Bundesministerium
Innovation, Mobilität
und Infrastruktur

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 83: Positive Energy Districts

Arbeitsperiode 2021 – 2025

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 70/2026

Wien, 2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination: Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien

Leitung: Heidelinde Adensam

Kontakt zu „IEA Forschungskooperation“: Mag.[a] Sabine Mitter

Autorinnen und Autoren: Shokufeh Zamini, Anna Kozlowska, Simon Schneider, Michael Gumhalter, Fabian Ochs, Georgios Dermentzis, Clemens Mayer, Andreas Türk, Camilla Neumann

Wien, 2025

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von

IEA Forschungskooperation
im Rahmen von open4innovation

Rückmeldungen:
Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an iii3@bmimi.gv.at.

Rechtlicher Hinweis

Dieser Ergebnisbericht wurde von die/der Projektnehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die/der Projektnehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die/der Projektnehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die/der Projektnehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts im Rahmen der IEA Forschungskooperation. Es wurde vom Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Kooperationsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu unterstützen.

Die IEA Forschungskooperationen umfassen eine breite Palette an Energiethemen mit dem Ziel Energiesysteme, Städte, Mobilitäts- und Industriesysteme fit für eine nachhaltige Zukunft bis 2050 zu machen. Auch Themen wie Gendergerechtigkeit oder Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftsaspekte werden berücksichtigt.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen und Unternehmen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch die vielen IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und neue internationale Standards. Auch in der Marktumsetzung konnten richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Daher werden alle Berichte nach dem Open Access Prinzip in der Schriftenreihe des BMIMI über die Plattform nachhaltigwirtschaften.at veröffentlicht.

Rechtlicher Hinweis **3**

Vorbemerkung **4**

1 Kurzfassung **7**

2 Abstract **9**

3 Ausgangslage **11**

4 Projektinhalt **14**

5 Ergebnisse **18**

5.1 Entwicklung von Definitionen und Schlüsselkonzepten für PEDs (IEA Subtask A) / Task 2.1 der nationalen Beteiligung 20

5.2 Methoden, Tools und Technologien für die Planung und Umsetzung von PEDs (IEA Subtask B) / Task 2.2 der nationalen Beteiligung 23

5.3 Folgenabschätzung und Organisationsmodelle (IEA Subtaks C) / Task 2.3 der nationalen Beteiligung 25

5.4 Analyse der Erfahrungen aus Planungs- und Demonstrationsprojekten / Task 2.4 der nationalen Beteiligung 27

5.4.1 Use Case: klimaaktiv Plus-Energie-Quartier „Am Bichl III“, Innsbruck-Igls (Neubau) 29

5.4.2 Use Case: klimaaktiv Plus-Energie-Quartier „Pilzgasse“, Wien-Floridsdorf (dichter urbaner Neubau) 30

5.4.3 Use Case: klimaaktiv klimaneutrales Plus-Energie-Quartier „RUGInnovation“, Wien (Sanierung) 31

5.4.4 Use case: Sol4City Neubau 33

5.4.5 Use case Studie: Hybrid LSC Wien Donaufeld 36

5.4.6 Use case: EXCESS Graz Tagger 39

5.4.7 Use case: Campagne-Areal Innsbruck 42

6 Vernetzung und Ergebnistransfer **46**

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen **53**

Tabellenverzeichnis **55**

Abbildungsverzeichnis **56**

Literaturverzeichnis **58**

1 Kurzfassung

Der IEA Annex 83 war ein Annex der Internationalen Energieagentur (IEA) im Rahmen des Energy in Buildings and Communities Programme (EBC), das den internationalen Austausch zu Plusenergiequartieren (Positive Energy Districts, PEDs) sowie die wissenschaftliche Vernetzung in diesem Themenfeld förderte. Das Projekt begann am 1. November 2021 und lief bis zum 31. Oktober 2025.

Die österreichische Beteiligung verfolgte das Ziel, durch ein nationales Konsortium aktiv an der Working-Phase mitzuwirken, zentrale österreichische Aktivitäten im Bereich PEDs zu bündeln und Österreich international sichtbar zu positionieren. Das nationale Konsortium setzte sich aus folgenden Institutionen zusammen:

- **AIT Austrian Institute of Technology GmbH** – österreichischer Lead und Co-Lead des Subtask D im internationalen Annex
- **AEE – Institut für Nachhaltige Technologien**
- **Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH** – Co-Lead des Subtask C im internationalen Annex
- **Universität Innsbruck**
- **FH Technikum Wien**

Im Rahmen des IEA EBC Annex 83 wurden zahlreiche Aktivitäten durchgeführt. Dazu zählten internationale Working Meetings, Webinare und Special Sessions auf internationalen Konferenzen. Darüber hinaus wurden nationale Workshops organisiert, bei denen auf eine kontinuierliche und starke Beteiligung des österreichischen Konsortiums geachtet wurde.

Positive Energy Districts (PEDs) stellen ein innovatives Konzept für die Entwicklung urbaner Quartiere dar und tragen wesentlich zur klimaneutralen Stadtentwicklung bei. Das Grundprinzip eines PED besteht in der bilanziellen Erzeugung von mehr Energie, als innerhalb des Quartiers verbraucht wird, sowie in der Fähigkeit, flexibel auf Schwankungen im Energiesystem zu reagieren.

Die Europäische Kommission verfolgte das Ziel, bis zum Jahr 2025 europaweit 100 PEDs im Aufbau zu haben. Für die Realisierung solcher Quartiere waren erstens substanzielle Effizienzsteigerungen, zweitens eine intelligente Nutzung und Kaskadierung lokaler Energieflüsse sowie drittens der Einsatz CO_2-armer Energieerzeugungstechnologien erforderlich. Der Fokus lag dabei nicht primär auf jährlichen Nettoenergieüberschüssen,

sondern auf der Minimierung der Auswirkungen auf bestehende Energienetze. Dies umfasste Maßnahmen wie Lastmanagement, erhöhten lokalen Eigenverbrauch sowie den Einsatz von Kurz- und Langzeitspeichern und Energieflexibilitätsoptionen.

Eine zentrale Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung von PEDs war eine multisektorale Herangehensweise. Neben innovativen Gebäudetechnologien wurden neue Definitionen und Schlüsselkonzepte, Planungs- und Bewertungsmethoden, digitale Werkzeuge, Ex-ante-Wirkungsabschätzungen sowie Ex-post-Monitoring-Ansätze benötigt. Ergänzend waren auch neue Organisations- und Geschäftsmodelle sowie praxisorientierte Leitfäden erforderlich.

Der IEA Annex 83 setzte genau an diesem Bedarf an. Ziel des Annexes war es, internationales Wissen und Erfahrungen zu PEDs systematisch zu sammeln, zu strukturieren, zu synthetisieren und in einer für die Praxis geeigneten Form bereitzustellen. Die im Rahmen der österreichischen Forschungsdienstleistung unterstützten Forschungseinrichtungen erhielten dadurch die Möglichkeit, diesen internationalen Prozess maßgeblich mitzugestalten.

Zur Bewältigung der komplexen Anforderungen wurde eine klare methodische Grundlage entwickelt, die bestehende Ansätze bündelte und praxisnah aufbereitete. Die Entwicklung der PED-Guidelines basierte auf einem strukturierten methodischen Vorgehen, bei dem bestehende Leitfäden systematisch analysiert und durch Expert:innenwissen ergänzt wurden. Konsultationen mit Fachleuten und Vertreter:innen kommunaler Verwaltungen ermöglichten die Identifikation zentraler Lücken, insbesondere in den Bereichen Raumplanung, Governance und systemische Zusammenhänge.

Der österreichische Beitrag legte zudem einen Fokus auf ökonomische Bewertungsansätze, darunter Kostenoptimalität, Lebenszykluskosten, Flexibilitätsoptionen und Geschäftsmodelle. Die Ergebnisse zeigten, dass PEDs unter geeigneten Rahmenbedingungen wirtschaftlich tragfähig sind, sofern technische, organisatorische und ökonomische Aspekte integriert betrachtet werden.

Ein wesentliches Ergebnis der österreichischen Beteiligung am IEA EBC Annex 83 war die Entwicklung und Erprobung des klimaaktiv-Standards *„Klimaneutrale Plus-Energie-Quartiere“*. Dieser stellte erstmals ein national verankertes quantitatives Deklarationssystem für PEDs dar, das die Erreichung von Klimaneutralität über kontextsensitive CO_2- und Primärenergiebudgets überprüfbar machte und eine direkte Verbindung zu bestehenden nationalen Gebäudestandards sowie europäischen Zielsystemen herstellte.

2 Abstract

IEA Annex 83 was an annex of the International Energy Agency (IEA) under the Energy in Buildings and Communities Programme (EBC). It facilitated international exchange on Positive Energy Districts (PEDs) and promoted scientific cooperation in this field. The project commenced on 1 November 2021 and ran until 31 October 2025.

Austria's participation aimed to contribute actively to the working phase through a national consortium that consolidated key Austrian activities related to PEDs and strengthened Austria's international visibility in this domain. The national consortium consisted of:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH – Austrian lead and Co-Lead of Subtask D in the international Annex

AEE – Institute for Sustainable Technologies

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH – Co-Lead of Subtask C in the international Annex

University of Innsbruck

FH Technikum Wien

Throughout the IEA EBC Annex 83, numerous activities were carried out. These included international working meetings, webinars, and special sessions at international conferences. National workshops were also organised, ensuring strong and continuous participation from the Austrian consortium.

Positive Energy Districts (PEDs) represent an innovative approach to urban development and contribute significantly to climate-neutral cities. The underlying principle of a PED is to create an urban area that, on an annual balance, generates more energy than it consumes while maintaining flexibility to respond to fluctuations in the energy system.

The European Commission pursued the objective of having 100 PEDs under development across Europe by 2025. The realisation of PEDs required substantial improvements in energy efficiency, the intelligent utilisation and cascading of local energy flows, and the deployment of low-carbon energy generation technologies to cover the remaining energy demand. Rather than focusing solely on annual net energy surpluses, PEDs sought to minimise the impact on energy grids. This necessitated measures such as load management, increased on-site energy consumption, and the use of short- and long-term energy storage systems as well as flexibility options.

A multisectoral approach was essential for the successful implementation of PEDs. In addition to innovative building technologies, new definitions and key concepts, planning and assessment methods, digital tools, ex-ante impact assessments, and ex-post monitoring

strategies were required. Moreover, new organisational and business models, as well as practice-oriented guidelines, were needed to support implementation.

IEA Annex 83 addressed these needs by aiming to systematically collect, structure, synthesise, and prepare international knowledge and experience on PEDs in a form suitable for practical application. The contracted research service enabled leading Austrian research institutions to play an active role in shaping this international process.

To meet the complex requirements, a clear methodological foundation was developed, consolidating existing approaches and translating them into practical guidance. The development of the PED Guidelines followed a structured methodological approach in which existing guidelines were systematically analysed and supplemented with expert knowledge. Consultations with specialists and municipal practitioners enabled the identification of key gaps, particularly in spatial planning, governance, and systemic interdependencies.

The Austrian contribution also focused on economic assessment approaches, including cost-optimality, life-cycle costs, flexibility options, and business models. The findings demonstrated that PEDs can be economically viable under appropriate framework conditions, provided that technical, organisational, and economic aspects are considered in an integrated manner.

A key outcome of Austria's involvement in IEA EBC Annex 83 was the development and pilot testing of the *klimaaktiv* standard **"Climate-Neutral Positive Energy Districts"**. This standard represented the first nationally anchored, quantitative declaration system for PEDs at the international level. It enabled verifiable assessment of climate neutrality based on context-sensitive CO_2 and primary energy budgets and established direct links to existing national building standards and European policy frameworks.

3 Ausgangslage

Das Pariser Abkommen von 2015 hat den internationalen Bemühungen zur Reduzierung der CO2-Emissionen mehr Gewicht verliehen, wobei den städtischen Gebieten mit einem Anteil von 70 % an den globalen Emissionen eine Schlüsselrolle zukommt. Dementsprechend beinhalten die UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung nachhaltige Städte und Gemeinden mit dem Ziel, den Übergang zu klimaneutralen Städten zu unterstützen. Positive Energy Districts (PEDs) sind ein innovatives Konzept für die Entwicklung von Stadtteilen und Quartieren, das einen wichtigen Beitrag zu klimaneutraler Stadtentwicklung leisten kann. Das Grundprinzip eines PED besteht darin, ein städtisches Gebiet / einen Stadtteil zu schaffen, der in der Lage ist, mehr Energie zu erzeugen als zu verbrauchen und agil/flexibel genug ist, um auf die Schwankungen des Energiemarktes zu reagieren. Nach dem Willen der Europäischen Kommission sollen in Europa bis zum Jahr 2025 hundert PEDs in Planung, Entwicklung oder Betrieb sein. Um PEDs zu realisieren, muss erstens die Energieeffizienz verbessert werden, zweitens müssen lokale Energieflüsse kaskadiert werden, indem eventuelle Überschüsse genutzt werden, und drittens müssen CO2-arme Energieerzeugungstechnologien eingesetzt werden, um den restlichen Energieverbrauch zu decken. PEDs zielen aber nicht darauf ab, einen jährlichen Nettoüberschuss an Energie zu erzielen. Vielmehr ist es auch erforderlich, die Auswirkungen auf die Energienetze zu minimieren, indem Optionen für ein besseres Lastmanagement und einen erhöhten Eigenverbrauch vor Ort sowie Technologien für Kurz- und Langzeitspeicher und Energieflexibilität bereitgestellt werden. Intelligente Steuerung und Energieflexibilität sind erforderlich, um die Nachfrage mit der Produktion vor Ort so weit wie möglich in Einklang zu bringen, und um die Belastungen für die Energienetze zu minimieren. Es bedarf einer multisektoralen Herangehensweise, um PEDs zu realisieren. Erforderlich sind nicht nur innovative Gebäudetechnologien, sondern insbesondere auch neue Definitionen und Schlüsselkonzepte für die Konzeption von PEDs; Methoden, Tools und Technologien für die Planung und Umsetzung, Methoden für die Ex-Ante-Wirkungsabschätzung sowie das Ex-Post-Monitoring von PEDs, sowie neue Organisations- und Geschäftsmodelle sowie Handlungsleitfäden für die Planung von PEDs. PEDs können so eine einzigartige Rolle als Anwender, Vermittler und Inkubatoren für neue Technologien und Lösungen spielen. Dies ist notwendig, um gemeinsam umfassende Pakete von bürgernahen, klimaneutralen Energielösungen zu schaffen. Die internationale wissenschaftliche Gemeinschaft spielt eine zentrale Rolle bei der Definition der nächsten Forschungsschritte für die Entwicklung von PEDs und bei der Unterstützung von Planungs- und Förderentscheidungen mit validierten wissenschaftlichen Methoden. Hier setzt der

IEA-Annex 83 an, der das Wissen und die Erfahrung der internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft zu PEDs sammeln, systematisieren, synthetisieren und in einer für die Praktiker aus Kommunalverwaltungen, Förderagenturen, der Immobilienbranche und von den Energieversorgern und Energienetzbetreibern verständlichen Form aufbereiten wird. Darüber hinaus hat die Europäische Kommission (EK) allgemeine regulatorische Rahmenbedingungen vorgeschlagen, um die Umsetzung von PEDs (Public Energy Development) in realen städtischen Konzepten bis 2050 zu fördern.

