden weitere Verfeinerungen der Modelle zur Minimierung von Ausreißern und Erhöhung der Gesamtbelastbarkeit angestrebt. Im Modell Gebäudebestand Parameter sind etwa eine weitere Ausdifferenzierung der Geschosshöhen für unterschiedliche Bauperioden und Nutzungen, aber auch Erweiterungen um zusätzliche Parameter wie etwa Traufenhöhe angedacht, ebenso wie ein Mehrwert durch räumlich höher aufgelöste Laserscanbefliegungen und damit auch Gelände- und Oberflächenmodelle der aktuellen Generation (z.B. 16 Punkte / m²). Im Modell Ortsübliche Dichte sind weitere Evaluierungen durchzuführen, wo die oben erwähnten größeren Abweichungen auftreten und wie sie – etwa durch Einbezug von Siedlungsstrukturgrenzen in der Nachbarschaftsdefinition oder differenzierte Betrachtung unterschiedlicher Grundstücksgrößen – verringert werden können. Auch der Einsatz von Machine-Learning-Methoden ist hier denkbar. Die Modelle Optimale Ausnutzung und Typologie Nachverdichtung sind innerhalb ihrer gegenwärtigen Modellgrenzen gut geeignet. Weiterentwicklungen hinsichtlich Performanz sowie zum Einbezug von ergänzenden Parametern wie Baufluchtlinien, Baugrenzlängen und dgl. könnten v. a. in urbanen Strukturen die Realitätsnähe weiter erhöhen.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BGF	Bruttogeschossfläche
BMZ	Baummassenzahl
FH	Firsthöhe
GIS	Geographische Informationssysteme / Geoinformatik
GFZ	Geschossflächenzahl
GRZ	Grundflächenzahl
SAGIS	Salzburger Geographisches Informationssystem
VG	Anzahl der Vollgeschosse

LITERATURVERZEICHNIS

Amt für Stadtplanung und Verkehr (Hrsg.) (2009). *Die zukünftige Entwicklung der Stadt Salzburg. Räumliches Entwicklungskonzept der Stadt Salzburg – REK 2007*. (1. Aufl.). Salzburg: Magistrat Stadt Salzburg.

Banko, G. & Weiß, M. (2016). *Gewidmetes, nicht bebautes Bauland. Erstellung von Auswertungen für Österreich. Technischer Bericht*.
https://www.oerok-atlas.at/documents/OEROK_Bauland_Jan_2016.pdf

Götzlich, L., Schardinger, I., Spitzer, W., Gadocha, S., Mauthner, F. & Biberacher, M. (2021). *Gebäudemodell für die räumliche Energieplanung*. AGIT–Journal für Angewandte Geoinformatik, 7, 88–96.

Bundesstiftung Baukultur & Nagel, R. (Hrsg.) (2018). *Besser bauen in der Mitte. Ein Handbuch zur Innentwicklung* (1. Aufl.). Potsdam: Bundesstiftung Baukultur.

Spitzer, W., Gadocha, S., Prinz, T., Youssef, D., Götzlich, L. & Schardinger, I. (2021). *Automatisierte Ableitung raumplanungsrelevanter Parameter des Gebäudebestands*. AGIT–Journal für Angewandte Geoinformatik, 7, 262–270.

Spitzer, W. & Prinz, T. (2016a). *Planungsgrundlagen für ein grenzübergreifendes Flächenmanagement im Raum Salzburg*. SIR–Mitteilungen und Berichte, 36 (2016), 43–52.

Spitzer, W. & Prinz, T. (2016b). *Wohnbaulandpotenziale 2.0. Parametrisierung, Aktualisierung und landesweite Umsetzung der Modelle Wohnbaulandpotenziale und Wohnbaulandbedarf*. Unveröffentlicht.

Statistik Austria (2022a). *Häuserpreisindex und OOH PI*.
<https://www.statistik.at/statistiken/volkswirtschaft-und-oeffentliche-finanzen/preise-und-preisindizes/haeuserpreisindex-und-oo-h-pi>

Statistik Austria (Hrsg.) (2022b). *Wohnen 2021, Zahlen, Daten und Indikatoren der Wohnstatistik*. Wien: Verlag Österreich GmbH.

Umweltbundesamt (2021). *Flächeninanspruchnahme*.
<https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/boden/flaecheninanspruchnahme>

3. **Simulationstool Flächenmanagement für Gemeinden**

SABINE GADOCHA

YINGWEN DENG

THOMAS PRINZ

WOLFGANG SPITZER

Für Gemeinden ist es vorteilhaft, laufend über das un- oder untergenutzte Potenzial im Widmungsbestand Bescheid zu wissen, damit die zukünftige Siedlungsentwicklung flächen-, ressourcen- und kosteneffizient gesteuert werden kann. Im vorliegenden Artikel wird ein webbasiertes Simulationstool „Flächenmanagement für Gemeinden“ vorgestellt, das mit überwiegend automatisierten gemeindebezogenen Datengrundlagen befüllt ist und es ermöglicht, die Flächenwirksamkeit von Raumplanungsentscheidungen (Flächenwidmung und Bebauungsplanung) zur Deckung des Wohnbaulandbedarfs standardisiert in verschiedenen Szenarien über einen Wirkungsindikator (Flächensparen) zu bewerten.

3.1. ——— **Innenentwicklung als Chance für Gemeinden**

Die Raumordnung ist in Österreich in drei Ebenen mit jeweils bestimmten Kompetenzen gegliedert. Die Gemeinden sind für den eigenen Wirkungsbereich – die örtliche Raumplanung – zuständig. Die Länder betreiben die überörtliche Raumplanung und geben über Gesetze, Programme, Ziele und Maßnahmen den Rahmen für die örtliche Raumplanung vor, für die sie auch Kontrollinstanz sind. Die Länder besorgen zudem auch Fachplanungen (Straßen, Naturschutz), der Bund dagegen ausschließlich Fachplanungen (Wasser, Eisenbahn etc.) (vgl. Gruber et al., 2018). Die Hauptverantwortung in der Flächenwidmung liegt damit also bei den Gemeinden. Charakteristisch für sehr viele Gemeinden ist, dass aus verschiedensten – auch historischen – Gründen ein erhebliches Ausmaß an als Bauland gewidmeten, aber unbebauten Flächen besteht. So sind in Salzburg landesweit ungefähr 1.000 Hektar und damit 10 % des Wohnbaulandes unbebaut, in einzelnen Gemeinden auch bis zu 20 %.

Im Land Salzburg hat dieser oft schwierig zu mobilisierende Baulandüberhang zur Folge, dass die Entwicklungsmöglichkeiten aufgrund der Begrenzung des unbebauten Baulandes auf den voraussichtlichen Zehnjahresbedarf (§ 29 Abs. 1 Salzburger Raumordnungsgesetz 2009 – ROG 2009) deutlich eingeschränkt sind. Daher sind Strategien zur Innenentwicklung und Steigerung der Flächeneffizienz wie Nachverdichtung und flächensparende Wohnbaustruktur zusätzlich zur Baulandmobilisierung das Mittel der Wahl, um in Gemeinden den zukünftigen Wohnungsbedarf decken zu können. Insbesondere die realisierte Wohnbaustruktur – mit ihrer Spannweite vom freistehenden Haus bis hin zum Geschosswohnbau – hat einen erheblichen, andauernden Einfluss nicht nur unmittelbar auf den Flächenverbrauch, sondern auch auf Gemeinkosten wie die technische (Straßen, Kanal, Wasser) und die soziale Infrastruktur (Pflegedienste, Schülertransport) (Dallhammer, 2016).

3.2. ——— **Entwicklung einer Simulation zum Flächenmanagement**

Im Land Salzburg ist das Räumliche Entwicklungskonzept (REK) das zentrale Instrument der örtlichen Raumplanung. Die Gemeinden legen damit den langfristigen Planungshorizont für 25 Jahre fest (Abteilung Wohnen und Raumplanung, 2019). Wesentliche Komponenten sind dabei u.a. der voraussichtliche Wohnbaulandbedarf als Gegenüberstellung von Bedarf (Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung) und Flächenreserven (unbebaut, Nachverdichtung, Leerstand, Konversion). Die Gemeinden sind verpflichtet, das REK regelmäßig – alle zehn Jahre – zu überprüfen und gegebenenfalls zu überarbeiten (§ 20 ROG).

Für Gemeinden ist es daher zumindest in diesem Intervall – in sich dynamisch entwickelnden Regionen aber eigentlich laufend – von Bedeutung, zu wissen, wie viel un- oder untergenutztes Potenzial im Widmungsbestand vorhanden ist. Denn je intensiver die vorhandenen Potenziale innerhalb der bestehenden Siedlungsgrenzen genutzt werden, desto größer ist der Entwicklungsspielraum insgesamt und desto weniger Grünland muss dafür in Wohnbauland umgewidmet werden (Gadocha et al., 2021).

Der Leitfaden zum REK (Abteilung Wohnen und Raumplanung, 2019) gibt u.a. explizite Anweisungen zur Abschätzung des Wohnbaulandbedarfs. In konzeptioneller Anlehnung an diesen Leitfaden wurde vom Studio iSPACE der RSA FG ein prototypisches Web-Simulationstool für das Flächenmanagement in Gemeinden im Land Salzburg entwickelt, mit dem sich Zukunftsszenarien simulieren und bewerten lassen, mit dem Ziel, Bewusstsein in den Gemeinden zu schaffen und sie bei der Entwicklung von Strategien für das Flächenmanagement zu unterstützen (Gadocha et al., 2022).

3.3. ——— **Komponenten der Simulation**

Für die Simulation des zukünftigen Wohnbedarfs, dessen Deckung im Widmungsbestand und die Auswirkung auf den Flächenbedarf sind mehrere Komponenten notwendig (vgl. dazu Deng et al., 2021 und Gadocha et al., 2022), die weitgehend automatisiert über GIS-Analysemodelle bereitgestellt werden können:

Ausgangspunkt ist der voraussichtlich in den nächsten 25 Jahren entstehende Wohnbedarf als Defaultwert. Dazu werden die auf Bezirksebene zur Verfügung stehenden ÖROK-Prognosen zur Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung über amtliche Statistiken zur vergangenen Entwicklung auf die Gemeindeebene disaggregiert.

Die gegenwärtige Wohnbaustruktur in der Gemeinde zeigt das Verhältnis der Haushalte in freistehenden Häusern, in verdichteten Flachbauten und in Geschosswohnbauten auf. Ermittelt wird dies durch Klassifikation des Gebäudebestandes (siehe dazu Artikel 2) und Verschneidung mit dem amtlichen regionalstatistischen Raster (Rastergröße 100 m) zur Anzahl der Haushalte (Statistik Austria).

Grundstücksscharfe Daten zu den baulichen Potenzialen im nicht bebauten Wohnbauland sowie zu den Nachverdichtungspotenzialen im bebauten Wohnbauland (siehe Artikel 2 zu deren Abschätzung) werden mit Indikatoren zur Standortqualität (Versorgung, Mobilität, Energie) angereichert. Zudem sind Defaultwerte zur voraussichtlich geeigneten Wohnbaustruktur sowie zur realisierbaren Anzahl an Haushalten in Orientierung an den REK-Leitfaden hinterlegt.

3.4. ——— **Technische Umsetzung als Web-Anwendung**

Die technische Implementierung des prototypischen Web-Simulationstools erfolgt hauptsächlich auf Client-Seite (Abb. 3.01). Für die Visualisierung in einer WebMap werden die Daten zunächst in einer File-Geodatenbank gespeichert, über Datenmanagement-Tools in ArcGIS Online importiert, als ArcGIS Datendienst veröffentlicht (ArcGIS Developers, 2022b) und in der Cloud als „Feature Layers“ in einem Feature-Service gehostet. Die Benutzeroberfläche (Client-Seite) der Anwendung ist mit HTML, CSS und JavaScript implementiert. Das Design der Benutzeroberfläche wird durch zusätzliche Bibliotheken einschließlich Bootstrap (Bootstrap, o. J.), die Benutzer-Interaktivität mit JavaScript und der JavaScript-Bibliothek jQuery (jQuery, 2008) unterstützt. Für den Client-seitigen Zugriff auf die Daten des gehosteten Feature Layers wird ArcGIS API for JavaScript (ArcGIS Developers, 2022a) verwendet, eine von ArcGIS bereitgestellte Web-API. Sie bietet die Möglichkeit, Daten in der Anwendung anzuzeigen, abzufragen,

zu filtern und zu bearbeiten. Um die Abfrageergebnisse in einem dynamischen Säulendiagramm darzustellen, wurde ChartJS (ChartJS, 2016), eine Open-Source-JavaScript-Bibliothek zur Datenvisualisierung, verwendet. Dies ermöglicht Aktualisierungen der Diagramme, wenn der Quelldatensatz geändert wird. Damit kann die Anwendung sofortiges visuelles Feedback zur Benutzerinteraktion liefern (vgl. Deng et al., 2021).

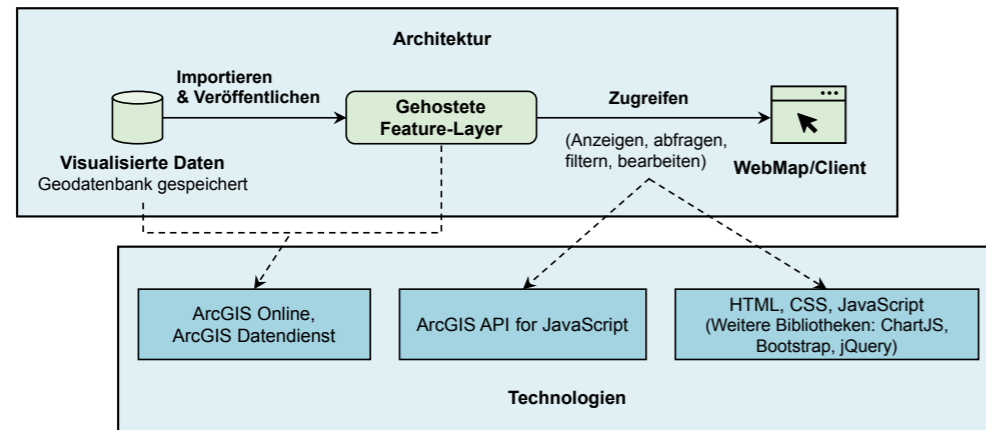


Abb. 3.01 — Anwendungsarchitektur Simulationstool

3.5. — Anwendung und Nutzen

Das prototypisch entwickelte Web-Simulationstool erlaubt es den Gemeinden, interaktiv Szenarien zur Deckung des Wohnbedarfs zu erstellen. Der/die Nutzer*in wird über einen Gemeindesteckbrief als Startseite mit den wesentlichen Kennzahlen (z.B. Wohnbaustruktur, statistischer Wohnbedarf, Potenziale im Wohnbauland) vorinformiert und gelangt zu einer WebMap (Abb. 3.02). Diese enthält neben typischen Navigationsfunktionen und Kartenhintergründen (a) die Darstellung der baulichen Potenziale im Wohnbauland mit der jeweiligen geschätzten Anzahl an Haushalten. Diese Potenzial-Layer lassen sich deaktivieren (b), über Mausklick zur Standortqualität abfragen (c) und betreffend der geeigneten Wohnbaustruktur und Haushaltsanzahl editieren (d).

Im Simulationsfenster (Abb. 3.03) kann der/die Nutzer*in Szenarien zum Flächenmanagement erstellen. Es kann zunächst der statistisch vorberechnete Wohnbedarf für 25 Jahre angepasst werden (Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung). Daran anschließend wird simuliert, wie dieser Bedarf gedeckt werden kann. Im Basisszenario (Defaultwerte) erfolgt dies ausschließlich über Außenentwicklung, also Neuwidmung aller benötigten Flächen. Angenommen wird dabei, dass die zukünftige Wohnbaustruktur der vergangenen entspricht und weder unbebautes Wohnbauland noch Nachverdichtungspotenziale mobilisiert werden. Der aus Sicht des Flächensparens Worst-Case-Flächenbedarf dieses Basisszenarios dient als Referenzwert für die Bewertung der weiteren Szenarien (Gadocha et al., 2022).

Mehrere Stellschrauben ermöglichen nun verschiedene Szenarien, wie sich dieser Flächenbedarf verringern lässt und damit zukünftigen Entwicklungsspielraum für die Gemeinden freigibt: Eine Änderung der zukünftigen Wohnbaustruktur (z.B. weniger Haushalte in freistehenden Häusern und mehr Haushalte in Geschosswohnbauten) verschiebt den

Flächenbedarf von der ortsüblichen Flächeneffizienz hin zu einer flächensparenderen Wohnbaustruktur. Die Mobilisierungsrate des baulichen Potenzials im nicht bebauten Wohnbauland reduziert ebenso wie die Nachverdichtungsrate (Anteil des Bedarfs, der durch Nutzung der Nachverdichtungspotenziale im bebauten Wohnbauland gedeckt wird) den Flächenbedarf für Neuwidmung.

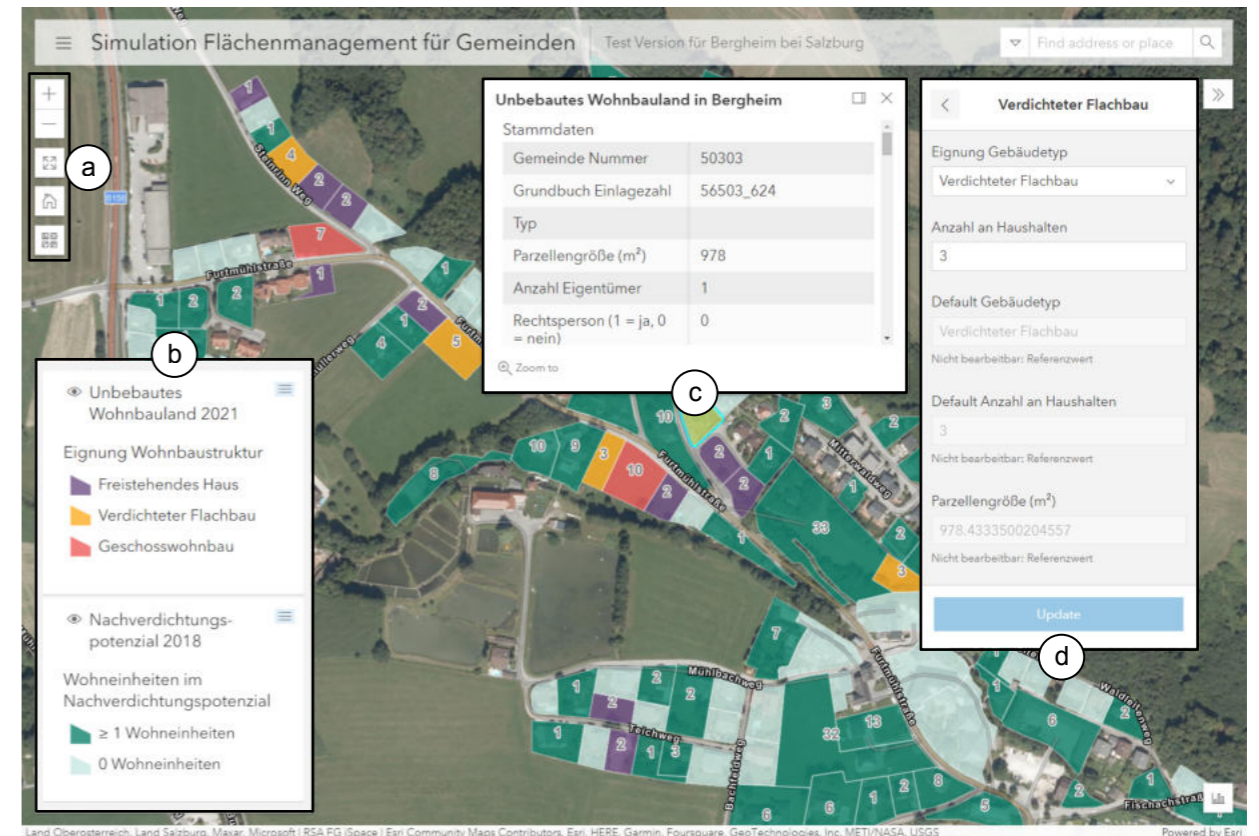


Abb. 3.02 — Übersicht WebMap der Potenziale im Wohnbauland

Als Ergebnis und Wirkungsindikator wird der Unterschied des Neuwidmungsbedarfs des jeweiligen Szenarios im Vergleich zum Basisszenario in Hektar angegeben. Daneben ist der Deckungsgrad (Angebot minus Nachfrage) für jede Wohnbaukategorie angeführt (Gadocha et al., 2022).

Verfügbare Flächenmanagement-Tools sind meist als Datenbanken oder Handlungsanleitungen ausgestaltet, die in der Praxis kaum eingesetzt werden, da die Erfassung, Eingabe und Pflege der notwendigen Daten äußerst zeitaufwendig ist und durch den/die Nutzer*in selbst erfolgen muss, z.B. FMD – Flächenmanagement-Datenbank (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2021), FLOO – Flächenmanagement-Tool für Kommunen (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2017) oder Metron-Dichtebox (Suter, 2012). Das vorliegende Simulationstool „Flächenmanagement für Gemeinden“ bietet hier einen niederschweligen Einstieg, da die Datengrundlagen weitgehend automatisiert und keine Kartierungen erforderlich sind. Da es mit standardisierten Datengrundlagen und abgestimmten Parametern direkt an

den REK-Leitfaden anknüpft, ermöglicht das Simulationstool eine Objektivierung und Konkretisierung des REK gerade in der Frühphase der REK-Erstellung. Die Gemeinden können sich dabei recht einfach der Tragweite ihrer Planungsentscheidungen (Flächenwidmung und Bebauungsplanung) bewusst werden, indem sie unmittelbares Feedback zu den Szenarien über einen Wirkungsindikator (Flächensparen) erhalten. Als Weiterentwicklung angedacht sei hier ein Indikator, der die Kostenvorteile flächensparender Wohnbaustruktur, Nachverdichtung und Siedlungsinnenentwicklung hinsichtlich technischer und sozialer Infrastruktur aufzeigt.

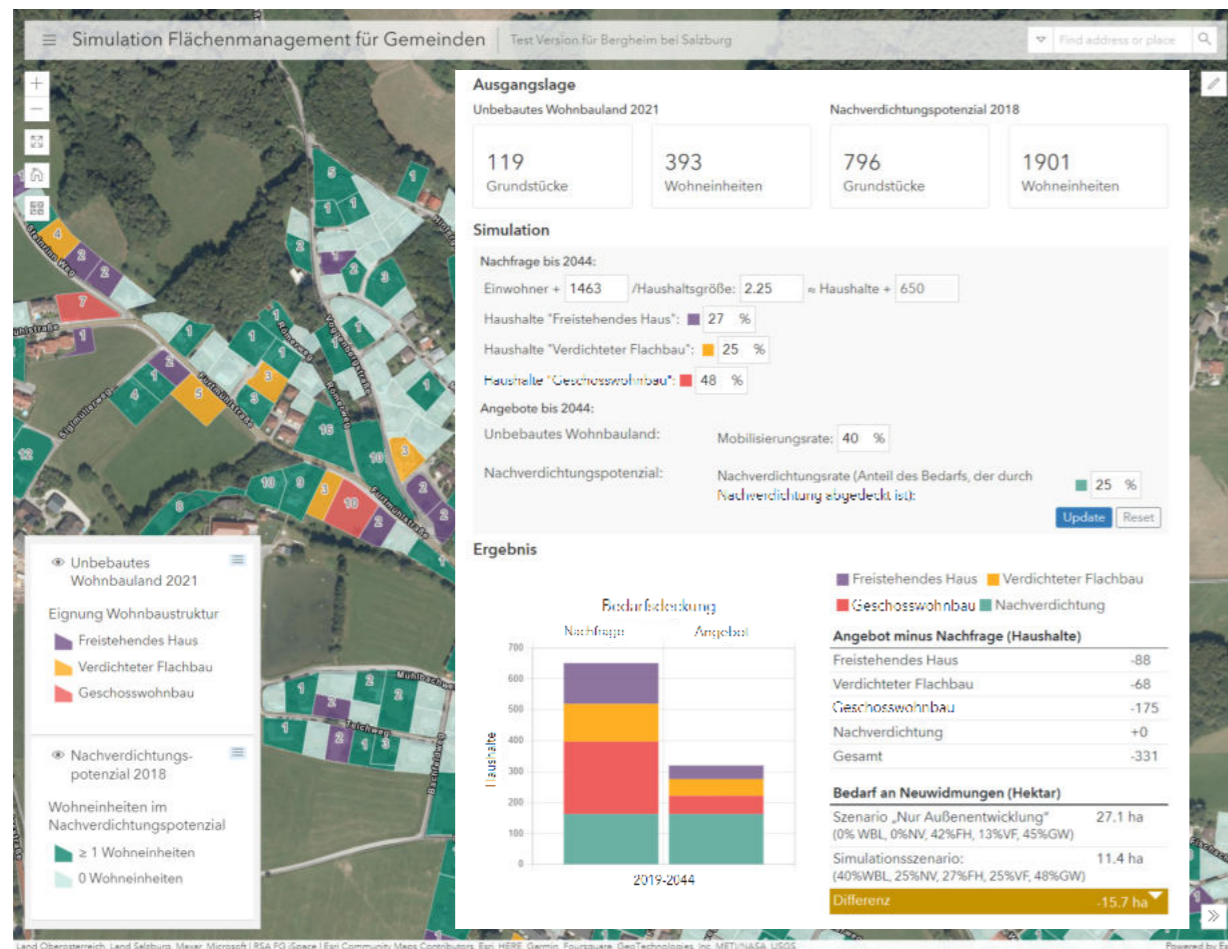


Abb. 3.03 Benutzeroberfläche der Simulation

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

GIS	Geografische Informationssysteme / Geoinformatik
ÖROK	Österreichische Raumordnungskonferenz
REK	Räumliches Entwicklungskonzept
ROG	Salzburger Raumordnungsgesetz 2009

LITERATURVERZEICHNIS

- Abteilung Wohnen und Raumplanung (Hrsg.) (2019). *Leitfaden Räumliches Entwicklungskonzept*. Salzburg. Land Salzburg. Richtlinien und Leitfäden zur Salzburger Raumplanung.
- ArcGIS Developers (2022a). *ArcGIS API for JavaScript – Overview*. <https://developers.arcgis.com/javascript/latest/>
- ArcGIS Developers (2022b). *Store, manage, and access your data*. <https://developers.arcgis.com/documentation/mapping-apis-and-services/data-hosting/>
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2021). *Flächenmanagement-Datenbank: praktische Hilfe für Kommunen*. <https://www.lfu.bayern.de/umweltkommunal/flaechenmanagement/fmdb/index.htm>
- Bootstrap (o.J.). *Build fast, responsive sites with Bootstrap*. <https://getbootstrap.com/>
- ChartJS (2016). *Chart.js: Open source HTML 5 Charts for your website*. <https://www.chartjs.org>
- Dallhammer, E. (2016). *Flächen- und kostenintensive Siedlungsentwicklung – Folgen und Lösungsansätze*. SIR-Mitteilungen und Berichte, 36 (2016), 19–28.
- Deng, Y., Spitzer, W., Gadocha, S. & Prinz, T. (2021). *A Web Application for Simulating Future Settlement Development*. GI_Forum 2021, 2, 215–227.
- Gadocha, S., Spitzer, W., Deng, Y. & Prinz, T. (2021). *GIS-Bausteine für eine automatisierte Bewertung und Simulation der Siedlungsinnenentwicklung. Flächennutzungsmonitoring XIII. Flächenpolitik – Konzepte – Analysen – Tools*. IÖR Schriften, 79 (2021), 69–78.
- Gadocha, S., Prinz, T. & Spitzer, W. (2022). *Die begrenzte Ressource Raum. Eine Simulationsanwendung für das Flächenmanagement in Gemeinden*. Planerin 5–2022, 53–54.
- Gruber, M., Kanonier, A., Pohn-Weidinger, S. & Schindelegger, A. (2018). *Raumordnung in Österreich und Bezüge zur Raumentwicklung und Regionalpolitik*. ÖROK-Schriftenreihe 202.
- jQuery (2008). *jQuery: The Write Less, Do More, JavaScript Library*. <https://jquery.com/>
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2017). *FLOO: Flächenmanagement-Tool für Kommunen*. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/boden/floo-flaechenmanagement-tool-fur-kommunen>
- Suter, B. (2012). *Verdichtung und qualitativvolles Quartier – mit der Metron-Dichtebox kein Widerspruch!* http://www.vision-rheintal.at/fileadmin/VRuploads/PDF/Das_Quartier_der_Zukunft/beat_suter_120614.pdf

4. — Entwicklung von Modellgebäuden – Grundlagen und Archetypen

DANIEL HEIDENTHALER

MARKUS LEEB

MICHAEL MOLTINGER

PATRICIA REINDL

LENA SEIWALD

SABINE GADOCHA

WOLFGANG SPITZER

Damit der Energieverbrauch im Gebäudesektor in der EU gesenkt und somit dem Klimawandel entgegengewirkt werden kann, wurde die Richtlinie 2010/31/EU durch das Europäische Parlament über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden beschlossen und angepasst (RL 2010/31/EU, 2021/01.01.2021). Um die gesetzten Ziele für den Gebäudebestand zu erfüllen und entsprechende Maßnahmen und Anforderungen zur Verbesserung der Energieeffizienz von aktuellen Bestandsgebäuden und Siedlungsgebieten zu eruiieren, ist eine detaillierte umfassende Analyse aller bestehenden Gebäude erforderlich. Teilziel dieses Forschungsprojekts ist es, mittels Energieausweisdaten, einschlägiger Literatur und GIS-Gebäudemodellen den Salzburger Gebäudebestand auf Basis von repräsentativen Archetypen zu beschreiben. Dafür werden die Gebäude anhand der drei Klassifizierungskriterien Bauperiode, Gebäudezustand (Bestand und Sanierung) und Gebäudenutzung (Ein- und Zweifamilienhaus und Mehrfamilienhaus) in Archetypen gruppiert. Diese repräsentativen Modellgebäude bilden die Grundlage für weitere Untersuchungen zum Einfluss von Sanierung und/oder Nachverdichtung sowie von Energieflexibilität auf den Energieverbrauch.

4.1. Einleitung

Um bestehende Gebäude beziehungsweise ganze Stadtteile zu modellieren und dadurch Aussagen über den aktuellen Energieverbrauch und zukünftige Sanierungs- und/oder Nachverdichtungsszenarien treffen zu können, ist eine umfassende Kenntnis über den Gebäudebestand und dessen Charakteristika erforderlich. Eine Methode, um nicht nur einzelne Gebäude, sondern auch ganze Gebiete zu beschreiben und zu analysieren, stellt der repräsentative Gebäudeansatz mittels Archetypen dar. Ein Archetyp ist dabei kein tatsächliches Gebäude, sondern eine Zusammensetzung von statistisch ermittelten Eigenschaften einer Gruppe von Gebäuden mit ähnlichen Eigenschaften (beispielsweise der mittlere U-Wert von unsanierten Mehrfamilienhäusern aus der Bauperiode 1961–1970). Ein Archetyp ist somit repräsentativ für eine spezifische Gruppe von Gebäuden (Moffatt & Aho, 2004) und kann stellvertretend für weitere Untersuchungen herangezogen werden, ohne jedes einzelne Gebäude eines Gebietes individuell untersuchen zu müssen, was mit einem erheblichen Mehraufwand verbunden wäre und zum Teil aufgrund von fehlenden Informationen auch gar nicht möglich ist.

In diesem Artikel wird eine Methode zur Bildung von Archetypen vorgestellt und für Salzburg als beispielhafte Modellregion angewendet. Diese Methode hilft, den aktuellen Gebäudebestand effizient und zeitsparend zu modellieren und quantitativ zu beschreiben. Dabei ist das Arbeiten mit repräsentativen Modellgebäuden bzw. das Erstellen von Archetypen eine gängige und weit verbreitete Methode zur Analyse von Daten hinsichtlich der thermischen Leistung des Gebäudebestandes (Heidenthaler et al., 2022; IWU – Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2017).

4.2 Methodik

In diesem Abschnitt werden die für die Bildung der Archetypen notwendigen Daten Grundlagen erläutert. Die zwei wesentlichen Quellen bilden dabei zum einen GIS-Gebäudemolldaten (siehe Abschnitt 4.2.1) und zum anderen Energieausweisdaten (siehe Abschnitt 4.2.2). Da diese beiden Datensätze aufgrund des gewünschten Detaillierungsgrades der Archetypen mitunter nicht ausreichend sind, wird, wo notwendig, überdies entsprechende Literatur hinzugezogen (siehe Abschnitt 4.2.3).

Für die Erstellung von Archetypen ist es erforderlich, den Gebäudebestand anhand gewisser Merkmale zu klassifizieren, so dass folglich eine Gruppe von Gebäuden mit ähnlichen Eigenschaften durch einen einzigen Archetyp repräsentiert werden kann. Für die Unterteilung der Gebäude in Archetypen werden folgende drei Charakteristika herangezogen:

1. Gebäudenutzung Unterschieden werden zwei Gebäudenutzungen, nämlich Gebäude mit einer oder zwei Wohnungen (Ein- und Zweifamilienhäuser, kurz EZFH) sowie Gebäude mit drei oder mehr Wohnungen (Mehrfamilienhäuser, kurz MFH)

2. Gebäudezustand Unterschieden wird zwischen Bestand und Sanierung.

3. Bauperiode Die Archetypen werden des Weiteren in neun gängige Bauperioden unterteilt, angelehnt an Statistik Austria (Statistik Austria, 2020):

- Bis 1918
- 1919–1944
- 1945–1960
- 1961–1970
- 1971–1980
- 1981–1990
- 1991–2000
- 2001–2010
- 2011–2020

Da es für die letzten beiden Bauperioden (ab 2001) kaum Beispiele für Sanierungen gibt, weder für den Typ EZFH noch für MFH, werden sanierte Gebäude für die letzten beiden Bauperioden von dieser Studie ausgeschlossen. Aus den Klassifizierungen von neun Bauperioden, zwei Gebäudezuständen sowie zwei Gebäudenutzungen ergeben sich somit 32 Basismodelle, welche die Archetypen bilden. Eine detailliertere Beschreibung der Vorgehensweise und Findung der Archetypen anhand der ZEUS Daten kann hier nachgelesen werden (Heidenthaler et al., 2022).

4.2.1. GIS-Gebäudemodell

Die Kenntnis der gegenwärtigen Nutzung und Kubatur einzelner Gebäude ist wesentlich, um den Gebäudebestand insgesamt hinsichtlich zukünftiger raumplanerischer Herausforderungen weiterentwickeln zu können.

Vorrangig zur Identifikation und Quantifizierung von Nachverdichtungspotenzialen wurde eine GIS-Methodik zur automatisierten Ableitung raumplanungsrelevanter Parameter des Gebäudebestands für das Land Salzburg entwickelt und umgesetzt. Die Methodik liefert flächendeckende, vergleichbare und aktualisierbare Informationen zu Bruttogeschossfläche, Volumen, Höhe, Geschosszahl, Außenwand- und Dachfläche auf Grundlage verschiedener Datengrundlagen (u. a. Kartierung von Gebäudeflächen aus Orthofoto-Befliegungen, Gelände- und Oberflächenmodelle aus Laserscanbefliegungen). Das Gebäudevolumen etwa entspricht der Wertesumme des Differenzhöhenmodells (Oberflächenmodell abzüglich Geländemodell) innerhalb der Gebäudefläche. Für die Berechnung der Fläche und Orientierung von Außenwänden werden die Gebäudeflächenaußenkanten in Segmente zerlegt, nach Himmelsrichtungen unterschieden und anschließend die Differenzhöhenwerte als Wandhöhe ausgelesen. Zur Abschätzung der Dachfläche wird aus dem Oberflächenmodell ein Neigungsraster erstellt und trigonometrisch in die Gebäudedachfläche umgerechnet (Spitzer et al., 2021).

Die so ermittelten Ergebnisse zu Gebäudevolumen und Gebäudehüllflächen bieten auch einen Mehrwert für Fragestellungen der Energieeffizienz des Gebäudebestandes. Dafür wurden Modellgebäudeklassen aus der Kombination von Gebäudehauptnutzung und Bauperiode erstellt und über Adressinformationen mit der ZEUS-Datengrundlage kombiniert.

Im Artikel 2 – „Modellierung von Nachverdichtungspotenzialen mit Geoinformatik“ wird der Vorgang zur Ermittlung der Gebäudevolumen und Gebäudehüllflächen genauer erläutert.

4.2.2. Energieausweisdatenbank ZEUS

Seit spätestens Jänner 2009 ist in Österreich die Erstellung von Energieausweisen bei Kauf, Vermietung und Bau von Gebäuden und Gebäudeeinheiten verpflichtend (BGBl. I Nr. 137/2006: Energieausweis-Vorlage-Gesetz – EAVG, 2006). Die erstellten Energieausweise werden in Salzburg (sowie in vier weiteren Bundesländern) in der regionalen Datenbank ZEUS abgelegt. Die in ZEUS gespeicherten Daten sind nicht öffentlich zugänglich, wurden aber für statistische Auswertungen vom Land Salzburg für das Forschungsprojekt zur Verfügung gestellt. Der erhaltene Datensatz mit Stichtag 17. 03. 2021 umfasst 82.708 Energieausweise. Bevor der Datensatz weiterverwendet werden kann, müssen fehlerhafte Eingaben bzw. Duplikate identifiziert und entfernt werden. In dem Datensatz finden sich zum Beispiel sowohl Energieausweise mit fehlendem oder falschem Baujahr als auch mit einem Heizwärmebedarf oder Endenergiebedarf von 0 kWh/(m²a), was ebenso auf fehlerhafte Eingaben schließen lässt. Nach Anwendung des Filterprozesses belaufen sich die verbleibenden Energieausweise auf 24.860 aktuelle und gültige Energieausweise für Wohngebäude, von denen wiederum für 22.605 detaillierte Informationen zu den einzelnen Bauteilen vorliegen. Diese 22.605 Energieausweise bilden die Grundlage für alle weiteren Analysen.