Zum Zeitpunkt des Projektbeginns war das Konzept der Positive Energy Districts auf europäischer Ebene bereits strategisch im SET-Plan verankert und durch das PED Reference Framework von JPI Urban Europe grundsätzlich beschrieben. Ein einheitlicher Stand der Technik für die Definition und Bewertung von PEDs bestand jedoch noch nicht. Analysen europäischer Demonstrationsprojekte und erste Übersichtsarbeiten zeigten erhebliche Unterschiede hinsichtlich der räumlichen und funktionalen Systemgrenzen, der einbezogenen Energieanwendungen, der Bilanzierungsgrößen und Gewichtungsfaktoren sowie der zeitlichen Auflösung der Bewertung. Die aus der Forschung zu Net-Zero-Energy Buildings bekannten Grundelemente einer Energiebilanz – Systemgrenze, Bilanztyp und Gewichtungsmethode – bildeten zwar eine methodische Ausgangsbasis, waren aber noch nicht in eine allgemein anerkannte PED-Bewertungsmethode überführt worden. (Sartori et al., 2012; SET-Plan Working Group, 2018; Bossi et al., 2020; JPI Urban Europe/SET Plan Action 3.2, 2020; Brozovsky et al., 2021; Hedman et al., 2021; Lindholm et al., 2021).

Das österreichische Konsortium konnte bei Projektbeginn auf einschlägige Vorarbeiten aus nationalen und europäischen Projekten aufbauen, die die Ausgangsbasis für die eingebrachten Beiträge bildeten. JOANNEUM RESEARCH startete zu diesem Zeitpunkt mit der Leitung des EU-Horizon-2020-Projekts EXCESS (EXCESS, 2020-2025) und beforschte den österreichischen Demonstrationsstandort in Graz zur Sanierung eines Industriebestandsgebäudes mit multifunktionaler, energieaktiver Fassade und verfügte über Vorarbeiten zu ökonomischer Bewertung, Flexibilitätsoptionen und Geschäftsmodellen. AEE INTEC brachte umfassende Kompetenzen im Bereich Gebäude- und Energiesystemsimulation mit in das Projekt und arbeitete bereits intensiv an gebäudeintegrierten Speicher- und Flexibilitätsmaßnahmen, welche sowohl im Neubau als auch bei Sanierungsprojekten Möglichkeiten zur aktiven Lastverschiebung bieten. Diese Methoden und Ergebnisse (Gumhalter et al. 2022, Ramschak et al. 2022) bildeten die Ausgangslage für eine Ausweitung der Systemgrenze auf Quartiere und Mikronetze.

Auch auf Ebene der Methoden und Werkzeuge lagen bereits zahlreiche Ansätze zur Gebäude- und Quartierssimulation, zur Integration lokaler erneuerbarer Energien, zu Speichern, Lastmanagement und Sektorkopplung vor. Diese waren jedoch überwiegend projektspezifisch und konzentrierten sich auf den Gebäudebetrieb und jährliche

Nettoenergiebilanzen. Die zeitliche Abstimmung von Bedarf, Erzeugung und Speicherung, die Interaktion mit den Energienetzen und die Bewertung von Energieflexibilität wurden nur teilweise berücksichtigt; Mobilität, graue Emissionen und Lebenszykluswirkungen lagen meist außerhalb der betrachteten Systemgrenzen. Nationale Vorarbeiten zur primärenergetischen Bewertung von Gebäuden und Quartieren, zum dynamischen Abgleich von Photovoltaikerzeugung und Lasten sowie zu Demand Response stellten wichtige methodische Bausteine bereit, waren aber noch nicht zu einem integrierten, transparenten und international abgestimmten PED-Bewertungsrahmen verbunden. Das Fehlen vergleichbarer Definitionen, validierter Bewertungsmethoden und übertragbarer Instrumente für Planung, Umsetzung und Monitoring bildete damit die zentrale Ausgangslage für den IEA EBC Annex 83.

Die internationale Forschungsgemeinschaft spielt in diesem Bereich eine zentrale Rolle bei der Definition zukünftiger Forschungsrichtungen zur Entwicklung von PEDs und der Unterstützung des Entscheidungsprozesses mit präzisen Informationen. Eigene Vorarbeiten der Universität Innsbruck (UIBK) leisten bereits wesentliche Beiträge zu den für PEDs relevanten Themenfeldern der Energieeffizienz, Systemintegration und Betriebsoptimierung. Im Rahmen des FFG-Forschungsprojekts „Campagne Areal“ wurde eine energetische Optimierung des Wärmeerzeugungs- und Wärmeverteilungssystems durchgeführt (Dermentzis et al. 2019). Zur Unterstützung der Messdatenanalyse sowie zur Weiterentwicklung eines Entscheidungsunterstützungstools wurden Simulationsmodelle entwickelt und eingesetzt (Dermentzis et al. 2021). Darüber hinaus wurden verschiedene Varianten zur Integration von Wärmepumpen in Einzelgebäude und Gebäudeverbünde mithilfe detaillierter energetischer Simulationen untersucht und bewertet (Ochs et al. 2022). Aufbauend auf diesen Arbeiten erfolgte ein detailliertes energetisches Monitoring des Campagne-Areals mit Schwerpunkt auf Warmwasserverbrauch, Verteilungsverlusten sowie der Effizienz der zentralen Wärmepumpe (Venturi et al. 2024). Die gewonnenen Erkenntnisse bilden eine wichtige wissenschaftliche Grundlage für die Bewertung, Optimierung und Skalierung energiepositiver Quartierslösungen und liefern wertvolle Erfahrungen für die Entwicklung und Umsetzung von PED-Konzepten.

Trotz zahlreicher Initiativen fehlen bislang konsistente, quantitativ überprüfbare Definitionen von PEDs, die klar mit nationalen Klimazielen, sektorübergreifenden Systemgrenzen und standortspezifischen Rahmenbedingungen verknüpft sind. Insbesondere mangelt es an Ansätzen, die eine belastbare Aussage darüber erlauben, ob ein Quartier einen für Klimaneutralität ausreichenden Beitrag leistet.

4 Projektinhalt

IEA EBC Annex 83 ist ein Projekt der Internationalen Energieagentur IEA, das den internationalen Austausch zu Plusenergiequartieren und die internationale wissenschaftliche Vernetzung in diesem Bereich fördert [1] .
Die internationale wissenschaftliche Gemeinschaft spielt eine zentrale Rolle bei der Definition der nächsten Forschungsschritte für die Entwicklung von PEDs und bei der Unterstützung von Planungs- und Förderentscheidungen mit validierten wissenschaftlichen Methoden. Hier setzt der IEA-Annex 83 an, der das Wissen und die Erfahrung der internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft zu PEDs sammeln, systematisieren, synthetisieren und in einer für die Praktiker aus Kommunalverwaltungen, Förderagenturen, der Immobilienbranche und von den Energieversorgern und Energienetzbetreibern verständlichen Form aufbereiten wird. Der IEA-Annex 83 wird vom VTT, dem finnischen Zentrum für angewandte Forschung, geleitet und von zahlreichen IEA-Mitgliedsländern – darunter Österreich, Belgien, Kanada, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Irland, Italien, Niederlande, Norwegen, Schweden, Schweiz, Vereinigtes Königreich, USA.– unterstützt.
Auf der Annex-83-Webseite ist ersichtlich, dass IEA EBC Annex 83 "Positive Energy Districts" ein internationales Forschungsnetzwerk zu energiepositiven Stadtquartieren ist und von 2020 bis 2026 läuft. Die Operating Agents sind:

Prof. Francesco Guarino, University of Palermo (Italien)
Dr. Francesco Reda, VTT Technical Research Centre of Finland (Finnland)

Beteiligte Länder

Die Beteiligung erfolgt über nationale Forschungseinrichtungen, Universitäten, Energieagenturen, Städte und Industriepartner. Zu den im Annex vertretenen Institutionen zählen unter anderem:

Land	**Institute / Organisationen**
Finnland	VTT Technical Research Centre of Finland

[1] https://annex83.iea-ebc.org/

Italien	University of Palermo, University of Catania
Österreich	AIT Austrian Institute of Technology, AEE – Institut für Nachhaltige Technologien, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Universität Innsbruck, FH Technikum Wien
Deutschland	Fraunhofer-Institute, Universitäten und kommunale Partner
Schweden	Lund University, RISE und weitere Forschungspartner
Norwegen	SINTEF, NTNU
Niederlande	TNO, TU Delft
Schweiz	EMPA, ETH
Belgien	KU Leuven, VITO
Dänemark	Aalborg University, DTU
Frankreich	CSTB und Hochschulpartner
Irland	University College Cork
Kanada	NRC Canada und Concordia University
Ver. Königreich	UCL, University of Nottingham
Japan	Tokyo City University

Struktur des Annex

Annex 83 entwickelt wissenschaftliche Grundlagen, Methoden, Technologien und Umsetzungsstrategien für Positive Energy Districts (PEDs). Dabei werden technische, wirtschaftliche, soziale und städtebauliche Aspekte integriert, um klimaneutrale Stadtquartiere zu ermöglichen.

Die Aufgabenbereiche des Annex 83 umfassen die nachstehenden Subtasks:

Subtask A – Definitionen und Kontext Eingehende Definition, die die Komplexität von PED so weit wie möglich berücksichtigt Klassifizierung von PED-Typologien unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren und Erstellung von Archetypen.

Subtask B – Methoden, Werkzeuge und Technologien für die Realisierung Positive Energy Districts Erfassung von Energietechnologien Erfassung intelligenter Technologien Modellierungs-, Simulations- und Optimierungswerkzeuge: Vergleich und Anwendung.

Subtask C – Organisatorische Grundsätze und Folgenabschätzung Wirtschaftliche Bewertung Umweltbezogene Bewertung Humanitäre und soziale Folgenabschätzung.

Subtask D – Demos, Implementierung und Verbreitung Demonstrations-Use-Cases: Leitlinien für die Planung und Umsetzung der Methodik Verbreitung.

Die österreichischen Partner übernahmen die Co-Leitung der Subtasks C und D. Die Projektziele für ein Jahr wurden erreicht und sind noch aktuell und realistisch. Diese beinhalten die Teilnahme an Konferenzen und Austausch mit Projekten.

Die Hauptziele im Annex 83 sind:

• Ziel 1: Darstellung der relevanten Akteure aus Stadt, Industrie, Forschung und Regierung (lokal, regional, national) und ihrer Bedürfnisse und Rollen

• Ziel 2: Schaffung einer gemeinsamen Definition von Plusenergiequartieren

• Ziel 3: Entwicklung der erforderlichen Informationen für die Umsetzung der notwendigen technischen Lösungen (auf Gebäude-, Bezirks- und Infrastrukturebene), die replizierbar sind und schrittweise auf die Stadtebene hochskaliert werden können.

• Ziel 4: Erforschung neuartiger Ansätze hinsichtlich Monitorings, Umgang mit Big Data und Datenmanagement, intelligenter Steuerung und Digitalisierungstechnologien als Voraussetzung zur Entwicklung von Plusenergiequartieren

• Ziel 5: Entwicklung der erforderlichen Informationen und Rahmenbedingungen für die Planung und Umsetzung von Plusenergiequartieren (technische Planung und Stadtplanung)

Österreichischer Beitrag über den Annex hinaus

Über die Mitarbeit in den internationalen Subtasks hinaus wurde im Rahmen der österreichischen Beteiligung ein eigenständiger methodischer Ansatz entwickelt, der die im Annex identifizierten Herausforderungen in ein nationales, praxisorientiertes Bewertungssystem überführt. Dieser Ansatz mündete in den klimaaktiv-Standard „Klimaneutrale Plus-Energie-Quartiere“, der als operatives Bindeglied zwischen den wissenschaftlichen Konzepten von Positive Energy Districts (PEDs) und deren praktischer Anwendung in Planung, Bewertung und Auszeichnung von Quartieren dient.

Damit wurden die im Annex erarbeiteten Erkenntnisse nicht nur in die internationale Forschung eingebracht, sondern auch unmittelbar für die österreichische Praxis nutzbar gemacht. Der klimaaktiv-Standard schafft eine einheitliche Grundlage für die Entwicklung, Bewertung und Qualitätssicherung klimaneutraler und energiepositiver Quartiere in Österreich.

Darüber hinaus nahm Österreich innerhalb des internationalen Annex 83 eine führende Rolle ein:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH: österreichischer Projektleiter sowie internationaler Co-Lead des Subtask D „Demos, Implementation and Dissemination“

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH: internationaler Co-Lead des Subtask C „Organising Principles and Impact Assessment“

Durch diese Leitungsfunktionen war Österreich maßgeblich an der wissenschaftlichen Ausrichtung des Annex, der Entwicklung von Bewertungsansätzen sowie der internationalen Verbreitung der Projektergebnisse beteiligt.

5 Ergebnisse



Abbildung 1: Zusammenspiel von Politik sowie Forschung und Innovation in einem kontinuierlichen Prozess.

Der IEA-Annex 83 wird von VTT, dem finnischen Zentrum für angewandte Forschung, geleitet und von einer Vielzahl der Mitgliedsländer der IEA, darunter Österreich, unterstützt. Mit der hier beantragten Forschungsdienstleistung sollen führenden österreichischen Forschungseinrichtungen, nämlich dem AIT, Joanneum Research, der Universität Innsbruck und AEE INTEC, die Teilnahme am IEA Annex 83 ermöglicht werden. Der Annex 83 hebt die Kooperation bzgl. der Entwicklung von PEDs durch die Zusammenarbeit der Forschungspartner auf eine internationale Ebene. Hierfür sind mehrere gemeinsame Aktivitäten geplant, u.a. die Entwicklung einer umfassenden Definition von PEDs und die Identifikation und Analyse relevanter Technologien, Planungswerkzeuge und Entscheidungsprozesse in Bezug auf PEDs. Darüber hinaus sollen praktische Erfahrungen bei der Entwicklung von PED dokumentiert und relevante Projekte in einer Datenbank erfasst werden. Im Einzelnen verfolgt der IEA Annex 83 folgende Zielsetzungen: **Zielsetzung 1 international:** Erstellung einer Übersicht über die relevanten Akteure im Bereich PED im den Bereichen Stadtverwaltung, Industrie, Forschung und öffentliche Entscheidungsträger (lokal, regional, national) sowie Beschreibung ihrer Bedürfnisse und Rollen. **Zielsetzung 2 international:** Schaffung eines gemeinsamen Definitionsrahmens für PED durch ein Multistakeholder-Governance-Modell. Bisherige

internationale Aktivitäten haben generalisierte Definitionen entwickelt, die viele Fragen offenlassen. **Zielsetzung 3 international:** Analyse der notwendigen technischen Lösungen (auf Gebäude-, Stadtteil- und Infrastrukturebene), die repliziert und schrittweise auf die Stadtebene hochskaliert werden können. Dabei sollen insbesondere das Zusammenspiel flexibler Technologien/Lasten auf Stadtteilebene sowie wirtschaftliche und soziale Fragen wie Akzeptanz berücksichtigt werden. **Zielsetzung 4 international:** Erforschung neuartiger technischer und servicebezogener Möglichkeiten für Monitoring, Big-Data-Analyse, Datenmanagement, intelligente Steuerungs- und Regelungstechnik und Digitalisierungstechnologien als Enabler für PEDs. **Zielsetzung 5 international:**. Entwicklung von Handlungsempfehlungen für die Planung und Umsetzung von PEDs, die sowohl die Stadtplanung als auch die energetische Planung umfassen. Dies wird auch die Abschätzung der wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Folgenabschätzung verschiedener alternativer Entwicklungspfade umfassen. Diese internationalen Zielsetzungen spiegeln sich sowohl in der internen (Subtask-)Struktur des IEA-Annex als auch in der Struktur der hier beantragten F&E-Dienstleistung wider (Tabelle 1).

Tabelle 1: Die Tabelle zeigt die Zuordnung von österreichischen Aufgaben (Tasks) zu internationalen Subtasks und den entsprechenden internationalen Zielen im Rahmen des IEA EBC Annex 83 Projekts.

Österreichische Tasks	Internationaler Subtask	Internationale Ziele
T 2.1	STA	1, 2
T 2.2	STB	3, 4
T 2.3	STC	1, 2, 5
T 2.4	STD	5

Ferner sollen durch die Forschungsdienstleistungen folgende Ziele auf nationaler Ebene erreicht werden: **Zielsetzung national 1:** Dissemination österreichischer Forschungsergebnisse und Beispiele guter Praxis. Es werden mindestens 6 Konferenzbeiträge und 2 Journal-Articles angestrebt. **Zielsetzung national 2:** Einbringen der Ergebnisse des IEA Annexes in nationale Forschungsprojekte Dies beinhaltet auch das Testen verschiedener Methoden in nationalen Projekten bzw. Projekten mit nationaler Beteiligung. **Zielsetzung national 3:** Einbringen der Ergebnisse des IEA Annexes in österreichische Politikprozesse, Forschungs- und Innovationsprogramme (Stadt der Zukunft, Smart City Demo),und relevante Stakeholderinitiativen (Smart City Vernetzungsplattform; Einbringen der Ergebnisse in österreichische Normierungs-, Standardisierungs- und Zertifizierungsinitiativen (ASI AG 269 „Smart Cities and Communities“, ÖIB, ÖGNI, Klima-Aktiv-Zertifizierung). Dies beinhaltet: Eine mögliche Weiterentwicklung der Definition von Plus-Energie-Quartieren, Erkenntnisse zu geeigneten technologischen Lösungen und Standards, sowie Erkenntnisse bzgl. geeigneter Methoden

und Handlungsempfehlungen bzgl. der Bewertung und Planung von PEDs **Zielsetzung national 4** : Vernetzung mit österreichischen Stakeholdern in 3 Workshops mit jeweils mindestens 20 österreichischen Stakeholdern (Subtask C + D) aus den Bereichen Normung, Gebäudezertifizierung, Arealentwicklung, Immobilienwirtschaft, , Architekten- und Ingenieurekammer, etc. **Zielsetzung national 5:** Einbindung von österreichischen Städten und Kommunen (z.B. Wien, Graz und Innsbruck) in den Prozess im Rahmen von 3 Workshops mit dem Ziel der Validierung der Ergebnisse / der Planungsrichtlinien (Prüfung der Praxistauglichkeit). Bestehende Kooperationen betreffen beispielsweise die Stadt Graz im Kontext des H2020 Projekts EXCESS[2] (nationaler Demonstrator) und des nationalen Projekts Hybrid LSC[3] sowie die Stadt Innsbruck im Rahmen des Projekts “Smart City Campagne-Areal". Das Projekt generiert neues Wissen in vier Themenbereichen: Entwicklung von Definitionen und Schlüsselkonzepten für PEDs (IEA Subtask A), Methoden, Tools und Technologien für die Planung und Umsetzung von PEDs (IEA Subtask B), Folgenabschätzung und Organisationsmodelle (IEA Subtask C), Analyse der Erfahrungen aus Planungs- und Demonstrationsprojekten (IEA Subtask D).

5.1 Entwicklung von Definitionen und Schlüsselkonzepten für PEDs (IEA Subtask A) / Task 2.1 der nationalen Beteiligung

Im internationalen Diskurs zu PEDs besteht keine allgemein akzeptierte, quantitativ überprüfbare Definition. Vor diesem Hintergrund adressierte Subtask A des IEA EBC Annex 83 die systematische Entwicklung eines wissenschaftlich fundierten Definitionsrahmens, der die Vielschichtigkeit von PEDs angemessen abbildet und gleichzeitig für Planung und Bewertung anwendbar ist. Zentrale Fragestellungen betrafen dabei insbesondere die Festlegung geeigneter Systemgrenzen, die Berücksichtigung unterschiedlicher Klimazonen und Zeiträume, den Vergleich verschiedener Energieträger sowie die Einbindung von Lebenszyklusaspekten, grauer Energie und nutzungsabhängigen Energieverbräuchen, etwa aus Mobilität. Auf Basis einer umfassenden Analyse bestehender Definitionen und Initiativen zu Positiv-Energie-Gebäuden, -Quartieren und PEDs – einschließlich internationaler Forschungsprojekte, realisierter Fallstudien, wissenschaftlicher Literatur sowie relevanter Normen und Regelwerke – wurden die wesentlichen inhaltlichen Spannungsfelder und offenen Punkte identifiziert.

[2] https://positive-energy-buildings.eu/

[3] https://greenenergylab.at/projects/hybrid-lsc/

Aus der österreichischen Beteiligung an Subtask A ging dabei ein eigenständiger methodischer Weiterentwicklungsschritt hervor: Mit dem **klimaaktiv-Standard „Klimaneutrale Plus-Energie-Quartiere“** wurde der im Annex erarbeitete Definitionsrahmen erstmals in ein national verankertes, quantitatives und deklarationsfähiges System überführt[4]. Damit wird auch die im Annex identifizierten Herausforderungen adressiert: Die fehlende Möglichkeit, PEDs konsistent und vergleichbar hinsichtlich ihres Beitrags zur Klimaneutralität in verschiedenen Kontexten zu bewerten.

Der Standard operationalisiert die PED-Definition, indem er eine Positive-Energy-Logik mit einer budgetbasierten Lebenszyklus-Bewertung von Treibhausgasemissionen verknüpft und damit eine überprüfbare Aussage darüber ermöglicht, ob ein Quartier einen für Klimaneutralität ausreichenden Beitrag leistet. Bewertet werden dabei der Energie- und Emissionsbeitrag aus Gebäudebetrieb, Alltagsmobilität sowie grauer Energie für Errichtung und Instandhaltung. Die zugrunde liegenden Zielwerte werden kontextsensitiv aus den nationalen Klimazielen abgeleitet und als flächenbezogenes Treibhausgas-Budget formuliert, das mit dem Einhalten der Pariser Klimaziele kompatibel ist. Die Bilanzierung berücksichtigt standortspezifische Rahmenbedingungen wie bauliche Dichte, Mobilitätsanforderungen und den Projektkontext (Neubau oder Sanierung) über projektbezogene Kontextfaktoren auf der Aufbringungsseite und folgt damit einem Effort-Sharing-Ansatz, der die Vergleichbarkeit und Erreichbarkeit der Anforderungen über unterschiedliche Quartierstypen hinweg ermöglicht – eine der zentralen Herausforderungen des PED Konzepts.

[4] https://www.klimaaktiv.at/publikationen/plus-energie-quartiere

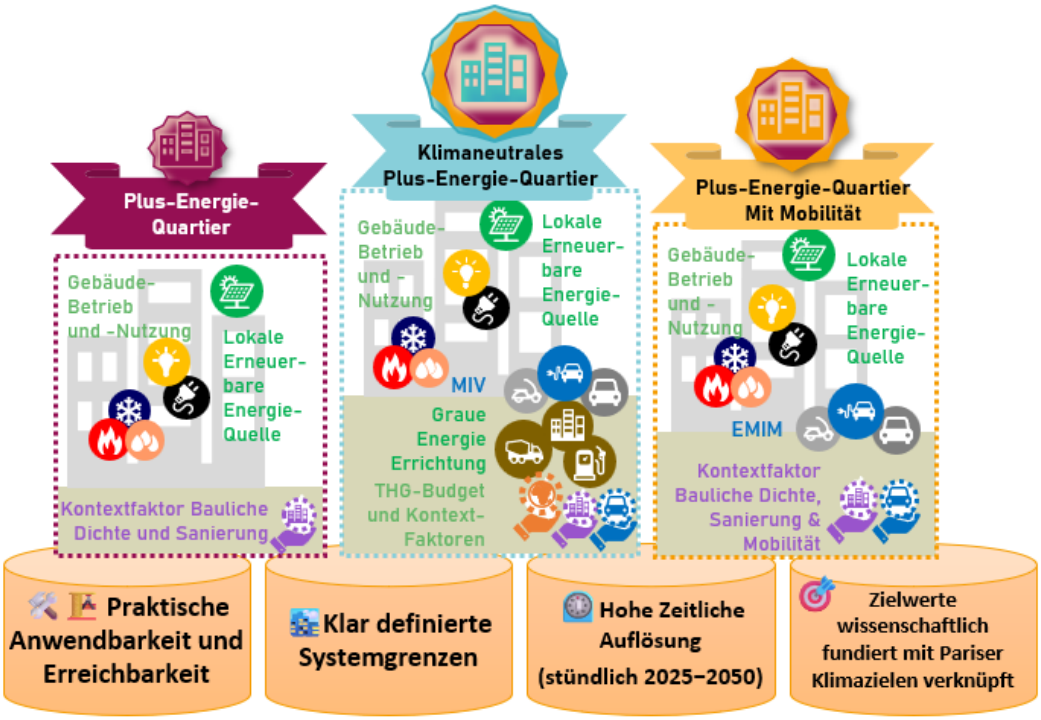


Abbildung 2 Aufbau und inhaltliche Erweiterung der klimaaktiv-Systematik von Plus-Energie-Quartieren hin zu klimaneutralen Quartieren. © FH Technikum Wien

Der klimaaktiv-Standard ist vollständig kompatibel mit den bestehenden klimaaktiv-Systemen für Gebäude sowie für Siedlungen und Quartiere und stellt damit zugleich eine direkte Anschlussfähigkeit an europäische Rahmenwerke wie die EU-Taxonomie-Verordnung und das New European Bauhaus her. Die Anwendbarkeit des Ansatzes wurde anhand mehrerer Quartiersdeklarationen in unterschiedlichen Kontexten demonstriert, darunter Neubau- und Sanierungsprojekte sowie dichte urbane und weniger dichte Lagen (u. a. Am Bichl III, Pilzgasse 33, und Campo Breitenlee im Forschungsprojekt ZQ3Demo[5], RUGInnovation[6], WieNeu+ Alliiertenviertel[7]). Erste Umsetzungen, etwa in Am Bichl III und RUGInnovation, belegen darüber hinaus die praktische Umsetzbarkeit des Standards in Neubau und Sanierung.