Zunächst werden aus dem gefilterten Datensatz der Energieausweise die U-Werte für die Archetypen ermittelt. Jedem Gebäude können innerhalb der Datenbank mehrere Bauteile derselben Kategorie (z.B. mehrere Fenster oder Wände) mit unterschiedlichen U-Werten zugewiesen sein. Daher muss zunächst ein flächengewichteter mittlerer U-Wert pro Bauteil berechnet werden. Anschließend kann auf Basis dieser flächengewichteten U-Werte der Median pro Archetyp und Bauteilkategorie ermittelt werden. Unterschieden werden dabei folgende vier Bauteile der thermischen Gebäudehülle:

- Dach/Decke
- Wand
- Boden
- Fenster

Abb. 4.01 veranschaulicht die Median-U-Werte der einzelnen Bauteile der thermischen Gebäudehülle und zugehörige Konfidenzintervalle für die Gebäudekategorie Mehrfamilienhäuser. Es ist ersichtlich, dass Decken die effizientesten Bauteile unter allen Archetypen darstellen und Fenster die ineffizientesten. Überdies besitzt die Sanierung von Gebäuden ein hohes Energieeinsparpotenzial, da sanierte Bauteile wie Wände, Decken/Dächer und Fenster über alle Perioden hinweg beinahe das Niveau von Neubauten erreichen können. Eine Ausnahme bilden dabei sanierte Böden, welche mit einer Abweichung von mindestens 52 % (Abweichung von 1991–2000 zu 2001–2010) deutlich über den U-Werten für Neubauten liegen, was darauf hindeutet, dass sich die nachträgliche Renovierung von Böden häufig als schwierig gestaltet (mögliche Barrieren können Geschosshöhen oder bauliche Anforderungen sein). Die getroffenen Aussagen gelten für beide Kategorien, EZFH und MFH. Vor allem Decken/Dächer scheinen ein bevorzugtes Bauteil für die Sanierung zu sein, da diese die Werte des Neubaus in fast allen Perioden und Kategorien erreichen, wobei EZFH um bis zu 18 % niedrigere U-Werte erreichen, verglichen mit den U-Werten von MFH. Dass sanierte Decken/Dächer in etwa die U-Werte von Neubauten erreichen, kann womöglich damit erklärt werden, dass die Sanierung

von Decken/ Dächern im Vergleich zu Wänden und Böden oft eine einfache und machbare Lösung darstellt und häufig weniger Hürden hinsichtlich des Denkmalschutzes oder baulicher Hindernisse aufweist. Die U-Werte für EZFH können in folgender Publikation nachgelesen werden (Heidenthaler et al., 2022).

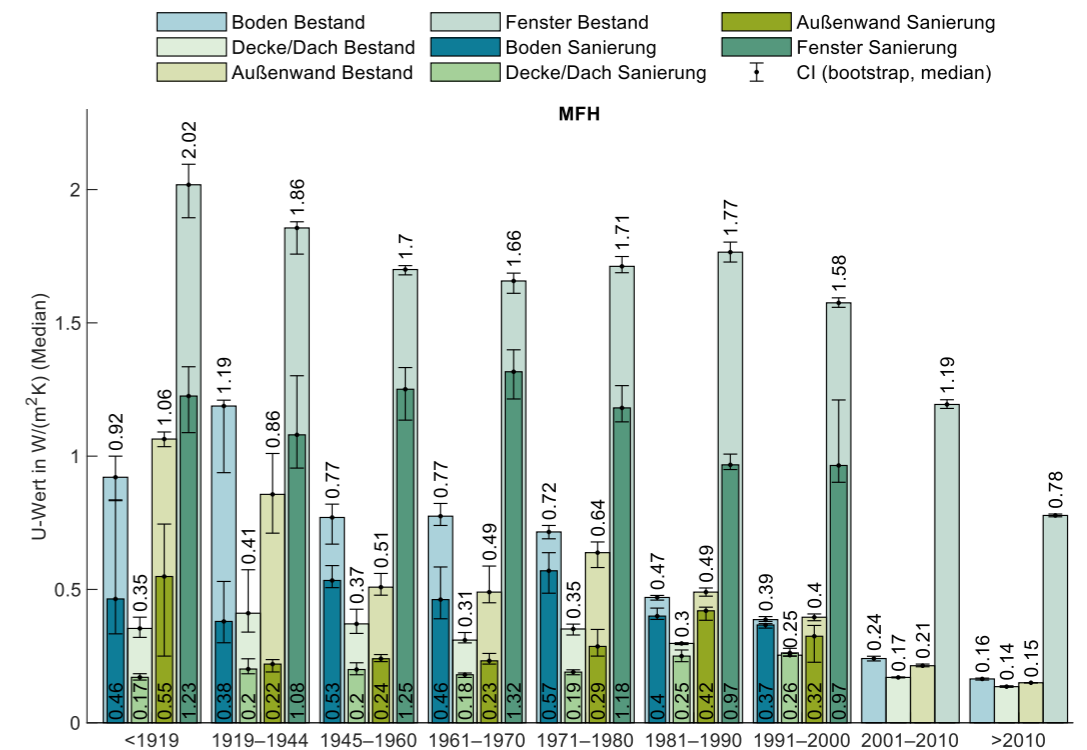


Abb. 4.01 U-Werte (Median) je Bauteil und Archetyp für Mehrfamilienhäuser

Weitere Parameter, die auf Grundlage der ZEUS Datenbank ermittelt werden können, sind der Fensterflächenanteil, die Größe des durchschnittlichen Pufferspeichers und Angaben zum Wärmeabgabesystem.

Um dem Archetyp einen Fensterflächenanteil zuzuweisen, wurde der jeweilige Medianwert aus den Energieausweisdaten ermittelt. In Abb. 4.02 ist ersichtlich, dass das Verhältnis von Fensterfläche zu Wandfläche für EZFH im Laufe der Jahre stetig zunimmt und in jüngster Zeit mit 16,7 % seinen Maximalwert erreicht. Im Gegensatz dazu erreichen die unsanierten MFH den Spitzenwert in der Zeitperiode von 1971 bis 1980 mit 21,3 % und übertreffen damit den Wert desselben Zeitraumes für sanierte MFH (20,7 %). Generell weisen MFH über alle Archetypen hinweg einen höheren Fensterflächenanteil auf als EZFH.

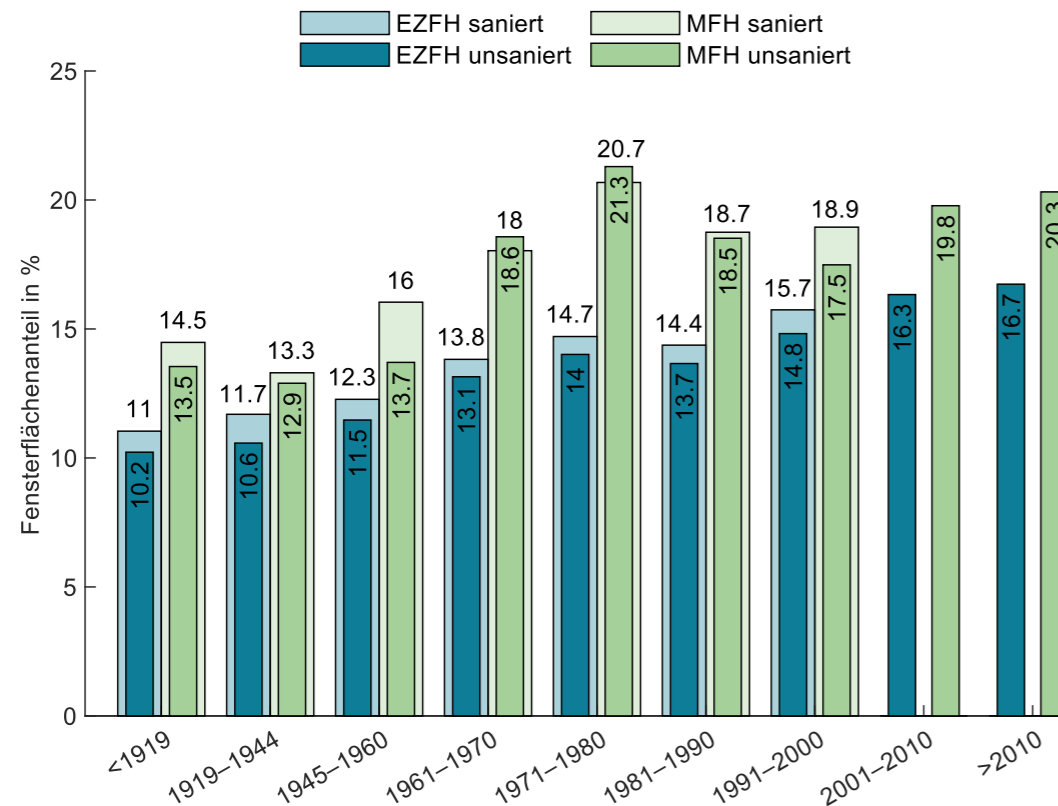


Abb. 4.02 Fensterflächenanteil je Archetyp

Jedem der Archetypen wird ein Pufferspeicher zugewiesen, wobei das Volumen dabei dem Mittelwert der jeweiligen Gebäudegruppe aus der Energieausweisdatenbank entspricht.

Des Weiteren erfolgt die Ermittlung des am häufigsten vorkommenden Wärmeabgabesystems für jeden Archetypen. Überwiegend dienen Radiatoren als Wärmeabgabesystem (bei unsanierten Gebäuden, welche vor 2001 errichtet wurden, schwankt der Anteil der Radiatoren zwischen 61 % und 86 %), wobei ab 2001 bei EZFH (Anteil von 66 % in der Bauperiode 2001–2010 und 94 % ab 2011) und ab 2011 bei MFH (Anteil von 72 %) Flächenheizungen die Mehrheit bilden und somit charakteristisch für den jeweiligen Archetypen sind (siehe Heidenthaler et al., 2022 für weitere Informationen). Je nach Wärmeabgabesystem sind zusätzliche Informationen notwendig. Für Radiatoren etwa werden ebenfalls auf Basis der Energieausweisdaten Mittelwerte für Vor- und Rücklauftemperaturen je Bauperiode sowie Bestand oder Sanierung angegeben.

4.2.3. Literatur

Parameter, die nicht in der ZEUS Datenbank erfasst werden, jedoch für die Bildung der Archetypen ausschlaggebend sind, müssen anhand einschlägiger Literatur definiert werden. Dies betrifft insbesondere die detaillierten Aufbauten der Bauteile. Anhand der ermittelten U-Werte aus den ZEUS-Daten, können mithilfe des TABULA-Projekts (IWU – Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2017) und des PH-Sanierungsbauteilkataloges

(Zelger et al., 2012) Aufbauten für den jeweiligen Archetypen erstellt werden. Dafür werden übliche Aufbauten und Materialien aus der jeweiligen Zeitperiode gewählt und diese an den ermittelten U-Wert angepasst. Die erforderlichen Materialkennwerte der einzelnen Schichten sind der ÖNORM B 8110-7 (Austrian Standards International, 2013) entnommen. Zusätzlich zu den Bauteilen der thermischen Gebäudehülle werden pro Archetyp eine tragende und eine nichttragende Innenwand sowie eine Geschossdecke anhand der oben genannten Literatur definiert. Dabei wird von einem Flächenverhältnis von Außenwänden zu Innenwänden von 1:1 und jeweils zur Hälfte von tragenden und nichttragenden Innenwänden ausgegangen.

Zur Berücksichtigung der internen Wärmegewinne werden aus der ÖNORM EN 16798-1 (Austrian Standards International, 2019b) die Referenzwerte für innere Lasten aufgrund von technischen Geräten und Beleuchtung sowie Nutzerprofile für Bewohner, Geräte und Beleuchtung entnommen. Unterschieden wird bei den internen Lasten lediglich zwischen EZFH und MFH, wobei für Geräte und Beleuchtung bei EZFH 2,4 [W/m²] und bei MFH 3 [W/m²] angesetzt werden.

Für den hygienisch notwendigen Luftwechsel (Infiltration und Lüftung) werden konstante Werte aus der ÖNORM B 8110-5 (Austrian Standards International, 2019a) angesetzt. Dabei wird zwischen Ein- und Zweifamilienhäusern sowie Mehrfamilienhäusern unterschieden, nicht jedoch nach Bestand und Sanierung sowie Bauperiode. Somit ergibt sich für den hygienisch notwendigen Luftwechsel ($n_{L,hyg}$) beim EZFH ein $n_{L,hyg}$ von 0,28 [1/h] und beim MFH ein $n_{L,hyg}$ von 0,38 [1/h].

4.3. Ergebnisse

Die statistisch ermittelten Werte werden den jeweiligen Referenzgebäuden zugeteilt, welche die 32 Archetypen bilden. Für die Archetypen wurden zusammenfassend folgende Parameter definiert:

- Bruttogeschossfläche
- Volumen
- Orientierung
- Gebäudehüllflächen
- Geschossanzahl
- Bauteile und Aufbauten
- Fensterflächenanteil
- Interne Wärmegewinne
- Pufferspeicher-Volumen
- Luftwechselrate
- Wärmeabgabesystem + Vor- und Rücklauftemperatur

Im vorliegenden Abschnitt erfolgt die beispielhafte Beschreibung von ausgewählten Archetypen hinsichtlich der ermittelten Parameter aus dem GIS-Gebäudemodell, der Energieausweisdatenbank ZEUS sowie einschlägiger Literatur. Als beispielhafte Archetypen wurden die Mehrfamilienhäuser aus der Zeitperiode 1961–1970 sowohl im unsanierten als auch im sanierten Zustand gewählt. In Abb. 4.03 ist der Archetyp Mehrfamilienhaus 1961–1970 Bestand (unsaniert) mit den zugewiesenen Inputdaten schematisch dargestellt.

INPUTDATEN

Archetyp MFH 1961–1970 B

BESTAND

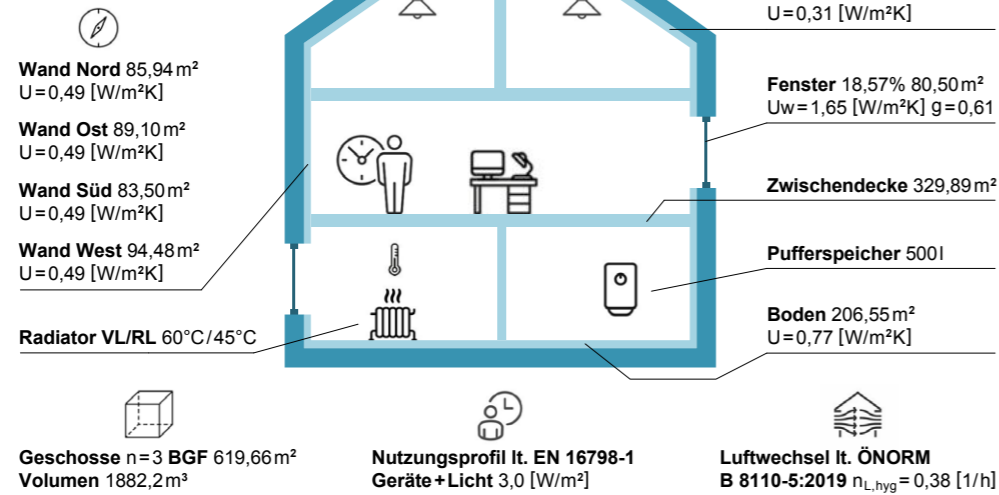


Abb. 4.03 Inputdaten für den beispielhaften Archetypen MFH 1961–1970, Bestand

Im Vergleich zum Bestandgebäude ist in Abb. 4.04 der sanierte Archetyp derselben Zeitperiode schematisch dargestellt. Die Geometrie sowie das Nutzerprofil bleiben gegenüber dem Bestand unverändert. Unterschiede betreffen die U-Werte der Gebäudehülle, den Fensterflächenanteil, Vor- und Rücklauftemperatur der Heizung sowie das Volumen des Pufferspeichers. Diese Parameter basieren auf der ZEUS-Datenbank und stellen statistische Mittel-/Medianwerte für sanierte Mehrfamilienhäuser von 1961–1970 dar.

INPUTDATEN

Archetyp MFH 1961–1970 S

SANIERUNG

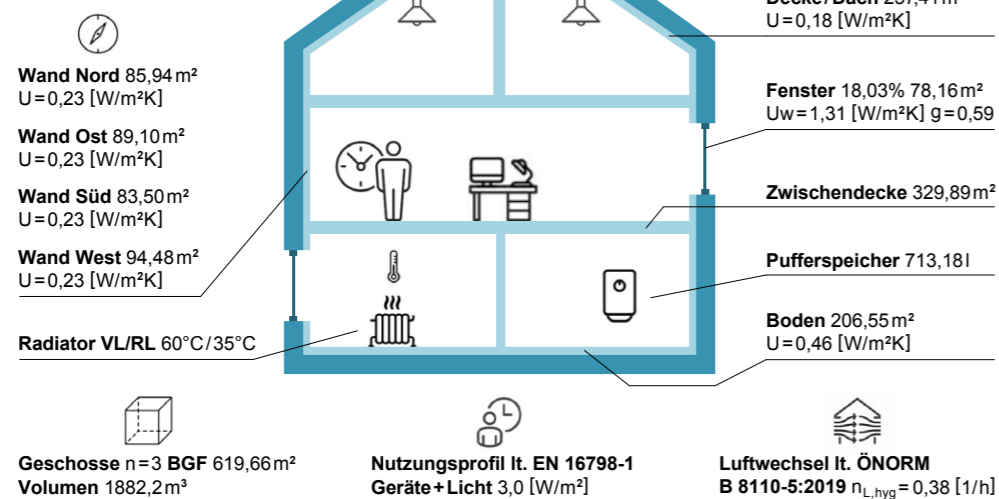


Abb. 4.04 Inputdaten für den beispielhaften Archetypen MFH 1961–1970, Sanierung

4.4. Zusammenfassung und Ausblick

Anhand der ZEUS Datenbank, einschlägiger Literatur und GIS-Gebäudemodellen wurden 32 Archetypen definiert, welche den Salzburger Gebäudebestand repräsentativ abbilden. Diese können zur Modellierung von Siedlungsgebieten bzw. ganzen Stadtteilen herangezogen werden, um Aussagen über den aktuellen Energieverbrauch zu treffen und zukünftige Entwicklungen und Technologien wie etwa Bauteilaktivierungen, Energieflexibilität und intelligente Energiesysteme abzubilden und zu bewerten. Die Archetypen können außerdem für Variantenstudien hinsichtlich Energieeffizienz von Quartieren bei Sanierung und/oder Nachverdichtung verwendet werden.

Im Wesentlichen ist die Qualität der Archetypen von der Qualität der Datengrundlage abhängig. Für die detaillierte Auswertung der ZEUS Daten ist die Schnittstelle zwischen Energieausweiserstellungsprogramm und der Datenbank von großer Bedeutung. Für die Energieausweise werden grundsätzlich alle für die Erstellung der detaillierten Archetypen relevanten Parameter erfasst, die Daten der Aufbauten beispielsweise werden derzeit jedoch großteils nicht in der Datenbank abgelegt. Hier besteht zukünftig Optimierungspotenzial.

Derzeit wurden die Archetypen nur für das Land Salzburg erstellt, jedoch kann die Bildung von Archetypen auch auf weitere Bundesländer bzw. Länder ausgeweitet werden, sofern die notwendigen Datengrundlagen vorhanden sind.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

B	Bestand
EZFH	Ein- und Zweifamilienhaus
GIS	Geographisches Informationssystem
MFH	Mehrfamilienhaus
n _{L,hyg}	hygienisch notwendiger Luftwechsel
S	Sanierung
VL/RL	Vorlauftemperatur/Rücklauftemperatur

LITERATURVERZEICHNIS

Austrian Standards International (15. März 2013). *Thermal insulation in building construction – Part 7: Tabulated design values for thermal insulation* (ÖNORM B 8110-7).

Austrian Standards International (15. März 2019a). *Thermal insulation in building construction – Part 5: Model of climate and user profiles* (ÖNORM B 8110-5).

Austrian Standards International (1. November 2019b). *Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – Module M1-6* (ÖNORM EN 16798-1).

RL 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung), Amtsblatt der Europäischen Union (2021 & i.d.F.v. 01.01.2021). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02010L0031-20210101&from=EN>

Bundesgesetz über die Pflicht zur Vorlage eines Energieausweises beim Verkauf und bei der In-Bestand-Gabe von Gebäuden und Nutzungsobjekten (Energieausweis-Vorlage-Gesetz – EAVG) (2006). <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/l/2006/137>

Heidenthaler, D., Leeb, M., Reindl, P., Kranzl, L., Bednar, T. & Moltinger, M. (2022). *Building stock characteristics of residential buildings in Salzburg, Austria based on a structured analysis of energy performance certificates*. *Energy and Buildings*, 273, 112401. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112401>

IWU – Institut Wohnen und Umwelt GmbH (2017). *TABULA WebTool*. <https://webtool.building-typology.eu/>

Moffatt, S. & Aho, I. (2004). *Stock Aggregation: Methods for Evaluating the Environmental Performance of Building Stocks*. Canada.

Spitzer, W., Gadocha, S., Prinz, T., Youssef, D., Götzlich, L. & Schardinger, I. (2021). *Automatisierte Ableitung raumplanungsrelevanter Parameter des Gebäudebestands*. *AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik*, 7, 262–270.

Statistik Austria (Hrsg.) (2020). *Handbuch Teil A, Kapitel 3: Datenerfassung und Nutzungsmöglichkeiten*. Wien.

Zelger, T., Mötzl, H., Scharnhorst, A., Waltjen, T., Wegerer, P., Neusser, M. & Bednar, T. (2012). *PH-Sanierungsbauteilkatalog: Zweite Ausbaustufe: PH-SanPlus*. Wien.

5. — Entwicklung von Modellgebäuden – Simulation und Validierung

DANIEL HEIDENTHALER

MARKUS LEEB

MICHAEL MOLTINGER

PATRICIA REINDL

LENA SEIWALD

ZUSAMMENFASSUNG

Damit die gegenwärtige Energieinfrastruktur entsprechend den Herausforderungen und Anforderungen zukunftsfähig gestaltet werden kann, bedarf es der umfassenden Kenntnis über den derzeitigen Gebäudebestand und dessen Verbrauch. Hier kann die thermische Simulation, nicht nur von einzelnen Gebäuden, sondern ganzen Gebieten und Städten, Abhilfe leisten. Die automatisierte Modellierung physikalischer Simulationsmodelle auf Basis von Archetypen erweist sich als vielversprechende Methode, welche sowohl eine detaillierte Betrachtung einzelner Gebäudeparameter und neuer Technologien als auch die übergeordnete Analyse ganzer Gebiete mit geringem manuellen Aufwand ermöglicht. Der Vergleich des entwickelten Simulationsmodells mit Messdaten aus einem Fernwärmeknoten einer Gemeinde in Salzburg zeigt die Validität und Genauigkeit des Modells und das Potenzial für weitere Analysen. So kann dieser Ansatz beispielsweise zukünftig verwendet werden, um die Auswirkung von Sanierung und/oder Nachverdichtung in einem Gebiet auf die Energieinfrastruktur oder aber auch um den Einfluss von innovativen Technologien wie Bauteilaktivierungen auf dieselbe zu untersuchen.

5.1. Einleitung

Die gegenwärtige Energieinfrastruktur und zugehörige Energiesysteme, welche bisher überwiegend unilateral betrieben wurden, entwickeln sich aufgrund veränderlicher Anforderungen mehr und mehr zu einem bilateralen und interdependenten System, welches sich gegenseitig bedingt. Bisher strikt getrennte Bereiche der Energiesysteme wie etwa Energieerzeugung, Speicherung, Transport und Verbrauch werden zunehmend durch ein und denselben Akteur übernommen. So kann beispielsweise ein Gebäude, welches in der Vergangenheit vorwiegend als Verbraucher fungierte, heute auch als Energieerzeuger dienen oder dem Netz Speicherkapazitäten zur Verfügung stellen. Diese Verschmelzung verschiedener Aufgaben bewirkt eben genannte Interdependenz der einzelnen Akteure im Energiesystem und geht neben den vielfältigen und nützlichen Möglichkeiten auch mit diversen Herausforderungen einher. Um das Energiesystem zukunftsfähig gestalten und passende Technologien und Entwicklungen integrieren und deren Auswirkungen abschätzen zu können, bedarf es einer ganzheitlichen Betrachtungsmöglichkeit der Energieflüsse, nicht mehr nur auf Gebäudeebene, sondern insbesondere auch auf übergeordneter Ebene ganzer Stadtteile oder gar Länder. In diesem Zusammenhang hat sich in den letzten Jahren ein neues Forschungsfeld aufgetan, welches sich mit der Modellierung und Simulation größerer Gebiete beschäftigt, im Englischen bekannt unter Urban Building Energy Modelling (Reinhart & Cerezo Davila, 2016). In Abb. 5.01 findet sich eine Darstellung unterschiedlicher UBEM-Ansätze zur Modellierung einer Vielzahl von Gebäuden.

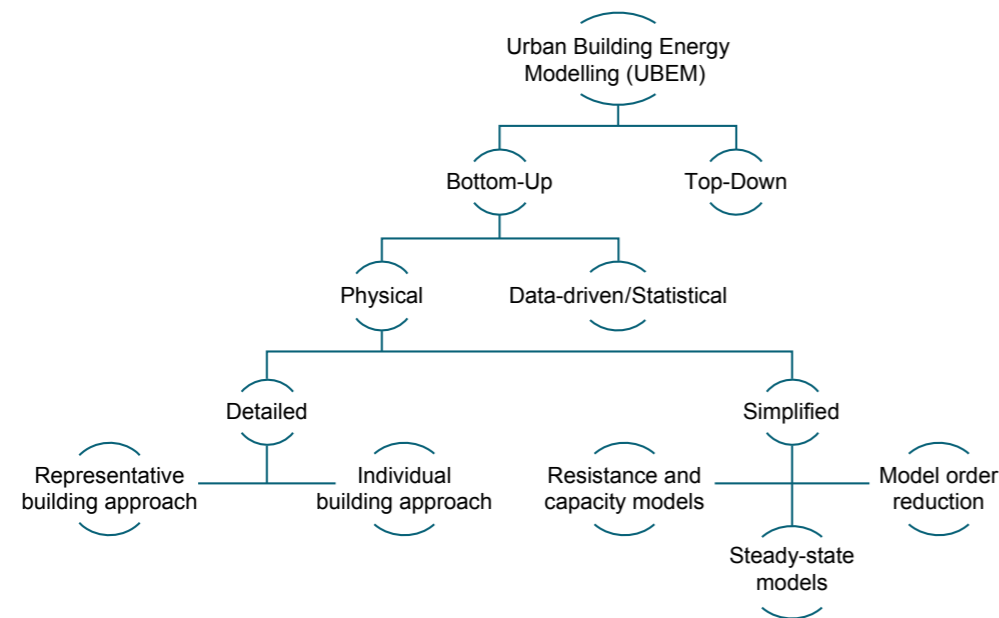


Abb. 5.01 Darstellung unterschiedlicher Ansätze für UBEM, angelehnt an (Li et al., 2020)

Top-Down und datengetriebene, statistische Ansätze beispielsweise bedienen sich historischer Daten zu Gebäuden und fungieren auf einer aggregierten Ebene, wodurch diese Modelle für generalisierte Aussagen und übergeordnete Fragestellungen nützlich sind, jedoch nicht, wenn es um detaillierte Betrachtungen und zukünftige Entwicklungen und

Technologien geht, welche durch solche Datengrundlagen nicht abgebildet werden können. Für letztere Ziele bedarf es detaillierter, physikalischer Bottom-Up Modelle (siehe linker Pfad von Abb. 5.01). Dieser Ansatz kann wiederum unterteilt werden in den repräsentativen Gebäudeansatz und den Ansatz der individuellen Modellierung einzelner Gebäude. Die Bildung von Archetypen, wie in Artikel 4 beschrieben, gehört in die Kategorie des repräsentativen Gebäudeansatzes und ermöglicht eine detaillierte und zeitgleich effiziente und zeitsparende Modellierung von ganzen Gebieten mit einer Vielzahl von Gebäuden.

Im Folgenden wird die Entwicklung einer Methode für die automatisierte Modellierung von Gebäuden zur Bestimmung von Wärmelastprofilen ganzer Gebiete und Städte erläutert. Die Grundlage der Gebäude stellen detaillierte physikalische Simulationsmodelle dar, welche anhand von festgelegten Archetypen definiert wurden. Als Simulationsumgebung wird IDA ICE verwendet, für das in einem automatisierten Ansatz mithilfe von Matlab detaillierte physikalische Simulationsmodelle erstellt werden. Die Simulationsergebnisse werden anschließend mit realen Messdaten von einem Fernwärmeknoten validiert. Diese Ergebnisse sind repräsentativ für ein Fernwärmenetz in Salzburg, Österreich.

Eine Übertragbarkeit auf andere Bundesländer oder gar Länder ist unter der Voraussetzung der Verfügbarkeit notwendiger Daten (z.B. Energieausweisdaten, GIS-Gebäudemodelldaten etc.) mit geringfügigen Einschränkungen zu erwarten. Überdies ist aufgrund des stetigen Wachstums der Energieausweisdatenbank und des Ziels der Europäischen Kommission im Rahmen des Vorschlags zur Überarbeitung der EPBD, Energieausweisdaten in einer verpflichtenden Datenbank öffentlich zugänglich zu machen (European Commission, 2021), zukünftig mit einer breiteren Anwendbarkeit der entwickelten Methode zu rechnen. Darüber hinaus können durch die Verbesserung der Datenerfassung im Zuge der Erstellung von Energieausweisen zukünftig bisher notwendige ergänzende Informationsquellen wie etwa Literatur oder GIS-Gebäudemodelldaten obsolet werden.

Die entwickelte Methode kann dazu verwendet werden, zukünftige Änderungen am Gebäudebestand wie etwa Sanierung und Nachverdichtung, innovative Technologien wie Bauteilaktivierungen sowie Ansätze zur Nutzung derselben für Energieflexibilität und deren Auswirkungen auf den thermischen Energiebedarf zu untersuchen.

5.2. Methodik

Basierend auf den detaillierten Archetypen (siehe Artikel 4), welche die für die Simulation notwendigen Inputdaten beinhalten, erfolgt die Erstellung von Simulationsmodellen in IDA ICE. Zu Beginn ist es erforderlich, alle notwendigen Inputdaten zur Erstellung der Archetypen und folglich der Simulationsmodelle aus den verschiedenen verfügbaren Quellen zu sammeln. Die zwei Hauptquellen bilden dabei die Energieausweisdatenbank ZEUS (gizmocraft, design and technology GmbH, 2022) sowie GIS-Gebäudemodelldaten. Da zum Teil diese Informationsquellen zur Erstellung der detaillierten Modelle nicht ausreichend sind, wird, wo notwendig, überdies diverse Literatur ergänzend hinzugezogen. Diese Daten dienen folglich als Input für die automatisierte Modellerstellung mit Matlab.

Im Anschluss werden die Simulationsergebnisse auf aggregierter Ebene für ein ganzes Gebiet mit Messdaten eines Fernwärmeknotens in Salzburg verglichen und validiert. Der Ablauf der entwickelten Methode ist in Abb. 5.02 schematisch dargestellt. Der Zyklus von den Inputdaten zur automatisierten Modellerstellung und anschließenden Parametrisierung wird dabei mehrmals durchlaufen. So können die erstellten Modelle schrittweise und iterativ verbessert und der erforderliche Detaillierungsgrad erhöht werden.

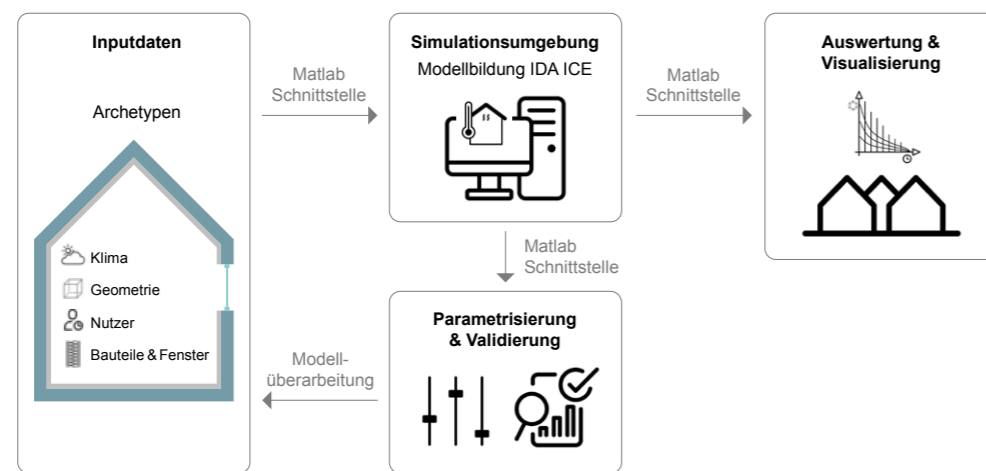


Abb. 5.02 — Ablauf der entwickelten Methode zur automatisierten Modellierung von Gebieten und Städten

Die Arbeitsschritte zur Erstellung des Wärmelastprofils sind dabei wie folgt:

1. Erstellung der Archetypen (siehe Artikel 4)
2. Simulation der Archetypen mit standortspezifischen Klimadaten
3. Zuweisung der Archetypen zu den Gebäuden im entsprechenden Gebiet
4. Identifizierung der konditionierten Bruttogeschossfläche je Archetyp
5. Berechnung des Wärmelastprofils für das gesamte betrachtete Gebiet auf der Grundlage der simulierten Archetypen und der konditionierten Bruttogeschossfläche pro Archetyp

Die Inputdaten für das Simulationsmodell bestehen folglich aus ortsspezifischen sowie ortsunabhängigen Informationen. Die ortsspezifischen Informationen stellen die Klimadaten dar. Dafür wird zum einen ein Datensatz der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 2022), einer Forschungseinrichtung des österreichischen Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung, verwendet, welcher Informationen zu Lufttemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit sowie Windgeschwindigkeit und Richtung enthält. Die ZAMG verfügt über Datenbanken mit meteorologischen Messungen von mehr als 250 Orten in Österreich sowie Gitterdaten mit einer Auflösung von 1 km × 1 km. Zum anderen werden Informationen zur Solarstrahlung (diffus und direkt) von PVGIS (European Commission, Joint Research Centre, 2022) bezogen. PVGIS ist ein Dienst des Joint Research Centre der Europäischen Kommission und ermöglicht eine Auswertung der Solarstrahlung für jeden Standort in Österreich.

Die standortunabhängigen Informationen entstammen verschiedenen Quellen wie etwa der Energieausweisdatenbank ZEUS, dem GIS-Gebäudemodell sowie Literatur. Ein Ziel der entwickelten Methodik ist die detailgetreue Abbildung der thermischen Speichermassen von Gebäuden, um etwaige Einflüsse dieser auf das übergeordnete Energiesystem untersuchen zu können. Aus diesem Grund erfolgt eine detaillierte Erfassung einzelner Schichtaufbauten und Materialkennwerte nicht nur für die thermische Gebäudehülle, sondern auch für Innenbauteile wie etwa Innenwände und Zwischendecken.

Da für die Simulation des thermischen Energiebedarfs kein exaktes 3D-Modell der Gebäude erforderlich ist, erfolgt die Abbildung in einem vereinfachten Geometriemodell auf Basis der obig erwähnten GIS-Gebäudemodellinformationen. So kann eine korrekte Zuweisung der Flächen der einzelnen Bauteile und folglich deren Einfluss auf die thermische Simulation sichergestellt werden, ohne exakte Geometrien nachbilden zu müssen. Die Bildung dieses vereinfachten Modells beinhaltet dabei als ersten Schritt die Erstellung eines Volumens basierend auf dem GIS-Gebäudemodell, welchem nachfolgend sechs Bauteile zugewiesen werden, nämlich eine Decke bzw. Dach, vier Wände entsprechend deren Orientierung sowie ein Boden. Diese sechs Bauteile bilden die thermische Gebäudehülle des Simulationsmodells und weisen die korrekte Fläche entsprechend dem GIS-Gebäudemodell auf. Das erstellte Gebäudevolumen wird anschließend in mehrere thermische Zonen gemäß der Anzahl der Geschosse unterteilt. Jede thermische Zone entspricht dabei einem Geschoss des Gebäudes, die Geschossanzahl für den jeweiligen Archetypen kann ebenfalls dem GIS-Gebäudemodell entnommen werden. Dabei wird für den vereinfachten Ansatz davon ausgegangen, dass alle Geschosse bzw. thermischen Zonen gleich groß sind und das gleiche thermische Volumen aufweisen. Es erfolgt somit keine räumliche Betrachtung etwaiger Energieflüsse, sondern eine aggregierte Analyse je Geschoss. Um eine korrekte Abbildung der thermischen Speichermassen zu erreichen, werden Zwischendecken und Innenwände je Geschoss ergänzt. Bei den Innenwänden wird unterschieden zwischen nichttragenden und tragenden Wänden. Letztere besitzen aufgrund des Aufbaus und der zum Einsatz kommenden Materialien meist eine höhere thermische Speichermasse.

Als nächster Schritt werden auf Basis des aus den ZEUS-Daten ermittelten Fensterflächenanteils jeder Außenwand Fenster zugeordnet. Es erfolgt eine Gleichverteilung der Fensterflächen je Himmelsrichtung und je Geschoss. Die Modellierung der Gebäudetechnik beschränkt sich in vorliegendem Ansatz auf das Wärmeverteils- und Abgabesystem, die Wärmeerzeugung ist nicht Bestandteil der Betrachtung, kann aber im Einzelfall und bei Bedarf ergänzt werden. Hinsichtlich des Heizlastprofils ist insbesondere das Wärmeabgabesystem von Bedeutung. Hier wird für die grundlegenden Analysen des Gebäudebestandes zwischen Radiatoren und Flächenheizung bzw. Fußbodenheizung unterschieden. Die Energieausweisdaten zeigen, dass ältere Gebäude meist mit Radiatoren beheizt werden, wohingegen bei neuen Gebäuden überwiegend Fußbodenheizungen zum Einsatz kommen. Die Trägheit des Wärmeabgabesystems zeigt dabei großen Einfluss auf den Verlauf der abgefragten Heizleistung. Ebenso nicht Bestandteil des Simulationsmodells ist der Strombedarf, wenngleich Wärmeeinträge durch Geräte und Licht sehr wohl für die thermische Bilanz berücksichtigt werden. Für die Raumlufttemperatur werden durchwegs 22°C entsprechend der ÖNORM B 8110-5 (Austrian Standards International, 2019) angenommen.

Für den abschließenden Vergleich der Simulationsmodelle mit den Messdaten muss für jedes Gebäude in dem zu betrachtenden Gebiet anhand der drei Klassifizierungskriterien (Gebäudenutzung, Gebäudezustand und Bauperiode) ein Archetyp identifiziert und zugewiesen werden. Nach erfolgter Zuweisung des korrekten Archetyps werden die Ergebnisse der thermischen Gebäudesimulation auf der Grundlage der tatsächlichen konditionierten Bruttogeschossfläche pro Archetyp innerhalb des Gebiets angepasst, woraus als Ergebnis ein einziges Wärmelastprofil für das gesamte betrachtete Gebiet resultiert. Das Warmwasser ist nicht Bestandteil des Simulationsmodells, sondern wird im Nachgang ergänzt und beruht auf dem Projekt Hotmaps (Hotmaps, 2022). Das sich ergebende Warmwasserprofil stellt ein aggregiertes Profil basierend auf statistischen Daten für Österreich dar. Der Warmwasserwärmebedarf entstammt der ÖNORM B 8110-5 (Austrian Standards International, 2019b). Das sich ergebende Wärmelastprofil für Heizung und Warmwasser wird anschließend anhand realer Verbrauchsdaten validiert.