[5] https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/zq3demo-umsetzung-von-urbanen-zukunftsquartieren-mit-akteursvernetzung-und-rechtlich-oekonomisch-replizierbaren-loesungen.php

[6] https://ruginnovation.at/

[7] https://www.wien.gv.at/spezial/studien/ma25/klimaneutralesalliiertenviertel2025.pdf

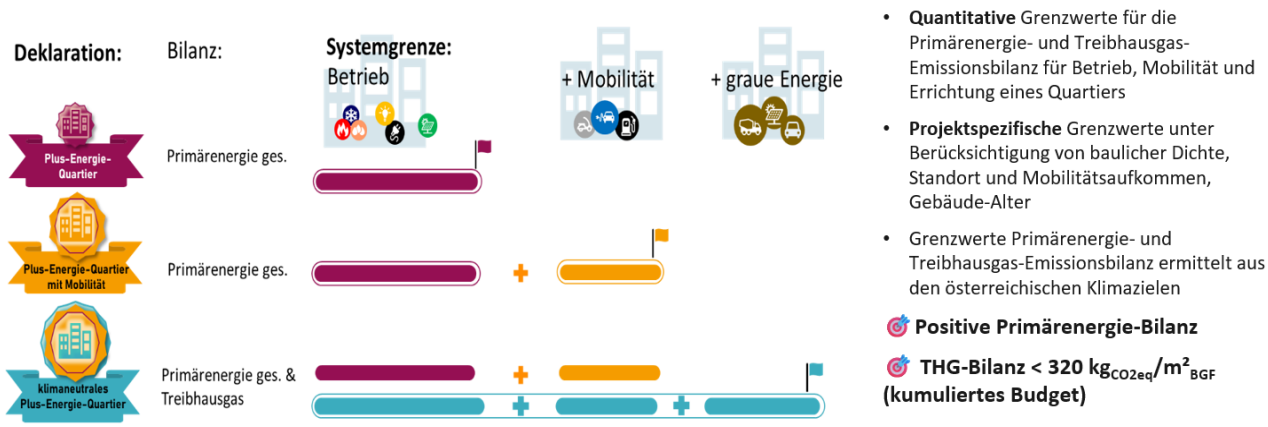


Abbildung 3 Vergleich der drei Deklarationsstufen der klimaaktiv Plus-Energie-Quartiere hinsichtlich Bilanzumfang und Systemgrenzen für Betrieb, Mobilität und graue Energie Energie © FH Technikum Wien

Der klimaaktiv-Standard fungiert damit als nationales Implementierungsinstrument für die im IEA Annex 83 entwickelten PED-Konzepte.

5.2 Methoden, Tools und Technologien für die Planung und Umsetzung von PEDs (IEA Subtask B) / Task 2.2 der nationalen Beteiligung

PEDs erfordern hochintegrierte Energieversorgungskonzepte für Wärme, Strom und Mobilität, die über die Optimierung einzelner Technologien hinausgehen und das Quartier als gekoppeltes Energiesystem begreifen. Ein zentraler Innovationsgehalt des IEA EBC Annex 83 liegt daher in der systemischen Verknüpfung nachhaltiger Teilsysteme und Komponenten zu einer funktional, ökologisch und wirtschaftlich tragfähigen Gesamtlösung. Dazu zählen erneuerbare Erzeugungstechnologien wie Photovoltaik, Solarthermie und PVT-Systeme, effiziente Wärme- und Kältebereitstellung auf Basis von Wärmepumpen, thermische und elektrische Speicher sowie Maßnahmen zur Energieflexibilisierung auf Gebäude- und Quartiersebene.

Neben technologischen Herausforderungen zeigt sich in der Praxis jedoch insbesondere ein Mangel an **methodischen Werkzeugen**, die diese komplexen Systeme **modellieren, simulieren, konsistent bewerten, vergleichen und nachweisen** können. Insbesondere fehlen marktverfügbare Instrumente, die in der Lage sind, die Vielzahl an Energieflüssen, Systemgrenzen, zeitlichen Effekten und kontextabhängigen Rahmenbedingungen integriert abzubilden und daraus belastbare Aussagen zur Zielerreichung von PEDs und zur Klimaneutralität abzuleiten.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen der österreichischen Beteiligung ein **klimaaktiv PEQ-Nachweistool** entwickelt, das die in Subtask A erarbeiteten Definitionen und Zielwerte in eine **anwendungsfähige, deklarationsreife Methodik** überführt. Das Tool bildet den methodischen Kern des klimaaktiv-Standards „Klimaneutrale Plus-Energie-Quartiere“ und dient der Planung, Variantenbewertung, Qualitätssicherung und formalen Nachweisführung von PEDs.[8]

Das klimaaktiv PEQ-Nachweistool ist kein isoliertes Simulationswerkzeug, sondern ein **integrierter Bewertungsrahmen**, der die energetische und treibhausgasbezogene Performance von Quartieren entlang klar definierter Systemgrenzen und Zielwerte abbildet. Es verknüpft die Bewertung von Gebäudebetrieb, Alltagsmobilität und grauer Energie mit einer stündlich aufgelösten Primärenergie- und THG-Bilanzierung und berücksichtigt dabei sowohl Energieerzeugung und -verbrauch als auch Speicher, Flexibilitäten und Netzinteraktionen. Durch die Einbindung von projektbezogenen Kontextfaktoren (u. a. bauliche Dichte, Mobilität, Sanierung) auf der Aufbringungsseite ermöglicht das Tool eine kontextsensitive Bewertung unterschiedlicher Quartierstypen und stellt sicher, dass die Anforderungen des Standards unabhängig von Standort und Ausgangssituation vergleichbar und erreichbar bleiben.

Im Unterschied zu konventionellen Energie- oder Quartierssimulationswerkzeugen zielt das klimaaktiv PEQ-Nachweistool nicht auf eine detaillierte technische Auslegung einzelner Komponenten ab, sondern auf die **übergeordnete Frage der Zielerreichung**: Ob ein Quartier unter realistischen Annahmen einen ausreichenden Beitrag zur Klimaneutralität leisten kann. Damit ergänzt es bestehende Planungs- und Simulationswerkzeuge und fungiert als **entscheidungsleitendes Meta-Instrument** auf Quartiersebene. Es bildet eine methodische Schnittstelle zwischen den Ergebnissen der Subtasks A, B und C:

- aus Subtask A übernimmt es die Definitionen, Systemgrenzen und Zielwerte,
- aus Subtask B die Integration von Technologien, Speicher- und Flexibilitätsoptionen,
- aus Subtask C die Grundlage für ökonomische, ökologische und vergleichende Bewertungen.

(Hinweis: Die technische Umsetzung erfolgt derzeit in Form eines Excel-basierten Werkzeugs, die Methodik ist jedoch unabhängig vom konkreten Softwareformat.)

[8] https://github.com/simonschaluppe/peexcel

In den nachfolgenden Use-Cases AmBichl, Pilzgasse und RUGInnovation wird gezeigt, wie das Tool zur Bewertung realer Quartiersprojekte eingesetzt wurde und wie daraus Aussagen zur PED-Eignung und Klimaneutralität abgeleitet wurden.

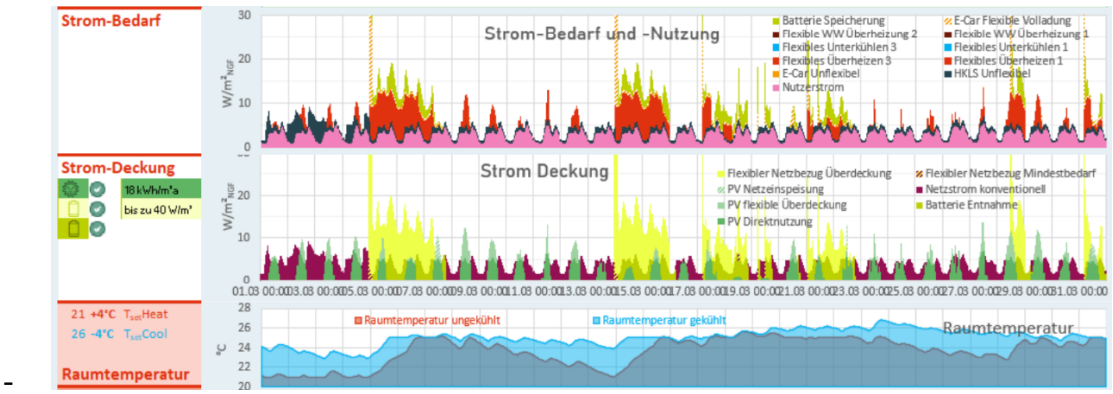


Abbildung 4 Dashboard des klimaaktiv PEQ-Nachweistools zur Darstellung von Primärenergie-, THG- und Kontextbeiträgen auf Quartiersebene. © FH Technikum Wien

5.3 Folgenabschätzung und Organisationsmodelle (IEA Subtaks C) / Task 2.3 der nationalen Beteiligung

Der internationale Subtask C zielt auf die ökonomische, soziale, ökologische, sowie integrierte Bewertung der Auswirkungen von Plusenergiequartieren ab. Dabei sollen auch mögliche Organisationsmodelle und relevante Akteursgruppen Berücksichtigung finden. Eine wesentliche Neuerung besteht in der umfassenden Betrachtung bestehender Bewertungsmethoden und KPIs, welche diskutiert, in bestehenden Projekten getestet und bzgl. Ihrer Anwendbarkeit bewertet und bei Bedarf weiterentwickelt werden. Der Schwerpunkt der österreichischen Beteiligung im Rahmen von T2.3 liegt auf der ökonomischen Bewertung, welche zumindest im Rahmen des von JR geleiteten H2020 Projekts EXCESS getestet wird. Wie eine erste Erhebung gezeigt hat, decken bisherige ökonomische Bewertungsansätze im Bereich NZEBs oder PEDs oft nur (Technologie-orientierte) Teilaspekte, wie z.B. die kosteneffiziente Erreichung von Energieeffizienzzielen ab (z.B. “cost optimal”-Methodik der EU) (Guarino *et al.*, bevorstehend). Aufgrund des bereits oben beschriebenen derzeitigen Fehlens internationaler Definitionen sowie neuer Organisationsformen wie Energiegemeinschaften ergeben sich jedoch vielfältige und neue Organisations- und auch Geschäftsmodelle und systemische Auswirkungen. Dies betrifft beispielsweise neue Einnahmen aus der Integration in den Energiemarkt oder

lokale/regionale wirtschaftliche Auswirkungen. Neben der Frage der Anwendbarkeit bestehender Bewertungsmethoden sind daher voraussichtlich auch neue, umfassendere Ansätze vonnöten, welche im Rahmen der Annex-Beteiligung entwickelt und getestet wurden

Ökonomische Aspekte von PEDs: Positive Energy Districts erfordern im Vergleich zu konventionellen Quartiersentwicklungen erhöhte Anfangsinvestitionen, bieten jedoch langfristig erhebliche ökonomische Potenziale. Für eine breite Umsetzung ist daher eine systematische Bewertung von Kosten, Nutzen und Wirtschaftlichkeit über den gesamten Lebenszyklus zentral. Im Rahmen des Annex 83 wurden ökonomische Bewertungsansätze weiterentwickelt, die technische, energetische und wirtschaftliche Aspekte integrieren (Mayer et. al., 2024).

Kostenoptimalität als zentrales Bewertungskriterium: Die kostenoptimale Bewertung von PEBs und PEDs basiert auf einer lebenszyklusorientierten Betrachtung, bei der Investitionskosten, Betriebs und Wartungskosten sowie Energiekosten über einen definierten Zeitraum gemeinsam analysiert werden. Diese Methodik ermöglicht es, unterschiedliche Technologiepakete systematisch zu vergleichen und deren Wirtschaftlichkeit in Relation zum energetischen Mehrwert zu bewerten. Die Ergebnisse zeigen, dass Kostenoptimalität stark von Gebäudetyp, Klimazone, Energiepreisen und Systemkonfiguration abhängt (Mayer et. al., 2024).

Zentrale Erkenntnisse aus Kostenanalysen: Die Analysen verdeutlichen, dass erneuerbare Erzeugungstechnologien in vielen Fällen wirtschaftlich günstiger sind als sehr aufwendige Effizienzmaßnahmen an der Gebäudehülle. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse, dass einzelne Technologien isoliert betrachtet nicht kostenoptimal erscheinen können, im Gesamtsystem jedoch eine wichtige ermöglichende Rolle spielen. Eine rein komponentenbezogene Bewertung greift daher zu kurz und sollte durch eine systemische Betrachtung ergänzt werden (Mayer et. al., 2024).

Bedeutung von Energiepreisen und Rahmenbedingungen: Die Wirtschaftlichkeit von PEDs reagiert sensibel auf Veränderungen externer Rahmenbedingungen. Insbesondere Energiepreise, Diskontierungsraten und regulatorische Vorgaben beeinflussen die Ergebnisse der Kostenoptimalitätsanalysen maßgeblich. Steigende Energiepreise erhöhen die Attraktivität energieeffizienter und erneuerbarer Lösungen, während stabile oder niedrige Preise die Amortisation verlängern können. Diese Abhängigkeit unterstreicht die Bedeutung robuster wirtschaftlicher Bewertungsmodelle für langfristige Entscheidungen (Mayer et. al., 2024).

Geschäftsmodelle für PEDs: Für die wirtschaftliche Tragfähigkeit von PEDs sind geeignete Geschäftsmodelle entscheidend. Neben klassischen Einsparungen durch reduzierte

Energiekosten gewinnen zusätzliche Wertschöpfungsmechanismen an Bedeutung. Dazu zählen insbesondere Eigenverbrauchsoptimierung, gemeinschaftliche Nutzung erneuerbarer Energie, Energiegemeinschaften sowie neue Dienstleistungsmodelle auf Quartiersebene. Diese Ansätze ermöglichen es, zusätzliche Erlöspfade zu erschließen und Investitionsrisiken zu reduzieren (Neumann et. al., 2025).

Flexibilität als wirtschaftlicher Mehrwert: Ein wesentlicher ökonomischer Hebel von Positive Energy Districts liegt in ihrer Flexibilität. Durch die zeitliche Verschiebung von Lasten und die intelligente Kopplung von Erzeugung, Speicherung und Verbrauch lassen sich Betriebskosten deutlich senken. Simulationen zeigen, dass bereits interne Optimierungsmaßnahmen ohne externe Märkte zu erheblichen Kosteneinsparungen führen können. Flexibilität erhöht damit nicht nur die Systemeffizienz, sondern verbessert auch die wirtschaftliche Attraktivität von PEDs (Neumann et. al., 2025).

Perspektive auf zukünftige Märkte und Regulierung: Mit der Weiterentwicklung regulatorischer Rahmenbedingungen eröffnen sich zusätzliche wirtschaftliche Potenziale. Künftige Flexibilitätsmärkte, dynamische Tarife und neue Formen der Energieorganisation können Positive Energy Districts ermöglichen, systemdienliche Leistungen bereitzustellen und dafür vergütet zu werden. Auch wenn diese Erlöse derzeit noch begrenzt sind, stellen sie einen wichtigen Baustein für langfristig tragfähige Geschäftsmodelle dar (Neumann et. al., 2025).

5.4 Analyse der Erfahrungen aus Planungs- und Demonstrationsprojekten / Task 2.4 der nationalen Beteiligung

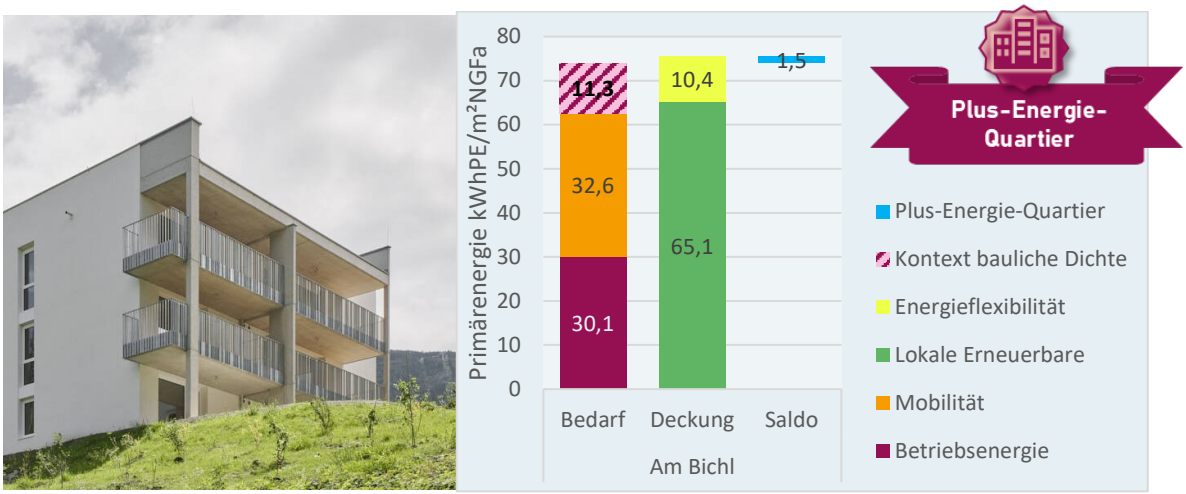
PEDs sind ein neues Forschungsthema. Neuere Veröffentlichungen haben sich daher auf Definitionen und Konzepte, Systemanforderungen und die technische Machbarkeit konzentriert. Eine systematische Übersicht über diese Leitlinien ist bisher nicht verfügbar. Eines der Ziele von Subtask D ist die Zusammenstellung und Analyse von Planungsrichtlinien aus den am IEA Annex 83 beteiligten Ländern, um den aktuellen Stand zu dokumentieren und Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Verständnis des PED-Konzepts und seiner Umsetzung in die Praxis zu identifizieren. In diesem Konferenzbeitrag werden unser methodischer Ansatz und erste Ergebnisse der Analyse vorgestellt. Dabei geht es darum, darzulegen, was ein PED-Planungsleitfaden abdecken soll und was nicht, um auf der Basis bestehender Projekte und Initiativen einen Rahmen für die Entwicklungsarbeit zu schaffen. Die gesammelten Richtlinien zielen darauf ab, die Umsetzung von PEDs zu erleichtern und decken eine Vielzahl von Aspekten ab, die von technischen und sozialen bis hin zu ökonomischen und rechtlichen Fragen, den räumlichen und zeitlichen Maßstäben, den an der Planung, dem Bau, dem Betrieb und dem Management von PEDs beteiligten Akteuren und den verschiedenen technischen, ökologischen, sozialen und ökonomischen

Bewertungsmethoden für PEDs reichen. Anschließend sollen die Ergebnisse dieser Überprüfung von Planungsrichtlinien mit den Erwartungen der Interessengruppen vergleichen, um Lücken im aktuellen Stand der Technik zu identifizieren. Um die identifizierten Lücken zu schließen, werden wir dann die IEA Annex 83 Richtlinien für die Planung und Umsetzung von PED in einem kokreativen Prozess entwerfen, an dem die Forschungspartner des IEA Annex 83 sowie Vertreter von Stadtverwaltungen, Bauträgern, Energieversorgern sowie Architekten- und Ingenieurbüros teilnehmen werden. Außerdem wird im Rahmen des Subtasks D eine Datenbank mit internationalen PED-Projekten aufgebaut, die der Dissemination von Projektergebnissen dient und Daten für die Subtasks A, B und C bereit stellt. Die österreichischen Projektpartner haben sich bereits an der Konzeption dieser Datenbank beteiligt und werden im weiteren Projektverlauf die Daten ihrer folgenden PED-Projekte in die Datenbank eingeben: H2020 Smart City Lighthouse project „POCITYF" H2020 "EXCESS" FFG-Projekt "SYSPEQ ENERPLUS" Vorzeigeregion Energie "Hybrid LSC" "Smart City Campagne-Areal Innsbruck" Zielszenario "Unser Weg nach Tirol 2050" "Energiespeicher Tirol 2050" BMDW, „Zukunftsquartier 3 Demonstration", „LehBKlimafit", „EnerFlexBuildings": Die ökonomischen Effekte der Erreichung neuer EU-Klimaziele 2030 im Kontext der Coronakrise aus österreichischer Perspektive **Projektkontext** IEA Annex 83 baut auf den vorhandenen Ergebnissen verschiedener früherer Annexe auf und wird mit den einigen derzeit Rahmen des EBC-Programms (EBC) laufenden Annexen abgestimmt: Annex 51 Energy Efficient Communities in Bezug auf Planungswerkzeuge und -methoden, Fallstudien energieeffizienter Gemeinden, Strategien und Prozesse der Entscheidungsfindung und Politikentwicklung.. Annex 60 New Generation Computational Tools for Building & Community Energy Systems hinsichtlich der Anwendung und Entwicklung von Berechnungswerkzeugen für die Auslegung von Fernwärmesystemen. Annex 63 Implementation of Energy Strategies in Communities hinsichtlich der Operationalisierung der strategischen Planung auf der Stadtteilebenebene und den damit verbundenen organisatorischen, rechtlichen, sozialen und politischen Fragen. Annex 64 LowEx Communities hinsichtlich der Entwicklung, Auslegung, Modellierung und Implementierung von Niedrigenergie-Wärme- und Kühllösungen auf Fernwärmeebene. Annex 67 Energy Flexible Buildings in Bezug auf die Modellierung und Gestaltung von Gebäuden, damit diese als Teil einer Energielösung auf Stadtteilebene auf intelligente Weise funktionieren, sowie Methoden zur Analyse und Planung von Lastanpassung, Eigenverbrauch, Peak Shaving usw. Annex 73: Towards Net Zero Energy Public Communities in Bezug auf Lektionen und bewährte Praktiken, die von Gemeinden mit öffentlichen Gebäuden wie Campus und Militärstützpunkten gelernt werden können. Annex 75 Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables hinsichtlich der Möglichkeiten, bestehende Stadtteile näher an die PED-Ebene heranzuführen. Zusätzlich wird der Annex von Forschungsergebnissen und der Zusammenarbeit mit anderen IEA Technology Collaboration Programmes (TCP) profitieren. Mit folgenden Initiativen wird

eine enge Kooperation angestrebt: EU Strategic Energy Technology Plan process European Energy Research Alliance EERA EIP-SCC Marketplace (Marketplace of the European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities) EU Smart Cities Information System (SCIS) JPI Urban Europe (Joint Programming Initiative) BRIDGE/Horizon 2020

5.4.1 Use Case: klimaaktiv Plus-Energie-Quartier „Am Bichl III“, Innsbruck-Igls (Neubau)[9]

Das Projekt **Am Bichl III** in Innsbruck-Igls ist ein Neubauquartier mit 50 Wohnungen in fünf Gebäuden und einer Bruttogrundfläche von rund 4.900 m². Entwickelt von der Innsbrucker Immobiliengesellschaft (IIG), verfolgt das Projekt das Ziel, ein **Plus-Energie-Quartier gemäß klimaaktiv-Standard**[10] zu realisieren und dabei auch in einem eher ländlich geprägten Standortkontext einen überprüfbaren Beitrag zur Energiewende zu leisten. Das Energiekonzept basiert auf einer vollständig erneuerbaren Wärmeversorgung über zentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen in Kombination mit dezentralen Booster-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung. Die Gebäude sind in massiver Bauweise mit sehr hochwertiger thermischer Hülle ausgeführt, wodurch ein äußerst geringer Heizwärmebedarf erzielt wird. Die lokale erneuerbare Energieerzeugung erfolgt über eine großflächig integrierte Photovoltaikanlage auf Dächern, Fassaden und Carports mit einer Gesamtleistung von knapp 200 kWp. Ergänzt wird das System durch thermische Speicher, die Aktivierung der Gebäudemasse sowie vorbereitete Ladeinfrastruktur für Elektromobilität, wodurch ein hohes Maß an Energieflexibilität erreicht wird.



[9] https://www.klimaaktiv.at/iig-0008-am-bichl-iii-haus-32

[10] https://www.oegut.at/de/initiativ/umweltpreis/2025/klimaneutrale-stadt-peq-am-bichl.php

Abbildung 5 Am Bichl Igls (c) IIG[11] (links) und Primärenergiebilanz *Am Bichl III* mit positivem Saldo durch lokale Erneuerbare, Flexibilität und Kontextfaktoren (klimaaktiv Plus-Energie-Quartier). (rechts, © FH Technikum Wien)

Im klimaaktiv-PEQ-Nachweis erreicht das Projekt eine **positive Primärenergiebilanz** und erfüllt damit die Anforderungen an ein **Plus-Energie-Quartier**. Die Bewertung zeigt, dass insbesondere die Kombination aus sehr niedrigem Energiebedarf, hoher PV-Deckung und flexibler Speicherbewirtschaftung entscheidend für die Zielerreichung ist. In der Treibhausgasbilanz liegt das Projekt aufgrund der massiven Bauweise über dem Grenzwert für ein klimaneutrales Plus-Energie-Quartier, ein Ansatzpunkt für zukünftige Optimierungen (z. B. verstärkter Einsatz von Holzbauweisen oder CO_2-reduzierten Baustoffen).

Der Use Case Am Bichl III zeigt, wie der klimaaktiv-Standard **bereits in der Planungsphase** eingesetzt werden kann, um Varianten zu vergleichen, Zielkonflikte transparent zu machen und robuste Entscheidungen hinsichtlich Energiekonzept, Flexibilität und Mobilität zu treffen.

5.4.2 Use Case: klimaaktiv Plus-Energie-Quartier „Pilzgasse“, Wien-Floridsdorf (dichter urbaner Neubau) [12]

Das Quartier **Pilzgasse 33** in Wien-Floridsdorf ist ein großmaßstäblicher Neubau mit gemischter Nutzung und sehr hoher baulicher Dichte (GFZ 4,6). Das Projekt zeigt, dass der klimaaktiv-Standard auch unter stark eingeschränkten Flächenpotenzialen anwendbar ist.

Das Energiekonzept kombiniert zentrale Wärmepumpen, Bauteilaktivierung sowie umfangreiche thermische Speicher mit einer Photovoltaikanlage von rund 560 kWp. Aufgrund der hohen Nutzungsdichte kommt der Energieflexibilität besondere Bedeutung zu: Speicher, aktivierte Gebäudemassen und Elektromobilität ermöglichen eine zeitliche Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch.