Im folgenden Abschnitt werden die durch diesen entwickelten Simulationsansatz gewonnenen Ergebnisse mit den Messungen eines Fernwärmenetzes in einem Testgebiet in Salzburg verglichen.

5.3. Ergebnisse und Validierung

Für die Validierung des Simulationsmodells liegen auswertbare und plausible viertelstündliche Messdaten von 52 Gebäuden aus einem Fernwärmenode in Salzburg für den Zeitraum September 2016 bis August 2019 vor. Die 52 Gebäude entsprechen dabei einem bereits auf Plausibilität und Richtigkeit der Messdaten gefilterten Datensatz. Darüber hinaus wurden Gebäude, für welche kein Archetyp identifiziert werden konnte, von der Validierung ausgeschlossen. Da zu den Gebäuden, abgesehen von deren Standort, keine zusätzlichen Informationen vorliegen, wird der zugehörige Archetyp auf Basis von verfügbaren Energieausweisen, GIS-Gebäudemodellinformationen sowie einem stichprobenartigen Plausibilitätscheck mittels Google Maps ermittelt. Anhand dieser drei Informationsquellen können für jedes der 52 Gebäude Gebäudenutzung, Gebäudezustand und die Bauperiode abgeschätzt werden. Diese Informationen sind für die Ermittlung des jeweiligen Archetyps erforderlich. Damit die Simulationsergebnisse der Archetypen überdies entsprechend dem tatsächlichen Verbrauch skaliert werden können, bedarf es außerdem der konditionierten Bruttogeschossfläche je Archetyp. Diese wird ebenfalls anhand der Energieausweisdaten sowie der GIS-Gebäudemodellinformationen abgeschätzt. Genaue und detaillierte Informationen diesbezüglich stehen nicht zur Verfügung. Somit kann vorkommen, dass der tatsächliche Archetyp nicht dem zugewiesenen oder auch die geschätzte Bruttogeschossfläche nicht jener des tatsächlichen Gebäudes entspricht, wodurch das Ergebnis verfälscht wird.

In Abb. 5.03 findet sich eine Gegenüberstellung des simulierten und des gemessenen Heizlastprofils für den Zeitraum, in welchem Messdaten verfügbar sind, sowie im Detail für eine ausgewählte Winterwoche. Es ist ersichtlich, dass der jahreszeitliche Verlauf durch die Simulation gut abgebildet werden kann. Im Sommer ergeben sich zum Teil größere Differenzen aufgrund der Tatsache, dass hier vorwiegend Warmwasserbedarf besteht, welcher in der Realität unregelmäßiger ausfällt als in dem aggregierten Warmwasserprofil der Simulation angenommen wurde. Darüber hinaus erschließt sich aus der

Darstellung, dass die Spitzen sowie Tiefpunkte der Simulation zum Teil zu hoch bzw. zu niedrig ausfallen. Das ist womöglich durch in der Simulation auftretende Gleichzeitigkeit von Lastspitzen und Tiefpunkten, welche in der Realität so nicht vorhanden sind, erklärbar. Die detaillierte Darstellung der beispielhaften Woche verdeutlicht dennoch eine ausreichende Übereinstimmung von Simulation und Messung und somit die Nützlichkeit und Validität der entwickelten Methode, wenngleich nicht jede Schwankung im Detail erfasst werden kann. Diese Unschärfe ist aufgrund des großen Einflusses von unbekanntem Variablen wie insbesondere dem sehr individuellen Nutzerverhalten auch zu erwarten.

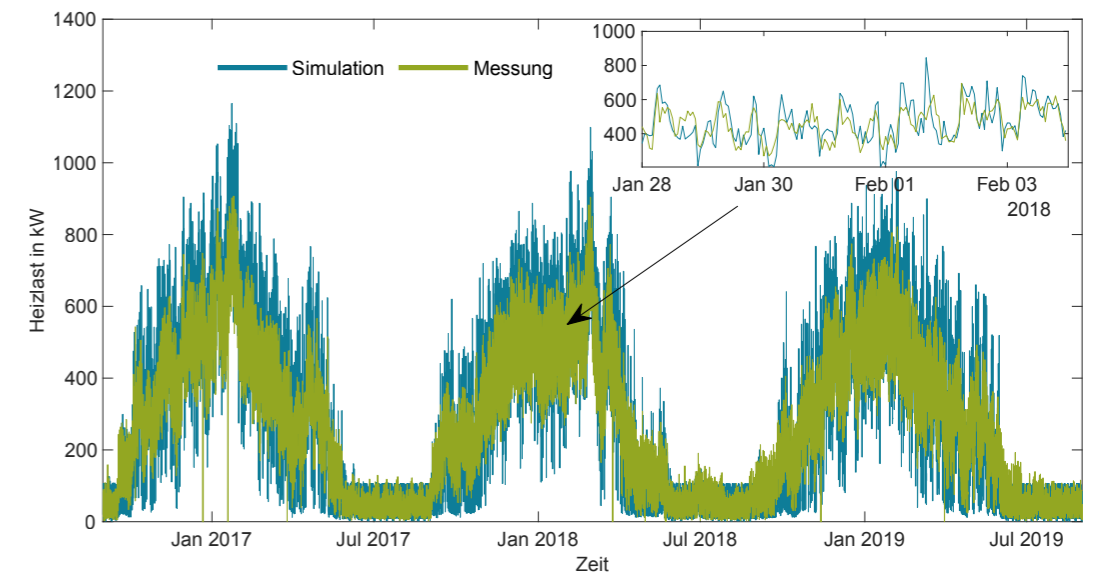


Abb. 5.03 — Gegenüberstellung des simulierten und gemessenen Heizlastprofils für einen Fernwärmenode in Salzburg

In Abb. 5.04 findet sich eine Gegenüberstellung der gemessenen und simulierten Werte in einem Streudiagramm sowie das sich daraus ergebende Bestimmtheitsmaß R^2 zur Beurteilung der Simulationsergebnisse. Die Simulation ergibt ein Bestimmtheitsmaß von 87 %. Ein Bestimmtheitsmaß von 100 % würde einen perfekten linearen Zusammenhang bedeuten und folglich eine ideale Übereinstimmung von simulierten und gemessenen Werten. Daher können 87 % der Streuung der Messwerte durch das Simulationsmodell erklärt werden. Zu bedenken gilt, dass dieses Bestimmtheitsmaß trotz der lediglich geringfügig vorhandenen Information hinsichtlich der gemessenen Gebäude erreicht werden kann, was auf die Validität des Simulationsmodells schließen lässt. Somit kann auf Basis einzelner, weniger Parameter eines Gebäudes bzw. Gebietes bereits ein sehr gutes Ergebnis, also eine sehr gute Übereinstimmung von Simulation und Messung erreicht werden.

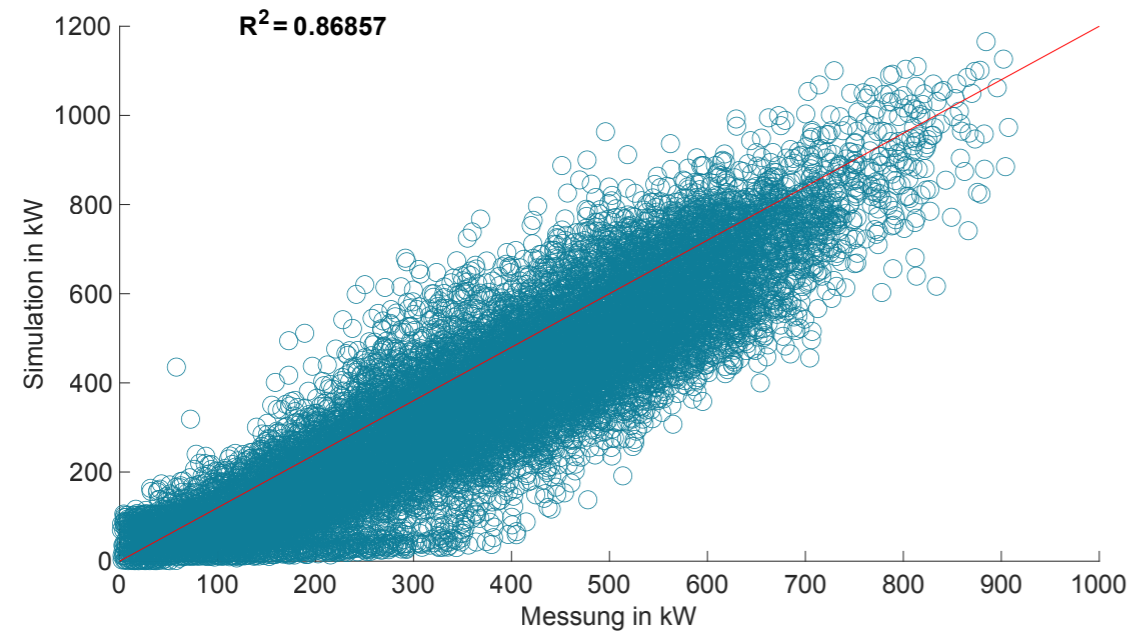


Abb. 5.04 — Streudiagramm zum Vergleich der gemessenen und simulierten Werte

Wie schon zuvor in Abb. 5.03 wird auch in Abb. 5.05 ersichtlich, dass die Simulation sowohl Lastspitzen überschätzt als auch zu Zeiten geringer Nachfrage die Last unterschätzt. Dennoch zeigt sich auch hier eine gute Übereinstimmung von Simulation und Messung bzw. der grundsätzlichen Dauer und Häufigkeit auftretender Lasten.

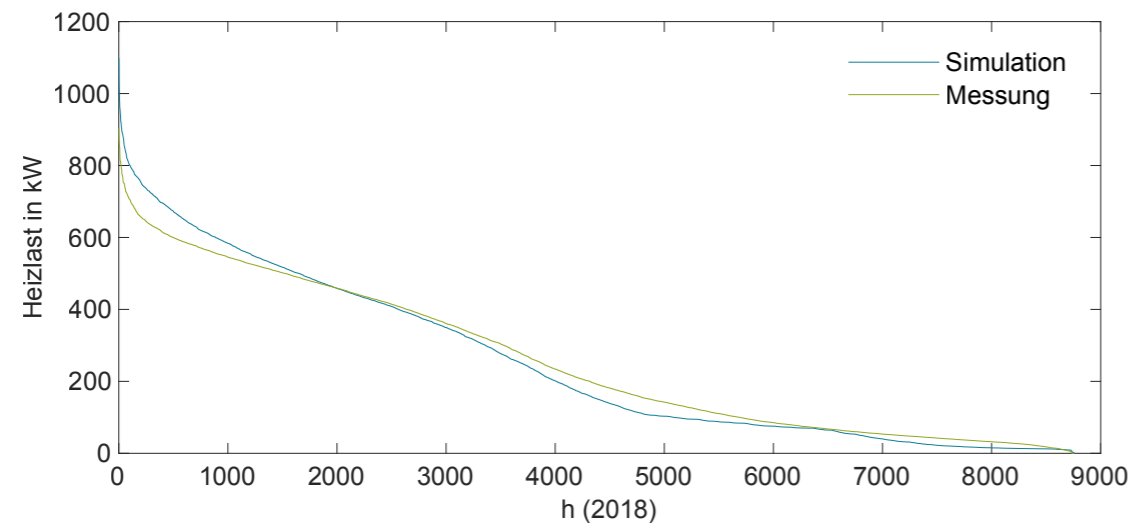


Abb. 5.05 — Jahresgangliniendiagramm für Messung und Simulation im Vergleich

5.4. Zusammenfassung und Ausblick

Um den aktuellen Gebäudebestand und zukünftige Entwicklungen wie etwa Sanierungen, Nachverdichtungen oder neue Technologien und deren Auswirkungen auf die Energiesysteme analysieren und Rückschlüsse sowie Empfehlungen daraus ableiten zu können, bedarf es entsprechender Methoden. Sogenannte UBEM-Ansätze können hier Abhilfe leisten, sofern notwendige Informationen über die Gebäude und das zu betrachtende Gebiet vorhanden sind. Die in vorliegender Arbeit entwickelte Methode zur automatisierten Erstellung von Simulationsmodellen auf Basis von Archetypen, welche repräsentativ für den Gebäudebestand sind, ermöglicht zum einen die detaillierte Betrachtung von Gebäuden und zukunftsweisenden Technologien, zeitgleich kann damit aber auch ein ganzes Gebiet hinsichtlich des thermischen Energiebedarfs und der Auswirkung von Sanierung und Nachverdichtung analysiert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass mit lediglich wenigen Informationen und Abschätzungen erforderlicher Parameter über den Gebäudebestand in einem Gebiet durch das Simulationsmodell bereits sehr gute Ergebnisse und Prognosen des jährlichen Heizlastprofils in stündlicher Auflösung erzielt werden können. Dadurch können beispielsweise die maximal auftretende Last sowie die Anzahl der Stunden im Jahr, in welchen diese auftritt, abgeschätzt und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Dies ermöglicht eine optimale Nutzung der Kapazitäten sowie des Potenzials eines Fernwärmenetzes und eine ideale Planung des etwaigen zukünftigen Weiter- und Ausbaus.

Durch die zunehmende Interdependenz des Strom- und Wärmenetzes etwa aufgrund von Wärmepumpen ist der entwickelte Ansatz überdies auch für das Stromnetz von Relevanz. Bei der vermehrten Abkehr von fossilen Energieträgern aufgrund geopolitischer Entwicklungen gewinnen Wärmepumpen zunehmend an Bedeutung und der Einfluss solcher Entwicklungen auf das Stromnetz kann mithilfe der dargestellten Methodik untersucht werden. Die thermischen Speichermassen, welche in einem Gebäude vorhanden sind, können hier zukünftig einen wesentlichen Beitrag zur Stabilisierung der Energieinfrastruktur liefern, indem diese als thermische Speicher zur Verfügung gestellt werden und somit Energieflexibilität ermöglichen. Mittels Aktivierung der Speichermassen durch Bauteilaktivierung in der Sanierung (Schweizer, 2021) und durch die Aktivierung von Brettsperrholz in der Nachverdichtung (Heidenthaler et al., 2021) kann der Effekt der Energieflexibilität noch weiter erhöht werden. Ein erster Einblick in das Potenzial solcher Ansätze zur Energieverschiebung mithilfe thermischer Speichermassen findet sich in Artikel 9.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

UBEM	Urban Building Energy Modelling
EPBD	EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

LITERATURVERZEICHNIS

Austrian Standards International (15. März 2019). *Thermal insulation in building construction – Part 5: Model of climate and user profiles* (ÖNORM B 8110-5).

European Commission (2021). *Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the energy performance of buildings (recast)*. Brussels. <https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/proposal-recast-energy-performance-buildings-directive.pdf>

European Commission, Joint Research Centre (2022). *PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System*. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en

gizmocraft, design and technology GmbH (2022). *ZEUS: Online-Datenbank zur Verwaltung von Energieausweisen*. <https://www.energieausweise.net/>

Heidenthaler, D., Leeb, M., Schnabel, T. & Huber, H. (2021). Comparative analysis of thermally activated building systems in wooden and concrete structures regarding functionality and energy storage on a simulation-based approach. *Energy*, 233, 121138. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121138>

Hotmaps: The open source mapping and planning tool for heating and cooling. (2022). <https://www.hotmaps-project.eu/>

Li, Z., Lin, B., Zheng, S., Liu, Y., Wang, Z. & Dai, J. (2020). A review of operational energy consumption calculation method for urban buildings. *Building Simulation*, 13(4), 739–751. <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0619-0>

Reinhart, C. F. & Cerezo Davila, C. (2016). Urban building energy modeling – A review of a nascent field. *Building and Environment*, 97, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>

Schweizer, P. (2021). *Wohnen findet Stadt! Smarte Modernisierung und Umsetzung am Beispiel der Burgfriedensiedlung Hallein* (Blue Globe Report Smart Cities #5/2021).

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2022). <https://www.zamg.ac.at>

6. — Entwicklung eines Holzbausystems für die Nachverdichtung – Entwicklungsziele, Systemgrenzen und Vorgangsweise

ELISABETH WIEDER

MATTHIAS GNIGLER

ANDREAS SCHWEIGER

MICHAEL GROBBAUER

Als Beitrag zur Nachverdichtung in Holzbauweise wurde im Forschungsschwerpunkt 2 ein Holzbausystem in Tafelbauweise erstellt.

Aufbauend auf Literaturrecherche und Expert*innenbefragungen wurden Entwicklungsziele und ein Anforderungskatalog sowie ein systematischer Projektablauf mit jeweils drei Bearbeitungs- und Reflexionsphasen erarbeitet.

Die eigentliche Systementwicklung umfasste anfänglich die Erstellung und Reflexion geeigneter Bauteilaufbauten unter Beiziehung externer Spezialist*innen und die Auswahl relevanter Konstruktionsdetails. Es folgte die Entwicklung von Leitdetails und deren Kritik durch Expert*innen mit anschließender Überarbeitung. Abschließend wurden die restlichen Konstruktionsdetails erarbeitet, die Bauteile berechnet und Wärmebrücken- und Bauteilkondensat untersucht.

Dieser Beitrag widmet sich den Hintergründen und der Vorgangsweise.

6.1. Ausgangssituation

Zwei der signifikantesten Charakteristika des alpinen Raumes sind der begrenzte Dauersiedlungsraum (der potenziell besiedelbare Raum bezogen auf die Gesamtfläche) sowie der ebenfalls anteilmäßig geringe Siedlungsraum (der aktuell besiedelte Raum bezogen auf die Gesamtfläche). Während der Dauersiedlungsraum im gesamten österreichischen Bundesgebiet nur 39% und der Siedlungsraum nur 14% betragen, gilt für die Bundesländer Salzburg 21% bzw. 10% sowie für Tirol 12% bzw. 7%, wohingegen Oberösterreich 57% bzw. 22% und Wien 77% bzw. 60% aufweisen. Daraus resultiert eine vergleichsweise hohe Bevölkerungsdichte bezogen auf den Dauersiedlungsraum von 274 Personen/km² im österreichischen Durchschnitt und 374 Personen/km² in Salzburg oder 482 Personen/km² in Tirol (Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus [BMLRT], 2021).

Dieser Umstand erzeugt gemeinsam mit aus abnehmender Attraktivität des ländlichen Raums folgender Binnenmigration und Bevölkerungswachstum einen sehr hohen Siedlungsdruck im urbanen Siedlungsgebiet und dessen Agglomeration im Voralpenraum. Fehlendes Angebot für Wohn- und Gewerbeflächen, hohe Grund-, Kauf- und Mietkosten, zunehmende Zersiedelung und Flächenkonkurrenz mit der Landwirtschaft und – zunehmend wichtig – lokaler Energieproduktion führen zu intensiver Diskussion um die Ausnutzung der bereits bebauten urbanen Flächen durch horizontale und vertikale Nachverdichtung (Pirstinger & Reiter, 2018).

Ein hoher Anteil der Wohngebäude stammt aus den 1950er bis 70er-Jahren, ist vielfach (thermisch) sanierungsbedürftig (Statistik Austria, 2013) und verfügt über gut für Aufstockungen geeignete Tragsysteme. Gerade diese Bautypologien weisen im Gegensatz zu den wesentlich dichter bebauten Gründerzeitzeitzonen städtebauliche und stadträumliche Reserven für die Nachverdichtung auf, sind in der Regel gut infrastrukturell erschlossen und durch ÖPNV angebunden. Es liegt also nahe, bevorzugt dort durch Aufstockung und horizontale Erweiterungen zusätzlichen Nutzraum zu schaffen und durch die damit erzielbaren Erträge die Bestandssanierung zu finanzieren.

Der Holzbau weist für diese Aufgabe Vorteile auf: geringes Eigengewicht, rasche und trockene Bauführung durch Vorfertigung, niedriger Flächenbedarf für den Baubetrieb und geringe Lärmbelastung von Bewohner*innen und Anrainer*innen. Nutzer*innen können unter Einsparung von Ersatzwohnungen im Bestand bleiben (Huss et al., 2018). Konstruktionswerkstoffe aus Holz stellen darüber hinaus CO₂-Senken dar und leisten einen Beitrag zum ökologischen Bauen.

Der aktuelle Holzbau ist aber auch von vielen unterschiedlichen technischen Lösungen für gleichartige Anforderungen und betriebs- und prozessspezifischen Eigenheiten geprägt, die den planerischen Einstieg und die Einschätzung der Planungssicherheit sowie die Kostensicherheit oft bis in die Ausführungsphase erschweren. Größere Aufträge wiederum stehen durch mangelnde systemische Unterstützung von Firmenkooperationen oft nur einem kleinen Bieterkreis offen.

Aus den gesetzlichen Anforderungen an Wohnräume und den technischen Anforderungen an den Holzbau ergeben sich in den Bereichen Brandschutz, Schallschutz und

Tragwerk erhöhte Anforderungen an die Ausführungsqualität, die bei der Vorfertigung im Werk unter kontrollierbaren Bedingungen besser eingehalten werden können als bei der Fertigung vor Ort.

Standardisierte Holzbausysteme können Beiträge zur wirtschaftlichen Vergleichbarkeit von Lösungen und zur Qualitätssicherung leisten, Einsteigern die Orientierung erleichtern, zielsichere Planung auch ohne jahrelange Erfahrung ermöglichen sowie die technische Grundlage für die Kooperation von Unternehmen leisten und somit KMU die Teilnahme am Wettbewerb um großvolumige Bauten ermöglichen.

Als Beitrag zur Querschnittsmaterie Nachverdichtung und zur Entwicklung sowie Marktdurchdringung des Holzbaus wurde im Zentrum Alpines Bauen bezugnehmend auf die vorgenannte Ausgangssituation ein Holzbausystem in Tafelbauweise (Holzrahmen- und Holzmassivbauweise) für die vertikale Nachverdichtung in GK 5 erstellt und Unternehmen zur freien Nutzung sowie Forschungseinrichtungen zur Kooperation zur Verfügung gestellt. Die Entscheidung für die vertikale Nachverdichtung erfolgte aufgrund der Fokussierung auf den Wohnbaubestand der 1950er bis 70er-Jahre. Die vertikale Nachverdichtung erfordert vielfach die Brandschutzzeichnungen der GK 5. Die Bauteile und Detailkonstruktionen lassen sich aber einfach für die GK 3 oder 4 durch Weglassen von Verkleidungsschichten adaptieren. Die Lösungen sind direkt oder mit wenig Aufwand auf den Neubau übertragbar, wobei aufgrund der Bauaufgabe Aufstockung keine Sockeldetails entwickelt wurden.

Dieser Artikel beschreibt die methodische Vorgangsweise bei der Systementwicklung, der nachfolgende die Systembestandteile und -eigenschaften.

6.2. Entwicklungsziele und Systemgrenzen

Bereits zu Beginn der Arbeiten an der Systementwicklung wurden teamintern unter Reflexion der Ausgangssituation diskursiv Entwicklungsziele und Systemabgrenzungen festgelegt. Diese wurden in Folge durch die unten angeführten Inputs aus Literatur, Workshops und Expert*innenbefragungen laufend adaptiert und halbjährlich mit dem Projektbeirat reflektiert.

6.2.1. Entwicklungsziele

Als maßgebliches Ziel hat sich die Definition eines einheitlichen Standards für Konstruktion und Qualität herauskristallisiert, da dieser neben der oben angeführten Möglichkeit zur Kooperation von Unternehmen auch Auftraggebern die Basis für eine zielsichere Projektabwicklung bietet oder die Basis eigener Standards bilden kann. Weniger erfahrenen Planer*innen wird der Einstieg erleichtert. Da es finanziell nicht möglich war, Konstruktionen prüfen zu lassen, andererseits aber wenige geprüfte Konstruktionen für die GK 5 im Zuge der Entwicklung vorlagen, wurde entschieden, eine gutachterliche Bewertung für Brand- und für Schallschutz durchzuführen. Diese wurden ebenso in das System aufgenommen wie bauphysikalische Berechnungen, Berechnungen des OI3-Index, Wärmebrückenberechnungen und, von besonderer Wichtigkeit für den Einsatz im architektonischen Entwurf, eine Vordimensionierung zumindest einzelner prioritärer Tragwerksteile.

Diese Unterlagen können und sollen eine professionelle Beratung nicht ersetzen und dienen vor allem der Orientierung und dem Beginn der praktischen Arbeiten.

Da das System in der kommerziellen Nutzung keinen Einschränkungen unterliegt – was das zweite maßgebliche Entwicklungsziel war – darf und soll es auch durch die Anwender*innen angepasst werden, wobei natürlich berechnete Kennwerte ihre Gültigkeit verlieren. Es kann aber als Basis für Unternehmensstandards dienen, die dann von befugten Unternehmen dimensioniert werden und laufend Anwendung finden können.

Eine Systemzulassung war ebenso nicht möglich und müsste bei Anwendung durch befugte Unternehmen beauftragt und von akkreditierten Stellen durchgeführt werden. Auch dafür kann das bereitgestellte System übernommen und bei Bedarf angepasst werden.

Im Sinne der Anforderungen an das Bauen im urbanen Umfeld sowie für eine rasche und wirtschaftliche Bauführung wurde ein hoher Vorfertigungsgrad als weiteres Ziel definiert und konsequent verfolgt. Schichten, die im Transport funktionsbeeinträchtigende Schäden erleiden können, nicht zielsicher befestigt werden können oder eine umfangreiche Anpassung vor Ort erfordern bzw. in die vor Ort Einbauten vorgenommen werden, wurden aus der Vorfertigung ausgenommen und entsprechend gekennzeichnet. Der Vorfertigungsgrad könnte durch Raumzellen- bzw. Modulbauweise beträchtlich gesteigert werden. Aufgrund der diversen Abmessungen des Bestandes und in Einzelprojekten nur im Ausnahmefall vorhandenen, für die Wirtschaftlichkeit erforderlichen Stückzahl gleicher oder gleichartiger Raumzellen wurde dieser Ansatz zugunsten der flexibleren Tafelbauweise verworfen.

Bei Holzmassivkonstruktionen wurde neben der Vorfertigung ganzer Bauteile zusätzlich eine praxisnähere Variante der Vorfertigung der Außenschichten (z.B. Konterlattung und Dämmung getrennt von den Massivholzplatten, die in der Regel direkt vom Systemhersteller auf die Baustelle geliefert werden) vorgesehen.

Da die Wertschöpfung von Holzbaubetrieben in der Holzrahmenbauweise höher ist, wurde sowohl die Holzmassivbauweise als auch, wo sinnvoll, die Rahmenbauweise als Ziel festgelegt.

Als Beitrag zur Wirtschaftlichkeit wurden möglichst wenige Schichten angestrebt. Aufgrund der vielfältigen bauphysikalischen und normativen Vorgaben sowie der Ressourceneffizienz beim Holzeinsatz ist diesem Ziel jedoch eine nicht klar zu definierende Grenze gesetzt. Entsprechende Entscheidungen wurden aufgrund des Fachwissens im Team getroffen und in den Expert*innenworkshops rückgekoppelt.

Das System soll einer qualitätvollen und architektonisch ansprechenden Bauwerksgestaltung zuträglich sein und auf möglichst vielen Baukörpern angewendet werden können, ohne dass die projektspezifischen Bedingungen bekannt sind. Daher wurde auf Flexibilität bei Fassaden- und Deckungsmaterialien gesetzt, wobei darauf geachtet wurde, die Komplexität nicht unnötig zu erhöhen. Loggien sind im System berücksichtigt. Die Tafelbauweise ermöglicht bestandsangepasste flexible Abmessungen. Um für

die erforderlichen Tragsysteme Detailkonstruktionen und Erweiterungsmöglichkeiten abschätzen zu können, wurde eine Reihe von Bestandsgrundrissen analysiert und mögliche Aufstockungsgrundrisse entworfen.

6.2.2. — Systemgrenzen

6.2.2.1. — Gestaltung

Das Bausystem berücksichtigt zweigeschossige Aufstockungen in GK 5 bis maximal sechs Geschosse, Bauteilanschlüsse an den Bestand sowie die thermische Ertüchtigung von Bestandsfassaden. Die Begrenzung auf sechs Geschosse resultiert aus der OIB-Richtlinie 2 – Brandschutz (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019a), die für Gebäude mit mehr als sechs Geschossen Brennbarkeitsklasse A2 für tragende, trennende und brandabschnittsbildende Bauteile vorsieht und bei Holzbauten ein Brandschutzkonzept als objektbezogene Planungsleistung einfordert, die nicht Systembestandteil sein kann. Wie oben angeführt kann eine Anpassung auf GK 3 und 4 recht einfach erfolgen.

Die Einschränkung, dass für die statische Vordimensionierung maximal zwei aufstockende Geschosse vorgesehen wurden, erwächst aus Untersuchungen des Gebäudebestandes in der Stadt Salzburg und den aktuell vorhandenen Reserven der Gebäudedichte. Anpassungen der Dicken von Brettsperrholz oder Konstruktionsvollhölzern werden jedoch wenig Einfluss auf Schichtenfolgen und Konstruktionsdetails haben. Darüber hinaus ist – ein Brandriegel im Übergang zum Bestand vorausgesetzt – kein Brandriegel zwischen den beiden Aufstockungsgeschossen erforderlich und in den Details auch nicht berücksichtigt.

Das Erreichen der erforderlichen Feuerwiderstandsklassen bei Massivholzbauteilen kann, wie bekannt, auch durch Abbrandreserven der Bauteile erfolgen. Dieser Ansatz wurde nicht verfolgt, weil einerseits die für die erforderlichen Feuerwiderstandsklassen nötigen Bauteildicken einen hohen Ressourceneinsatz bedingen, andererseits aber die Sanierung von Wohnungen nach einem Brandereignis einen beträchtlichen Mehraufwand erfordert, der im Falle einer Verkleidung mit Gipswerkstoffplatten wesentlich geringer ausfällt.

Auf ursprünglich angedachte Varianzen von Energiestandards wie Wohnbauförderungsbedingungen oder Plus-Energiehaus wurde zugunsten einer geringen Systemkomplexität verzichtet. Auch sind viele der dafür zu erfüllenden Bedingungen nur projektspezifisch festzulegen. Die Mindeststandards des Wärmedurchgangskoeffizienten laut OIB-Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019c) sind bereits hoch, wurden aber für das Erreichen von Niedrigstenergiebedingungen deutlich unterschritten.

Die Erschließung der Aufstockung erfolgt entweder durch die Weiterführung der Bestandsererschließung oder durch neu errichtete Laubengänge.

Die Fassaden sind Putzfassaden oder hinterlüftete Fassaden mit Holzschalung oder Faserzementplatten. Im Bereich von Laubengängen dürfen ausschließlich nicht brennbare Oberflächen eingesetzt werden (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019a), weshalb dort lediglich Putzfassaden berücksichtigt sind. An der Untersicht von

vorspringenden Gebäudeteilen sind brennbaren Oberflächen und Unterkonstruktionen nicht zugelassen (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019a), um das Herunterfallen von Fassadenteilen zu verhindern. Hier sind daher Putzfassaden oder hinterlüftete Fassaden mit Faserzementplatten und Metallunterkonstruktion geplant.

Fenster und Fenstertüren sind Systembestandteil, wenn deren Breite einen dreifachen Ständerabstand nicht überschreitet und eine umlaufende Rahmenwirkung durch das flächenbildende Bauteil oder, im Fall von Fenstertüren, durch Schwelle und Sturz gegeben ist. Größere Fenster und Fenstertüren sind projektspezifisch unter Wahrung der Tragwerksintegrität in Lücken in den Systemwänden einzusetzen. Die Detailpläne enthalten ausschließlich Dreh-/Kippemente aus Holz-Aluminium. Konstruktiv sind Lochfassaden vorgesehen, andere Fassadenprinzipien sind durch projektspezifische Anpassungen zu lösen.

Balkone sind als vorgestellte oder vorgehängte Konstruktion angenommen und nicht Systembestandteil. Loggien werden durch auskragende Schotten- bzw. Querwände gebildet.

Steildächer sind mit Blech- und Ziegel- oder Betonsteindeckung berücksichtigt. Flachdächer sind konventionelle Warmdächer mit Foliendach, Bekiesung oder begehbaren Terrassenbelägen. Anstatt Bekiesung kann aufgrund des vergleichbaren Gewichtes extensive Begrünung zum Einsatz kommen. Intensive Begrünung ist in der statischen Vordimensionierung nicht berücksichtigt, aber projektspezifisch durch Ergänzung der erforderlichen Schichten und statischen Nachweis der betroffenen horizontalen und vertikalen Bauteile einfach möglich.

Im Sinne der Rückbaubarkeit sowie Weiter- und Wiederverwendung von Materialien wurden in den Details vorwiegend lösbare Verbindungen geplant.

Die gebäudetechnische Ausstattung ist nicht Teil des Bausystems, Schachtaufbauten und -anschlüsse sind vorhanden.

6.2.2.2. — Konstruktion

Das Bausystem beinhaltet vertikale Bauteile und Steildächer in Rahmen- und Massivbauweise mit Brettsperrholz. Horizontale Bauteile (Decke, Flachdach) sind aufgrund der Anforderungen aus Tragwerk und Bauphysik ausschließlich in Massivbauweise. Angenommen ist die Decke zu ungenutztem Dachraum (Spitzboden) in Rahmenbauweise.

Vertikale Bauteile sind linear auf den Bestand oder auf Stahlträgern aufgelagert, solche in Massivbauweise können alternativ als geschosshohe Träger ausgeführt werden, wenn aufgrund der Grundrisse lediglich eine punktförmige Lagerung auf dem Bestand möglich ist. Horizontale Bauteile werden als auf Balken, Wänden oder Decken(teilen) linear aufliegende Einfeldträger oder Durchlaufträger betrachtet. Auf Basis der statischen Vordimensionierung wurde eine Bemessungstabelle mit möglichen Spannweiten erstellt. Bei den Wänden in Rahmenbauweise beträgt der Ständerabstand im Regelfall 62,5 cm.

Es wird von Baubestand mit einer ausreichenden Tragfähigkeit, einer Putzfassade und einer obersten Bestandsdecke, die eine Brandschutzanforderung in zumindest R(EI) 90 aufweist, ausgegangen. Bestandertüchtigungen sind nicht Systembestandteil.

Für GK 5 bis zu maximal 6 Geschossen sind Feuerwiderstandsklassen R(EI) 60 und R(EI) 90 erforderlich (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019a) und vorgesehen.

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Bauteile ist niedriger als in den Mindestanforderungen der OIB-Richtlinie festgelegt und beträgt zumindest $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Ein Großteil der Außenwände und Dächer weist einen U-Wert um $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ auf.

Nach Analyse von für Nachverdichtung relevanten Wohngebieten in der Stadt Salzburg wurde der standortbezogene Außenlärmpegel projektintern mit 65 dB am Tag und 55 dB in der Nacht festgelegt. Daraus resultiert für die opaken Außenbauteile ein Schalldämmmaß R_w von mindestens 45,5 dB und für Fenster von mindestens 35,5 dB ($R_{w+C_{tr}}$ 30,5 dB) (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019b). Ökobilanzen und darauf aufbauende Optimierungen können nur projektspezifisch erstellt werden. Als Beitrag zum ressourcenschonenden Bauen wurde daher die Grundprämisse aufgestellt, dort, wo möglich, auf petrochemische Werkstoffe zu verzichten und solche aus nachwachsenden Materialien einzusetzen. Diesem Ansatz sind bei Abdichtungen oder aus brandschutztechnischen Gründen Grenzen gesetzt. Wo normativ zulässig wurden Dämmstoffe aus Holzwerkstoffen oder Zellulose verwendet.

Für wirtschaftliche Konstruktionen wurde neben der konsequenten Vorfertigung die Anzahl der Bauteilschichten reduziert und bevorzugt solche mit mehr als einer Funktion gewählt sowie montagefreundliche Details entwickelt.

6.2.2.3. — Normen

Das System entspricht den zum Zeitpunkt der Erstellung gültigen Normen, Gesetzen und Richtlinien. Um einen Einsatz des Bausystems nicht regional zu beschränken, wurden bundeslandspezifische Erleichterungen der OIB-Richtlinie nicht berücksichtigt.

Trotz der akribischen Recherche der Normen und der mehrfachen Überprüfung des Systems im Zuge des Prozesses kann eine vollständige Normenberücksichtigung aufgrund der Vielzahl an gültigen Normen nicht garantiert werden.

6.2.2.4. — Anwendung

Das Bausystem richtet sich nur an Unternehmen und zur kooperativen Weiterentwicklung an Forschungseinrichtungen. Privatpersonen sind von der Nutzung ausgeschlossen. Im Rahmen der Nutzungsbedingungen können Unternehmen frei über die Ergebnisse verfügen und sind weder bei Anpassungen behindert noch müssen ihre Änderungen ihrerseits unter eine freie Lizenz gestellt werden.

6.3. Methodische Vorgangsweise

Systementwicklungen im Hochbau sind durch eine immanente Unvollständigkeit charakterisiert, der sich auch die gegenständliche nicht entziehen kann.

Um dennoch zu einer bedingten Vollständigkeit bei zeitlich und personell begrenzten Ressourcen zu gelangen, wurden drei Bearbeitungsphasen mit jeweils einer darauffolgenden Reflexionsphase festgelegt.