[11] https://www.iig.at/leistungen/projekte/projekt/Am+Bichl+Igls-3712/

[12] https://www.klimaaktiv.at/pilzgasse-33

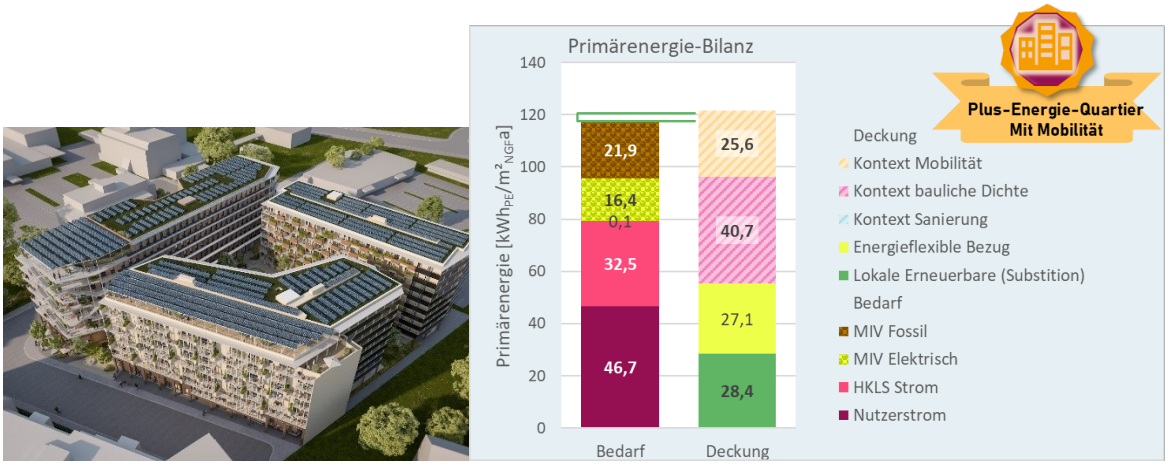


Abbildung 6 Rendering Pilzgasse (links, ©SÜBA) und Primärenergiebilanz *Pilzgasse*: positiver Saldo trotz hoher Dichte durch Erneuerbare, Flexibilität und Mobilitätskontext (klimaaktiv PEQ). (Rechts, © FH Technikum Wien)

Im klimaaktiv-PEQ-Nachweis erfüllt das Projekt sowohl die Anforderungen an ein **Plus-Energie-Quartier** als auch an ein **Plus-Energie-Quartier mit Mobilität**. Der Use Case verdeutlicht die Rolle der Kontextfaktoren des Standards, mit denen dichte urbane Quartiere fair und vergleichbar bewertet werden können und dennoch einen überprüfbaren Beitrag zur Klimaneutralität leisten.

5.4.3 Use Case: klimaaktiv klimaneutrales Plus-Energie-Quartier „RUGInnovation“, Wien (Sanierung) [13]

Das Projekt **RUGInnovation** in Wien-Donaustadt umfasst die Sanierung eines bestehenden Wohnquartiers mit 90 Wohnungen. Ziel ist es, im Bestand nicht nur eine Plus-Energie-Bilanz zu erreichen, sondern auch die Anforderungen eines **klimaneutralen Plus-Energie-Quartiers** zu erfüllen.

Das Sanierungskonzept verbindet eine verbesserte thermische Hülle mit einem hybriden Energiesystem aus Grundwasser-Wärmepumpe für Heizung und Kühlung sowie Fernwärme für die Warmwasserbereitung. Photovoltaikanlagen auf Dach- und Fassadenflächen sowie die Aktivierung der Gebäudemasse erhöhen die Eigenversorgung und Flexibilität. Der Erhalt der Gebäudestruktur reduziert gleichzeitig graue Emissionen.

Im klimaaktiv-PEQ-Nachweis liegt das Quartier mit **223 kg CO_2-eq/m²BGF deutlich unter dem zulässigen THG-Grenzwert** und erfüllt damit das Label „klimaneutrales Plus-Energie-

[13] https://ruginnovation.at/

Quartier“. Der Use Case zeigt, dass Klimaneutralität auf Quartiersebene auch im Bestand erreichbar ist.

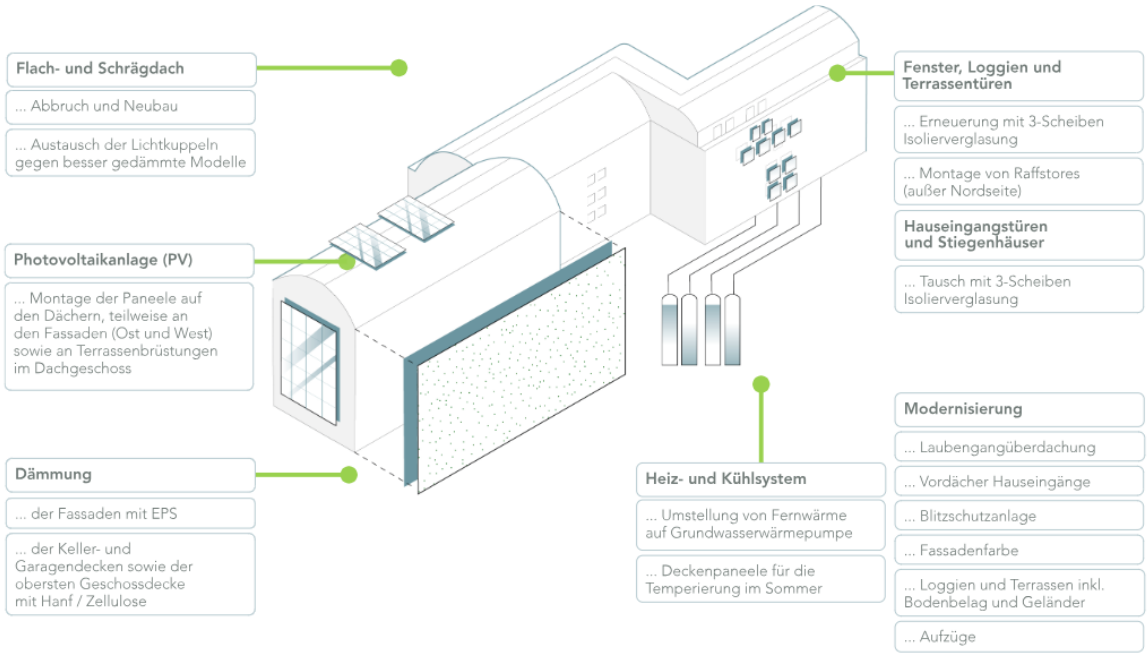


Abbildung 7 Konzeptdarstellung Rugierstraße (©wohnbund:consult | ÖSW AG)

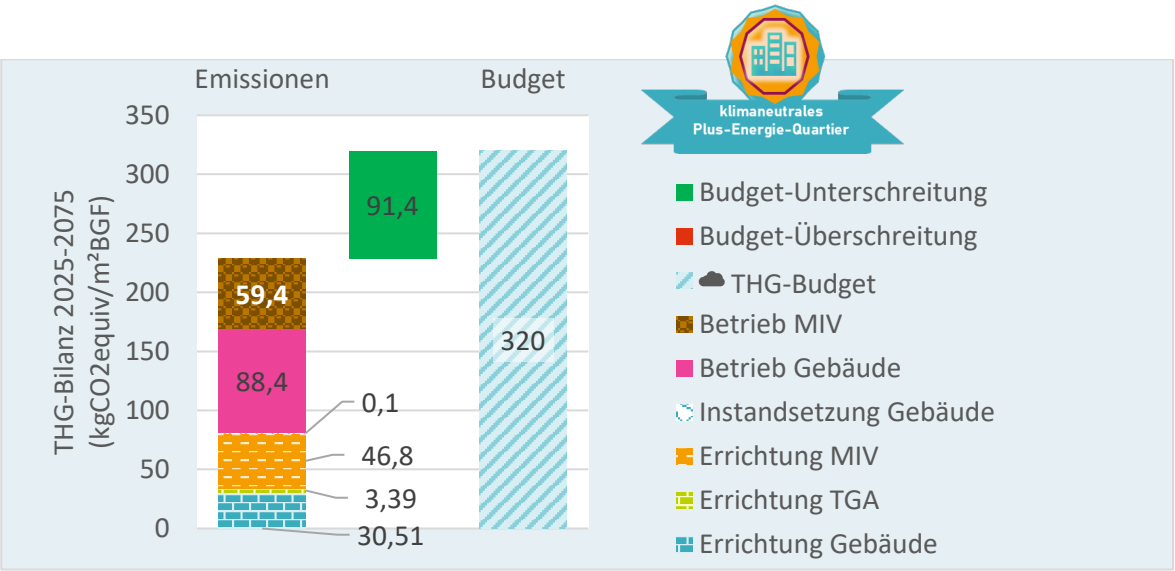


Abbildung 8 Kumulative THG-Bilanz RUGInnovation (2025–2075) mit Beiträgen aus Errichtung, Betrieb und Mobilität im Vergleich zum kontextbasierten THG-Budget des klimaaktiv-Standards. © FH Technikum Wien

5.4.4 Use case: Sol4City Neubau

Im Forschungsprojekt Sol4City[14] wurden integrierte solare Energieversorgungskonzepte für den mehrgeschossigen Wohnbau im urbanen Raum entwickelt und mittels dynamischer Simulationen bewertet. Neben einem Sanierungsfall wurde ein Neubau-Referenzgebäude definiert und als Use Case für flächenoptimierte solare Energiegewinnung im verdichteten Stadtraum untersucht. Im vorliegenden Abschnitt wird ausschließlich der Neubau betrachtet (Gumhalter et al. 2024b; Gumhalter et al. 2024c). Der urbane Kontext ist durch eine hohe Konkurrenz um verfügbare Dach- und Fassadenflächen für lokale Energieerzeugung geprägt. Für Positive Energy Districts (PEDs) ist daher nicht nur die bilanzielle Deckung des Energiebedarfs relevant, sondern insbesondere die energetische Flächeneffizienz sowie eine netzdienliche Betriebsführung, die Lastspitzen reduziert und Überschüsse zeitlich besser nutzbar macht.

Technologisches Konzept und Rolle der modellprädiktiven Regelung

Das Neubau-Referenzgebäude wurde als repräsentatives Mehrfamilienhaus für den verdichteten Wohnbau in der Simulationsumgebung IDA ICE modelliert. Die Wärme- und Kälteabgabe erfolgt über thermisch aktivierte Geschossdecken, die niedrige Vorlauftemperaturen ermöglichen und gleichzeitig als gebäudeintegrierte thermische Speichermasse wirken. Diese thermische Trägheit erlaubt eine zeitliche Entkopplung

[14] https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/sol4city.php

zwischen Erzeugung und Nutzung und bildet eine zentrale Voraussetzung für den effizienten Einsatz solarer Niedertemperaturquellen (Gumhalter et al. 2024b).

Zur flächenoptimierten Energieerzeugung werden auf der verfügbaren Dachfläche photovoltaisch-thermische Hybridkollektoren (PVT) eingesetzt. Diese erzeugen gleichzeitig Strom und Niedertemperaturwärme und adressieren damit die Flächenkonkurrenz zwischen Photovoltaik und Solarthermie im urbanen Raum. Die thermische Energie wird auf einem Temperaturniveau bereitgestellt, das gut mit den Betriebsbedingungen der Bauteilaktivierung kompatibel ist, während die aktivierte Gebäudemasse die solare Wärme zeitlich verschiebbar macht. Dadurch entsteht ein konsistentes Niedertemperatursystem mit hoher flächenspezifischer Energieausbeute.

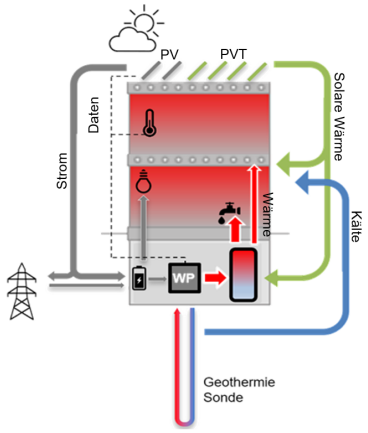


Abbildung 9 Vereinfachte Darstellung des Gesamtenergieversorgungskonzeptes inklusive der Energieströme (Gumhalter & Ramschak, 2023).

Die Koordination der elektrischen und thermischen Energieflüsse inclusive dem Betrieb einer Wärmepumpe erfolgt über eine modellprädiktive Regelung (MPC). Diese nutzt Prognosen zu Wetter, solarem Ertrag und Lasten, um den Betrieb von PVT und BTA vorausschauend zu optimieren. Im Zusammenspiel mit der Bauteilaktivierung kann die MPC die Gebäudemasse gezielt be- und entladen, wodurch solare Erträge besser genutzt und sowohl Netzbezugs- als auch Einspeisespitzen reduziert werden. Insbesondere in Übergangszeiten und im Sommer trägt dies zur Glättung elektrischer Lastspitzen und zu einer verbesserten Netzintegration bei, was die Relevanz des Konzepts im PED-Kontext weiter erhöht.

Methodik und Simulationsansatz

Die Untersuchung basiert auf dynamischen Gebäude- und Anlagensimulationen in IDA ICE. Für den Neubau wurden eine repräsentative Gebäudegeometrie, standortspezifische Klimadaten (Graz) sowie hochaufgelöste Lastprofile für Haushaltsstrom und Warmwasser definiert. Zusätzlich wurden die verfügbaren Flächenpotenziale für solare Kollektortechnologien bestimmt, um die flächenoptimierte Auslegung von PVT- bzw. PV-Anteilen zu ermöglichen (Gumhalter et al. 2024b).