6.3.1. Grundlagenermittlung

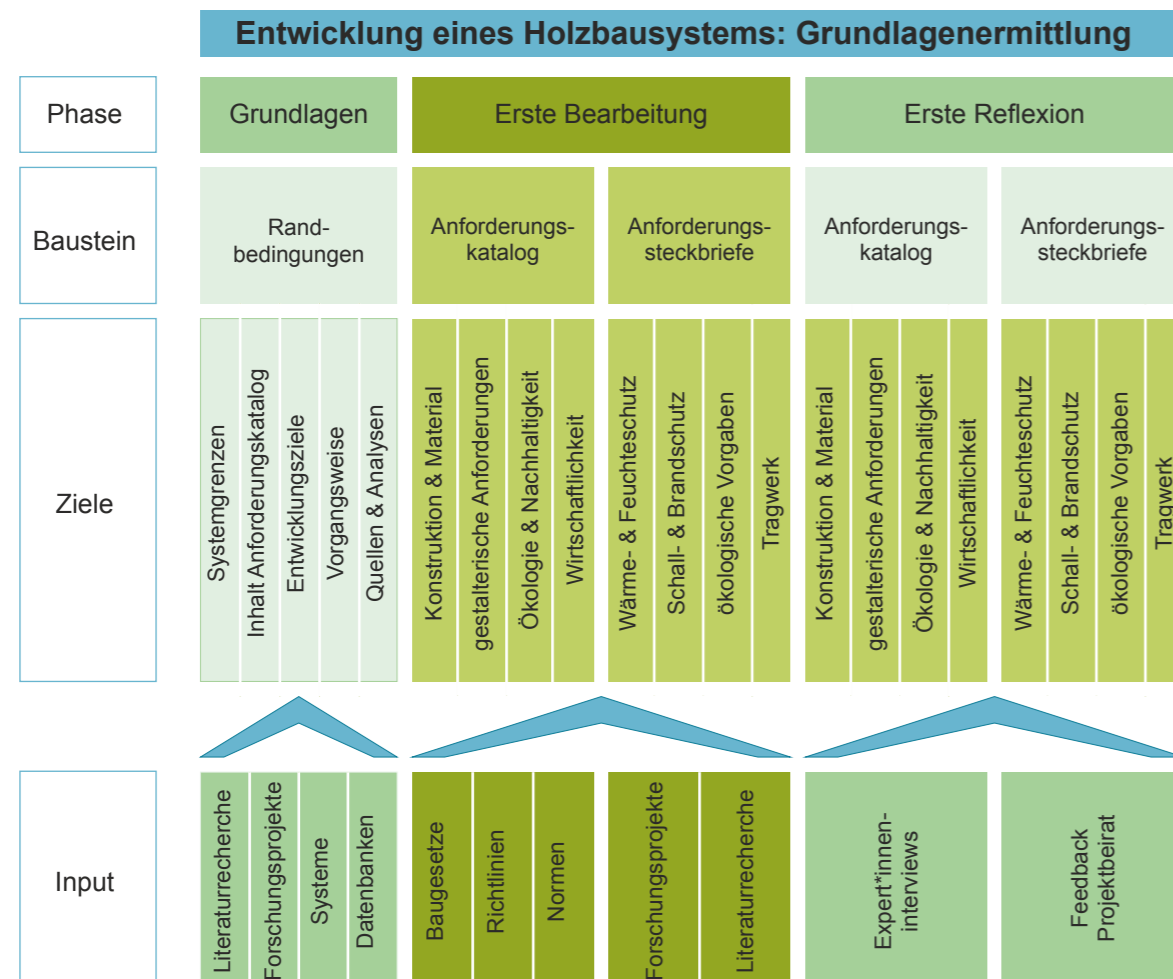


Abb. 6.01 — Entwicklungsprozess Holzbausystem – Grundlagenermittlung

Die Einzelphasen der Grundlagenermittlung und ihre Bausteine und Ziele sowie der dafür genutzte Input sind in Abb. 6.01 dargestellt.

6.3.1.1. Grundlagen

Zu Beginn des Projekts wurden die in Abschnitt 6.2 beschriebenen Systemgrenzen und Entwicklungsziele erarbeitet, die erforderlichen Inhalte des Anforderungskataloges und die Vorgangsweise der Systementwicklung festgelegt sowie Quellen recherchiert und analysiert.

6.3.1.2. Erste Bearbeitung

Im Anforderungskatalog wurden neben technisch-konstruktiven Anforderungen wirtschaftliche, operative und ökologische behandelt sowie relevante Aspekte der Planung untersucht. Nicht alle architektonischen oder städtebaulichen Einflüsse lassen sich als quantitative oder qualitative Kriterien für die folgende Entwicklung festlegen. Hier wurde die Überprüfung des Systems in Musterprojekten festgelegt, die eigene Entwürfe auf Basis von Bestandsanalysen und ein bereits gebautes oder in Entwicklung befindliches Projekt umfassen und in Folge durchgeführt wurden. Die Überprüfung anhand eines Demonstrationsvorhabens wäre zielführend, kann aber nicht innerhalb des laufenden Projekts erfolgen. Aus städtebaulichen Kriterien wurden die bereits oben angeführten Varianzen für die Gestaltung abgeleitet, aus funktionalen Kriterien das Vorsehen möglicher Wohnungsteilungen oder -zusammenlegungen und die Bildung von Loggien als Bestandteil des Systems. Die Gewinnung relevanter wirtschaftlicher Kriterien wurde in die Expert*inneninterviews und -befragungen verlagert.

Quantitative und qualitative Entwicklungsziele wurden für konstruktive und funktionale Kriterien, Varianzen und Baustoffe festgelegt bzw. vorhandene geschärft oder angepasst und Konstruktionsregeln für die nachfolgende Entwicklung definiert.

Basierend auf den Analysen wurden Anforderungssteckbriefe entwickelt und für alle erforderlichen Bauteile festgelegt. Diese umfassen neben der Bauweise (Holzmassiv- oder Holzrahmenbauweise) auch die Varianzen der Innen- und Außenoberfläche und die gesetzlich bzw. normativ bedingten mindestens zu erreichenden Kennwerte für Brand-, Schall- und Wärmeschutz sowie die einzuhaltenden Bedingungen der Brennbarkeitsklasse für tragende, dämmende und verkleidende Schichten. In dieser Phase wurden die Eigenschaften für die GK 4 und 5 für bis zu sechs und mehr als sechs Geschosse untersucht, um eine Orientierung zu gewinnen, durch welche Maßnahmen höhere oder geringere Anforderungen zu erfüllen sind.

6.3.1.3. Erste Reflexion

In der ersten Analyse- und Reflexionsphase wurden Expert*inneninterviews durchgeführt und Rückmeldungen des Projektbeirates eingeholt. Ziel war die Evaluierung und Anpassung der bis dahin festgelegten Anforderungen und Systemgrenzen.

Interviews wurden mit 19 Expert*innen aus Planung (Projektmanagement, Tragwerksplanung, Architektur) sowie von Holzbauunternehmen, Wohnbauträgern, der Wohnbauförderstelle und einer Interessenvertretung geführt. Neben systembezogenen Fragen wurden die Themen allgemeine Herausforderungen, Anliegen und Beiträge der Forschung für die zukünftige Entwicklung des Holzbaus behandelt. Systembezogen wurden Nachverdichtung in Holzbauweise, Ausführungsstandards, Bedingungen und Grenzen der

Vorfertigung, Potenziale eines Bausystems, erforderliche Systembestandteile und Erfahrungen der Unternehmen mit Nachverdichtungsprojekten hinsichtlich Voraussetzungen und Herausforderungen thematisiert. Der gesamte Fragenkatalog wurde je nach Befragungsgruppe selektiv zusammengesetzt, die Ergebnisse anonymisiert, qualitativ und statistisch ausgewertet und zur Überarbeitung des Anforderungskataloges herangezogen.

Primär von Interesse waren Angaben zur Standardisierung im Holzbau. 85% der Befragten äußerten eine grundsätzlich positive Einstellung gegenüber einem standardisierten Holzbausystem, 53% davon nannten jedoch unterschiedliche Bedenken, wie die Abnahme individueller Gestaltungsfreiheit und damit Identitätsverlust von KMU, eine etwaige mangelnde Akzeptanz in einzelnen Betrieben oder eine auf Großprojekte beschränkte Anwendbarkeit. Qualitativ waren z.B. rasche Montage und die Leichtbauweise signifikant angeführte Vorteile der Nachverdichtung in Holzbauweisen. Bei den Ausführungsstandards wurden von 58% normative und gesetzliche Grundlagen als ausreichend und von jeweils 18% Wohnbauförderungs- und Niedrigenergiestandards als Ziel genannt. Dachbegrünungen wurden zu insgesamt 91% als wesentlich oder manchmal eingesetzt angeführt, Energiegewinnung am Dach zu 100%, solche an der Fassade zu 20% als wesentlich und zu weiteren 20% als manchmal eingesetzt angegeben.

Die bisherigen Systemgrenzen und Konstruktionsregeln konnten ebenso bestätigt werden wie die grundsätzliche Möglichkeit eines hohen Vorfertigungsgrades im Holzbau und die damit verbundenen Vorteile.

6.3.2. Systementwicklung

In den weiteren Phasen folgte die eigentliche Systementwicklung. Bausteine, Ziele und der dafür genutzte Input sind in Abb. 6.02 dargestellt.

6.3.2.1. Zweite Bearbeitung

Im ersten Schritt wurden der Anforderungskatalog und die Anforderungssteckbriefe auf Basis der ersten Analyse und Reflexionsphase überarbeitet und abgeschlossen.

Es folgte die Entwicklung der Bauteilaufbauten unter Berücksichtigung von Fachliteratur und Onlinequellen sowie der Steckbriefe, wobei für einzelne Anwendungsfälle und Anforderungen keine Quellen gefunden wurden und bekannte Aufbauten maßgeblich adaptiert werden mussten, um die gesetzlichen und normativen Vorgaben zu erfüllen. Für Brandschutz und Schallschutz wurde auf ein externes Consulting zurückgegriffen, da in diesen Themengebieten keine ausreichende Expertise im Team vorhanden und eine gutachterliche Beurteilung adaptierter Konstruktionen erforderlich war.

Ein weiterer Schwerpunkt der zweiten Bearbeitung war die Entwicklung der Konstruktionsdetails. Dazu wurden auf Basis schematischer Übersichten und von Testentwürfen über 400 mögliche Detailpunkte identifiziert und priorisiert sowie in Detailübersichten grafisch dargestellt. An 70 Leitdetails wurden Konstruktionsprinzipien und Montageabläufe für Holzmassiv- sowie Holzrahmenbauweise mit dem Schwerpunkt hinterlüftete Fassaden entwickelt.

Entwicklung eines Holzbausystems: Systementwicklung

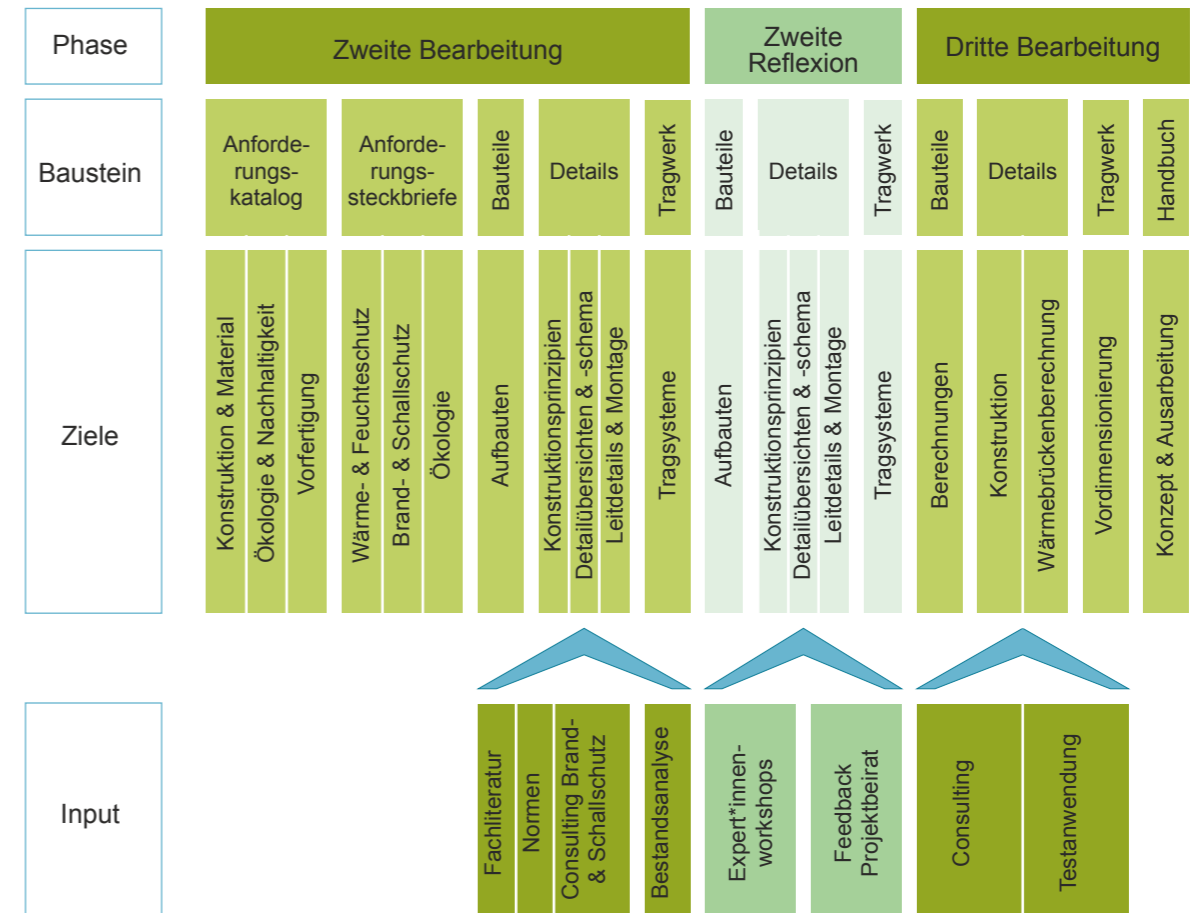
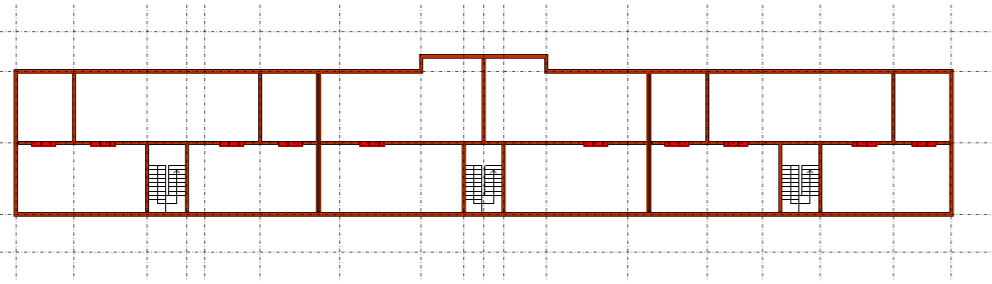


Abb. 6.02 Entwicklungsprozess Holzbausystem – Systementwicklung

Zur Vorbereitung der statischen Vordimensionierung wurden Grundrisse und Deckenspannweiten von 33 Geschosswohnbauten analysiert, Beispielgrundrisse entwickelt und mögliche Aufstockungsgrundrisse schematisch festgelegt, um Tragwerkstypen, -spannweiten und -elemente für Wände und Decken festzulegen (siehe Abb. 6.03). Darauf aufbauend wurde gemeinsam mit einem externen Tragwerksplaner ein Grundsystem für das Bausystem entwickelt und bemessen. Ausgewählte Detailknoten wurden überprüft und mögliche Verbindungsmittel definiert.

Bestand



Aufstockung

Tragende Wände bei der Aufstockung quer zu den bestehenden tragenden Wänden

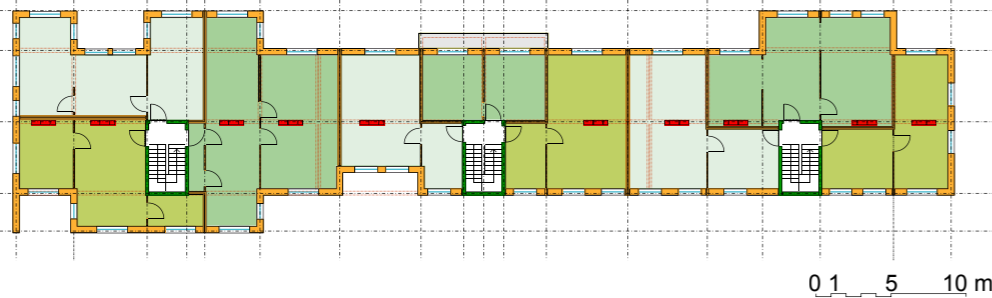


Abb. 6.03 — Repräsentatives Beispielgebäude A der ausgewählten Bauperiode mit Vorschlag für einen Aufstockungsgrundriss

6.3.2.2. — Zweite Reflexion

In der zweiten Analyse und Reflexionsphase wurden Expert*innenworkshops abgehalten. An drei Terminen wurden die Bauteilaufbauten, die entwickelten Leitdetails und das statische System vorgestellt und mit insgesamt 14 Vertreter*innen von Wohnbauträgern, Holzbaubetrieben, Holzindustrie, Forschung, Brandschutzplanung, Schallschutzplanung und Tragwerksplanung reflektiert.

Nach einem ersten informativen Termin über Entwicklungsziele und -stand wurden ausgewählte Details präsentiert und besprochen.

Im Folgetermin wurden Bauteilaufbauten behandelt und Optimierungsmaßnahmen entwickelt sowie die Leitdetails hinsichtlich Brand- und Schallschutz diskutiert. Beispielfähig wurden Alternativvorschläge zu Details oder Materialien wie Bauteile und Brandschutzkapselung am Fenstersturz technisch und wirtschaftlich bewertet.

Im dritten Termin wurden Tragwerk, Vorfertigung und Montageablauf anhand der Leitdetails analysiert und optimiert. Beispielsweise wurden der Vorfertigungsprozess der Wände in Holzmassivbauweise in Frage gestellt und eine alternative Systemlösung entwickelt.

6.3.2.3. — Dritte Bearbeitung

In der dritten Bearbeitungsphase wurden Bauteilaufbauten und Leitdetails finalisiert und in Folge die Konstruktionsprinzipien der Leitdetails auf die restlichen Details übertragen. Insgesamt stehen nach einer weiteren Priorisierung ca. 70 Bauteilaufbauten und ca. 310 Konstruktionsdetails final zur Verfügung. Für jedes Konstruktionsdetail wurde der Montageablauf beschrieben und grafisch aufbereitet. Die Ergebnisse des Tragwerksconsultings wurden tabellarisch zusammengefasst. Für sämtliche Aufbauten wurden der Wärmedurchgangskoeffizient und der OI3-Index ermittelt und, wo zulässig, die Berechnung der Tauwasserbildung im Bauteilinneren nach ÖNORM B 8110-2:2020 (Austrian Standards International – Standardisierung und Innovation, 2020 01 01) durchgeführt.

Ein Handbuch mit Rahmenbedingungen und Systemgrenzen sowie als Hilfestellung für die Anwendung des Bausystems wurde erstellt.

6.3.2.4. — Dritte Reflexion nach Projektende

Der dritte Analyse- und Reflexionsprozess findet nur bedingt in der Laufzeit des Forschungszentrums Alpines Bauen 2018–2022 statt. Im Zuge des Projekts wurde eine planerische Testanwendung durchgeführt, bei der anhand einer bereits ausgeführten Bestandsaufstockung die Anwendbarkeit und Vollständigkeit des Bausystems erfolgreich überprüft wurde.

Die Überprüfung anhand eines realen Projekts inklusive Praxisanwendung sowie ein Feedback können nicht in der Projektlaufzeit stattfinden.

6.4. — Unterlagen und gewonnene Erkenntnisse

Anforderungskatalog, Anforderungssteckbriefe und Expert*inneninterviews sind keine Systembestandteile, sondern Arbeitsunterlagen. Sie können aber auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.

Die gewählte Vorgangsweise und die Abfolge der Systemschritte hat sich als geeignet für die Systementwicklung und die Absicherung und Begründung von Entscheidungen erwiesen. Die Erstellung eines Anforderungskataloges in der untersuchten Breite war jedoch nur bedingt hilfreich, eine Fokussierung auf primär technische und wirtschaftliche Kriterien hätte in Zusammenarbeit mit den Expert*innenbefragungen und -workshops wohl kaum zu einem anderen Ergebnis geführt. Das Sample der Expert*inneninterviews ist natürlich nicht statistisch relevant und der zur Verfügung stehenden Zeit geschuldet, war aber für die Systementwicklung zweckmäßig. Eine breitere Untersuchung müsste darüber hinaus auch sozialwissenschaftlich abgesichert erfolgen.

Weitere Reflexion kann durch das digitale Feedback zum System auf der Registrierungswebseite und durch die praktische Anwendung erfolgen. Entsprechende Informationen können aus aktueller Sicht jedoch nur gesammelt werden, eine Auswertung ebenso wie eine Systemwartung und -anpassung sind zum Zeitpunkt der Erstellung des gegenständlichen Buches nicht finanziert.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

GK	Gebäudeklasse
KMU	Klein- und Mittelbetriebe
OIB-Richtlinie	Richtlinie des österreichischen Instituts für Bautechnik

LITERATURVERZEICHNIS

Austrian Standards International – Standardisierung und Innovation (2020 01 01). *ÖNORM B 8110-2: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 2: Wasserdampfdiffusion, -konvektion und Kondensationsschutz* (gültig ÖNORM B 8110-2:2020 01 01). Wien. Austrian Standards International.

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2021). *Zahlen und Fakten 2021*. Wien. <https://info.bml.gv.at/dam/jcr:54ce1e32-1584-45fe-8347-65a4e131b138/BMLRT-Brosch%C3%BCre%20Zahlen%20und%20Fakten%202021%20-%202022.%20Ausgabe%20-%20barrierefrei.pdf>

Huss, W., Kaufmann, M. & Merz, K. (2018). *Holzbau: Raummodule* (1. Aufl.). *DETAIL Praxis*. Detail Business Information GmbH.

Österreichisches Institut für Bautechnik (2019a). *OIB-Richtlinie 2 – Brandschutz: OIB-RL2*.

Österreichisches Institut für Bautechnik (2019b). *OIB-Richtlinie 5 – Schallschutz: OIB-RL5*.

Österreichisches Institut für Bautechnik (2019c). *OIB-Richtlinie 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz: OIB-RL6*.

Pirstinger, I. & Reiter, T. (2018). *Forschungsbericht: Wohnraumschaffung durch Nachverdichtung gewerblicher Handelsobjekte (Vorstudie)*. Kuchl. Fachhochschule Salzburg GmbH.

Statistik Austria (April 2013). *Registerzählung 2011: Gebäude 2011 nach dem Errichtungsjahr (Bauperiode) des Gebäudes und politischen Bezirken*. Statistik Austria.

7. ——— Entwicklung eines Holzbausystems für die Nachverdichtung – Systembeschreibung und Anwendung

ELISABETH WIEDER

MATTHIAS GNIGLER

ANDREAS SCHWEIGER

LENA SEIWALD

MICHAEL GROBBAUER

Als Beitrag zur Nachverdichtung wurde im Forschungsschwerpunkt 2 ein Holzbausystem in Tafelbauweise erarbeitet. Dieses umfasst Aufbauten und Konstruktionsdetails in Holzrahmen- und Holzmassivbauweise, eine tabellarische Systematik der möglichen Tragsysteme mit Vordimensionierung ausgewählter Bauteile, Wärmebrückenberechnungen und Abschätzung des Bauteilkondensats für ausgewählte Konstruktionsdetails sowie ein Systemhandbuch zu Entwurf, Ausführungsplanung und Bauausführung.

Da wenige geprüfte Bauteilaufbauten für die GK 5 mit den erforderlichen Brand- und Schallschutzkennwerten verfügbar sind, wurden solche auf Basis der Literatur und internen wie externen Expert*innenwissens entwickelt und gutachterlich beurteilt. Die Vordimensionierung der Tragsysteme erfolgte durch ein externes befugtes Unternehmen.

Das System ist für die Aufstockung in GK 5 entwickelt, lässt sich aber vorwiegend durch Weglassen von Brandschutzverkleidungen einfach an die GK 3 und 4 anpassen. Es steht Unternehmen und Forschungseinrichtungen kostenfrei nach Registrierung zur Verfügung.

7.1. _____ Grundlagen der Anwendung

7.1.1. _____ Anwendergruppen und spezifischer Informationsbedarf

Primäre Anwender des Bausystems sind gewerbliche Auftraggeber*innen, Planer*innen und Ausführende. Der Informationsbedarf dieser Gruppen unterscheidet und überschneidet sich und ist wiederum wechselseitig voneinander abhängig. Im Verlauf der Projektentwicklung ergibt sich dabei eine von Planungsfokus und Planungstiefe abhängige zunehmende Komplexität.

In einem konventionellen Projektverlauf wird diese Komplexität im Wechselspiel der Interessen und Zielsetzungen iterativ entwickelt. Bei der Verwendung von Bausystemen wird ein Teil dieses Prozesses vordefiniert und die Komplexität reduziert. Damit einher geht ein Verlust an Vielfalt und Möglichkeiten, aber auch an Unsicherheiten. Es sind zu Beginn der Projektentwicklung viele insbesondere technische und damit einhergehend wirtschaftliche Parameter bekannt und müssen nicht entwickelt und verhandelt werden. Trotzdem soll die gestalterische Vielfalt nicht zu sehr eingeschränkt werden, die ja nicht Selbstzweck, sondern baukulturelle und funktionale Notwendigkeit bezogen auf Bestand, Kontext und Ort ist.

Die festgelegten Systemgrenzen definieren dabei die Grenzen des Einsatzes. Es ist weder möglich noch sinnvoll, alle projektspezifischen Besonderheiten vorauszuahnen und zu planen. Stattdessen sollen oft verwendete, gleichartige Konstruktionen behandelt werden. Ergänzungen müssen möglich sein, dabei aber konstruktive Grundprinzipien – konkret Bauteilaufbauten mit Kennwerten, Konstruktionsdetails und Modellgrenzen – eingehalten werden.

Bauteilaufbauten erfordern konstruktive Logik und eine hierarchische Struktur, die neben der Erfüllung technischer Erfordernisse des Tragwerks und der Bauphysik Varianten erlaubt, ohne unnötige Komplexität zu erzeugen. Die Anzahl der innenseitigen Beplanungsschichten beispielsweise ergibt sich aus den Zielwerten der Feuerwiderstandsdauer, gewisse Kombinationen aus Vorsatzschalen und Fassadenarten aus den schalltechnischen Anforderungen. Kennwerte müssen berechnet oder sogar durch Prüfungen ermittelt werden, was im Zuge des Projekts aus Kostengründen nicht möglich war. Für die Einschätzung liegen aber gutachterliche Bewertungen vor.

Gemeinsam mit der statischen Vordimensionierung sind damit auch die konstruktiven Grundlagen des Entwurfs und des baubehördlichen Verfahrens festgelegt. Das Abweichen von den tabellarisch festgelegten Bedingungen Modell, Auflager, Spannweiten oder Lasten erfordert eine projektspezifische Überprüfung. Da es weder sinnvoll noch wirtschaftlich ist, Systeme zu bilden, die allen Fällen gerecht werden, muss eine Anpassung der Bauteile erfolgen können, wobei im Holzrahmenbau vielfach durch Reduktion des Ständerabstands das Auslangen gefunden werden kann, ohne die Gesamtdicke zu verändern.

In der Ausführungsplanung und Werkstattplanung sind Konstruktionsdetails, Verbindungsmittel und Angaben zur Vorfertigung und Bauteilfügung erforderlich, wozu sich die entsprechenden Angaben, ergänzt durch Wärmebrückenberechnungen und Abschätzungen des Bauteilkondensates von Leitdetails, finden.

Das Holzbausystem bietet den oben angeführten Anwendergruppen bezogen auf die Erfordernisse der Projektentwicklung nachstehende Informationen in den jeweiligen Projektentwicklungsphasen.

Als Auftraggeber*innen werden vor allem Wohnbauträger*innen verstanden, die oft auch Eigentümer*innen der Bestandsgebäude sind. Sie legen die Ausstattungsstandards fest und stellen mitunter Planungshilfen für Entwurf und Ausführungsplanung wie Bauteile und Konstruktionsdetails bereit. Dafür stehen Bauteilaufbauten, Vorfertigungsgrenzen und Standarddetails zur Verfügung, die zur Vereinheitlichung von Leistungsverzeichnissen und Vergleichbarkeit von Angeboten genutzt werden können.

Planenden mit geringen Holzbauvorkenntnissen dienen, neben Informationen zu Bauteilaufbauten und Kennwerten, vor allem auch Konstruktionsdetails als Hilfestellung und als Einstieg. Diese sind vom Planungsfokus Aufstockung in GK 5 einfach auf andere Bauaufgaben übertragbar. Erfahrene Planer*innen und Ausführende können die bereitgestellten Unterlagen als Unterstützung bei Aufstockungen in Holzbauweise mit einem hohen Vorfertigungsgrad nutzen.

Bauphysiker*innen erhalten vordimensionierte oder für den Schall- und Brandschutz gutachterlich bewertete Bauteile, die als Basis der eigenen Planung und Berechnung von Bauteilen und Gebäuden dienen können, sowie zusätzlich Berechnungen zu ausgewählten Leitdetails.

Ausführende Firmen profitieren gemeinsam mit Auftraggeber*innen bei Mehrfachanwendung des Systems von einheitlichen Standards in der Kalkulation, Arbeitsvorbereitung, Vorfertigung und Bauabwicklung sowie Abrechnung. Konstruktionsdetails und Montageabläufe unterstützen Werkplanung, Transport und Baustellenlogistik sowie Bauausführung. Definierte Standards erleichtern die Zusammenarbeit von Unternehmen als Bietergemeinschaften für größere Bauaufgaben. Schließlich bieten Projektentwicklung und Ausführung auf Basis eines standardisierten Systems für alle beschriebenen Gruppen die Gewissheit, auf gleichem Informationsstand zu agieren.

7.2. _____ Systembestandteile

7.2.1. _____ Bauteilaufbauten

Für Außenwände, Innenwände, Dächer und Decken wurden ca. 70 Bauteilaufbauten, den normativen Vorgaben und den Systemvorgaben entsprechend, entwickelt. Reduzierter Komplexität bei gleichzeitiger Vielfalt wurde durch die Bildung invarianter Bauteilkernzonen für Tragwerk, Wärmeschutz und klimabedingten Feuchteschutz Rechnung getragen, bei denen lediglich der Dämmstoff wo sinnvoll variiert wird. Diese Kerne erhalten gestalterische und funktionelle Innen- und Außenbekleidungen für z.B. Schlagregen- und Feuchteschutz, Windschutz sowie Brand- und Schallschutz. Die Außenbekleidungen können projektspezifisch angepasst werden, während die Kerne in immer gleicher Art hergestellt werden können.

Der U-Wert wurde nach ÖNORM EN ISO 6946 (Austrian Standards International, 2018 02 01) berechnet. Um den steigenden Anforderungen zu genügen, wurden die U-Werte

nach OIB-Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019b) unterschritten, als Zielwert für Bauteile der Gebäudehülle maximal $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ festgelegt und bei den Außenwänden und Dächern ca. $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ erreicht.

Zur Vermeidung schadenverursachender Kondensation wurden primär nach ÖNORM B8110-2 (Austrian Standards International, 2020 01 01) nachweisfreie Bauteile gewählt. Wo dies nicht möglich war, wurden bei Holzrahmenbauweise Nachweise nach dem vereinfachten Rechenverfahren zur Vermeidung schadenverursachender Kondensatmengen im Bauteilinneren nach Abschnitt 11 geführt. Für Holzmassivbauteile ist dieses Verfahren nicht anwendbar und Nachweise nach Abschnitt 10 konnten in der Projektlaufdauer nicht erstellt werden. Sämtliche Bauteile wurden jedoch sowohl nach projektinternem als auch nach extern über Expert*innenworkshops eingeholtem Fachwissen als geeignet beurteilt.

Die Bauteilökologie wurde anhand des OI3-Berechnungsleitfadens Version 4.0 des Österreichischen Instituts für Bauen und Ökologie bewertet. Dabei wurden neben der Konstruktion der thermischen Gebäudehülle alle internen Trennbauteile und alle bauteilrelevanten Schichten berücksichtigt. Dies entspricht den Vorgaben der im angeführten Leitfaden erwähnten Bilanzgrenze 1 (IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, 2018).

Für Schallschutz und Brandschutz wurde eine gutachterliche Beurteilung von Bauteilen und Konstruktionsdetails unter Beachtung normativer Vorgaben, der Systementwicklungsziele und möglichst hoher Ausführungs- und Nutzungstauglichkeit durchgeführt.

Nach einer Analyse von relevanten Wohngebieten in der Stadt Salzburg wurde der standortbezogene Außenlärmpegel mit 65 dB am Tag und 55 dB in der Nacht festgelegt. Daraus resultiert für die opaken Außenbauteile ein Schalldämm-Maß R_w von mindestens 45,5 dB und für Fenster von mindestens 35,5 dB ($R_{w+C_{tr}}$ 30,5 dB) (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019a). Die Systemvorgaben einer möglichst geringen Anzahl von Bauteilschichten und der weitgehenden Vermeidung von Vorsatzschalen erschwerten das Erreichen der Schallschutzziele, wurden aber soweit möglich eingehalten. Auf Vorsatzschalen und abgehängte Decken konnte insbesondere bei zwischen Nutzungseinheiten durchlaufenden Flanken nicht immer verzichtet werden. Die dynamischen Eigenschaften von Schüttungen in Fußböden wurden ebenso festgelegt wie die erforderliche Dicke von Kiesschüttungen oder alternative abgehängte Decken bei unbekiesten Dächern. Blechdächer führen im Gegensatz zu Stein- und Ziegeldeckungen zu einer Verschlechterung des Luftschallschutzes, die erforderlichen Kennwerte werden dennoch erreicht.

Das Bausystem enthält Bauteile für die in GK 5 bis 6 Geschosse relevanten Feuerwiderstandsklassen R(EI) 60 und R(EI) 90. Die Klassen werden durch Variation der Anzahl der Beplankungsschichten mit Gipsbauplatten erreicht, während der Bauteilkern unverändert bleibt. Auf eine Berücksichtigung des Feuerwiderstands durch Abbrand und Erhöhung der Bauteildicke wurde verzichtet, da bei 60 bzw. 90 Minuten bereits signifikante zusätzliche Querschnitte erforderlich sind, die Sanierung nach dem Brand aufwendiger wird und in Folge Wohnungen länger nicht genutzt werden können. Brandschutz durch

Abbrand und damit verbundene Delamination bei Decken ist immer im Zusammenhang mit der (Rest-)Tragfähigkeit zu beurteilen, stellt somit erhöhte Komplexität dar und ist nicht Systembestandteil.

Zur Komplexitätsreduktion, zum Erhalt der Luftdichtheit und des Wärmeschutzes sowie zur Sicherung des Schall- und Brandschutzes sind Sanitär- und Elektroinstallationen in Außen- und Trennbauteilen von Nutzungseinheiten ausschließlich in Vorsatzschalen vorgesehen. Zwar wird damit die Schichtanzahl erhöht, aber die Ausführungskomplexität maßgeblich verringert und die Gefahr von Bauschäden reduziert. Sind mindestens zwei Beplankungslagen für den Feuerwiderstand notwendig, befindet sich eine Lage direkt am Bauteilkern, die restlichen Schichten bilden die Außenseite der Vorsatzschale. Dadurch wird eine brandschutztechnisch unbedenkliche Leitungsführung ermöglicht. Leitungsführungen in Außenbauteilen sollten dennoch vermieden werden.

In tragenden Innenwänden im Wohnungsverband ist mangels Schallschutzanforderungen die Führung von Sanitärinstallationen möglich. Elektroinstallationen können jedoch nicht ohne zusätzliche Brandschutzmaßnahmen geführt werden. Vertikale Schächte sind mit vertikal durchlaufenden Trockenbauschachtwänden als eigener Brandabschnitt in EI90 vorgesehen. Alternativ können Brandschotte in der Geschosdecke bei gleichzeitiger Reduktion der Anzahl der Beplankungslagen ausgeführt werden.

Eine explizite Bauteilhierarchie mit der bereits angesprochenen Trennung von Bauteilkern und Verkleidungsschichten ist unerlässlich, um trotz einer Vielfalt von Oberflächen und Dämmstoffen eine innere Logik der Aufbauten und später der Bauteilfertigung zu erlangen und zu erhalten.

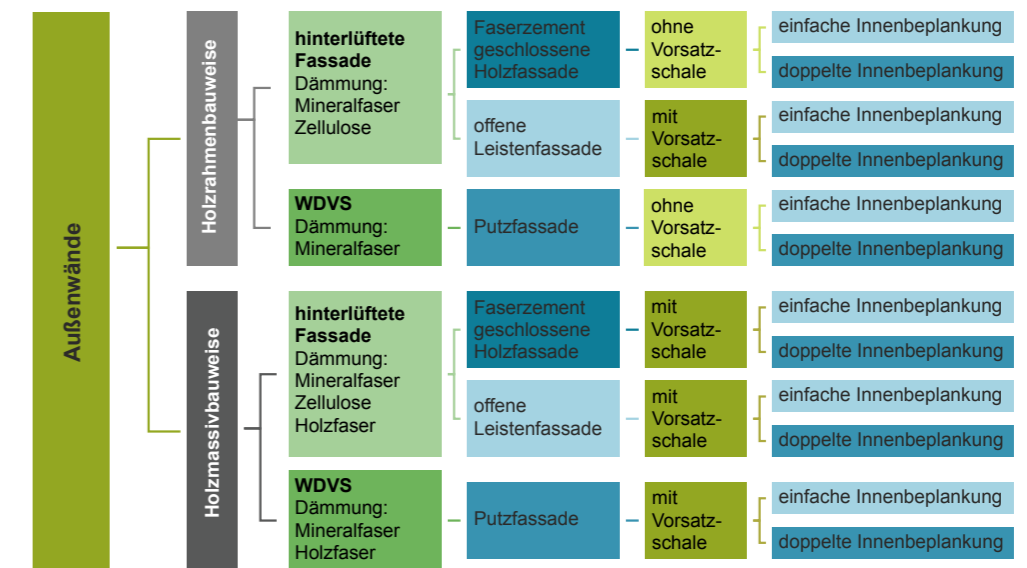


Abb. 7.01 Bauteilhierarchie Außenwände

Wie in Abb. 7.01 ersichtlich, bilden bei Holzrahmenbauweise hinterlüftete Fassaden oder Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) die Außenschale. Bei WDVS kommt nur Mineralfaser als Dämmstoff zum Einsatz, bei hinterlüfteten Fassaden zusätzlich Zellulose. Die

Innenschale wird je nach Schallschutzanforderungen mit oder ohne einfach oder doppelt beplankter Vorsatzschale ausgeführt.

Bei der Holzmassivbauweise besteht der Bauteilkern aus CLT-Scheiben oder -Platten und Dämmung mit Konterlattungen. Bei hinterlüfteten Fassaden kommen Mineralfaser-, Holzfaser- oder Zellulosedämmungen zum Einsatz, bei WDVS Mineralfaser und Holzfaser. Die Innenschale ist analog zu der Rahmenbauweise aufgebaut.

Innenwände sind in tragende Wohnungstrennwände und tragende Innenwände differenziert. Wie in Abb. 7.02 dargestellt gibt es Ausführungen in Holzrahmen- und Holzmassivbauweise, abhängig von den Brandschutzanforderungen ein- bis dreifach beplankt. Wohnungstrennwände enthalten Mineralfaserdämmungen. Nicht-tragende Wohnungstrennwände oder Innenwände sind nicht Systembestandteil, da Trockenbauwände die gestellten Anforderungen erfüllen können und in der Regel wirtschaftlicher sind.



Abb. 7.02 — Bauteilhierarchie Innenwände

In Steildächern nach Abb. 7.03 bilden in Holzrahmenbauweise Rahmen mit Dämmung analog zu den Außenwänden den Kern, in Holzmassivbauweise CLT mit Dämmung und Konterlattung. Als Deckungen sind Ziegel- oder Steindeckungen oder Blechdeckungen vorgesehen, ohne dass dies einen Einfluss auf die Innenschalen aus Einfach- oder Doppelbeplankungen hätte. Bei der Holzmassivbauweise ist, wenn der Schallschutz dies erfordert, eine Vorsatzschale, eventuell mit Installationsebene, vorhanden.

Flachdächer sind nur in Holzmassivbauweise und als konventionelles Warmdach vorgesehen, Dämmstoff ist Mineralfaser. Aufgrund des günstigeren Diffusionsverhaltens (Rücktrocknung nach Bauführung) und der UV-Beständigkeit sind Kunststofffolien-dächer geplant und berechnet, wobei bei Ausführung einer Notabdichtung aus Bitumenbahn dieser Vorteil zwar verloren geht, sich aber wenig an der Schichtenfolge ändert. Neben dem mechanisch befestigten, direkt bewitterten Foliendach sind Terrassenbeläge und Bekiesung geplant und berechnet. Abgehängte Decken sind aufgrund Schallschutzes nur bei Bekiesung verzichtbar.



Abb. 7.03 — Bauteilhierarchie Dächer

Geschossdecken nach Abb. 7.04 sind zur Aussteifung in Holzmassivbauweise vorgesehen. Laufen diese über Wohnungstrennwänden durch, sind abgehängte Decken erforderlich, ansonsten erfolgt eine direkte Beplankung. Decken über Außenluft kommen bei Gebäudevorsprüngen mit WDVS oder hinterlüfteten Unterdecken vor. Müssen diese aus nicht brennbaren Stoffen ausgeführt werden, kommen Mineralfaserdämmungen, Faserzementplatten und Metallunterkonstruktionen zum Einsatz.

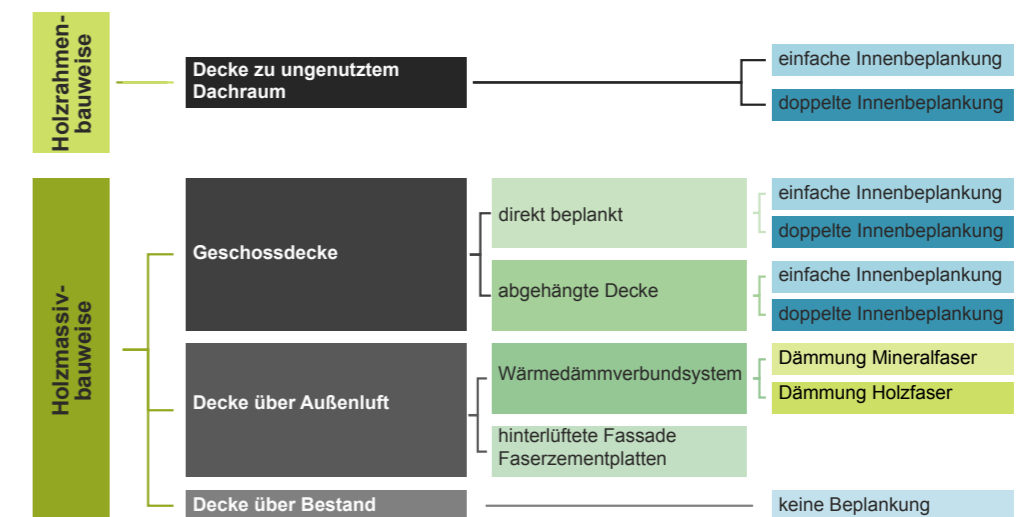


Abb. 7.04 — Bauteilhierarchie Decken

Decken über der obersten Bestandsdecke weisen in der Regel keine zusätzlichen Brand- und Schallschutzanforderungen auf, da eine oberste Bestandsdecke aus Stahlbeton und bei einer nicht ausreichend tragfähigen Bestandsdecke ein gedämmter Zwischenraum zwischen Bestands- und Aufstockungsdecke angenommen wurde. Dieser Zwischenraum kann auch zum Verziehen von Leitungen z.B. zur Anpassung der Lage von Schächten genutzt werden, wobei jedoch für Elektroinstallationen brandschutztechnisch gekapselte Kanäle erforderlich sind. Die Trenndecke zu ungenutzten Dachräumen oder Spitzböden ist wegen der konstruktiven Integration in das Steildach als einzige Decke doppelt beplankt in Rahmenbauweise festgelegt.

Durch eine an Holzbauweise, Dämmstoff und Fassadenkonstruktion orientierte Nomenklatur sind die Bauteile eindeutig bezeichnet. Bauteilsteckbriefe listen Aufbau sowie Kennwerte auf und verweisen auf Anhänge mit den jeweiligen Nachweisen und Berechnungen der einzelnen Kennwerte.

7.2.2. Konstruktionsdetails

Im System berücksichtigt sind Konstruktionsdetails für Steil- und Flachdächer, Geschossdecken, Außen- und Wohnungstrennwände, tragende Innenwände, Gebäudevor- und -rücksprünge, Loggien, Laubengangdecken und Stiegenhauskerne aus Stahlbeton, Brandwände zu Nachbargebäuden aus Ziegel, Fensteranschlüsse und Schachtwände jeweils in systemrelevanten und konstruktiv folgerichtigen Kombinationen der systemeigenen Aufbauten. Auf Basis von Bestandsanalyse und Probeentwürfen wurden relevante Knotenpunkte in Grundriss- und Vertikalschnitt identifiziert. Einzelne Bereiche wie Dachgauben oder einfach aus den vorhandenen Detailpunkten adaptierbare Lösungen wie andere Dachformen wurden vorerst nicht berücksichtigt.

Zur finalen Festlegung aller notwendigen Konstruktionsdetails erfolgte die Erstellung einer Matrix mit Bauteilkombinationen für die jeweiligen Details. Für einen Geschossdeckenanschluss ergeben sich beispielsweise die Kombinationen einer Massivholzdecke mit einer Rahmenbau- oder Massivholzwand, jeweils mit den Fassadenvarianten Putzfassade und hinterlüftete Fassade. Insgesamt enthält das Bausystem zum aktuellen Stand 312 Konstruktionsdetails, davon 70 Grundriss- und 242 Schnittdetails.

Ergänzend zu den Aufbauten und als Basis der Detailentwicklung insbesondere der Elementstöße und Befestigungen sind Vorfertigungsgrenzen unerlässlich. Als Ziel wurde dabei der weitgehende Verzicht auf Arbeitsgerüste oder die Reduktion deren Standzeit festgelegt, ergänzende Arbeiten von außen sollen durch Aufstieghilfen wie Arbeitsbühnen erfolgen.

Prinzipiell wurde ein hoher Vorfertigungsgrad von innenliegender Lattung (ohne Gipsbauplatten) bis zu fertiger hinterlüfteter Fassade bzw. Tragschicht für den Putzträger der WDVS-Fassade und, im Falle von Steildächern, Lattung für Dachziegel oder -steine bzw. Unterdach für Blechdeckung festgelegt. Als Beplankungen der Bauteilinnenseite kommen aufgrund der besseren Manipulationsbeständigkeit Gipsfaserplatten zur Anwendung. Plattenförmige Fassadenverkleidungen werden vor Ort montiert. Bei WDVS-Fassaden ist unter Umständen auch der Putzträger vorfertigbar, wenn an den Elementrändern entsprechende Tragprofile montiert werden. Das Verputzen erfolgt auf der Baustelle.

Bei Geschossdecken und Flachdächern ist ausschließlich die Vorfertigung der Massivholzplatte vorgesehen. Das Aufbringen einer Notabdichtung auf Decken- oder Dachplatten im Werk mit Verschluss der Stöße vor Ort ist zwar prinzipiell möglich, müsste aber durch den Systemlieferanten CLT erfolgen und ist mit zusätzlichem Planungs- und Koordinationsaufwand verbunden.

Der Systemlieferant CLT liefert im Regelfall die Massivholzbauteile direkt auf die Baustelle, was eine Vorfertigung von Elementen mit Dämmung und Verkleidung erschwert. Auch wenn im System dennoch von der Vorfertigung des gesamten Bauteils ausgegangen wird, wurde auf diesen Umstand reagiert. Alternativ wurden Elementrahmen aus Konterlattungen mit äußerer Beplankung und Dämmstoff und innenseitiger Konvektionsbarriere aus luftdichter, diffusionsoffener Folie zum Transportschutz der Dämmung vorgeschlagen, die wiederum vorfertigbar sind und auf das bereits versetzte Massivholzbauteil montiert werden können. Die Konvektionsbarriere ist in den Details als optional gekennzeichnet. Wohnungstrennwände und tragende Innenwände werden vollständig vorgefertigt. Element- und Bauteilfügungen sowie Verbindungsmittel berücksichtigen den definierten Fertigungs- und Montageablauf. Auf herstellerspezifische Produkte wurde verzichtet. Für deren Einsatz sind unter Umständen projektspezifische Anpassungen erforderlich.

Für die Überprüfung der grundlegenden Konstruktionsprinzipien und Montageabläufe wurden 70 Leitdetails festgelegt und entwickelt. Leitdetails sind Konstruktionsdetails, deren Konstruktionsprinzip nicht von anderen Details übernommen werden kann. Im Schallschutzconsulting wurden Konstruktionsprinzipien zur schalltechnischen Trennung einzelner Wohneinheiten festgelegt, im Brandschutzconsulting Maßnahmen zur Vermeidung der Brandweiterleitung innerhalb des Gebäudes wie Brandriegel oder Glimmsperren beim Einsatz von Dämmmaterialien aus Holzwerkstoffen im Bereich von Geschossdecken und Wohnungstrennwänden. Begleitend zur statischen Vordimensionierung fand die Festlegung von Verbindungsprinzipien und -mitteln statt. Die Leitdetails wurden in Expert*innenworkshops verifiziert und bei Bedarf überarbeitet. Konstruktionsprinzipien und Montageabläufe wurden in Folge auf alle Konstruktionsdetails übertragen.

Sämtliche Details enthalten Angaben zu Verbindungsmitteln und -art ohne Dimensionierung, die projektspezifisch erfolgen muss.

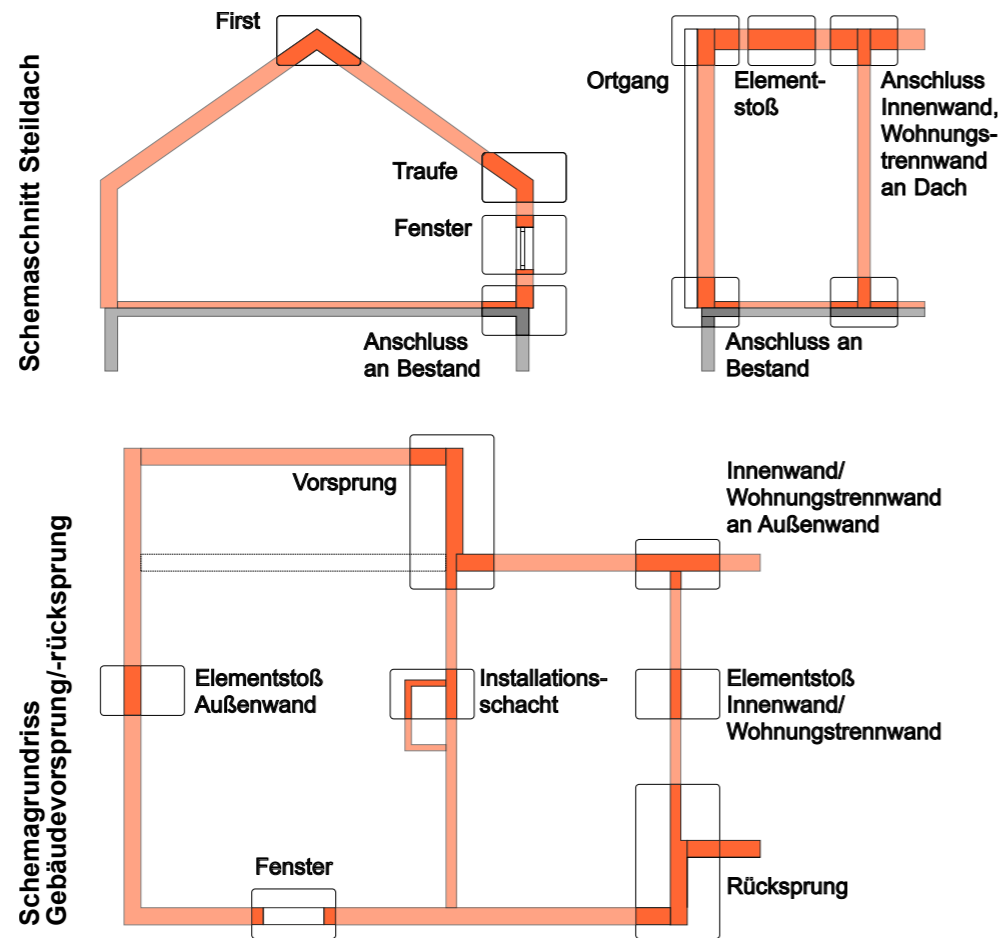


Abb. 7.05 — Übersicht Konstruktionsdetails

In finalen Übersichtsgrafiken werden die untersuchten Bauteilfügungen und Knotenpunkte grafisch aufbereitet. Abb. 7.05 zeigt beispielhaft die Darstellungen für Steildachschnitt bzw. Grundriss. Die Übersichten sind in den Detailblättern zur leichteren Orientierung angegeben.

Um die Darstellungskomplexität zu reduzieren, wurde in den Zeichnungen der Konstruktionsdetails je Bauteilkern jeweils der Bauteilaufbau mit der geringsten Schichtanzahl dargestellt. Optionale Schichten sind ebenso wie die Bauteilbezeichnungen gemäß Nomenklatur, wie in Abb. 7.06 beispielhaft gezeigt, strichliert angegeben. Die Konstruktionsdetails werden als PDF-Dateien im Maßstab 1:5 und Format A2 sowie als DWG-Datei zur Verfügung gestellt.

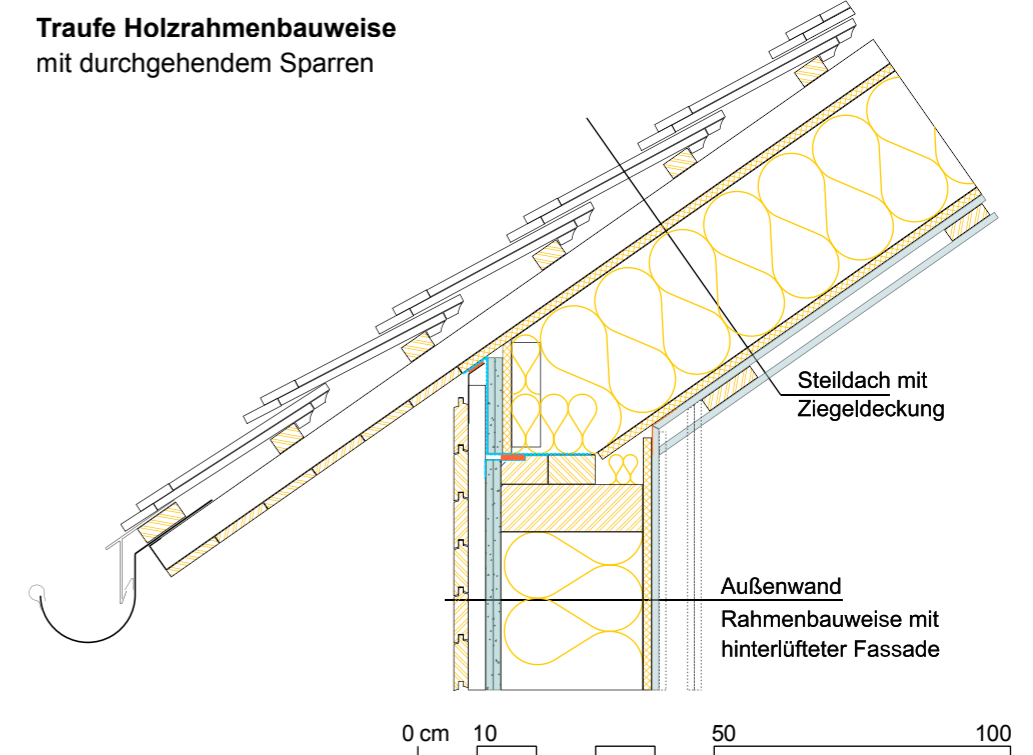


Abb. 7.06 — Konstruktionsdetail Traufe Holzrahmenbauweise

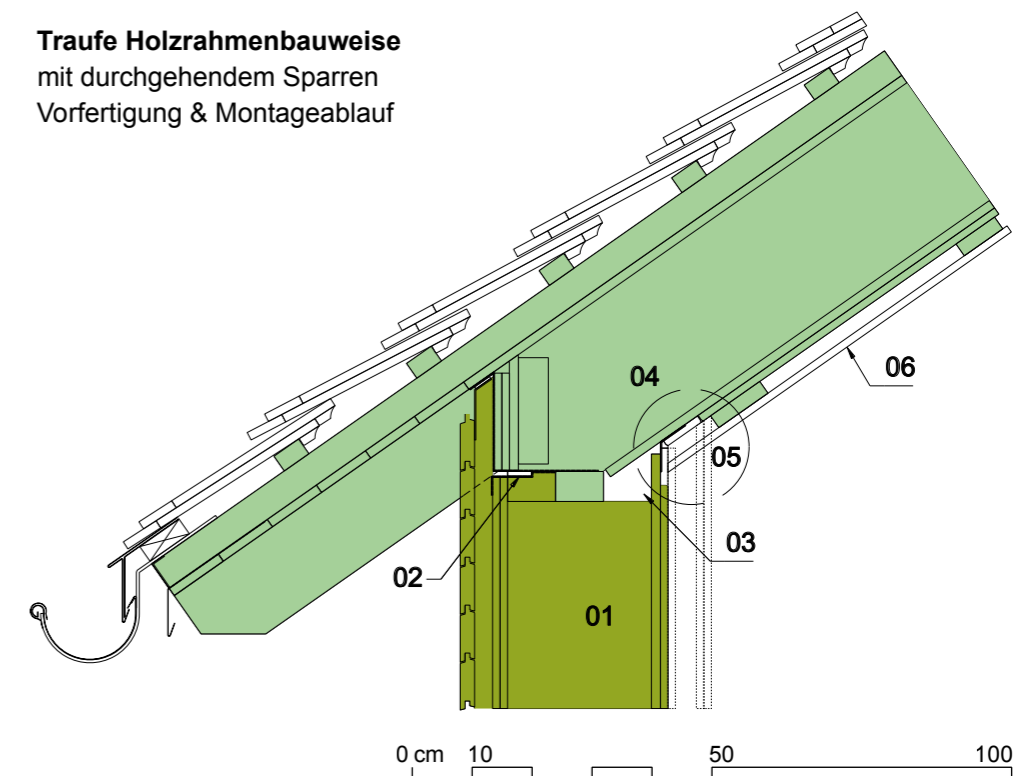


Abb. 7.07 — Vorfertigungsgrenzen und Montageablauf

Ergänzend werden in einer weiteren PDF-Datei und in der DWG-Datei wie in Abb. 7.07 dargestellt zu jedem Konstruktionsdetail Montageabläufe und Vorfertigungsgrenzen angegeben. Die farbig markierten Flächen zeigen die vorgefertigten Elemente, nicht eingefärbte Bauteile werden vor Ort ergänzt. Die Nummerierung beschreibt die Einbau-reihenfolge der Montage. Ergänzende Beschreibungen finden sich im Schriftkopf.

Zusätzlich zu den Konstruktionsdetails zum Anschluss an den unsanierten Bestand sind solche mit thermischer Bestandssanierung vorhanden (Abb. 7.08). Dabei ist wie weitge-hend üblich eine Putzfassade des Bestandes angenommen, die mit einem vorgefertigten System verkleidet wird. Dieses besteht aus einem Holzrahmen mit außenliegender DHF- oder zementgebundener aussteifender Platte, Dämmung und innenliegender Konvek-tionsbarriere als Transportschutz der Dämmung und wird auf eine vorab aufgebrachte Lage komprimierbarer Mineralfaserdämmung zur Vermeidung von konvektiven Fehlstel-len montiert.

Bestandssanierung mit vorgefertigten Elementen

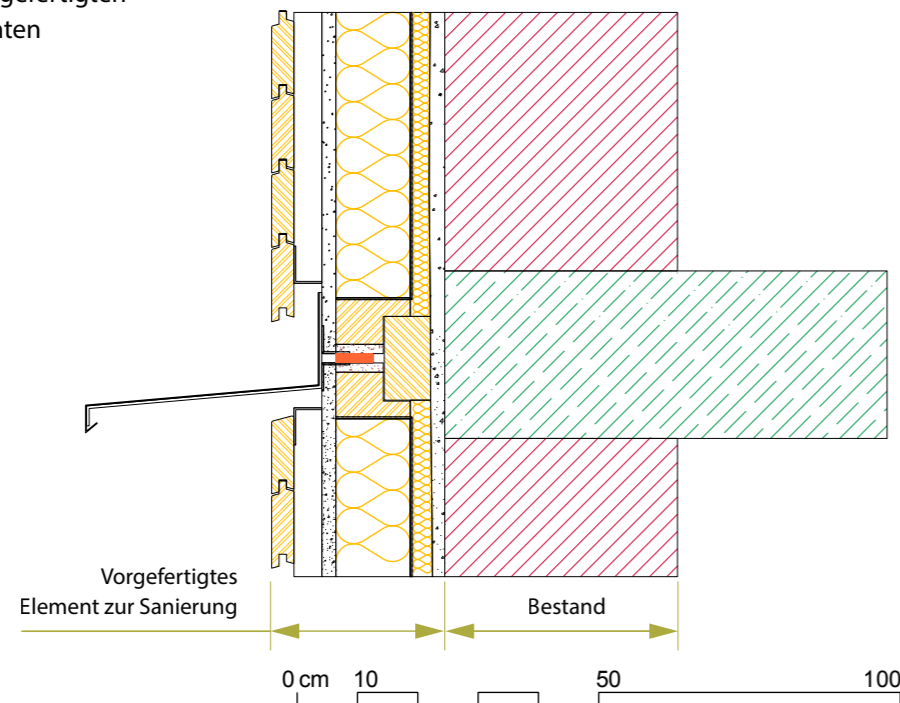


Abb. 7.08 — Thermische Bestandssanierung mit vorgefertigten Elementen

Einzelne Details enthalten Bauteile, deren Aufbauten im Bauteilkatalog nicht vordefiniert wurden, da sie sich außerhalb der Systemgrenze befinden oder aufgrund fehlender Daten zum Bestandsgebäude nicht vordefiniert werden konnten. Solche Sonderfälle sind bei-spielsweise Schachtwände, Brandwände, Wände zum Stiegenhaus oder Bestandsdecken und -wände. Soweit möglich wurden derartige Bauteilaufbauten in den jeweiligen Kon-struktionsdetails beschrieben.

Für ausgewählte Details liegen ergänzend Wärmebrückenberechnungen unter Angabe der Randbedingungen und Ψ -Werte sowie Abschätzungen des Kondensats im Bauteil-inneren, berechnet mithilfe eines 2D-Glaser-Verfahrens, vor. Dabei handelt es sich um keinen normgerechten Nachweis. Die Berechnung dient ausschließlich zur Einschätzung kritischer Bereiche und weist darauf hin, wo bei hinsichtlich Diffusion oder Feuchtebelas-tung kritischen Modifikationen ein thermohygrischer Nachweis erforderlich sein könnte. Da die Berechnungen den Grundlagen des Glaser-Verfahrens unterliegen, wird für die Kondensatabschätzung nur Wasserdampfdiffusion unter stationären Randbedingungen berücksichtigt. Feuchtetransport, Raumluftkonvektion, Schlagregen, Feuchtespeiche-rung und weitere Einflussfaktoren werden bei diesem Verfahren vernachlässigt. Es kann daher keine genaue Vorhersage der Feuchtebildung im Bauteil erfolgen. Zonen, in denen Kondensat auftreten kann, sind jedoch grafisch gekennzeichnet.

7.2.3. — Statische Vordimensionierung

Für die Anwendung im Entwurf steht eine Vordimensionierungstabelle mit Angaben zu erforderlichen Querschnitten zur Verfügung. Aus der Bestandsanalyse und Beispielent-würfen wurden repräsentative Lagerungs- und Spannweitenvarianten gewonnen und darauf aufbauend vier statische Systeme als Lagerungsvarianten ausgewählt. Die Band-breite möglicher Stützweiten der neuen freitragenden Geschoss- und Dachdecken reicht von 4,5 bis 7,5 m.

Unter Annahme unterschiedlicher Parameterkombinationen wurden Vorbemessungen durchgeführt und in eine Tabelle übertragen, wobei Stützweiten in Schritten von einem halben Meter abgedeckt wurden. Die Vordimensionierung erfolgte für die Städte Salz-burg mit den geringsten und Zell am See mit den höchsten Schneelasten der Salzburger Bezirksstädte.

Die Tabelle wurde nach Bauteilart in Zeilen und nach statischem System in Spalten un-terteilt, jedoch sind im Anwendungsfall mehrere Parameter zur Auswahl notwendig. Es sind Informationen zur Bauteilart, der Bauweise, dem Bauteilkürzel, angenommenen Stützweiten der Decken, der Anzahl der Aufstockungsgeschosse, der Bauteilposition im jeweiligen Aufstockungsgeschoss und zum Teil zur Bemessung von Wandöffnungen enthalten.

Als wichtige Faktoren gelten zunächst die Lastannahmen der Bauteile und die Nutzlasten. Je nach Ausführung des Daches ergeben sich unterschiedliche Lastannahmen. So reichen beispielsweise die Lastkategorien des Flachdaches von einem Aufbau ohne Bekiesung (Foliendach) mit 125 kg/m^2 bis zu einem Aufbau mit Bekiesung inklusive einer Auflast für Photovoltaik mit 350 kg/m^2 . Die Querschnittsauswahl von Wänden mit Öffnungen erfolgt analog zu den bemessenen Querschnitten für Bauteile ohne Öffnungen. In der Tabelle wurden konstruktive Details wie z.B. der Steherabstand e angegeben, wenn sie statisch relevant sind.

Weitere technisch-konstruktive Angaben wie Öffnungsgröße und Transportfähigkeit oder FEM-Modellierung massiver CLT-Scheiben oder -Platten müssen über eine projekt-spezifische Ausführungsstatik bestimmt werden.

7.2.4. Handbuch

Das Handbuch beschreibt Rahmenbedingungen und Systemgrenzen sowie die Anwendungsregeln des Holzbausystems. Es beinhaltet Angaben zu Entwurf und Planung, Tragsystemen, Bauteilen und Konstruktionsdetails, Anhänge mit ergänzenden Informationen und Nachweisen sowie die gutachterlichen Beurteilungen. Im Abschnitt Entwurf und Planung werden die Systemgrenzen und die Voraussetzungen einer Systemanwendung beschrieben und eine Übersicht über die Systembestandteile gegeben. Der Abschnitt Tragsysteme umfasst die Anforderungen an Bestandsgebäude, den grundsätzliche Montageablauf und die Anwendung der in Abschnitt 7.2.3 beschriebenen Dimensionierungstabelle. Weiters wird erläutert, welche Tragwerkssituationen in Massivbauweise und Rahmenbauweise untersucht wurden. Der Abschnitt Bauteile gibt einen Überblick über alle im Bausystem enthaltenen Bauteilaufbauten, deren Struktur und Varianten und erläutert die Nomenklatur. Er beschreibt die definierten Anforderungen sowie die normativen und rechtlichen Anforderungen in den Bereichen Wärmeschutz, Schallschutz, Brandschutz, Feuchtenachweis und OI3-Nachweis und enthält systembezogene Anmerkungen zu Schallschutz, Brandschutz und Wärmeschutz. Der Abschnitt Konstruktionsdetails enthält eine Übersicht über die im System enthaltenen Baudetails, Anwendungshinweise und die definierte Nomenklatur und erläutert die Anbindung an den Bestand und die im System berücksichtigte Bestandssanierung.

7.3. Zugang und Verfügbarkeit

Die Systementwicklung richtet sich primär an Unternehmen. Die oben beschriebenen Unterlagen stehen Unternehmen und Forschungseinrichtungen nach Registrierung und Bekanntgabe der vorgesehenen Nutzung kostenfrei und ohne Nutzungseinschränkungen zur Verfügung. Das System ersetzt aber nicht die fachliche Beratung, Planung und Bemessung im Einzelfall und die FH Salzburg übernimmt keine Haftung.

Unternehmen erhalten bis auf Widerruf sofort nach der Registrierung und dem Akzeptieren von Nutzungsbedingungen und Datenschutzvereinbarung einen Download-Link zugesandt. Sie dürfen frei über die bereitgestellten Unterlagen verfügen, diese nutzen und abändern, in eigene Planungen und Systeme aufnehmen und unterliegen auch nicht der Forderung, ihre Abänderungen unter einer freien Lizenz zu veröffentlichen. Forschungseinrichtungen werden nach Bekanntgabe der geplanten Nutzung kontaktiert und benötigen in der Regel eine weitergehende Nutzungs- oder Kooperationsvereinbarung, bevor sie den Download-Link erhalten.

Die Registrierung ist über die Projektwebseite alpinesbauen.at und die Projektwebseite Alpines Bauen auf der Webseite der FH Salzburg fh-salzburg.ac.at oder direkt unter der Adresse zab-db.fh-salzburg.ac.at möglich. Auf der Registrierungswebseite ist ein Feedbackformular eingerichtet.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

GK	Gebäudeklasse
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
CLT	Cross Laminated Timber (Brettsperrholz)

LITERATURVERZEICHNIS

Austrian Standards International (2018 02 01). *ÖNORM EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren* (gültig EN ISO 6946). Wien. Austrian Standards International.

Austrian Standards International (2020 01 01). *ÖNORM B 8110-2: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 2: Wasserdampfdiffusion, -konvektion und Kondensationsschutz* (gültig ÖNORM B 8110-2:2020 01 01). Wien. Austrian Standards International.

IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH (Oktober 2018). *Leitfaden zur Berechnung des Oekoindex OI3 für Bauteile und Gebäude: Version 4.0.*

Österreichisches Institut für Bautechnik (2019a). *OIB-Richtlinie 5 – Schallschutz: OIB-RL5.*

Österreichisches Institut für Bautechnik (2019b). *OIB-Richtlinie 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz: OIB-RL6.*

8. Multifunktionale Gebäudehülle mit Bauteilaktivierung von Massivholz

MICHAEL MOLTINGER
ANDREAS SCHWEIGER
DANIEL HEIDENTHALER
MARKUS LEEB
MICHAEL GROBBAUER

In Zusammenarbeit der Forschungsschwerpunkte Energiesysteme und Gebäudehüllen wurden eine allgemeine Funktionssystematik für multifunktionale Gebäudehüllen und spezielle Zielvorgaben für eine Multifunktionsfassade entwickelt.

Darauf und auf den Initiativen zu thermisch aktivierten Bauteilsystemen und vorgefertigten Holzmassivbauteilen aufbauend wurden Voruntersuchungen zur Eignung einer Multifunktionsfassade mit thermischer Aktivierung von Massivholz und natürlicher und/oder mechanischer Lüftung im Wohnbau durchgeführt.

Für einen physischen Prototyp wurde ein geeigneter Bauteilaufbau des Holzbausystems adaptiert und mit bauwerksintegrierter Photovoltaik versehen, die in einer zukünftigen Variante die Energie für eine Kleinstwärmepumpe bereitstellen wird. Eine wechselbare Innenverkleidung aus Holzwerkstoff- bzw. Gipsbauplatten erlaubt unterschiedliche thermische Trägheit der wärmeabgebenden Fläche.

Der Prototyp wurde im November 2022 in den Fassadenprüfstand Twin²Sim der FH Salzburg eingebaut und wird in Folge in unterschiedlichen Szenarien messtechnisch untersucht. Mit den Ergebnissen werden die initialen digitalen Zwillinge verfeinert.

8.1. Einleitung

Im Arbeitsplan und als Ziel des Zentrum Alpines Bauen war von Beginn an die Entwicklung eines anfänglich technisch nicht näher spezifizierten Prototyps einer multifunktionalen Gebäudehülle festgelegt, dessen Entwicklung gegen Projektende in der Zusammenführung der Arbeitsschwerpunkte der FSPe 1 und 2 erfolgen sollte.

Aufgrund der Klima- und Energiekrise steht die Baubranche vor Herausforderungen wie dem zunehmenden Bedarf an Wohnraum in urbanen Agglomerationen oder der Reduktion des CO₂-Ausstoßes und Energieverbrauchs. Multifunktionale Gebäudehüllen können Beiträge dazu und zum Nutzungskomfort sowohl beim Neubau als auch bei Sanierung leisten. Sie stellen Gebäudehüllen mit integrierten gebäudetechnischen Anlagenteilen wie mechanische Lüftung oder Wärme- und Kälteabgabe dar und werden seit den 1920er Jahren wiederkehrend konzipiert und diskutiert. Erste Bauwerke wie die Cité de Refuge aus dem Jahr 1929 von Le Corbusier scheiterten – auch wenn prinzipiell funktionsfähig – an mangelnder Kenntnis über naturwissenschaftliche und technische Randbedingungen sowie an falschen wirtschaftlichen Entscheidungen (vgl. Diaz & Southall, 2016). Neuere Ansätze in Forschung (vgl. Mach et al., 2015) und Praxis vorwiegend im Metallfassadenbau waren vielfach zu schwer und technisch überladen und damit unwirtschaftlich, wenn auch wissenschaftlich aufschlussreich.

An der FH Salzburg wurden multifunktionale Fassaden zur Sanierung und thermischen Aktivierung von Bestandswänden entwickelt und erfolgreich getestet (Hinterseer et al., 2019) sowie als Schallabsorber für den Außenraum eingesetzt und untersucht (Portugaller, B., Leeb, M., Fallast, K., Struger, N., Reiter, T., 2018).

Die hier untersuchte Multifunktionsfassade in Holzbauweise für Neubau und zukünftig auch Sanierung mit integrierter Wärme- und Kälteabgabe und Lüftung mit der Möglichkeit zur modularen Erweiterung für die serielle und breitenwirksame Anwendung ist ein nächster Schritt hin zum klimaneutralen Bauen.

Auf Basis der bisherigen Erfahrungen in Forschung, Praxis und eigenen Entwicklungen stellen multifunktionale Gebäudehüllen weiterhin ein zentrales Forschungsthema im Studiengang Smart Building und dem Zentrum Alpines Bauen an der FH Salzburg dar, wo auch die für deren Entwicklung und Untersuchung unabdingbare multidisziplinäre Kompetenz aus Baukonstruktion, Bauphysik und Gebäudetechnik in einem Team gegeben ist. Allerdings liegt der Schwerpunkt nicht in der Aggregation einer Vielzahl von technischen Funktionen in einem Konzept, sondern in der systematischen Entwicklung von modular kombinierbaren, sorgsam technischen Ergänzungen und Unterstützungen angestammter Funktionen der Gebäudehülle. Die systematische Herangehensweise wird als fachlich und wirtschaftlich sinnvoller Zugang zum Thema gesehen. Dabei werden angestammte Grundfunktionen, die optimiert werden können, und additive Servicefunktionen, bevorzugt unter Nutzung von Bauteilen der Grundfunktion, differenziert.

Zu Beginn des fünften Projektjahres wurden im Zentrum Alpines Bauen systematische Grundlagen zu multifunktionalen Gebäudehüllen erarbeitet und in Folge zu einem Prototypentwurf ausgearbeitet. Darauf aufbauend wurden Voruntersuchungen durchgeführt,

Konstruktionspläne erstellt und im November 2022 der Prototyp gefertigt, in den Prüfstand des Versuchsgebäudes Twin²Sim der FH Salzburg am Standort Kuchl eingebaut und mit Gebäude- und Messtechnik versehen.

8.2. Grundlagen

8.2.1. Systematik

Die vorliegende Systematik wurde in mehreren Workshops auf Basis des Fachwissens aus der Gebäudetechnik, der Baukonstruktion und des Fassadenbaus entwickelt.

Zu den für multifunktionale Gebäudehüllen relevanten Grundfunktionen (Tab. 8.01) zählen neben Tragwerksbildung und baulichen Schutzfunktionen wie Wärme-, Schall-, Brand- und Feuchteschutz auch Lüftung, Tageslichtversorgung und die beidseitige Oberflächengestaltung. Beim Tragwerk muss zwischen Bildung und Mitwirkung am Tragsystem des Gebäudes und dem Tragsystem der Gebäudehülle unterschieden werden. Der Feuchteschutz umfasst den klimabedingten Feuchteschutz (Diffusion, Kondensation), den Schutz gegen Spritzwasser und den Schlagregenschutz. Die Hülle muss statisch und konstruktiv im Einzelfall an Freisitze anschließbar und, im Falle der Sanierung, an den Bestand in Größe, Form und Konstruktion anpassbar sein, um z.B. vorgefertigte Fassaden mit Fenstern an die bestehenden Öffnungen anzubinden.

Neben den hier aufgeführten Grundfunktionen existiert natürlich eine Reihe weiterer, jedoch nicht für multifunktionale Gebäudehüllen spezifischer Funktionen wie Korrosions-, Erosions- oder UV-Beständigkeit bzw. generell Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse.

Multifunktionale Gebäudehüllen – Systematik Grundfunktionen					
Funktionen der Gebäudehülle		Anwendungsgebiet			
Funktionsgruppe	Funktionen	Neubau & Nachverdichtung		Sanierung	
		Wohnbau	Bürobau	Wohnbau	Bürobau
Tragsysteme und bauliche Schutzziele	primäres Tragsystem	•	-	-	-
	tertiäres Tragsystem	•	•	•	•
	Wärme- und Feuchteschutz	•	•	•	•
	Brandschutz von innen	•	•	-	•
	Brandschutz von außen	•	•	•	•
Lüftung	Schallschutz	•	•	•	•
	Natürliche Fensterlüftung	•	•	•	•
Tageslichtnutzung	Lichttransmission/Bauteilöffnung	•	•	•	•
Oberflächengestaltung	Außenverkleidung	•	•	•	•
	Innenverkleidung	•	•	•	•
Anschlüsse	Anschluss Freisitze	•	○	•	○
	Mechanische Kopplung an Bestand	-	-	•	•
	Adaptierung Bestandsöffnung	-	-	•	○
Legende	•	geeignet			
	○	bedingt geeignet			
	-	nicht zutreffend			

Tab. 8.01 Systematik der Grundfunktionen multifunktionaler Gebäudehüllen

Nicht alle der geschilderten Funktionen sind immer oder in derselben Ausprägung durch die nutzungsspezifische Gebäudehülle zu erfüllen. So wird im Falle einer Sanierung die Gebäudehülle selten der Ertüchtigung des Tragwerks dienen und somit auch nicht Bestandteil des primären Tragsystems sein, wohingegen das im Neubau mit Ausnahme von Vorhangfassaden die Regel ist. Dies hat natürlich Einfluss auf Aufbau und Konstruktion der zu entwickelnden Bauteile, aber auch auf die Integration der Servicefunktionen (Tab. 8.02).