Auf Systemebene wurden Varianten hinsichtlich technischer Kennzahlen und netzbezogener KPIs bewertet. Dabei standen insbesondere solare Deckungsanteile, Eigenverbrauch, Netzbezug, Einspeiseleistung sowie zeitliche Lastverläufe im Fokus.

Zentrale Ergebnisse und PED-Relevanz

Die Vorgestellten Systemlösungen auf Basis PVT-Hybridkollektoren konnten für das hier definierte Neubau Gebäude die sehr hoch gesteckte Ziele für den solaren Deckungsgrade von mindestens 85 % des Wärme-, 100 % des Kälte- und mindestens 60 % des Strombedarfs erreichen. Unter der Bedingung, dass ausschließlich Gebäudeoberflächen für Solarkollektoren genutzt werden und es sich dabei um ein kompaktes, mehrgeschossiges Wohngebäude handelt, sind diese Ergebnisse umso signifikanter (Gumhalter et al. 2024b).

Für PEDs sind insbesondere zwei Erkenntnisse relevant. Erstens adressiert der Use Case die urbane Flächenknappheit direkt durch eine hohe energetische Flächeneffizienz der PVT-Technologie, die gleichzeitig Strom und Niedertemperaturwärme bereitstellt und damit die Dachfläche multifunktional nutzt. Zweitens stellt die BTA eine robuste thermische Flexibilität bereit, die durch MPC systematisch nutzbar gemacht werden kann. Dadurch lassen sich Netzspitzen glätten und die zeitliche Übereinstimmung von Erzeugung und Verbrauch verbessern. Gerade in Übergangszeiten und im Sommer kann die solar bereitgestellte Wärme zur Warmwasserbereitung und/oder zur thermischen Konditionierung beitragen und so elektrische Spitzenlasten reduzieren.

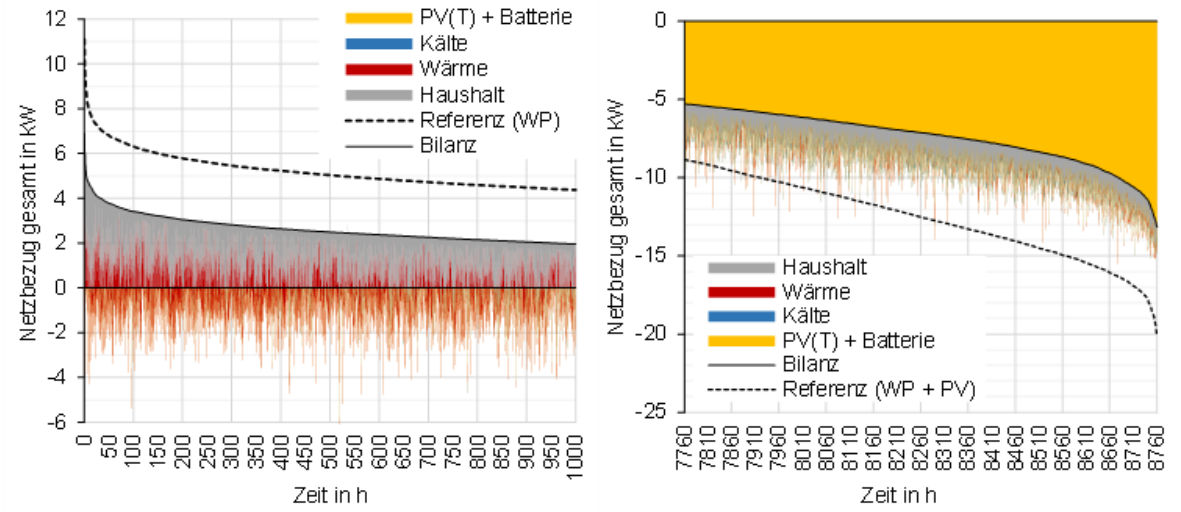


Abbildung 10 Dauerlinien des gesamten elektrischen Netzbezuges für die 1.000 Stunden mit der höchsten Netzleistung sowohl für Bezug (links) als auch für Einspeisung (rechts) mit Detailbetrachtung der einzelnen Verbraucher zum Vergleich mit einer Referenztechnologie (WP+PV) (Gumhalter et al., 2024a)

Im Ergebnis zeigt der Sol4City-Neubau Use Case, wie ein urbanes PEB nicht nur bilanziell positiv, sondern auch netz- und quartiersdienlich betrieben werden kann. Die untersuchte Technologiekombination ist damit ein relevanter Baustein für PEDs, insbesondere dort, wo hohe Dichte und begrenzte Flächen eine maximale Energieausbeute pro Fläche sowie eine hohe Systemintegration erfordern.

Ergänzend liefert der Nationale Ergebnisbericht von IEA SHC Task 66 SEB eine Einbettung des Sol4City-Neubaus als Case Study im Kontext Solar Energy Buildings. (Gumhalter et al. 2024c).

5.4.5 Use case Studie: Hybrid LSC Wien Donaufeld

Das geplante Stadtentwicklungsgebiet Wien Donaufeld wurde als ein hochverdichtetes, fernwärmeversorgtes Wohnquartier mit ambitionierten Klimazielen konzipiert. Obwohl das konkrete Bauvorhaben in dieser Form aus Umweltschutzgründen bisher nicht realisiert werden konnte, bildete es eine fundierte und realitätsnahe Grundlage für eine vertiefte wissenschaftliche Untersuchung im Forschungsprojekt Hybrid LSC[15] und im IEA EBC Annex 83.

[15] https://greenenergylab.at/projects/hybrid-lsc/

Im Mittelpunkt standen dabei zwei Schlüsseltechnologien: die thermische Bauteilaktivierung (BTA / TABS) als kostengünstiger, gebäudeintegrierter thermischer Speicher sowie Model Predictive Control (MPC) als intelligenter Regelungsansatz zur vorausschauenden Nutzung dieser Speichermassen.

BTA und MPC als Flexibilitätsoption

Das betrachtete Referenzgebäude ist ein mehrgeschossiger Wohnbau mit hohem thermischem Standard und flächendeckender thermischer Bauteilaktivierung in Decken. Die Wärmeversorgung erfolgte über ein Fernwärmenetz, wobei in durchgeführten Gebäude- und Anlagensimulationen insbesondere die nicht zeitlich verschiebbare Warmwasserbereitung (DHW) zu ausgeprägten Lastspitzen führte (Gumhalter et al. 2024d).

Die thermische Masse der aktivierten Bauteile ermöglicht es, Wärme zeitlich zu verschieben, ohne den thermischen Komfort der Nutzer:innen zu beeinträchtigen. Dieses Potenzial kann jedoch nur durch intelligente Regelung systematisch genutzt werden, da klassische witterungsgeführte Regelungen zukünftige Randbedingungen und systemische Zielgrößen nicht berücksichtigen (Stipsits 2023).

Daher wurde ein übergeordnetes MPC-System entwickelt und mit einer detaillierten Gebäudesimulation (IDA ICE) gekoppelt. Ziel des Reglers ist es, Wärmelastspitzen zu minimieren, Kosten zu reduzieren und Komfortgrenzen einzuhalten, wobei die thermische Gebäudemasse als kurz- bis mittelfristiger Energiespeicher dient (Gumhalter et al. 2024d; Stipsits 2023).

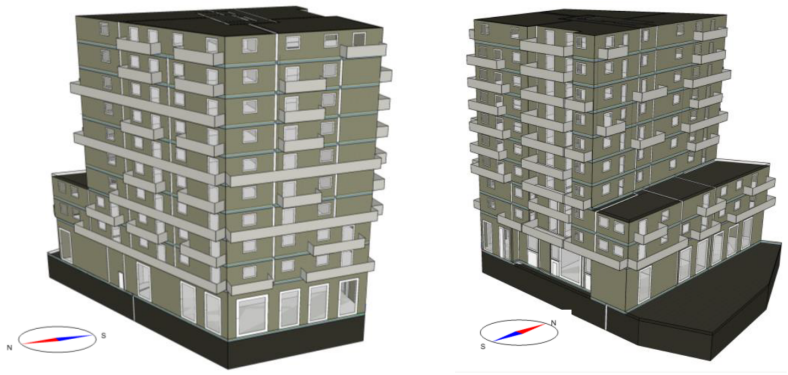


Abbildung 11 3D-Darstellung des simulierten Wohngebäudes im Donaufeld (Adaptiert von Quelle: Stipsits 2023)

Methodik und Simulation

Die Untersuchungen basieren auf einer Co-Simulation, die ein hochaufgelöstes Gebäudemodell in IDA ICE mit einem MPC-Framework für die Regelung inklusive Moving Horizon Estimation und Zustandsbeobachtung koppelt (Stipsits 2023; Gumhalter et al.

2024d). Das interne semi-physikalischen RC-Modell des MPC-Frameworks ist in Abbildung 12 schematisch dargestellt

Verglichen wurden ein Referenzbetrieb mit konventioneller, witterungsgeführter und raumtemperaturbasierter Regelung sowie ein MPC-Betrieb, bei dem gezielte Lastverschiebung über die thermische Bauteilaktivierung ermöglicht wird.

Die Bewertung erfolgte anhand von Dauerlinien der Heizleistung, zeitlichen Temperaturverläufen in den Zonen, analysierten Komfortabweichungen sowie der erzielten Spitzenlastreduktion in kritischen Winterwochen.

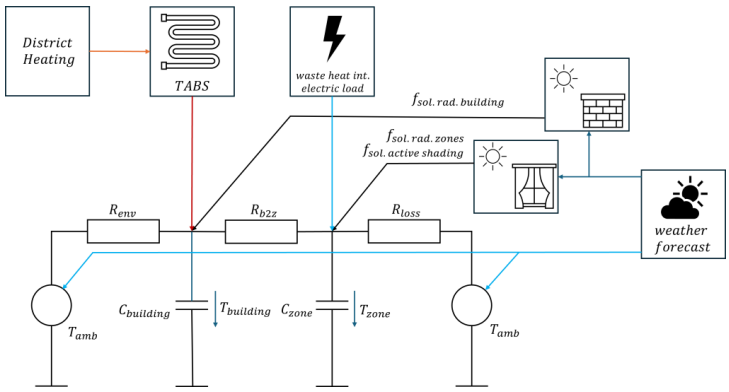


Abbildung 12 RC-Ersatzmodell des Gebäudes als Grundlage für MPC und Zustandsbeobachtung (Quelle: Gumhalter et al. 2024d)

Ergebnisse

Die Simulationen zeigen deutlich, dass die Kombination aus BTA und MPC ein erhebliches Flexibilitätspotenzial erschließt. In der kältesten Winterwoche konnte eine Reduktion der Spitzenheizleistung von bis zu 27 % erreicht werden, während sich in einer durchschnittlichen Winterwoche eine Reduktion von rund 30 % zeigte (Gumhalter et al. 2024d). In allen untersuchten Szenarien blieben die definierten thermischen Komfortgrenzen eingehalten. Besonders relevant ist die Fähigkeit, warmwasserbedingte Lastspitzen durch vorausschauendes Vorladen der Bauteile zu kompensieren, ohne zusätzliche Speicher oder invasive Eingriffe in die Nutzung zu erfordern.

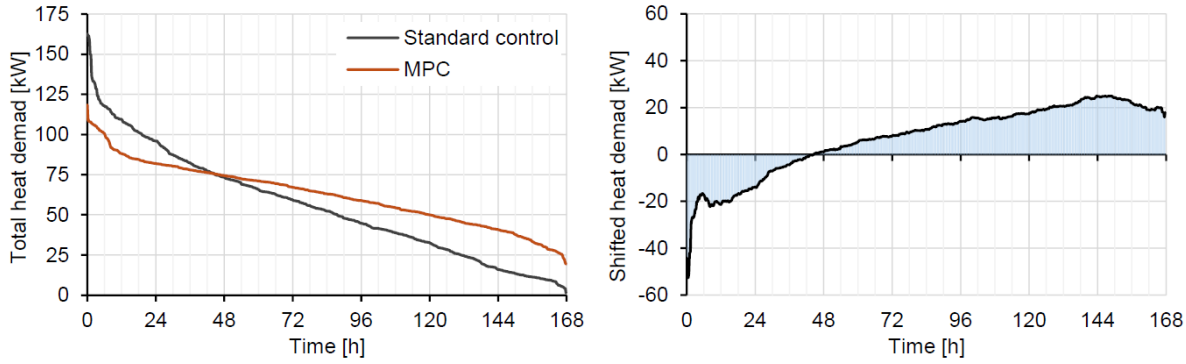


Abbildung 13 Dauerlinien der Heizleistung für die kälteste Woche des Jahres – Vergleich Standardregelung vs. MPC (Quelle: Gumhalter et al. 2024d)

Bedeutung für PEDs

Für PEDs ist nicht allein der jährliche Energieüberschuss entscheidend, sondern die zeitliche Übereinstimmung von Erzeugung und Verbrauch. Obwohl der Use Case Donaufeld formal ein Einzelgebäude betrachtet, sind die Erkenntnisse klar auf Quartiers- und PED-Ebene übertragbar. Gebäude mit thermischer Bauteilaktivierung können als verteilte thermische Speicher fungieren und durch MPC systemdienlich aggregiert werden. Die untersuchte Technologiekombination adressiert diese Anforderung und leistet damit einen substanziellen Beitrag zur operativen Umsetzbarkeit von PEDs.

Es konnte zeigt werden, dass MPC-gestützte Bauteilaktivierung eine robuste, skalierbare und vergleichsweise kosteneffiziente Option darstellt, um Gebäude von passiven Verbrauchern zu aktiven Systemkomponenten in Positive Energy Districts zu transformieren.