Multifunktionale Gebäudehüllen – Systematik Servicefunktionen					
Funktionen der Gebäudehülle		Anwendungsgebiet			
Funktionsgruppe	Funktionen	Neubau & Nachverdichtung		Sanierung	
		Wohnbau	Bürobau	Wohnbau	Bürobau
Energieversorgung	Stromerzeugung (GIPV)	•	•	•	•
	Elektrischer Speicher	•	•	•	•
	Dezentrale Wärme- und Kälteerzeugung (GIST)	•	○	•	○
Energiespeicherung	Wärmespeichermasse im Bauteil	•	•	-	•
	Wärmespeichermasse im Bestand	-	-	•	○
Energieabgabe	Wärmeabgabe	•	•	•	•
	Kälteabgabe	○	•	○	•
Tageslichtnutzung	Lichtreflexion bzw. -lenkung	•	•	•	•
	Verschattung	•	•	•	•
Kunstlichtnutzung	Lichtreflexion bzw. -lenkung	•	•	•	•
Lüftung	Automatisierte Fensterlüftung	•	•	•	•
	Dezentrale mech. Lüftung (mit WRG)	•	○	•	○
	Frischluftkonditionierung	•	•	•	•
Gebäudeautomation	Einbindung Mess-, Steuer- und Regelungstechnik	•	•	○	○
Legende	•	geeignet			
	○	bedingt geeignet			
	-	nicht zutreffend			

Tab. 8.02 Systematik der Servicefunktionen multifunktionaler Gebäudehüllen

Dabei bilden Energieproduktion bzw. -konversion und -speicherung, Energieabgabe, Tageslichtnutzung, Lüftung und die zugehörige Gebäudeautomation die im Team identifizierten und im Fokus stehenden Schwerpunkte. Energiekonversion bzw. -produktion soll über gebäudeintegrierte Photovoltaik und Solarthermie erfolgen, die bauliche Wärmespeichermasse der neuen oder bestehenden Gebäudehülle dient als thermisch aktivierter Speicher, die Oberflächen der Energieabgabe oder Energieaufnahme. Diese Bauteilaktivierungssysteme müssen aus der Hülle (teil-)autonom versorgt oder an die Gebäudeinstallation angebunden werden. Neben Verschattung ist Lichtlenkung von Tages- und Kunstlicht aus der Hülle ebenso relevant wie (automatisierte) Fensterlüftung und/oder dezentrale mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung und eventuell Frischluftkonditionierung. Auch bei den Servicefunktionen liegen unterschiedliche Relevanzen abhängig von der Nutzung vor. So ist die Kälteabgabe im Wohnbau zwar zunehmend gefragt, kann aber bei richtiger Bauweise und angepasstem Betrieb nach wie vor vermieden werden und sollte das im Sinne der Energieeffizienz auch.

Derzeit werden dezentrale Abluftanlagen meist in Neubauten, Sanierungen und Nachverdichtungen verbaut. Diese Anlagen stellen den hygienischen Luftwechsel bereit.

Dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind leistungsfähig und haben den Vorteil, Wärme zurückzugewinnen – dieser Effekt hat auch im Sommer Vorteile. Am Tag wird das System mit WRG betrieben, um die warme Außenluft mithilfe der kälteren Abluft zu kühlen, bevor diese in den Raum eingebracht wird. In der Nacht wird die WRG mittels Bypass umgangen, um die kühle Nachtluft direkt in den Raum einzubringen. Da die Volumenströme von Lüftungsgeräten beschränkt sind, empfiehlt es sich im Sommer zusätzlich eine Nachtlüftung über Fenster durchzuführen und dadurch den Luftwechsel zu erhöhen.

Die im Rahmen dieser Systematik relevanten Servicefunktionen folgen den eingangs geschilderten Prämissen der Modularität sowie Ergänzung und Unterstützung angestammter Funktionen.

8.2.2. Forschungsziele

Basierend auf den Entwicklungen zu einem Holzbausystem im Forschungsschwerpunkt Gebäudehüllen wurde der gegenständliche Prototyp für die Wohnnutzung in Neubau und Nachverdichtung entwickelt. Entsprechend wurden die relevanten Servicefunktionen ausgewählt, die in unterschiedlichen modularen Funktionskonfigurationen untersucht werden sollen.

Die Forschungsziele sind:

- Untersuchung und Optimierung thermischer Bauteilaktivierung (TABS) von Massivholzbauteilen, deren Wärmeabgabe und -aufnahme nach bzw. von innen sowie die Erhöhung der genutzten Speichermasse durch Bauteilaktivierung an der Außenseite des Massivholzbauteils
- Energiebedarf und -effizienz sowie Heiz- und Kühlleistung des TABS und Einfluss der Überdeckung hinsichtlich Deckschichtdicke und -material
- Einfluss der dezentralen Lüftung mit WRG oder motorischer Fensteröffnung auf die Raumluftqualität
- Energiebedarf und -effizienz bei ertragsgesteuerter Energieproduktion durch Photovoltaik und Energiespeicherung
- Energieflexibilität durch Speicherung der Energie in den Bauteilen bzw. in den unterschiedlichen Schichten
- Bewertung der Behaglichkeit
- Einfluss der Himmelsrichtung und solaren Einstrahlung auf das Gesamtsystem
- Verhalten des Gesamtsystems und thermo-hygrisches Verhalten des Massivholzbauteils aus CLT

Zur Abdeckung dieser Forschungsziele weist der Prüfaufbau drei Varianzen auf. Die Lüftung kann entweder über Fensterlüftung natürlich (im Versuchsaufbau durch motorisches Öffnen und Schließen) oder mechanisch (Raumlüftungsgerät mit WRG) erfolgen. Die Innenoberfläche wird entweder durch eine Holzwerkstoffplatte gebildet, die das Verhalten bei Einbetten des Rohrleitungssystems in die CLT-Platte simuliert, oder durch Gipsbauplatten, die eine rascher reagierende Speichermasse in Ergänzung zum Massivholz bilden. Die CLT-Platte wird in zwei Ebenen (innen und außen) thermisch aktiviert, um herauszufinden, wie eine höhere Speichermasse genutzt werden kann und wie diese mit der raumbezogenen Regelung interagiert. Es wird untersucht, wie energieflexibel der Raum durch diese Fassade wird, also wie viel erneuerbare Energie im Bauteil gespeichert werden kann und wie lange der Raum keine neuerliche Energie benötigt bzw. die Energie unter Berücksichtigung der Behaglichkeit speichert.

Beiträge werden darüber hinaus zur vorgefertigten modularen Holzbauweise und Ökologisierung des Bauens erbracht. Modulare Holzbausysteme können in der urbanen Nachverdichtung als Maßnahme gegen den Mangel an leistbarem und qualitativem Wohnraum dienen und Massivholzprodukte stellen CO₂-Senken dar. Mit der Ergänzung von gebäudetechnischen Systemen wie Abgabesysteme für Heizen und Kühlen bereits in der Vorfertigung können die Qualität gesichert und die Systeme mit weiteren energieeffizienten Funktionen ausgestattet werden.

8.2.3. _____ Servicefunktionen des Prototyps

Neben den grundlegenden Bauweisen bzw. Grundfunktionen muss die Integration der zusätzlichen Servicefunktionen ermöglicht werden. Auf Basis der oben genannten Grundlagen wurden die Funktionen des Prototyps wie folgt gewählt.

Die integrierte Photovoltaik (BIPV) wird anfänglich ausschließlich zum praktischen Nachweis von Ertrag und Leistung verwendet. Die Daten dienen als Eingangsdaten zur Simulation der Konversion elektrischer in thermische Energie durch eine hüllenintegrierte Kleinstwärmepumpe, die Wärme in Massivholz einspeichert. Alternativ kann mit der gemessenen Globalstrahlung bauwerksintegrierte Solarthermie (BIST) simuliert bzw. die Kombination von BIPV und BIST untersucht werden, bei der Solarthermie als zusätzliche Wärmequelle in das Massivholz einspeist, wenn die Temperaturniveaus dies erlauben. Sowohl Solarthermie als auch Kleinstwärmepumpe können in einem späteren Umbau des Prototyps bei Bedarf auch praktisch untersucht werden.

Die äußere Bauteilaktivierungsebene (TABS) realisiert hauptsächlich die langfristige Wärmespeicherung im Massivbauteil, während die innere rascher reagieren soll und die Wärme- und Kälteabgabe für den Raum bereitstellt. Diese Aktivierungsebenen können die jeweilige Wärmeenergie einzeln oder gleichzeitig im Massivbauteil einspeichern. Dies geschieht auf Basis von Innenraumkonditionen und Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien.

Die notwendige Lichteintrittsfläche wurde nach OIB-Richtlinie 3 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019a) berücksichtigt. Es ist eine Verschattung durch einen Raffstore ohne Lichtlenkung eingeplant. Tageslichtqualität zählt nicht zu den Untersuchungszielen,

wohl aber die solaren Energiegewinne im Hinblick auf Energiebilanz im Heizfall und Leistung und Energiebilanz im Kühlfall.

Das dezentrale mechanische Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und die motorische Fensterlüftung stellen alternativ den erforderlichen Luftwechsel bereit. Dezentrale Systeme dienen der Einsparung oder Reduktion des Umfangs von zentralen Systemen im Fall von Sanierungen und Aufstockungen. Daher werden serielle Sanierungen mit integrierten dezentralen gebäudetechnischen Systemen zur Versorgung der Bestandsbauten mit erneuerbarer Energie zukünftig vermehrt gefordert und am Markt eingesetzt werden.

Die Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik wird verschiedene Systemkonfigurationen erlauben und dient der Erfassung der Sensordaten sowie der Implementierung der Regelalgorithmen für die Energieflexibilität.

Auch wenn der gegenständliche Prototyp für die Wohnnutzung gedacht ist, können doch Erkenntnisse und Eingangsdaten für die Simulation von Büronutzungen gewonnen werden. Maßgebliche Unterschiede liegen in der höheren erforderlichen Kühlleistung und Luftmenge sowie in der Regel in größeren Fensterflächen. Die Flächenkonkurrenz von Bauteilaktivierung, Fensterflächen, Lüftungsflächen und Flächen für BIPV wird größer, allerdings auch das Raumvolumen und die Geschosshöhe. Simulationsgestützte Untersuchungen dazu sind nach Auswertung der Daten des Prototyps geplant.

8.3. _____ Systementwicklung

In der Systementwicklung wurden initial Simulationen zur Festlegung der erforderlichen Flächen für Bauteilaktivierung und Raumtemperierung unter Berücksichtigung der Belichtungsfläche durchgeführt. Geometrische Basis ist der Prüfraum des Prüfstandes (s. u.) mit 2,45 × 4,46 m, wobei die Raumhöhe auf 2,8 m festgelegt wurde, aber im Versuch veränderlich ist. Diese Raumhöhe umfasst einen konstruktiv notwendigen Sockel von 20 cm Höhe im Prüffeld, so dass die grundsätzlich nutzbare Höhe des Prüflings 2,6 m beträgt. Die Raumtiefe entspricht weitgehend einer sinnvollen Wohnraumtiefe, so dass die Fassadenfläche proportional der Raumfläche angenommen werden konnte.

Im konstruktiven Vorentwurf wurden neben der Entwicklung grundlegender Bauteilaufbauten einige Zielkonflikte zwischen Fenstergröße, Fläche zur Bauteilaktivierung und Photovoltaik iterativ gelöst und in Folge Konstruktionsdetails, Montageablauf und Sensorplanung durchgeführt.

8.3.1. _____ Simulationen

8.3.1.1. _____ Voruntersuchungen

Im Forschungsprojekt „aHolz“ und in einer Abschlussarbeit (Heidenthaler, 2020) wurde an der FH Salzburg die Bauteilaktivierung von Brettsperholz untersucht. Varianten mit einer Ausführungsdicke von 16 cm mit unterschiedlicher Lage des Rohrregisters sowie Varianten der Wärmeeinbringung (Heizungsrohr mit oder ohne Wärmeleitblech, Kapillarrohmatte) und mit unterschiedlichen Holzarten (Fichte und Buche) wurden im

Labormaßstab gefertigt. Die zu untersuchenden Prüflinge haben die Abmessungen 60×60 cm. Abb. 8.01 zeigt zwei Versuchsvarianten mit 3 cm Überdeckung von Oberkante Rohr zur Oberfläche mit Rohr und Wärmeleitblech links und mit Kapillarrohrmatte mittig. Rechts zu sehen ist die Fertigung des ersten Prüflings, welcher im Anschluss messtechnisch am eigenen Prüfstand untersucht wurde. Dabei wurden die Prototypen im Heiz- und Kühlbetrieb mit unterschiedlichen Temperaturniveaus beladen. Der Prüfling wurde mit Wärmestrommessplatten und in der Vertikalachse mit Temperaturfühler versehen, um Richtung und Größe des Wärmestroms und die Temperaturschichtung zu erfassen.



Abb. 8.01 Links sowie mittig zwei schematische Darstellungen der Untersuchungsvarianten und rechts ein Bild des ersten Prototyps aus Brettsperrholz für die weitere messtechnische Untersuchung

Dabei konnte die grundlegende Funktion sowie Eignung der Holzaktivierung für ausreichende Wärmebereitstellung nachgewiesen werden (Heidenthaler et al., 2021).

Für eine beispielhafte Oberflächentemperatur von 24°C , die bei 20°C Raumtemperatur und guter thermischer Gebäudehülle ausreichend zur Raumbeheizung ist, wird bei Fichtensperrholz und 3 cm Decklage über den Rohrleitungen eine Vorlauftemperatur von $38,3^\circ\text{C}$ benötigt. Bei 4 K Temperaturdifferenz zwischen Oberflächentemperatur und Raumlufttemperatur ergibt sich eine Wärmestromdichte von 26 W/m^2 . Bei 45°C Vorlauftemperatur lässt sich die Wärmestromdichte – die Wärmemenge, die in den Raum fließt – auf 30 W/m^2 erhöhen. Mit geringerer Decklagendicke kann eine höhere Wärmestromdichte erreicht werden, wie in Abb. 8.02 zu sehen ist.

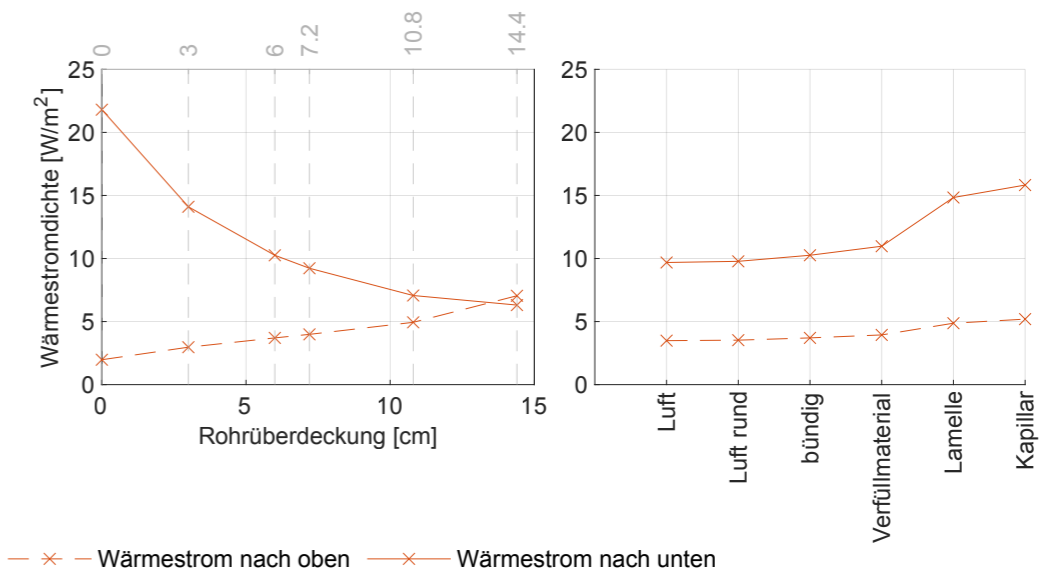


Abb. 8.02 Bauteilsimulation mit HTflux für die unterschiedlichen Wärmestromdichten nach Rohrüberdeckung und Einbringungsart

Zu sehen ist die Wärmestromdichte bei 30°C Vorlauftemperatur, 15 cm Rohrabstand mit unterschiedlichen Überdeckungen. Der „Wärmestrom nach unten“ zeigt in Richtung des beheizten Raumes. Bei einer Überdeckung von 6 cm wird eine Wärmestromdichte von etwa 10 W/m^2 erreicht. Wird die Überdeckung reduziert, erhöht sich bei gleichbleibender Vorlauftemperatur die Wärmestromdichte. So kann bereits bei 3 cm Überdeckung eine Wärmestromdichte von 14 W/m^2 erreicht werden, was eine Steigerung von 40 % bedeutet. Für die Bauteilsimulation wurden unterschiedliche Einbringungsarten untersucht: „Luft“ bedeutet eckige Fräsungen ohne Verfüllung, „Luft rund“ runde Fräsungen mit 0,5 mm Abstand zum Rohr, „bündig“ passgenaue Fräsungen und „Verfüllmaterial“ eckige Fräsungen zum Rohr verfüllt mit einer Vergussmase mit den wärmephysikalischen Eigenschaften von Zementestrich. Wird am Rohr eine Wärmeleitlamelle verbaut, kann dadurch die Wärmestromdichte nochmals deutlich gesteigert werden, wie in Abb. 8.02 rechts mit unterschiedlichen Einbringungsarten zu sehen ist. Die Variante „Kapillar“ bedeutet die Verwendung einer flächigen Kapillarrohrmatte, und erreicht die höchsten Wärmestromdichten. Als Standardvariante wird die bündige Einbringung gesehen. Wird diese um eine Wärmeleitlamelle ergänzt, kann die Wärmestromdichte deutlich gesteigert werden. Werden nun beide Parameter der Überdeckung und der Einbringung kombiniert, ergibt sich eine Wärmestromdichte von 29 W/m^2 bei 30°C Vorlauftemperatur, Einbringung mit Wärmeleitlamelle und 1,9 cm Rohrüberdeckung. Auf diesen Grundlagen bauen die weiteren Untersuchungen auf.

8.3.1.2. Bauteilsimulation

Mithilfe des Berechnungs- und Simulationsprogramms HTflux (Version 1.10) wurden in Folge Bauteilsimulationen durchgeführt. HTflux erstellt hochaufgelöste, zweidimensionale Simulationen des Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen und wurde für Variantenstudien zu Vorlauftemperaturen, Verwendung von Wärmeleitblechen und Lage und Nutzung der beiden Aktivierungsebenen genutzt.

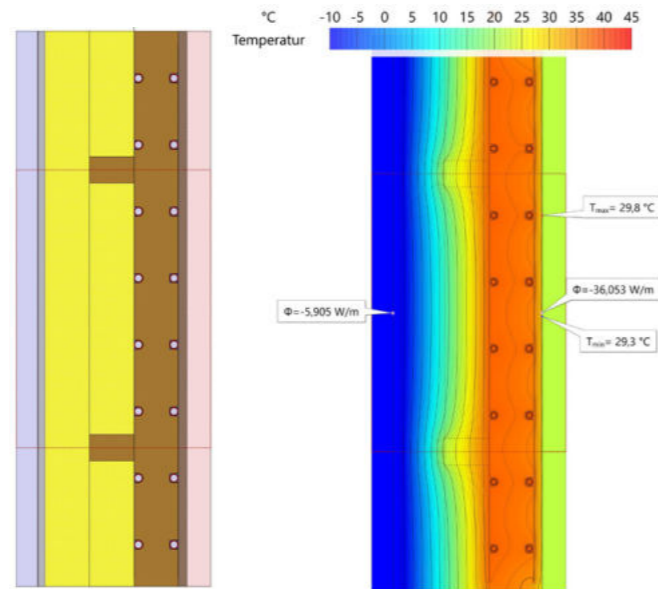


Abb. 8.03 — Bauteilsimulation mit HTflux als Horizontalschnitt

Das Bauteil besitzt in zwei Ebenen eine Bauteilaktivierung, die Rohrleitungen sind in die CLT-Platte eingefräst und werden zusätzlich in eine Wärmeleitlamelle eingebettet, um die Wärmeübertragung von Rohr zu Bauteil zu verbessern. In der Simulation wird eine Vorlauftemperatur von 38 °C mit einer Decklage von 19 mm Sperrholz verwendet. Aus der Simulation wurde ersichtlich, wie hoch die Oberflächentemperatur an der Innenseite mit geringer Überdeckung wird und wie hoch der Wärmestrom ist. Die Oberflächentemperatur beträgt zwischen 29,8 °C und 29,3 °C, je nachdem ob sich der Messpunkt direkt in der Rohrebene oder dazwischen befindet. Dieses Temperaturniveau an der Oberfläche würde dauerhaft als unbehaglich empfunden werden, ist aber nur bei der Auslegung relevant und kommt daher nur selten vor. Die maximale Vorlauftemperatur wurde in Folge in der dynamischen Gebäudesimulation in der Heizgradkennlinie berücksichtigt.

8.3.1.3. — Dynamische Gebäudesimulation

In der dynamischen Gebäudesimulation mit der Software IDA ICE (Version 4.8) wird ein Gebäudemodell betrachtet, welches Raum und Raumhüllflächen des Prüfraumes und der Multifunktionsfassade beinhaltet. Grundlage sowie Auslegung erfolgten auf Basis der vorangehenden Bauteilsimulation. Mithilfe der Gebäudesimulation können alle verbauten Komponenten abgebildet und realitätsnah überprüft werden. Die Multifunktionsfassade mit Bauteilaktivierung ist dabei als einziges Heizungssystem ausgeführt. Der Prüfstand hat eine Nettanutzfläche von 30 m² aufgeteilt auf zwei Prüfräume. Für die Simulation wird ein Prüfraum mit Prüffeld untersucht. In der dynamischen Gebäudesimulation wurden verschiedene Varianten betrachtet, welche sich vor allem in der Überdeckungsstärke, der verwendeten Materialität der Innendecklage, mit einer oder mit doppelter Aktivierungsebene im Bauteil sowie der aktivierten Fläche für die Bauteilaktivierung unterscheiden. Für die Auswertung wurde die Variantenkonstellation mit innen 19 mm Fichtensperrholzdecklage mit doppelter Aktivierungsebene der Bauteilaktivierung (innen und außen) mit Wärmeleitlamelle gewählt. Auf Basis der Simulationen kann

festgestellt werden, dass die Multifunktionsfassade den Prüfraum auf die erforderliche Raumtemperatur konditionieren kann. Es wurde eine maximale Oberflächentemperatur von 28,1 °C benötigt. Die Zieltemperatur betrug 22 °C, die simulierte Raumtemperatur lag zwischen 20,8 °C und 23,1 °C.

8.3.1.4. — Energieflexibilität

Energieflexibilität bezogen auf den Prototypen bedeutet, dass in Zeiten hoher erneuerbarer Energieproduktion das Bauteil durch die Bauteilaktivierung thermisch beladen und eventuell sogar überladen wird. Überladen bedeutet, dass kurzfristig mehr Energie in das Bauteil gebracht wird, als zum Erreichen der gewünschten Raumtemperatur notwendig ist. Der Bauteilspeicher wirkt als Wärmepuffer, Wärme wird im Bauteil gespeichert und langsam an den Raum abgegeben, wie bereits von Heidenthaler et al. (2021) nachgewiesen wurde. Die Speichermasse kann auch genutzt werden, wenn kein erneuerbarer Strom für die Wärmepumpe zur Verfügung steht und diese daher nicht in Betrieb geht, weil das Bauteil durch den „Wärmespeicher“ weiterhin den Raum mit Wärme versorgt und somit diese Zeitspanne überbrücken kann. Diese Fragestellungen sowie auch der Betrieb nur mit der integrierten Photovoltaikanlage sollen im Zuge der Versuche beantwortet werden.

8.3.2. — Konstruktion

8.3.2.1. — Voruntersuchungen

Im FSP Gebäudehüllen wurden Bauteile in Holzmassiv- und Holzrahmenbauweise für die vertikale Nachverdichtung in GK 5 entwickelt, jedoch keine Bauteilaktivierung von Massivholzplatten vorgesehen. Ein modifizierter Bauteilaufbau der Holzmassivbauweise mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade stellt die konstruktive Basis des gegenständlichen Prototyps dar. Um die Querschnittsschwächung durch die Fräsungen für die Rohrleitungen zu kompensieren, wurde die tragende CLT-Platte fünfschichtig und dicker geplant. Die Holzfassade wurde durch Photovoltaik (GIPV) bzw. eine Dreischichtplatte aus Lärche ersetzt.

8.3.2.2. — Zielkonflikte

Im Konstruktionsentwurf mussten einige Zielkonflikte gelöst werden. Für die Wandinnenseite liegt ein solcher für die erforderliche Belichtungsfläche nach OIB-Richtlinie 3 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019a) und die durch die Simulationen ermittelte notwendige Wärmeabgabefläche vor. Auch ist nicht die gesamte innere Prototypenfläche nutzbar, da die Befestigungen am Prüfstand über eingefräste Winkel erfolgen und Fräsabstände einzuhalten sind. Das Fenster musste eine für den Wohnbau übliche Größe und Proportion aufweisen und über ein ausreichend hohes Parapet nach OIB-Richtlinie 4 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019b) verfügen. Die Sturzhöhe sollte möglichst gering sein, um die Belichtung über die gesamte Raumtiefe sicherstellen zu können. Die aus der Raumseite erwachsenden Zwänge der Fenstergröße und Anordnung sowie die Lage und Größe des Lüftungsgerätes stellen maßgebliche Einschränkungen dar. In einer Serienfertigung kann dieses Problem durch spezifisch in passenden Abmessungen und größerer Stückzahl gefertigte Module gelöst werden, wobei

auch hier Einschränkungen der Gestaltung zu erwarten sind und eine frühzeitige Koordination erforderlich ist. Änderungen nach der Geometriefestlegung sind weitgehend ausgeschlossen.

Im Außenbereich mussten die Leitungsführung und die Lage der Konterlattungen aufeinander abgestimmt werden. Die maßgebliche Schwierigkeit war jedoch, lieferbare und für die Fassade zugelassene Photovoltaikmodule in geeigneten Abmessungen zu finden.

Die im Prototyp verfügbare geringe Photovoltaikfläche schränkte die mögliche Auswahl an Strangwechselrichtern mit ausreichender Kommunikation ein.

8.3.2.3. — Konstruktionsentwurf

Nach Lösung der Konflikte lag der in Abb. 8.04 für die Außen- und Innenansicht jeweils für den Prüfraum 1 dargestellte endgültige Konstruktionsentwurf vor.

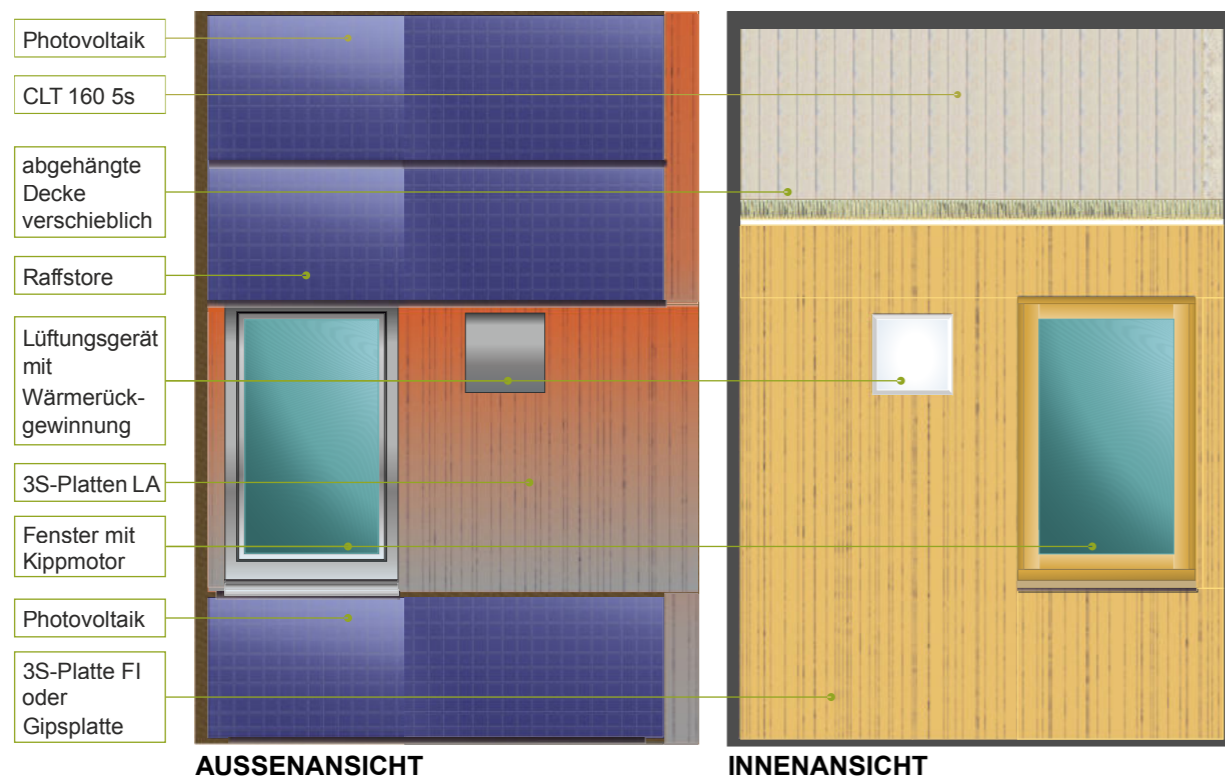


Abb. 8.04 — Außen- und Innenansicht Prototyp

Auf der Außenseite deckt die Photovoltaik in Stülpedeckung den Bereich über dem Fenstersturz und das Parapet ab und wird jeweils seitlich horizontal fortgeführt. Die beiden unterschiedlichen Modulbreiten wurden zur Maximierung der Photovoltaikfläche gewählt. Der Raffstorekasten ist hinter der Photovoltaik verdeckt angeordnet.

Ergänzend zur bestehenden Fassade, den Photovoltaikmodulen und dem Holz-Aluminium-Fenster kommen Außenverkleidungen aus Dreischichtplatten aus Lärche, im

Mittelfeld unterbrochen vom Lüftungsgerät, zum Einsatz. Das Dreh-Kipp-Fenster kann motorbetrieben bedient werden, um automatisiert unterschiedliche Lüftungsszenarien mit ihrem Einfluss auf Raumluftqualität und Temperaturverhalten untersuchen zu können. Alternativ kommt das fassadenintegrierte Wohnraumlüftungsgerät zum Einsatz. Dieses dezentrale Lüftungsgerät weist eine Förderleistung von bis zu 60 m³/h bei einer Wärmerückgewinnung von > 70 % auf.

Auf den Ansichten der CLT-Platte in Abb. 8.05 werden die Lage der Rohrleitungen auf der Innen- und Außenseite sowie die Frästaschen für die umlaufende Befestigung und die erforderlichen Durchbrüche für Fenster, Lüftungsgerät sowie Rohr- und Sensorleitungen ersichtlich.

Innen ist die gesamte raumzugeordnete freie Fläche initial mit Dreischichtplatten aus Fichte verkleidet, die später gegen eine Gipsbauplattenverkleidung getauscht werden. Die Holzwerkstoffplatte dient auch zur Untersuchung der Einbettung der Bauteilaktivierung in die Massivholzplatte. Die Gipsbauplatten weisen eine geringere thermische Trägheit auf und sollten Veränderungen des Wärme- oder Kältebedarfs durch ein rascheres Reagieren des Systems erlauben.

Da der Prüfraum 3,8 m hoch ist, die Raumhöhe aber auf 2,8 m beschränkt werden muss, wurde eine in der Höhe justierbare Zwischendecke aus Holzwerkstoffplatten mit oberseitiger Mineralfaserdämmung eingebaut. Im Zwischendeckenbereich bildet direkt die CLT-Platte die Innenoberfläche.

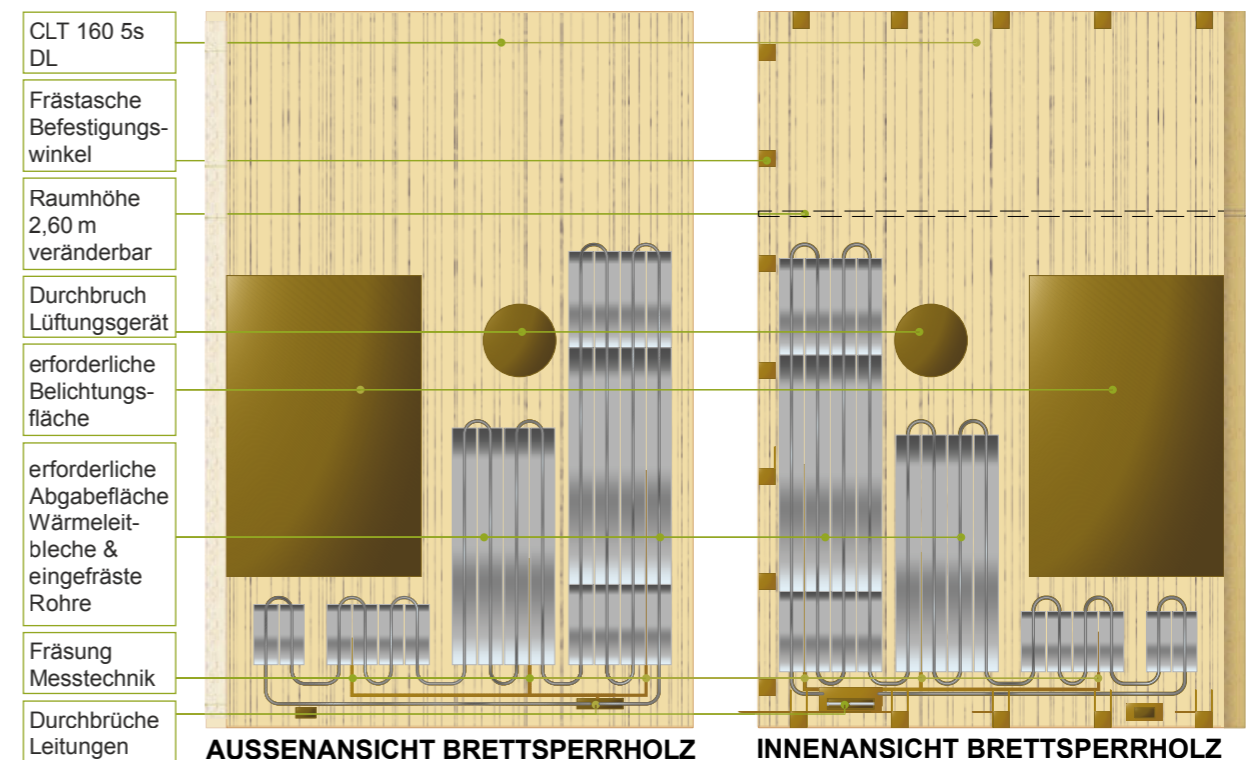


Abb. 8.05 — Außen- und Innenansicht CLT-Platte

8.3.2.4. — Aufbauten und Varianten

Der Vertikalschnitt in Abb. 8.06 zeigt den Prototypenaufbau im Bereich der Photovoltaik mit Innenverkleidung aus Dreischichtplatte in Fichte. Diese wird direkt auf die fünfschichtige, 160 mm dicke CLT-Platte mit Decklage in Längsrichtung aufgebracht. Dazwischen befinden sich die Flansche der Wärmeleitbleche (0,2 mm), während die Rohrleitungen inklusive Lamellen in die CLT-Oberfläche eingefräst sind und den statischen Querschnitt schwächen. Daher sind die Befestigungswinkel für das System eingefräst und auf der Mittellage verschraubt.

Auf der Außenseite der CLT-Platte folgen zwei je 120 mm dicke Lagen Mineralfaserdämmung ($\lambda=0,032 \text{ W/m}^2\text{K}$) zwischen Konterlattungen, wobei die Lage der inneren vertikalen Lattung an die der außenseitig in die CLT-Platte eingefrästen Rohrleitungen angepasst ist. Die Dämmung wird außenseitig mit einer Winddichtung aus DHF/DWD-Platten abgeschlossen und damit die äußere winddichte Ebene gebildet. Die innere luftdichte Schicht bildet die verklebte CLT-Platte.

Wandaufbau Photovoltaik, 3S-Platten innen

- 3S-Platte FI 40,0 mm
- Wärmeleitbleche 2,0 mm
- CLT 5S DL 160,0 mm
- Konterlattung vertikal & Dämmung 120,0 mm
- Konterlattung horizontal & Dämmung 120,0 mm
- DHF-Platte 16,0 mm
- Lattung vertikal 36,0 mm
- Photovoltaik & Unterkonstruktion 38,0 mm

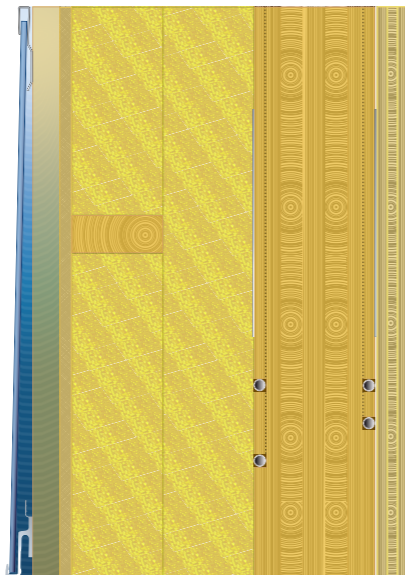


Abb. 8.06 — Vertikalschnitt im Bereich der Photovoltaik außen mit innerer Dreischichtplatte in Fichte

Die Photovoltaikmodule in Stülpedeckung werden mit Halteklammern an der vertikalen, auf der DHF/DWD-Platte verschraubten Lattung befestigt.

In Vertikalschnitt Abb. 8.07 ist die thermisch rascher reagierende Variante einer Innenverkleidung aus Gipsbauplatte anstelle der Dreischichtplatte dargestellt. Durch den modularen Aufbau können weitere Verkleidungsvarianten später nachgerüstet werden. Als Außenverkleidung ist in diesem Schnitt die Dreischichtplatte aus Lärche auf vertikaler Lattung dargestellt.

Wandaufbau

3S-Platten außen, Gipsplatte innen

- Gipsbauplatte 20,0 mm
- Wärmeleitbleche 2,0 mm
- CLT 5S DL 160,0 mm
- Konterlattung vertikal & Dämmung 120,0 mm
- Konterlattung horizontal & Dämmung 120,0 mm

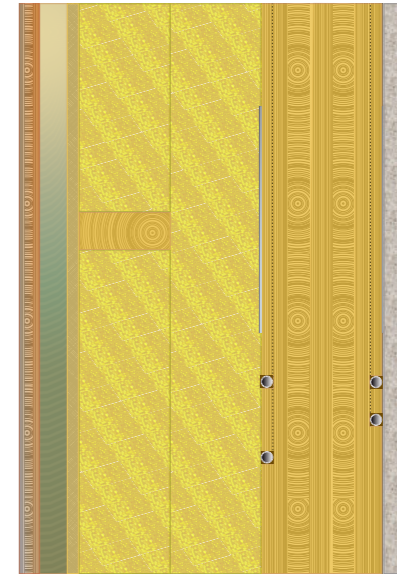


Abb. 8.07 — Vertikalschnitt im Bereich der äußeren Dreischichtplatte in Lärche mit Gipsfaserplatte innen

8.4. — Versuche

8.4.1. — Prüfumfeld

Der Prototyp ist im Gebäudehüllenprüfstand des Versuchsgebäudes Twin²Sim eingebaut. Der Prüfstand befindet sich am Flachdach des Versuchsgebäudes und ist zur Ermittlung der Einwirkung unterschiedlichen Globalstrahlungsangebotes drehbar.

Abb. 8.08 zeigt die im Versuchsgebäude möglichen Untersuchungen, wobei die relevanten Prüffelder mit grün hinterlegten Funktionsbeschreibungen versehen sind.

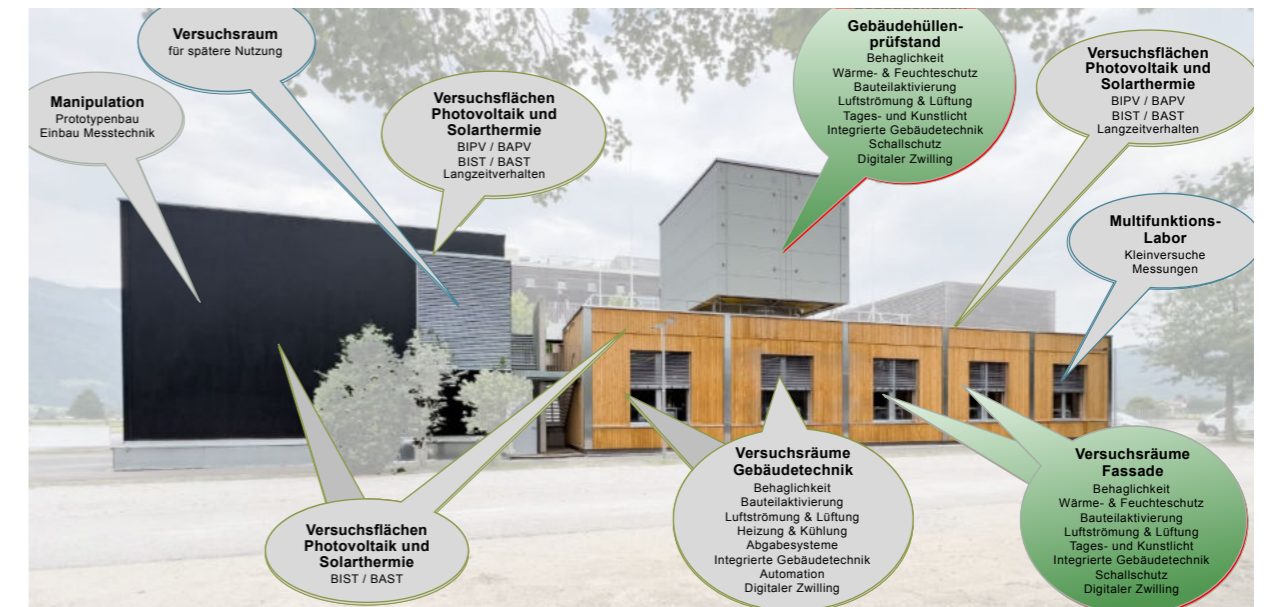


Abb. 8.08 — Versuchsgebäude mit Fassadenprüfstand „Twin²Sim“ an der FH Salzburg

Der Gebäudehüllenprüfstand hat eine Nettotonutzfläche von ca. 30 m² und verfügt neben einem Eingangs- und Technikraum über zwei Prüfräume mit Abmessungen von jeweils 4,46 × 2,45 × 3,8 m. Die beiden Prüfräume sind durch eine schalltechnisch hochwertige doppelte Ständerwand getrennt und schließen mit einem gemeinsamen Prüffeld (5,2 × 3,6 m) nach außen ab. Das Prüffeld befindet sich auf der mit dem grünen Pfeil gekennzeichneten Fassade und ist in der Abbildung mit einem Element zum Einmessen des Systems mit Faserzementverkleidung verschlossen.

Der Prüfstand wird mit einer eigenen Wärmepumpe (17 kW Leistung) versorgt und hat zwei wassergefüllte Pufferspeicher (je 500 l), die über die Wärmepumpe gekühlt oder aufgeheizt werden, um ein gleichzeitiges Heizen und Kühlen zu ermöglichen.

Die Außenbauteile der Prüfräume sind auf zwei Ebenen geheizt bzw. gekühlt. Die äußere Ebene dient dazu einen quasi-adiabaten Zustand bezogen auf die Außenbedingungen zu erreichen, die innere dazu, sehr präzise die Raumtemperatur steuern zu können oder im Falle kalorischer Untersuchungen Wärme abzuführen. Prüflinge wie der gegenständliche Prototyp verbleiben je nach Komplexität der Untersuchungen zwei bis vier Monate im Prüfstand, bis ausreichend Daten für die digitalen Zwillinge und Simulationsmodelle gesammelt wurden.

Für die Langzeituntersuchung in Wechselwirkung mit den als Büros genutzten Versuchsräumen können Prüflinge in die beiden Prüffelder der Fassade im Versuchsgebäude transferiert werden, die die gleichen Abmessungen und Anschlusskonstruktionen aufweisen.

8.4.2. — Geplante Versuche und Szenarien

Unter Anwendung synthetischer Wärme- und Feuchtequellen wird ein der Wohnnutzung entsprechendes Raumklima eingestellt. Durch Drehen des Prüfstandes werden unterschiedliche solare Einstrahlungen auf das Prüffeld wirken und so Daten für die Simulation von wechselnden Außenklimata im Jahresverlauf gewonnen.

Durch Heizen und/oder Kühlen einer oder beider Aktivierungsebenen wird in unterschiedlichen Szenarien untersucht, wie viel Wärme in den Massivholzbauteil eingespeichert bzw. entzogen werden kann. Dabei wird die Veränderung der Schichttemperaturen der Innen-, CLT- und DHF/DWD-Oberfläche ebenso wie der Wärmestrom durch den Bauteil an unterschiedlichen Stellen gemessen, um Daten über die Wärmeverteilung und den Einfluss auf den Innenraum zu gewinnen.

Zu Erfassung der solaren Wärmegewinne über das Fenster werden der Sonnenschutz geregelt und innen und außen sowohl Beleuchtungsstärke als auch Globalstrahlung in vertikaler Ebene erfasst.

Szenarien der natürlichen und mechanischen Lüftung erlauben Rückschlüsse auf das Abkühl- und Aufheizverhalten des Raums und des Prototyps im Zuge von Lüftungsvorgängen sowie auf nächtliches sommerliches Abkühlen.

Im Raum werden konstant operative Temperatur, Raumluftfeuchte und Raumlufttemperatur sowie Oberflächentemperatur und Wärmeströme durch alle Außenflächen und in den Nachbarprüfraum dokumentiert.

Begleitend zu einzelnen noch festzulegenden Szenarien wird die Behaglichkeit nach Fanger gemessen und an der Innen- und Außenoberfläche der CLT-Platte die Holzfeuchte erfasst, um ungünstiges Austrocknen oder Auffeuchten zu erkennen. Leistung und Ertrag der Photovoltaik werden sowohl auf der Strangseite (Gleichstrom) als auch auf der Einspeiseseite (Netz, Wechselstrom) konstant aufgezeichnet.

DANKSAGUNG

Bedanken möchten wir uns herzlich bei den folgend genannten Unternehmen, die uns teilweise mit kostenfreien Sachleistungen, Rabatten und auch Personaleinsatz unterstützt haben:

- Belimo Stellantriebe Vertriebs GmbH
- Brüder Theurl GmbH
- Doka GmbH
- Geberit Vertriebs GmbH & Co KG
- Helios Ventilatoren GmbH + Co KG
- Internorm International Fenster GmbH
- Reiter Bau & Fenster GmbH
- Schlager Fensterbank GmbH
- Schlotterer Sonnenschutz Systeme GmbH
- Uponor Vertriebs GmbH
- Wilo Pumpen Österreich GmbH

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

CLT	Cross Laminated Timber (Brettsperrholz)
BIPV	Building Integrated Photovoltaic
BIST	Building Integrated Solar Thermal
BSP	Brettsperrholz
DHF	Diffusionsoffene Holzfaserverplatte
DWD	Diffusionsoffene Wand- und Deckenplatte
FSP	Forschungsschwerpunkt
GIPV	Gebäudeintegrierte Photovoltaik
GIST	Gebäudeintegrierte Solarthermie
GK	Gebäudeklasse
MFF	Multifunktionsfassade
OIB-Richtlinie	Richtlinie des Österreichischen Instituts für Bautechnik
PV	Photovoltaik
TABS	Thermisch aktiviertes Bauteilsystem
UV	Ultraviolett
VHF	Vorgehängte hinterlüftete Fassade
WRG	Wärmerückgewinnung

Portugaller, B., Leeb, M., Fallast, K., Struger, N., Reiter, T. (2018). Traffic noise reduction through acoustic absorption panels, integrated in prefabricated facade elements.: Smart Cities in Smart Regions 2018: Conference Proceedings. In Lahti University of Applied Sciences (Vorsitz), *The Publication Series of Lahti University of Applied Sciences*.

LITERATURVERZEICHNIS

Diaz, L. M. & Southall, R. (2016). Le Corbusier's Cité de Refuge: historical & technological performance of the air exacte. In J. Torres Cueco (Hrsg.), *Le Corbusier: 50 años después*. Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/LC2015.2015.796>

Friembichler, F., Bednar, T., Handler, S., Gladt, M., Neusser, M., Hofer, R. & Schöberl, H. (2014). *Thermische Bauteilaktivierung. Entwicklung eines Rechenkerns*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Wien. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/hdz/projekte/thermische-bauteilaktivierung-entwicklung-eines-rechenkerns-tba-calc.php>

Heidenthaler, D. (2020). *Bauteilaktivierung im Holzbau – Untersuchung der Funktionstauglichkeit anhand einer Parameterstudie* [Master's thesis]. Salzburg University of Applied Sciences, Salzburg.

Heidenthaler, D., Leeb, M., Schnabel, T. & Huber, H. (2021). Comparative analysis of thermally activated building systems in wooden and concrete structures regarding functionality and energy storage on a simulation-based approach. *Energy*, 233, 121138. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121138>

Hinterseer, S., Neusser, M., Bednar, T., Huber, H., Schnabel, T., Portugaller, B., Leeb, M., Karnutsch, M., Gnigler, M. & Reiter, T. (2019). *Smart Skin – Salzburger Multifunktionsfassade: Forschungsbericht*. FH Salzburg Holztechnologie & Holzbau; Technische Universität Wien; FH Salzburg Smart Building. https://www.fh-salzburg.ac.at/fileadmin/fhs_daten/studiengaenge/smb-smc/documents/SMB_publication2019.pdf

Mach, T., Grobbauer, M., Streicher, W. & Müller, M. J. (Hrsg.) (2015). *mppf – The multifunctional plug&play approach in facade technology*. Verl. der Techn. Univ. Graz.

Österreichisches Institut für Bautechnik (1. April 2019a). *OIB-Richtlinie 3 – Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz: OIB-RL3* (OIB-330.3-007/19). Wien. Österreichisches Institut für Bautechnik.

Österreichisches Institut für Bautechnik (1. April 2019b). *OIB-Richtlinie 4 – Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit: OIB-RL4*. Wien. Österreichisches Institut für Bautechnik.

9. Use Cases

DANIEL HEIDENTHALER

WOLFGANG SPITZER

ELISABETH WIEDER

YINGWEN DENG

SABINE GADOCHA

MICHAEL GROBBAUER

MARKUS LEEB

Die zunehmende Verknappung von Bauland, steigende Energiepreise und veränderliche konstruktive Anforderungen erfordern neue Zugänge und Lösungen. Insbesondere die Nachverdichtung bereits bebauter Gebiete gewinnt dabei immer mehr an Bedeutung, bedarf zuvor aber eingehender Analysen. Einerseits sind die vorhandenen Nachverdichtungspotenziale und die Auswirkungen auf den Energiebedarf zu berechnen bzw. abzuschätzen, andererseits geeignete und belastbare konstruktive Lösungen zu entwickeln. In diesem Artikel finden sich dazu beispielhafte Anwendungen der verschiedenen, in den vorangegangenen Beiträgen beschriebenen Methoden und Lösungen. Die Bewertung von Potenzialen und Auswirkungen der Nachverdichtung mit Mitteln der Geoinformatik und der energetischen Gebäudesimulationen ist dabei ein Anwendungsszenario an einem Testgebiet, das mit den vorgestellten Methoden in zuvor nicht möglicher Tiefe analysiert werden kann. Die Ergebnisse ermöglichen die unmittelbare Ableitung von Handlungsempfehlungen. Für die Bauaufgabe an sich wird die Überprüfung des Bau-systems an einem Praxisbeispiel vorgestellt.

9.1. Einleitung und Überblick

Das Zentrum Alpines Bauen befasste sich in drei interdependenten Forschungsschwerpunkten mit Lösungen für intelligente, vernetzte Gebäude und der Simulation von Gebäuden im Siedlungskontext, um sowohl gegenwärtige als auch zukünftige Problemstellungen und Herausforderungen bewältigen und geeignete praxisrelevante Möglichkeiten dafür bieten zu können. Als Ergebnis der Forschungsarbeit liegen nun ineinandergreifende und aufeinander aufbauende Modelle und Methoden vor:

- Simulationsmodelle zur Betrachtung des thermischen Energiebedarfs von Gebieten und Städten
- Ein Holzbausystem für die urbane Nachverdichtung von mehrgeschossigen Wohnbauten
- Modelle zur Beschreibung des Gebäudebestandes und Ermittlung von Nachverdichtungspotenzialen

Durch die entwickelten Lösungen können nun beispielsweise für ganze Gebiete Nachverdichtungspotenziale erhoben, konstruktive Lösungen für diese Nachverdichtungen angewandt und die Auswirkung der Maßnahmen auf den thermischen Energiebedarf und auf die Wärmenetze in hoher zeitlicher Auflösung ermittelt werden. Dies stellt eine von vielen weiteren Anwendungsmöglichkeiten der Modelle und Methoden dar.

9.2. Nachverdichtung und Simulation des thermischen Energiebedarfs (Testgebiet 1)

Das Testgebiet für die FSPE Intelligente Energiesysteme und Simulation von Siedlungssystemen (Testgebiet 1) liegt im Süden der Stadt Salzburg zwischen Alpenstraße und Salzach, im Norden begrenzt durch die Billrothstraße, im Süden durch die Hellbrunner Straße (siehe Abb. 9.01). Neben Einzelhandel und Gewerbe (v. a. entlang der Alpenstraße) finden sich hier schwerpunktmäßig Geschosswohnbauten sowie kleinere Gebiete mit Ein- und Zweifamilienhäusern.

Abschnitt 9.2.1 beschreibt die Anwendung der in Artikel 2 angeführten Modelle zur Abschätzung des Gebäudebestandes und der Nachverdichtungspotenziale. In Abschnitt 9.2.2 erfolgt die Anwendung des in Artikel 5 beschriebenen Simulationsmodells (basierend auf den in Artikel 4 erläuterten Archetypen). Die in diesen beiden Artikeln entwickelte Methode ermöglicht die energetische Betrachtung ganzer Gebiete und Städte mithilfe detaillierter physikalischer Simulationsmodelle. Dadurch konnten verschiedene Szenarien der Nachverdichtung (siehe Artikel 2) und Sanierung und deren Auswirkungen auf den Energieverbrauch analysiert werden. Darüber hinaus erfolgte auf Basis des um Lastmanagement und Bauteilaktivierung erweiterten Simulationsmodells die Untersuchung von Energieflexibilitätpotenzialen unter Nutzung vorhandener thermischer Speichermassen für Lastverschiebungen.

Für den Forschungsschwerpunkt Gebäudehüllen lagen zum Zeitpunkt der Untersuchungen im Testgebiet 1 lediglich Baumassenstudien vor. Die Anwendungsüberprüfung wurde daher an einem alternativen Nachverdichtungsprojekt (Salzachtalstraße Hallein, Testgebiet 2) durchgeführt.

9.2.1. Gebäudebestand und Nachverdichtungspotenziale im Testgebiet 1

Zur Abschätzung des Gebäudebestandes und der Nachverdichtungspotenziale wurden die in Artikel 2 beschriebenen Modelle „Gebäudebestand Parameter“, „Ortsübliche Dichte“ und „Optimale Ausnutzung“ angewandt.

Durch die Anwendung des Modells „Gebäudebestand Parameter“ wurden die Gebäude im Testgebiet hinsichtlich Kubatur und Nutzung analysiert und raumplanungsrelevante Parameter automatisiert abgeleitet. So konnten für jedes Gebäude Informationen zu Bruttogeschossfläche, Volumen, Höhe, Geschosszahl, Dachfläche und Außenwandfläche nach Orientierung gewonnen werden, die maßgeblich für eine mögliche Weiterentwicklung des Gebäudebestands sind. Um aus diesen Datengrundlagen Aussagen über die Energieeffizienz der Gebäude treffen zu können, wurden sie anhand von Informationen zur jeweiligen Gebäudehauptnutzung und Bauperiode klassifiziert, über Adressinformationen mit Energieausweisdaten (ZEUS) kombiniert und so Modellgebäudeklassen zugewiesen.

Das grundstücksbezogene Nachverdichtungspotenzial wird als Differenz zwischen der optimalen Ausnutzung der baulichen Dichte und dem Gebäudebestand abgeschätzt. Die optimale Ausnutzung im Sinne der größtmöglichen theoretisch realisierbaren Bruttogeschossfläche auf einem Grundstück berücksichtigt dabei gesetzliche Abstandsvorgaben sowie die ortsübliche Dichte (zweithöchste bauliche Bestandsdichte, vgl. Artikel 2). Zur Anwendung kommt dabei auch ein Filter zur Vorauswahl von Grundstücken aufgrund ihrer theoretischen Bebaubarkeit: Ein Grundstück gilt – in Anlehnung an Vorgaben zur Erstellung der Baulandbilanz für Räumliche Entwicklungskonzepte – als theoretisch bebaubar, wenn unter Berücksichtigung von 4 m Grenzabstand ein Baufenster mit einer Mindestfläche von 100 m² sowie einer Mindestbreite von 10 m verbleibt. Dadurch wird ein Großteil der typischen Einfamilienhaus- und Reihenhausparzellen ausgeschlossen und der Fokus auf Geschosswohnbau und Wohnbauträger gelegt.

Für das Testgebiet 1 stehen damit in der kombinierten Sicht von Modellgebäuden und grundstücksscharfen Nachverdichtungspotenzialen 68 Modellgebäude (Ein- und Zweifamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser) verteilt auf 49 Grundstücke zur Verfügung. Auf 25 Grundstücken ist ein theoretisches Nachverdichtungspotenzial vorhanden (siehe Abb. 9.01). Der Schwerpunkt der Modellgebäude liegt mit 37 Gebäuden bei Mehrfamilienhäusern der 1960er Jahre (siehe Abb. 9.02 links). Die Abschätzung der optimalen Ausnutzung bis hin zur ortsüblichen Dichte ergibt im Testgebiet 1 ein Nachverdichtungspotenzial von ca. 6.000 m² Bruttogeschossfläche zusätzlich zu den bestehenden etwa 90.000 m² (siehe Abb. 9.02 rechts), welches für die energetischen Simulationen in Abschnitt 9.2.2 herangezogen wird.

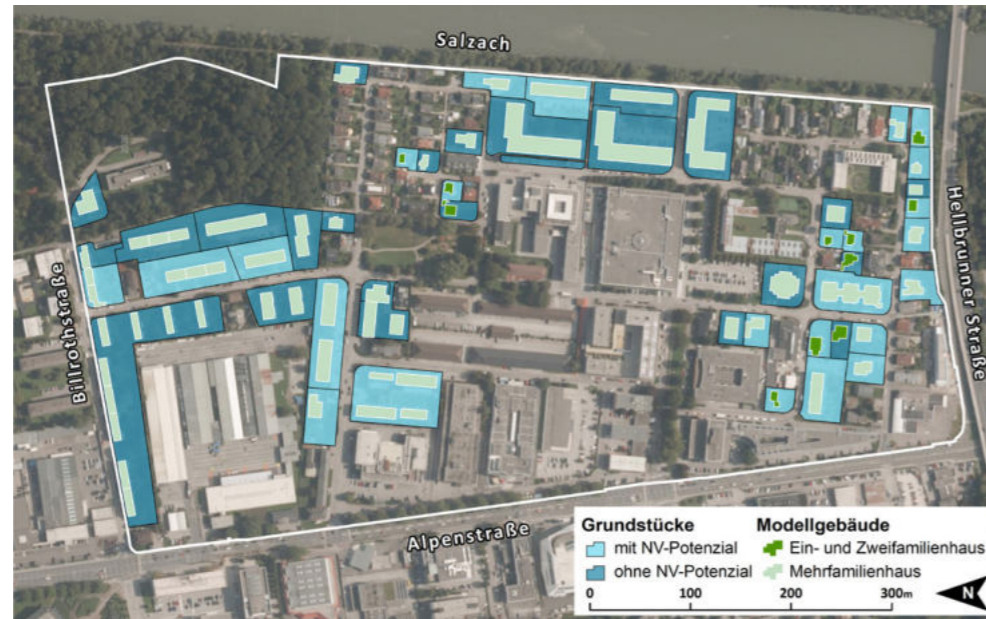


Abb. 9.01 — Testgebiet 1: Übersicht zu Modellgebäuden nach Gebäudehauptnutzung und zugehörigen Grundstücken nach Nachverdichtungspotenzial

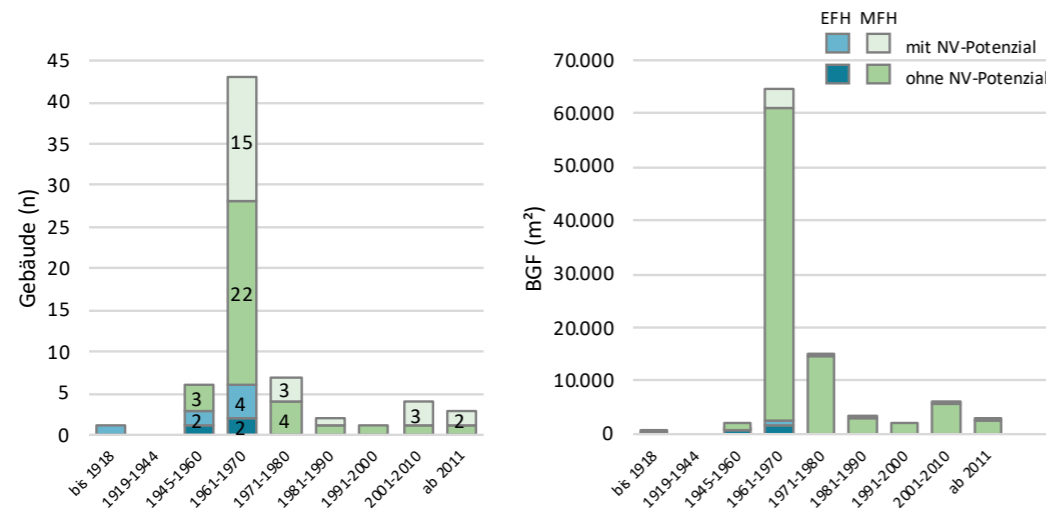


Abb. 9.02 — Bauperiode (links) und Nachverdichtungspotenziale (rechts) von Modellgebäuden im Testgebiet 1

Das theoretische Nachverdichtungspotenzial eines Grundstücks vergleicht die maximal mögliche Ausschöpfung des baulichen Potenzials mit der gegenwärtigen Ausschöpfung als Bilanz. Um dies weiter zu verfeinern, wird im Modell „Typologie Nachverdichtung“ (siehe Artikel 2) zusätzlich zur Grundstücksgeometrie auch die vorhandene Kubatur des Gebäudebestands in die Abschätzung des Nachverdichtungspotenzials einbezogen. Dadurch kann das theoretische Potenzial in mehrere Grundtypen der möglichen Nachverdichtung (Aufstockung, Anbau und selbständiger Zubau) differenziert und visualisiert werden. Abb. 9.03 zeigt beispielhaft das Nachverdichtungspotenzial, das sich im Testgebiet im Nachverdichtungstyp „Aufstockung“ ergibt.



Abb. 9.03 — Nachverdichtungstyp Aufstockung im Testgebiet 1

9.2.2. Anwendung des entwickelten energetischen Simulationsmodells auf das Testgebiet 1

Das in Artikel 5 beschriebene Simulationsmodell ermöglicht eine Analyse sowohl des thermischen Energiebedarfs als auch des stündlichen Heizlastprofils des Gebietes sowie der Auswirkung von thermischen Sanierungen oder Nachverdichtungen wie in Abschnitt 9.2.1 beschrieben. Im Folgenden werden demnach vier Szenarien für das Testgebiet und deren Auswirkung auf den thermischen Energiebedarf vorgestellt:

- Szenario 1: Bestand
- Szenario 2: Bestand + Nachverdichtung
- Szenario 3: Sanierung
- Szenario 4: Sanierung + Nachverdichtung

Szenario 1 beschreibt dabei den derzeitigen Zustand des Testgebietes und den aktuellen Energieverbrauch. In Szenario 2 wird von einer Nachverdichtung wie in Abschnitt 9.2.1 beschrieben, ausgegangen. Szenario 3 untersucht die Auswirkung einer großflächigen Sanierungsoffensive im Testgebiet und deren Auswirkung auf den Energieverbrauch. Die Qualität der Sanierung entspricht dabei einer durchschnittlichen, in der Energieausweisdatenbank für den jeweiligen Archetypen erfassten Sanierung und somit nicht dem bestmöglichen Sanierungsstandard. Szenario 4 betrachtet das Gebiet unter der Annahme, dass sowohl großflächig saniert als auch nachverdichtet wird.

In Abb. 9.04 findet sich das stündliche Lastprofil des Testgebietes für die vier Szenarien im Jahr 2018 und für eine ausgewählte Winterwoche im Detail. Es zeigt sich, dass die Nachverdichtung lediglich mit einer geringfügigen Erhöhung der Heizlast einhergeht und dass die Sanierung eine deutliche Senkung von Spitzenlasten bewirken kann.

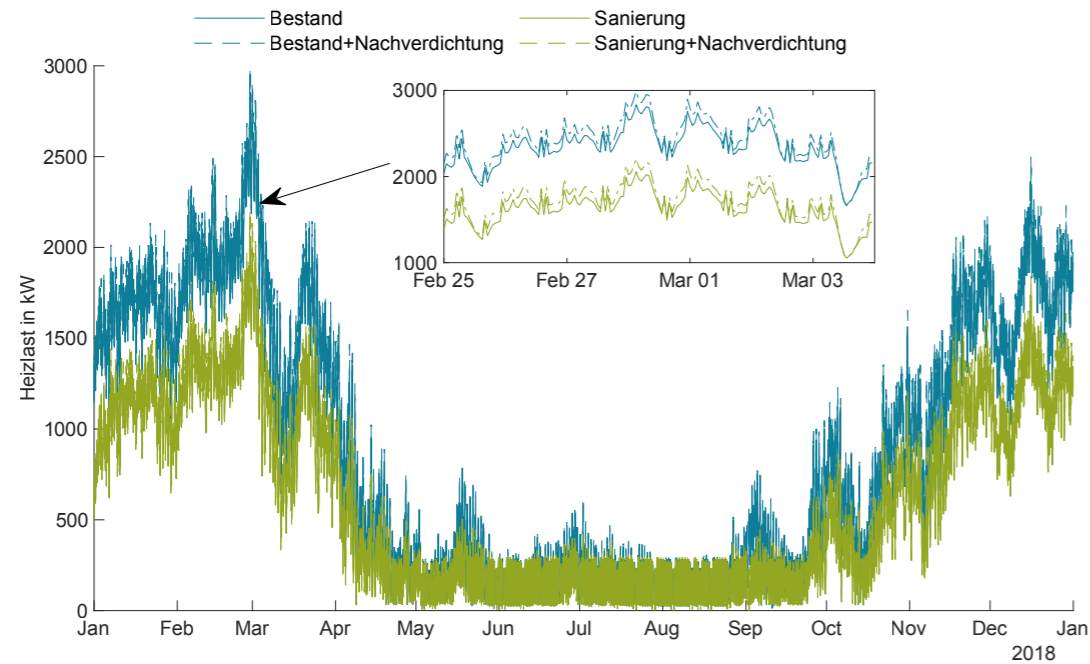


Abb. 9.04 Stündliches Heizlastprofil der vier Szenarien für das Testgebiet im Jahr 2018 und für eine ausgewählte Winterwoche

Die Nachverdichtung bewirkt eine Erhöhung des Heizenergiebedarfs (nur Wärme, Hilfsenergie bzw. Strom blieben für diese Untersuchung unberücksichtigt) um 3,9 %, die Sanierung kann eine Reduktion des Heizenergiebedarfs um 31 % erzielen (siehe Abb. 9.05). Wie bereits zuvor angemerkt, stellen die Sanierungen keine optimalen Sanierungen von höchstem thermischem Standard dar, sondern entsprechen einer durchschnittlichen, in den Energieausweisdaten erfassten Sanierung. In der Realität ist folglich ein höheres Einsparpotenzial bei entsprechendem Aufwand zu erwarten, wie etwa die vom Klima- und Energiefonds initiierten Mustersanierungen mit einer Reduktion des Heizwärmebedarfs um 82 % im Mittel zeigen (Klima- und Energiefonds, 2018).

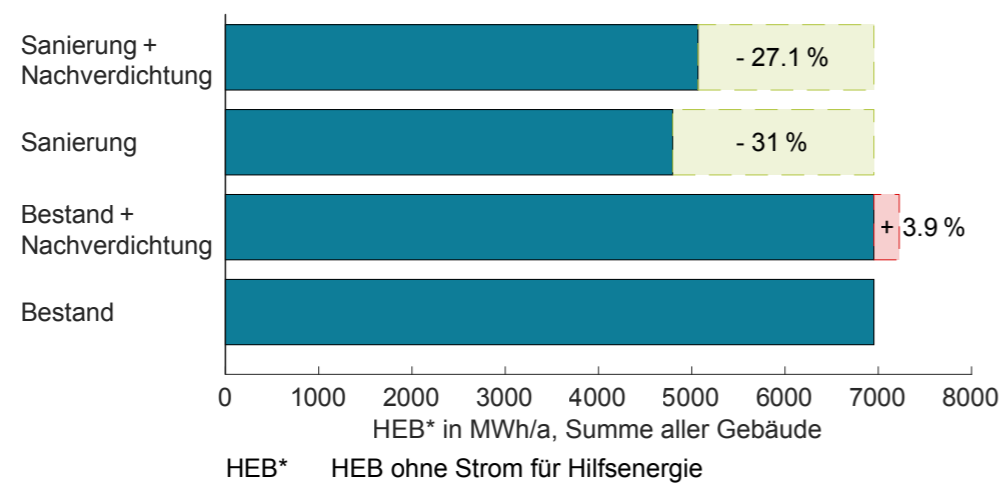


Abb. 9.05 Heizenergiebedarf des Testgebiets für die vier Basisszenarien im Jahr 2018

Neben den grundsätzlichen Analysen zum Energieverbrauch des Bestandes sowie von Nachverdichtungs- und Sanierungsszenarien wurde nachfolgend das Gebiet hinsichtlich Energieflexibilität untersucht. Die Energieflexibilität eines Gebäudes beschreibt grundsätzlich die Fähigkeit, Energieerzeugung und -verbrauch entsprechend den örtlichen Klimabedingungen, Nutzerbedürfnissen und Anforderungen etwaiger Energieinfrastrukturen (z.B. Strom- oder Fernwärmenetz) zu steuern und anzupassen (Jensen et al., 2017). Die Energieflexibilität von Gebäuden ermöglicht somit Demand-Side-Management und Demand-Response als Reaktion auf Anforderungen der jeweiligen Energieinfrastruktur. Die Nutzung thermischer Speichermassen ist dabei eine Möglichkeit der Energieflexibilität: Die thermische Speichermasse wird als Energiespeicher genutzt, um auftretende Lastspitzen im Energiesystem abzufangen oder den Zeitpunkt des Energieverbrauchs zu verschieben (z.B. um den Anteil von erneuerbarer Energie zu erhöhen oder Kosten für die Energiebereitstellung zu senken). Da jedes Gebäude ohne zusätzliche Investitionen oder ohne Mehraufwand ein je nach Bauweise unterschiedliches Ausmaß an thermischen Speichermassen besitzt, ist diese Art der Energiespeicherung eine sehr kostengünstige und einfach zu implementierende Möglichkeit. Aufgrund der zunehmenden Verschränkung von Strom- und Wärmesektor durch Technologien wie Wärmepumpen beschränken sich diese Energieflexibilitätspotenziale durch thermische Speichermassen überdies nicht nur auf den Wärmesektor, sondern können auch einen Beitrag zur Flexibilisierung des Stromnetzes leisten (Lund et al., 2016). In diesem Zusammenhang stellt die Bauteilaktivierung eine vielversprechende Möglichkeit zur aktiven Nutzung der ansonsten nur passiv verfügbaren thermischen Speichermassen eines Gebäudes dar und ermöglicht damit eine optimale Ausnutzung der vorhandenen Energieflexibilitätspotenziale (Heier et al., 2015). Daher werden in vorliegendem Artikel sowohl Energieflexibilitätspotenziale für das Testgebiet analysiert als auch in diesem Zusammenhang der Einfluss bzw. das Potenzial von Bauteilaktivierungen eruiert. Daraus ergeben sich vier Szenarien:

- Szenario 1: Basisszenario
- Szenario 2: Basisszenario + Energieflexibilität
- Szenario 3: Bauteilaktivierung
- Szenario 4: Bauteilaktivierung + Energieflexibilität

Szenario 1 baut dabei auf dem oben beschriebenen Sanierungs- + Nachverdichtungsszenario 4 auf. Szenario 2 unterscheidet sich dahingehend, dass hier die Gebäude aus Szenario 1 zusätzlich mit einer energieflexiblen Regelung ausgestattet werden. Bei Szenario 3 wird im Unterschied zu Szenario 1 und 2 die Annahme getroffen, dass alle Gebäude als Wärmeabgabesystem eine Bauteilaktivierung besitzen. Szenario 4 betrachtet abschließend die Bauteilaktivierung in Kombination mit der energieflexiblen Regelung.

Für Energieflexibilität ist es in der Praxis erforderlich, dass das Steuerungs- und Regelungssystem ein entsprechendes Regelsignal verarbeiten und den Temperatursollwert gemäß den Vorgaben verändern kann. Je nach Regelungsstrategie können auch zusätzliche Sensoren erforderlich sein (z.B. kann bei der Bauteilaktivierung die Regelung nach Oberflächentemperatur anstelle der Raumlufttemperatur sinnvoll sein). Als Eingangssignal für die Energieflexibilität wird hier der Day-Ahead-Strompreis der EXAA-Strombörse herangezogen (Austrian Power Grid AG, 2022). Die APG veröffentlicht jeweils am Vortag die Strompreise für den nächsten Tag, welche dann als Regelgröße für diesen

herangezogen werden. Die Preise können sehr kurzfristigen Schwankungen unterliegen, wodurch sich Kosteneinsparungspotenziale ergeben, wenn dies bei der Regelung eines Gebäudes berücksichtigt wird.

Um eine gewisse Energieflexibilität gewährleisten zu können, darf ein Gebäude keinen statischen, fixen Temperatursollwert haben, sondern muss innerhalb einer Zieltemperaturbandbreite geregelt werden. In vorliegendem Fall wird 21–23°C angesetzt. Da sich verschiedene Wärmeabgabesysteme wie etwa Radiatoren, Fußbodenheizungen und Bauteilaktivierungen bei gleicher Lufttemperatur stark in der empfundenen, operativen Temperatur unterscheiden, erfolgt in gegenständlicher Untersuchung zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit eine Regelung nach der operativen Temperatur.

Um die Energieflexibilität im Gebäude zu berücksichtigen, wird demnach für den Folgetag jeweils ein variabler Temperatursollwert mit angeführter Komfortbandbreite vorgegeben. Dieser Temperatursollwert beträgt bei günstigem Strom (Strompreis < 25 % Quantil bezogen auf den jeweiligen Tag) 23°C, bei teurem Strom (Strompreis > 75 % Quantil bezogen auf den jeweiligen Tag) 21°C und dazwischen (Strompreis zwischen 25–75 % Quantil) 22°C. Folglich wird das Gebäude bei Szenario 2 und bei Szenario 4, sofern günstiger Strom vorhanden ist, auf 23°C aufgeheizt. Sofern anschließend Perioden teuren Strompreises auftreten, kühlt das Gebäude auf 21°C ab. Sollte der Strom teuer, aber das Gebäude bereits auf 21°C ausgekühlt sein, wird dennoch geheizt, um die Komfortbandbreite von 21–23°C einzuhalten. Bei Szenario 1 und 3 hingegen wird die operative Temperatur konstant auf 22°C gehalten.

In Abb. 9.06 findet sich die simulierte operative Temperatur eines beispielhaften Gebäudes für die vier Szenarien sowie der variable Temperatursollwert in Abhängigkeit vom Strompreis. Das beispielhafte Gebäude ist in den Szenarien 1 und 2 mit Radiatoren als Wärmeabgabesystem ausgestattet. Hier wird ersichtlich, dass beim Basisszenario der vorgegebene Sollwert von 22°C mit lediglich geringfügigen Schwankungen und Unterschreitungen eingehalten werden kann, wohingegen beim Szenario 3 mit TABS von Grund auf größere Temperaturschwankungen auftreten.

Dies liegt vor allem an der Trägheit des Systems, wodurch die Regelbarkeit erschwert wird und auf kurzfristige Änderungen und äußere Einflüsse nicht schnell genug reagiert werden kann. In Szenario 2 (Basis + Energieflexibilität) sowie Szenario 4 (TABS + Energieflexibilität) wird die operative Temperatur nun nach dem variablen Temperatursollwert in Abhängigkeit vom Strompreis geregelt. Bei Szenario 2 folgt die operative Temperatur sehr stark dem vorgegebenen variablen Sollwert, wohingegen bei Szenario 4 diese stark vom Sollwert abweicht. In beiden Szenarien wird die Temperaturbandbreite jedoch nicht zur Gänze ausgeschöpft. Dies bedeutet, dass die Aufheizphasen (Temperatursollwert = 23°C) und Auskühlphasen (Temperatursollwert = 21°C) bei gegebener thermischer Gebäudequalität zu kurz sind. Demnach könnte der Strompreis und folglich der variable Sollwert bei gegebener Komfortbandbreite noch weiter ausgereizt und optimiert werden.

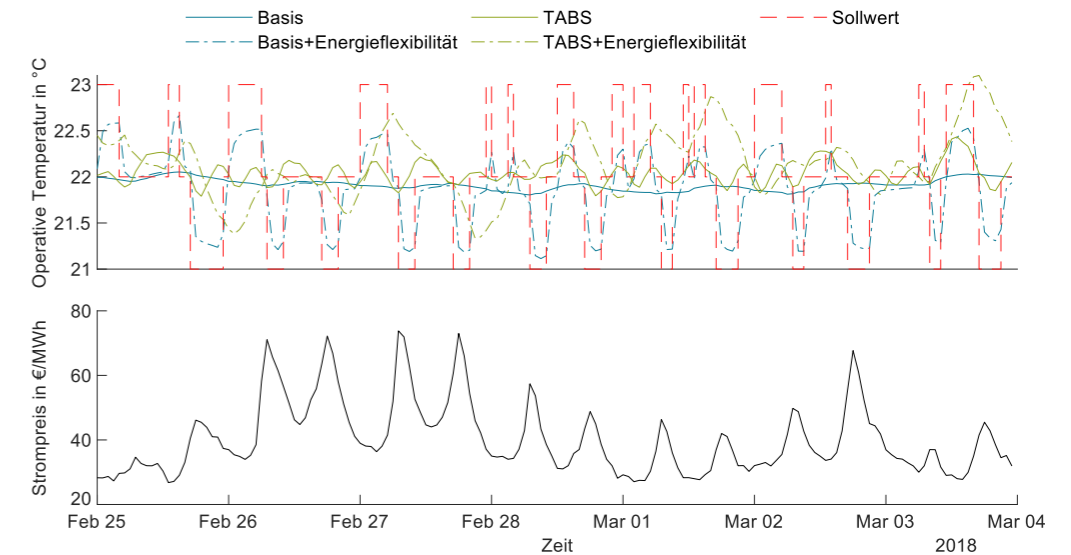


Abb. 9.06 — Innenraum-Lufttemperatur eines beispielhaften Gebäudes in einer Winterwoche für die vier Szenarien sowie variabler Temperatursollwert in Abhängigkeit vom Strompreis

In Abb. 9.07 findet sich der daraus resultierende Heizenergiebedarf pro Jahr für das Testgebiet sowie die daraus resultierenden Kosten, sofern die Energie mit Strom zur Verfügung gestellt werden müsste (die Modellierung des Wärmeerzeugungssystems ist nicht Bestandteil der Simulationsmodelle). Hier wird ersichtlich, dass alle Szenarien einen höheren Energieverbrauch aufweisen als das Basisszenario. Dies liegt an dem Umstand, dass in Szenario 2 und 4 Energie gespeichert wird, wodurch Speicherverluste auftreten, welche wiederum in einem höheren Energieverbrauch resultieren. Bei den Kosten wird ersichtlich, dass trotz des höheren Energieverbrauchs durch Energieflexibilität bei Szenario 2 5,70 % und bei Szenario 4 12,80 % eingespart werden können. Folglich weist eine einfache wie oben beschriebene Regelung mit Energieflexibilität in Kombination mit Bauteilaktivierung ein hohes Einsparungspotenzial auf und selbst bei der Basisvariante ohne Bauteilaktivierung können Kosten um ca. 6,00 % gesenkt werden. Bei der aktuellen Strompreisentwicklung (vgl. Austrian Power Grid AG, 2022) dürfte das Potenzial hierfür zukünftig sogar noch größer ausfallen.

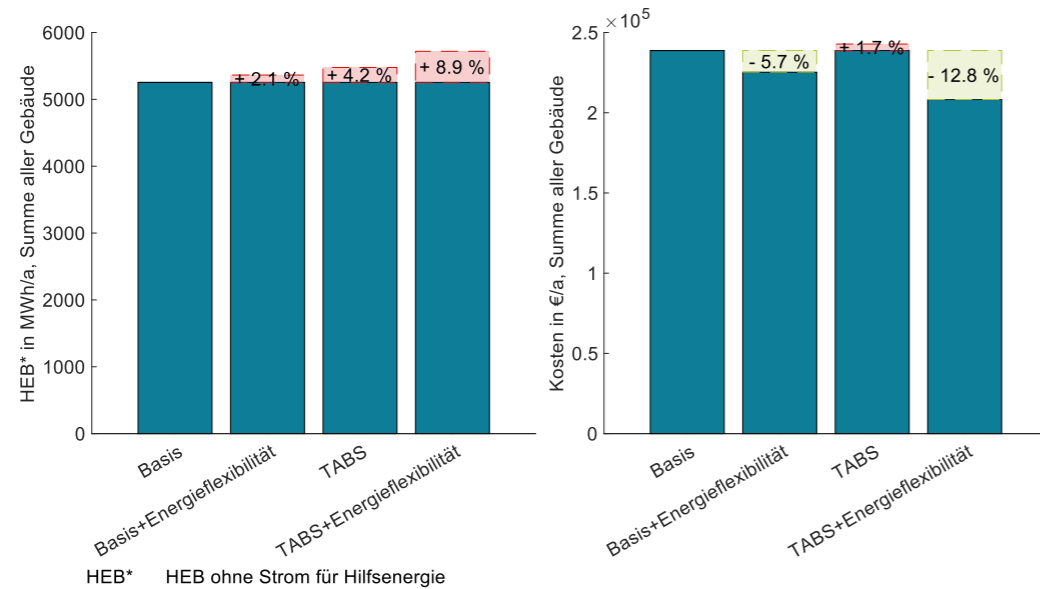


Abb. 9.07 — Heizenergiebedarf sowie daraus resultierende Kosten des Testgebiets für die vier Energieflexibilitäts-szenarien im Jahr 2018

Die entwickelten Simulationsmodelle ermöglichen folglich eine detaillierte Untersuchung nicht nur von einzelnen Gebäuden, sondern ganzen Gebieten und Städten hinsichtlich Wärmebedarf und erlauben sowohl die genaue Betrachtung einzelner Gebäudeparameter als auch übergeordneter flächenwirksamer Szenarien.

9.3. Anwendung des Holzbausystems in Testgebiet 2

Nach Abschluss der in den vorhergehenden Artikeln 6 und 7 geschilderten Entwicklung eines Holzbausystems für die urbane Nachverdichtung von Geschosswohnbauten aus den 1950er bis -70er Jahren folgte eine Überprüfung der Systembestandteile auf Vollständigkeit und Anwendbarkeit sowie Einschränkungen des Architektorentwurfes anhand einer realen Aufstockung im Testgebiet 2.

9.3.1. Beispielgebäude

Das für die Testplanung ausgewählte Bestandsgebäude befindet sich in der Halleiner Burgfriedsiedlung (Salzachtalstraße 32–34) und wurde in den 1950er Jahren errichtet. Das ursprünglich dreigeschossige, unterkellerte Gebäude mit zwölf Bestandswohnungen verfügt über zwei Stiegenhäuser mit einer zweiseitigen, innen liegenden Erschließung. Das primäre Tragsystem wird von in Längsrichtung tragenden Außenwänden und der dazu parallelen Mittelwand gebildet und ist nach unseren Voruntersuchungen typisch für Gebäude der 1940er bis -60er Jahre.

In den Jahren 2018 bis 2019 wurde das Gebäude nach Planung des Architekten Paul Schweizer thermisch saniert, eingeschossig in Holzmassivbauweise aufgestockt und damit um sieben Wohnungen erweitert. Es erhielt eine außen angebrachte, vorgefertigte experimentelle Multifunktionsfassade zur Wärmedämmung, Bauteilaktivierung und Schallabsorption, die von der FH Salzburg entwickelt und im Rahmen des Forschungsprojekts „Wohnen findet Stadt!“ untersucht wurde (Schweizer P., 2021).

Die tragenden Wände der Aufstockung wurden quer zum Bestandstragsystem ausgerichtet und ragen nach Südwesten über den Bestand hinaus (Abb. 9.08). Im Bereich der Auskragung befinden sich Loggien und Wohnbereiche. Die bestehenden Stiegenhäuser wurden nach oben erweitert und Aufzüge ergänzt. Stiegenhaus und Aufzugsschacht sind ebenfalls in Holzmassivbauweise ausgeführt. Das aufgestockte Objekt ist in die GK 4 einzuordnen.

Grundriss Aufstockungsgeschoss

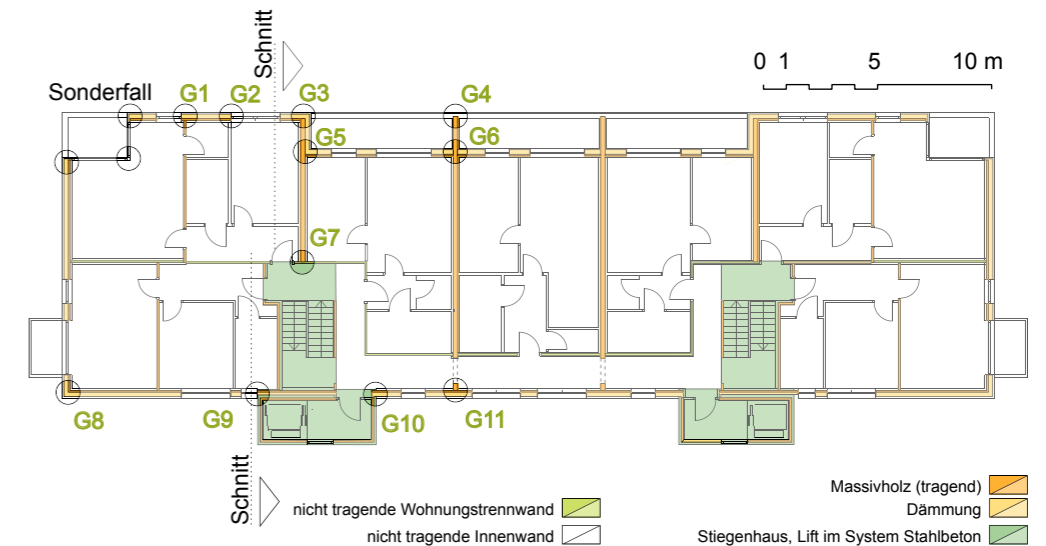


Abb. 9.08 — Aufstockungsgeschoss des Beispielgebäudes – Grundriss

Schnitt Aufstockungsgeschoss

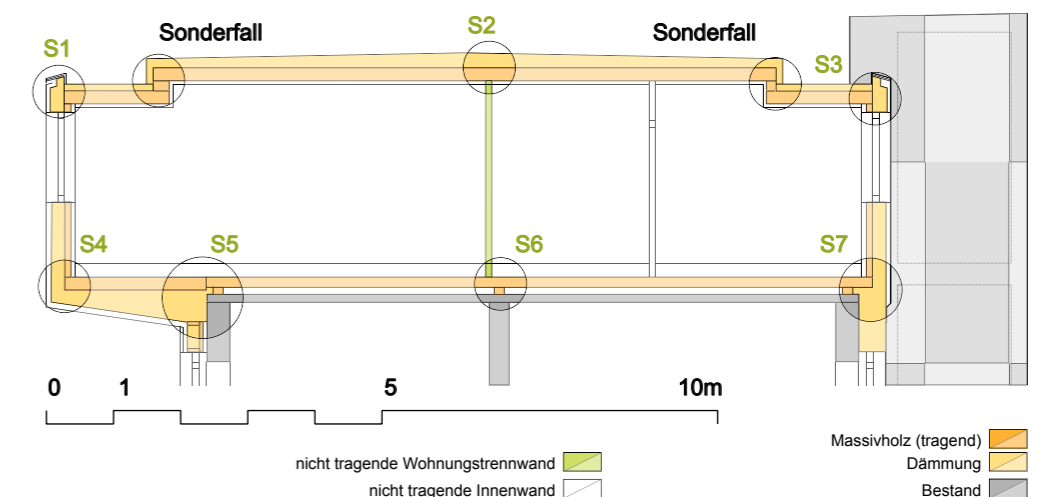


Abb. 9.09 — Aufstockungsgeschoss des Beispielgebäudes – Schnitt

9.3.2. — Vorgehensweise

Die Überprüfung der drei Systembestandteile Tragwerk, Bauteilaufbauten und Konstruktionsdetails erfolgte anhand der vom Architekturbüro zur Verfügung gestellten Entwurfspläne (vgl. Abb. 9.08 und Abb. 9.09).

In einem ersten Schritt wurden im Plan jeweils die zu überprüfenden Bauteile und Konstruktionsdetails identifiziert. Die in Abb. 9.08 und Abb. 9.09 ersichtlichen grün nummerierten Kreise markieren mit dem Holzbausystem aktuell gelöste Konstruktionsdetails. Kreise, die mit „Sonderfall“ beschriftet wurden, stellen alternative Lösungen auf Basis des Bausystems dar.

Bauteile oder Konstruktionsdetails außerhalb der in Artikel 6 definierten Systemgrenzen wie solche von nicht tragenden inneren Wänden und nicht tragenden Wohnungstrennwänden wurden nicht überprüft.

Im nächsten Schritt wurden das Tragsystem des Bestandes und der Aufstockung analysiert und die Bauteilquerschnitte, soweit vorhanden, aus der im System enthaltenen Vordimensionierungstabelle für tragende Bauteilquerschnitte (vgl. Artikel 7) entnommen.

In Folge wurden Decken, Dach und Außen- und Wohnungstrennwänden der Aufstockung Bauteilaufbauten aus dem Holzbausystem zugewiesen und untersucht, ob für alle der in Abb. 9.08 und Abb. 9.09 markierten Bauteilknoten Konstruktionsdetails im System zur Verfügung stehen.

Die Ergebnisse der Untersuchung wurden tabellarisch aufbereitet. Für die „Sonderfälle“ wurden alternative Lösungsvorschläge ausgearbeitet.

9.3.3. — Ergebnisse

9.3.3.1. — Anwendung Tragwerk

In der Vordimensionierung wurden Schneelasten nach ÖNORM B 1991-1-3 (Austrian Standards International, 2022 05 15) für Salzburg Stadt und Zell am See als Lastfälle verwendet. Da es sich um eine Überprüfung der Systematik handelt, wurde für das Testgebiet 2 trotz Abweichungen in der Schneelast die Vordimensionierung für Salzburg Stadt angewandt.

Geschossdecken und Flachdächer der Aufstockung aus Massivholz wurden vorwiegend dem Tragwerkstyp Einfeldträger zugeordnet, vereinzelt den Typen Einfeldträger mit Auskrugung oder Zweifeldträger. Wandscheiben wurden als Einfeldträger, Ein- und Zweifeldträger mit Auskrugung oder als liniengelagerte Wände festgelegt.

Es konnten für alle liniengelagerten Wände Dimensionen aus der in Artikel 7 beschriebenen Vorbemessungstabelle entnommen werden. Lücken im System liegen bei Wänden mit den Tragsystemen Einfeldträger und Zweifeldträger mit Auskrugung vor, da die Vordimensionierungstabelle ausschließlich eine für die Testanwendung nicht ausreichende Spannweite von 4,5 m vorsieht.

Da bei Decken und Flachdächern auch Spannweiten über 4,5 m berücksichtigt sind, konnten ausschließlich vereinzelte Deckenelemente mit Auskrugung bzw. zusätzlichen, im System nicht berücksichtigten Lasten nicht aus der Tabelle entnommen werden.

Bei der Testanwendung liegen Sonderfälle des Tragsystems im Bereich des Eckbalkons, der beiden vorgehängten Balkone an der schmalen Gebäudeseite sowie dem Stiegenhaus vor (siehe Abbildung Abb. 9.08).

Im System ist bei Vorsprüngen die Lastübernahme durch auskragende Wandscheiben vorgesehen, die als raumhohe Träger wirken. Beim Eckbalkon im Beispiel nehmen die darunterliegenden auskragenden Deckenelemente die Linienlasten der Außenwände auf. Ein solcher Fall ist im System nicht enthalten und erfordert eine projektspezifische Bemessung. Eine systemkonforme Tragwerkslösung für die Eckbalkone wäre die Abänderung zu Loggien.

Die Ausführung eines Deckenelements als Einfeldträger mit Auskrugung für die vorgehängten Balkone ist in der Vordimensionierungstabelle enthalten. Es liegen allerdings derzeit keine Konstruktionsdetails dafür vor. Anstelle der vorgehängten Balkone wären innerhalb des Systems Loggien oder außerhalb der Systemgrenzen projektspezifisch geplante vorgestellte Balkone möglich.

Stiegenhäuser und der Liftschacht des Beispielgebäudes sind in Holzmassivbauweise ausgeführt, im Bausystem sind diese aus Brandschutzgründen (GK 5) in Stahlbeton vorgesehen.

9.3.3.2. — Anwendung Bauteile

Für die Überprüfung der Bauteilaufbauten wurden den Bauteilen des Beispielgebäudes (Außenwände, Wohnungstrennwände, Innenwände, Flachdach, Geschossdecke über Bestand und Geschossdecke über Außenluft) Bauteilaufbauten aus dem Bausystem wie in Artikel 7 beschrieben zugeordnet. Für die Außenwände stehen im System insgesamt 36 Bauteilaufbauten in Holzrahmen- bzw. Holzmassivbauweise mit hinterlüfteter Fassade oder Putzfassade zur Verfügung. Für die freitragenden Wohnungstrenn- und Innenwände ist innerhalb der Systemgrenzen nur Holzmassivbauweise, jeweils mit zwei Aufbauten, möglich.

Horizontale Bauteile wie Flachdächer und Decken sind im Bausystem ausschließlich in Holzmassivbauweise mit einem Aufbau für die Decke über dem Bestand, drei Varianten für die Decke über Außenluft und sieben Möglichkeiten für das Flachdach verfügbar. Der Feuerwiderstand der Bestandsdecke wurde mit R(EI) 90 angenommen. Das System enthält keine Aufbauten für Bestandsdecken mit geringerer Feuerwiderstandsdauer.

Im Zuge der Testanwendung konnten bei den Bauteilaufbauten keine Lücken im System identifiziert werden.

9.3.3.3. — Anwendung Konstruktionsdetails

Wie in Artikel 7 beschrieben und beispielhaft gezeigt, sind im System über 300 Konstruktionsdetails vorhanden, die vielfach Varianten für unterschiedliche Bauteilaufbausysteme

darstellen. Erwartungsgemäß können jedoch nicht alle für ein konkretes Bauwerk spezifischen Details vorgeplant werden, da sowohl Bestand als auch architektonische Lösung zu variantenreich sind.

Bei den Konstruktionsdetails wurden im Grundriss elf und im Vertikalschnitt sieben Details innerhalb der Systemgrenze identifiziert (siehe Abb. 9.08 und Abb. 9.09). Diese liegen für beide Bauweisen und unterschiedliche Fassadenarten und in Kombination von Massiv- und Rahmenbauweise (Mischbauweise) vor. Eine Ausnahme bilden die in Abb. 9.08 gekennzeichneten Details G3, G4, G5, G6 und G11, für die nicht alle Varianten in Mischbauweise vorhanden, aber einfach aus den Systemdetails zu entwickeln sind.

Sonderfälle sind die in Abb. 9.08 ersichtlichen Eckfenster. Diese müssen auf der Baustelle nachträglich montiert werden, während das System Werksmontage vorsieht. Die Anschlussdetails sind jedoch übertragbar.

Ein weiterer Sonderfall ist der in Abb. 9.09 ersichtliche Niveausprung im Flachdach, der jedoch keine besonders aufwendige Adaption darstellt.

9.4. Conclusio und Ausblick

Die entwickelte Methode zur Modellierung von Gebieten erlaubt auf Basis detaillierter physikalischer Simulationsmodelle die Bewertung innovativer Technologien wie Bauteilaktivierungen und deren Einfluss auf den Energieverbrauch sowie die Energieflexibilität. Die Anwendung der Methodik am beispielhaften Testgebiet weist nach, welche Einsparpotenziale durch einfache Regelungsstrategien der Energieflexibilität in Kombination mit Bauteilaktivierung erreicht werden können.

Die Evaluierung der Modelle zur Abschätzung des Gebäudebestandes und der Nachverdichtungspotenziale zeigt, dass sie für energieraumplanerische Fragestellungen auf Quartiers- und Regionsebene belastbare Grundlagen und Ergebnisse ermöglichen. Mit wachsendem Maßstab bis hin zur Objektebene ergibt sich jedoch weiterer Entwicklungsbedarf, v. a. in der Abschätzung der baulichen Höchstdichten (vgl. dazu Artikel 2).

Die Testanwendung des Holzbausystems im Testgebiet 2 ergibt Weiterentwicklungsbedarf in erster Linie bei der aus Kostengründen auf wenige Tragsysteme eingeschränkten Vordimensionierung. Für Außen- und Wohnungstrennwände, Decken und Flachdach stehen ausreichende Varianten von Bauteilaufbauten zur Verfügung. Konstruktionsdetails für die beiden Bauweisen mit variierenden Fassadenmaterialien liegen mit Ausnahme der „Sonderfälle“ vor. Im konkreten Anwendungsfall wurden keine Einschränkungen des Entwurfs festgestellt. Sonderfälle sind mit projektspezifischer Tragwerksplanung und Ergänzung vorhandener Konstruktionsdetails zu lösen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der bisherigen Forschung und Entwicklung im Zentrum Alpines Bauen in Übereinstimmung mit der grundlegenden Zielsetzung stehen und anwendbar sind. Optimierungen erfordern als Basis die Anwendung und Analyse weiterer Testfälle, für die Grundlagen und Werkzeuge zur Verfügung stehen.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

FSP	Forschungsschwerpunkt
GK	Gebäudeklasse
TABS	thermisch aktivierte Bauteilsysteme

LITERATURVERZEICHNIS

Austrian Power Grid AG (Hrsg.) (2022). *Day-Ahead Preise: EXAA*.

<https://markttransparenz.apg.at/markt/Markttransparenz/Uebertragung/EXAA-Spotmarkt>

Austrian Standards International (2022 05 15). *ÖNORM B 1991-1-3: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten – Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1991-1-3, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen* (gültig ÖNORM B 1991-1-3:2022 05 15). Wien. Austrian Standards International.

Heier, J., Bales, C. & Martin, V. (2015). Combining thermal energy storage with buildings – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1305–1325. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.031>

Jensen, S. Ø., Marszał-Pomianowska, A., Lollini, R., Pasut, W., Knotzer, A., Engelmann, P., Stafford, A. & Reynders, G. (2017). IEA EBC Annex 67 Energy Flexible Buildings. *Energy and Buildings*, 155, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.044>

Klima- und Energiefonds (Hrsg.) (2018). *Faktencheck Energiewende 2018/2019: Fakten statt Mythen – zur Zukunft der Energieversorgung*. Wien.

Lund, H., Østergaard, P. A., Connolly, D., Ridjan, I., Mathiesen, B. V., Hvelplund, F., Thellufsen, J. Z. & Sorknæs, P. (2016). *Energy Storage and Smart Energy Systems*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.5278/ijsep.2016.11.2> (3-14 Pages / International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, Vol 11 (2016) / International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, Vol 11 (2016).

Schweizer P. (05/2021). *Wohnen findet Stadt! Smarte Modernisierung und Umsetzung am Beispiel der Burgfriedsiedlung Hallein*. Wien. Klima- und Energiefonds.

Autor*innenverzeichnis

Yingwen Deng, MSc



schloss ihr Bachelorstudium an der Universität Wuhan (China) im Jahr 2017 und darauf aufbauend ein internationales Master of Science-Programm in Kartographie (TU München, TU Wien, TU Dresden, Universität Twente) im September 2019 ab. Seit Juli 2020 arbeitet sie als Junior Researcher in der RSA FG im Research Studio iSPACE. Im „Zentrum Alpines Bauen“ liegt der Schwerpunkt ihrer Arbeit auf der Entwicklung von Webkarten und Webanwendungen.

Mag. Sabine Gadocha



hat Umweltsystemwissenschaften mit Schwerpunkt Betriebswirtschaftslehre an der Universität Graz studiert und im Anschluss eine Ausbildung zur Akademischen Geoinformatikerin an der Universität Salzburg absolviert. Nach ihrer Tätigkeit als Projektmitarbeiterin beim Energiesparverband OÖ begann sie 2007 ihre Forschungsarbeit in der RSA FG im Research Studio iSPACE. Sie forscht im Bereich Smart Settlement Systems mit den Schwerpunkten „Integrative räumliche Analyse von Nachverdichtungspotenzialen“ und „Nachhaltige Siedlungsentwicklung“. Im „Zentrum Alpines Bauen“ leitet sie den Forschungsschwerpunkt „Simulation von Siedlungssystemen“.

Dipl.-Ing. Matthias Gnigler, BSc



hat Smart Building und Smart Buildings in Smart Cities an der FH Salzburg studiert. Neben mehrjähriger Planungserfahrung als Angestellter in den Bereichen Architektur und Raumordnung ist er seit vier Jahren in der Forschung an der FH Salzburg tätig, unter anderem an einem Demonstrationsprojekt zur Sanierung mehrgeschossiger Wohnbauten über ein speziell dafür entwickeltes Multifunktionsfassadensystem. Aktuell wirkt er als Projektmitarbeiter am „Zentrum Alpines Bauen“ an der Entwicklung eines Holzbausystems für die urbane Nachverdichtung mit.

FH-Prof. Arch. Dipl.-Ing. Dr. Michael Grobbauer



hat Architektur studiert und im Fachgebiet Baukonstruktion und Bauphysik promoviert. Nach Praxiszeiten als Projekt- und Büroleiter war er als Universitätsassistent an den Fakultäten Architektur und Bauingenieurwesen der TU Graz und als Forschungsleiter in der Industrie tätig. Er ist seit 2017 FH-Professor mit Schwerpunkt Gebäudehüllen an der FH Salzburg, leitet das „Zentrum Alpines Bauen“ und das Versuchsgebäude Twin²Sim. Seine Forschungsschwerpunkte sind Gebäudehüllen in Neubau und Sanierung sowie Multifunktionsfassaden. Besonderes Interesse gilt dem Sichtbeton, der bauwerksintegrierten Photovoltaik und vorgefertigten Holzbausystemen.

**Dipl.-Ing. Daniel Heidenthaler, BSc**

hat Smart Building und Smart Buildings in Smart Cities an der FH Salzburg studiert. Während dem Bachelorstudium arbeitete er in einem Architekturbüro, danach als Forscher an der FH Salzburg sowie am „Zentrum Alpines Bauen“, wo er bis heute tätig ist. Derzeit promoviert er an der TU Wien zum Thema Energieflexibilität in Wohngebäuden mit besonderem Fokus auf thermische Speichermassen von Gebäuden und damit zusammenhängend Bauteilaktivierung. Diese Themen stehen in Einklang mit seinen Forschungsschwerpunkten an der FH Salzburg, wo er im Forschungsschwerpunkt „Intelligente Energiesysteme“ tätig ist.

**FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Markus Leeb**

hat nach der Matura mehrere Jahre als technischer Zeichner und Tragwerksplaner Praxiserfahrung im Bauwesen gesammelt. Er hat Bauingenieurwesen studiert und im Bereich energieeffiziente Gebäude promoviert. Während des Studiums begann er als Projektassistent an der TU Wien im Forschungsbereich für Bauphysik zu arbeiten. Danach wurde er Abteilungsleiter für Bauphysik bei einem Ziviltechniker und wechselte anschließend als Senior Lecturer an die FH Salzburg in den Studiengang Smart Building. Seit 2019 ist er Senior Researcher und leitet Projekte in den Bereichen klimaneutrale Sanierung, Bauteilaktivierung, Multifunktionsfassaden und Energie- und Behaglichkeitsmonitoring. Er ist seit 2022 FH-Professor und baut den Schwerpunkt der Bauteilaktivierung mit Betrachtung der Energieflexibilität weiter aus.

**Dipl.-Ing. Michael Moltinger, B.Sc.**

studierte an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf Management erneuerbarer Energien und absolvierte an der Fachhochschule Salzburg das Masterstudium Smart Buildings in Smart Cities. Nach dem Bachelorstudium arbeitete er zwei Jahre in einem Planungsbüro für erneuerbare Energiekonzepte. Noch während des Masterstudiums wechselte er in die Forschung an der FH Salzburg. Sein Fokus lag auf der thermischen Bauteilaktivierung und er beschäftigte sich in diesem Rahmen unter anderem mit Regelungskonzepten für den Wohnbau und die Erforschung der thermischen Bauteilaktivierung in alternativen Materialien wie Holz. Im März 2022 erfolgte der Wechsel ins „Zentrum Alpines Bauen“ mit dem Forschungsschwerpunkt „Intelligente Energiesysteme“.

**Dr. Thomas Prinz**

studierte Geographie und Geoinformatik an der Universität Salzburg und promovierte zum Thema Räumliche Indikatoren als Planungsgrundlage. Er ist seit 2002 Teil der RSA FG und steht als langjähriger Studioleniter des Research Studios iSPACE Smart Settlement Systems für innovative Projekte in Bereichen wie nachhaltige Siedlungsentwicklung oder Mobilitätsplanung. Seit Mai 2021 ist Thomas Prinz wissenschaftlicher Geschäftsführer der RSA FG mit Schwerpunkt Wissens- und Innovationstransfer sowie Anwendungsentwicklung mit Schwerpunkt angewandte Datenwissenschaften und Geoinformatik. Weiters ist er seit 2020 als Researcher an der Universität Salzburg – IDA Lab Salzburg (Lab for Intelligent Data Analytics) tätig. Er ist stellvertretender Leiter des „Zentrum Alpines Bauen“.

**Dipl.-Ing. Patricia Reindl, BSc**

absolvierte das Bachelorstudium Smart Building – Energieeffiziente Gebäudetechnik und nachhaltiges Bauen sowie das Masterstudium Smart Buildings in Smart Cities – Energieinfrastruktur und Quartierserneuerung an der FH Salzburg. Neben einer Anstellung als Bau- und Energietechnikerin in einem Architekturbüro ist sie seit 2017 an der FH Salzburg als Junior Researcher tätig. Sie beschäftigte sich unter anderem mit der Darstellung der Energiekennzahlen von Gebäuden mit Bauteilaktivierung im Energieausweis. Seit Jänner 2022 arbeitet sie am „Zentrum Alpines Bauen“ im Forschungsschwerpunkt „Intelligente Energiesysteme“.

**Andreas Schweiger, MSc**

hat ein spezialisiertes Bauingenieursstudium Innenausbau sowie, darauf aufbauend, ein Masterstudium Holztechnik – Produkte & Prozesse an der TH Rosenheim absolviert. Während des Aufbaustudiums war er als Forschungsreferent bei der Beantragung von Fördermitteln tätig und anschließend als Projektmitarbeiter im Hochschulsektor an Forschungs- und Industrieprojekten im Bereich Modulare Sanierung im Bestand beteiligt. Nach einer zweijährigen Praxisphase als Prüfenieur kehrte er zurück zur Forschungstätigkeit. Seit Dezember 2021 ist er am „Zentrum Alpines Bauen“ der FH Salzburg tätig, insbesondere bei der Entwicklung eines Holzbausystems für die vertikale Nachverdichtung im Wohnungsbau.

**Dipl.-Ing. Lena Seiwald**

hat Bauingenieurwissenschaften an der TU Graz studiert und das Masterstudium im Konstruktiven Ingenieurbau abgeschlossen. Anschließend war sie bei einem Ziviltechniker im Bereich Bauphysik tätig und sammelte Praxiserfahrung. Seit Sommer 2022 ist sie Junior Researcher an der FH Salzburg und wirkt am Forschungsprojekt „Zentrum Alpines Bauen“ mit. Dabei leistet sie einen Beitrag zu den beiden Forschungsschwerpunkten „Intelligente Gebäudehüllen“ und „Intelligente Energiesysteme“.

**Mag. Wolfgang Spitzer**

hat Angewandte Geoinformatik an der Universität Salzburg studiert und arbeitet seit 2005 im Research Studio iSPACE der RSA FG mit Methoden der räumlichen Analyse, Regionalstatistik und Kartographie in Forschungsprojekten im Bereich Smart Settlement Systems.

**Dipl.-Ing. Elisabeth Wieder, BSc**

hat das Bachelorstudium Smart Building – Energieeffiziente Gebäudetechnik und nachhaltiges Bauen sowie das Masterstudium Smart Buildings in Smart Cities – Energieinfrastruktur und Quartierserneuerung an der FH Salzburg absolviert. Vor und während dem Studium sammelte sie Praxiserfahrung in der Planungsabteilung eines Bau- und Zimmereibetriebs, seit 2018 ist sie als Junior Researcher an der FH Salzburg im Forschungsbereich Smart Building und Smart City tätig. Im Rahmen ihrer Anstellung als Junior Researcher arbeitete sie zuletzt im Forschungsprojekt „Zero Carbon Refurbishment II“ und ist aktuell im „Zentrum Alpines Bauen“ im Forschungsschwerpunkt „Intelligente Gebäudehüllen“ tätig.

IMPRESSUM

Herausgeber:

Alpines Bauen Forschungs- und Transferzentrum

(Fachhochschule Salzburg GmbH & Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH)

Leitung: FH-Prof. Arch. Dipl.-Ing. Dr. Michael Grobbauer

Stellvertretung: Dr. Thomas Prinz

www.alpinesbauen.at

Lektorat und Korrektorat: Eva Guttman

Buchgestaltung: Stefan Biedermann

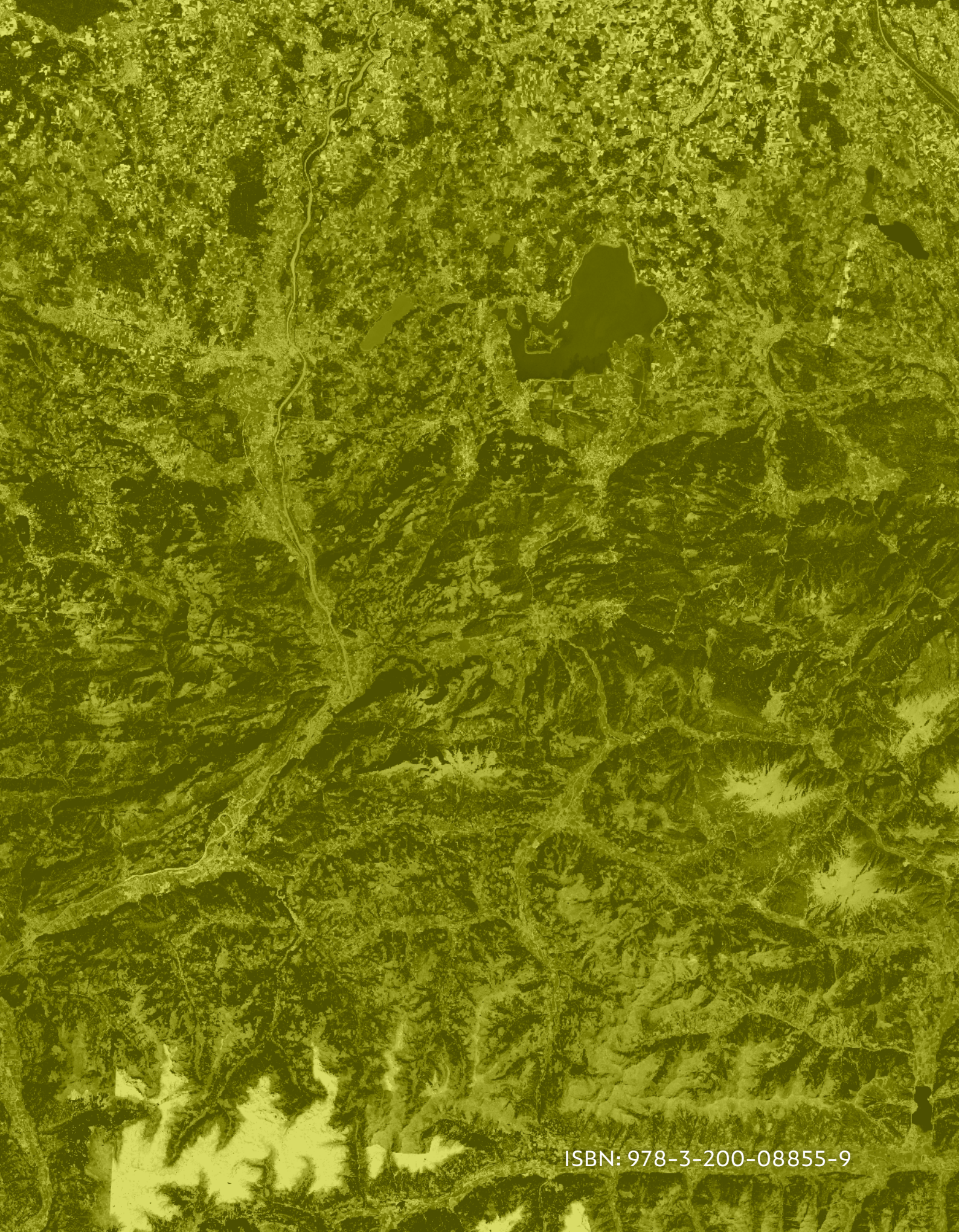
Schrift: Zeitung Pro

© für die Abbildungen: wenn nicht anders angegeben die Autor*innen

© für die Texte: die Autor*innen

Alle Rechte vorbehalten; kein Teil dieses Werks darf in irgendeiner Form ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Herausgebers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2022 ISBN: 978-3-200-08855-9



ISBN: 978-3-200-08855-9