5.4.6 Use case: EXCESS Graz Tagger

Ein wesentlicher Anteil des urbanen Energieverbrauchs entfällt auf den Gebäudebestand, der häufig durch hohe thermische Verluste, veraltete Heizsysteme und eingeschränkte Flächenpotenziale für erneuerbare Energieerzeugung gekennzeichnet ist. Für PEDs stellt dies eine zentrale Herausforderung dar, da Städte größtenteils bereits gebaut sind und Neubaupotenziale begrenzt bleiben. Skalierbare Transformationspfade müssen daher insbesondere im Bestand funktionieren und sowohl energetische als auch prozessuale Hürden adressieren.

Im EU-Horizon-2020-Projekt EXCESS (EXCESS, 2020-2025) wurde am österreichischen Demonstrationsstandort in Graz ein ehemaliges Industriegebäude als Reallabor genutzt, um ein innovatives Sanierungskonzept mit einer multifunktionellen, energieaktiven Fassade zu

entwickeln und zu validieren. Der Use Case kombiniert serielle Sanierung mit nachträglicher thermischer Aktivierung bestehender Gebäudemassen, Energiegewinnung an vertikalen Flächen sowie eine modellprädiktive Regelung (MPC) als systemisches Bindeglied. Damit wird exemplarisch gezeigt, wie auch unter schwierigen Randbedingungen des Bestands Plus Energy Buildings (PEBs) realisiert und unterschiedliche Gebäude mit variierenden Nutzungs- und Lastprofilen zu PEDs aggregiert werden können.

Technologisches Konzept und Betriebsstrategie

Kerninnovation des EXCESS-Demonstrators ist eine hochgradig vorgefertigte, modulare multifunktionelle Fassade, die serielle Sanierung, nachträgliche thermische Aktivierung bestehender Gebäudemassen und erneuerbare Energieerzeugung in einem integrierten System vereint. Die von außen montierten Fassadenelemente kombinieren Wärmedämmung, eine Wärmeübergabesystem (Aktive Ebene) zur Aktivierung der massiven Bestandswände sowie gebäudeintegrierte Photovoltaik (BIPV) auf vertikalen Flächen. Dadurch wird die bestehende Gebäudestruktur gleichzeitig als Wärme- und Kälteabgabesystem sowie als thermische Speichermasse genutzt, während zusätzliche Stromerträge im dichten urbanen Umfeld erschlossen werden.

Die Wärme- und Kälteversorgung erfolgt über Wärmepumpensysteme, die eng mit der aktivierten Gebäudehülle gekoppelt sind. Die Koordination der thermischen und elektrischen Energieflüsse übernimmt eine modellprädiktive Regelung (MPC), die Wetter- und Lastprognosen nutzt, um Komfortanforderungen einzuhalten, Betriebs- und Energiekosten zu minimieren und Netzlastspitzen durch gezielte Lastverschiebung zu glätten. Die Kombination aus thermischer Flexibilität der Gebäudemasse und vorausschauender Regelung bildet damit die Grundlage für einen systemdienlichen Betrieb und die Einbindung des sanierten Bestandsgebäudes in übergeordnete PED-Strukturen.

Methodik und Bewertungsansatz

Da im Projektzeitraum nur ein Teilbereich des Gebäudes saniert und messtechnisch ausgestattet werden konnte, wurde ein messdaten-augmentierter digitaler Zwilling des Gesamtgebäudes entwickelt. Dieser kombiniert detaillierte In-situ-Messungen (u. a. Wärmestrom, Thermografie, Raumklima) mit dynamischen Simulationen des gesamten Gebäudes. Auf dieser Basis konnten verschiedene Sanierungs- und Regelungsstrategien unter identischen Randbedingungen für einen ganzjährigen Betrieb bewertet werden.

Die Bewertung erfolgte anhand von Komfortkennwerten, Energiekennzahlen sowie netzrelevanten Indikatoren wie Import-/Exportverhalten und Spitzenlasten. Dadurch konnten sowohl gebäudeinterne Effekte als auch systemische Auswirkungen auf Quartiers- und PED-Ebene analysiert werden.

Zentrale Ergebnisse und PED-Relevanz

Messungen bestätigten die Funktionsfähigkeit der multifunktionellen Fassade und zeigten effektive Wärmeübertragungsraten von bis zu 20 W/m² bei Fluidtemperaturen von rund 35 °C, womit die Eignung für großflächige Niedertemperatursysteme im Bestand belegt wird.



Abbildung 14 Innenaufnahme eines Raumes dessen Außenseite mit der EXCESS Fassade beheizt wird (links: konventionelles Bild, rechts: Infrarotaufnahme) (Quelle: Schwarzl IT, AEE INTEC, Projekt EXCESS)

Ganzjährige Simulationen weisen eine erneuerbare Deckung von nahezu 60 % für Raumwärme und Warmwasser sowie eine On-Site-Energy-Ratio von über 150 % aus, womit der PEB-Status des Demonstrators gestützt wird.

Durch den Einsatz der MPC konnte zudem eine Reduktion der höchsten Netzlastsituationen um rund 12 % erzielt werden. Siehe dazu die Auswirkung der MPC Regelung auf den simulierten Stromverbrauch der Wärmepumpe für das Gebäude im Vergleich zu konventionellen Regelungssystemen in Abbildung 15.

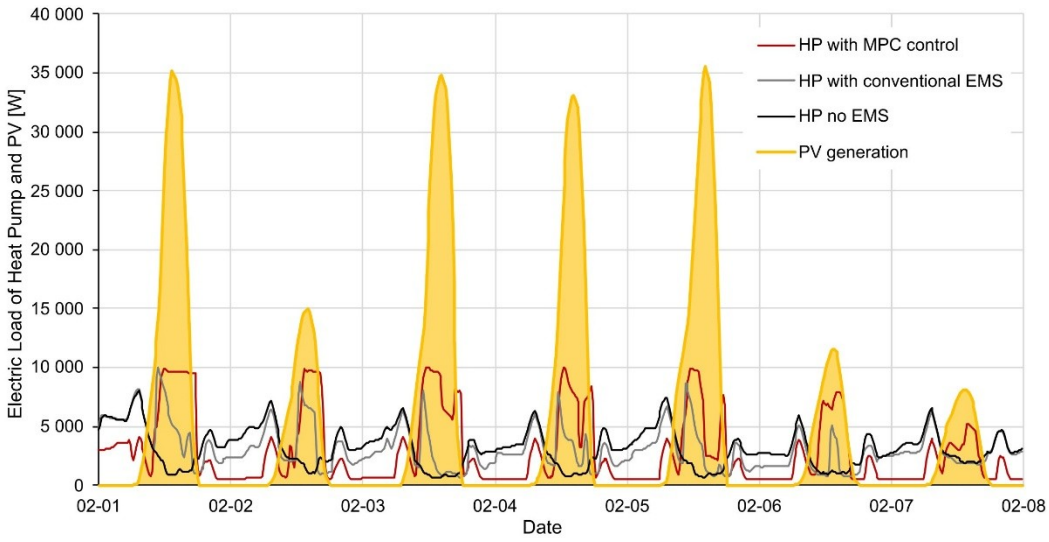


Abbildung 15 Vergleich des Strombedarfs von Wärmepumpen bei unterschiedlichen Regelungsstrategien, simuliert am österreichischen EXCESS Demonstrationsgebäude, im Verhältnis zur verfügbaren PV-Erzeugung an der Fassade für eine durchschnittliche Winterwoche im Februar.

Für PEDs ist dieser Use Case insbesondere relevant, da er zeigt, dass auch Bestandsgebäude mit ungünstiger Ausgangslage durch serielle Sanierung, Nutzung vertikaler Flächen zur Energiegewinnung und die Aktivierung vorhandener Gebäudemassen zu systemdienlichen PEBs transformiert werden können. (Gumhalter 2025, EXCESS 2025)

Schlussfolgerungen und Übertragbarkeit

Der EXCESS-Demonstrator in Graz liefert ein replizierbares Konzept für die Dekarbonisierung bestehender Stadtquartiere. Die Ergebnisse zeigen, dass die Kombination aus multifunktioneller, thermisch aktivierter Fassade, Wärmepumpensystemen und modellprädiktiver Regelung einen robusten Pfad zur Umsetzung von Positive Energy Buildings im Bestand darstellt. In der Aggregation mehrerer solcher Gebäude entsteht ein hohes Potenzial für Positive Energy Districts, insbesondere in dicht bebauten urbanen Räumen.

5.4.7 Use case: Campagne-Areal Innsbruck

Das Stadtentwicklungsprojekt Innsbruck Campagne stellt ein hochverdichtetes Wohnquartier mit insgesamt rund 1.100 Wohnungen dar. Der erste realisierte Bauabschnitt umfasst vier Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 307 Wohnungen, ergänzt durch Nahversorgungs-, Dienstleistungs- und Freizeitflächen. Die Gebäude wurden nach Passivhausstandard bzw. nahe daran errichtet und weisen einen sehr niedrigen

Heizwärmebedarf von rund 15 kWh/(m²a) auf. Damit ist das Quartier ein repräsentativer Fall für energieeffizienten mehrgeschossigen Wohnbau im urbanen Kontext, der bereits in mehreren wissenschaftlichen Arbeiten detailliert dokumentiert und ausgewertet wurde (Dermentzis et al. 2021; Venturi et al. 2024).

Für Positive Energy Districts (PEDs) ist dieser Use Case insbesondere relevant, da er die systemischen Grenzen und Wechselwirkungen zwischen Gebäudequalität, Energieversorgung, Flächenpotenzialen für erneuerbare Energien und realem Nutzerverhalten aufzeigt.

Energetisches Konzept und Systemvarianten

Die Gebäude verfügen über eine hochwertige thermische Hülle sowie Niedertemperatur-Heizsysteme. Für Raumheizung und Warmwasser wurden im Rahmen der Studie mehrere Versorgungsvarianten analysiert und miteinander verglichen: gebäudeweise Wärmepumpenlösungen, Kombinationen aus Wärmepumpen und dezentraler elektrischer Warmwasserbereitung, reine Fernwärmeversorgung sowie eine Mischvariante mit zentraler Wärmepumpe für Raumheizung und Fernwärme für Warmwasser, wie sie im realisierten Zustand umgesetzt wurde.

Ein zentrales Thema des Use Cases ist die Warmwasserbereitung und -verteilung. Aufgrund der zentralen Erzeugung und der weit verzweigten Verteilnetze ergeben sich – trotz sehr geringer Raumheizlasten – hohe relative Speicher- und Verteilverluste. Diese Verluste dominieren die Gesamtenergiebilanz und stellen eine wesentliche Herausforderung für energiepositive Konzepte im dichten Wohnbau dar.

Methodik und Bewertungsansatz

Die Bewertung basiert auf einer umfassenden Monitoringkampagne, bei der Heiz- und Warmwasserverbräuche aller vier Gebäude erfasst wurden. Aufbau, Methodik und erste Auswertungen der Monitoringdaten sind ausführlich in Dermentzis et al. (2021) sowie in der weiterführenden Analyse von Venturi et al. (2024) beschrieben. In einem Gebäude erfolgte zusätzlich eine wohnungsweise Messung der Warmwasserenergie auf der Primärseite der Frischwasserstationen sowie die Erfassung von Raumtemperaturen und relativer Luftfeuchte. Auf Basis der gemessenen Innentemperaturen und standortspezifischer Wetterdaten wurden Heizgradtage ermittelt, um die gemessenen Werte mit den Planungskennwerten vergleichbar zu machen.

Ergänzend wurden vereinfachte energetische Berechnungen durchgeführt, um die unterschiedlichen Heizsystemkonfigurationen hinsichtlich Energiebedarf und CO_2-Emissionen zu vergleichen, wobei die Einordnung von Wärmepumpen in Gebäude- und Fernwärmesysteme auf etablierte Bewertungsansätze aus der Literatur Bezug nimmt (Ochs

et al. 2022). Dabei wurden thermische Verluste aus Speicherung und Verteilung systemabhängig berücksichtigt. Zusätzlich wurde das Photovoltaik-Potenzial der Dach- und Fassadenflächen analysiert, wobei schrittweise von idealisierten Annahmen hin zu realistischen Szenarien mit Selbst- und Fremdverschattung übergegangen wurde (Heiß 2023).

Zentrale Ergebnisse

Die Monitoringdaten bestätigen die sehr hohe Qualität der Gebäudehülle, wie auch in Venturi et al. (2024) anhand einer detaillierten Auswertung der ersten Betriebsjahre gezeigt wird. Der gemessene Heizwärmebedarf des ersten Betriebsjahres liegt nahe bei den korrigierten Auslegungswerten und belegt die robuste Umsetzung des energetischen Konzepts. Der gemessene Warmwasserbedarf fällt hingegen deutlich geringer aus als in der Planung angenommen, was auf nutzer- und belegungsabhängige Effekte hinweist.

Die Systemvergleiche zeigen, dass Wärmepumpenlösungen für die Raumheizung im Zusammenspiel mit der sehr geringen Heizlast energetisch effizient sind und vergleichsweise niedrige CO_2-Emissionen verursachen. Gleichzeitig wird deutlich, dass zentrale Warmwasserbereitung mit hohen Verteilverlusten die Gesamtperformance stark verschlechtert und einen erheblichen Anteil am Energiebedarf ausmacht.

Die Analyse des PV-Potenzials verdeutlicht die strukturellen Grenzen der lokalen Stromerzeugung im dichten urbanen Kontext (Heiß 2023). Aufgrund begrenzter Dachflächen und relevanter Selbst- und Fremdverschattung ist das realistisch nutzbare PV-Potenzial deutlich geringer als in idealisierten Szenarien. Selbst bei maximaler Nutzung aller geeigneten Flächen kann keine positive jährliche Energiebilanz erreicht werden.

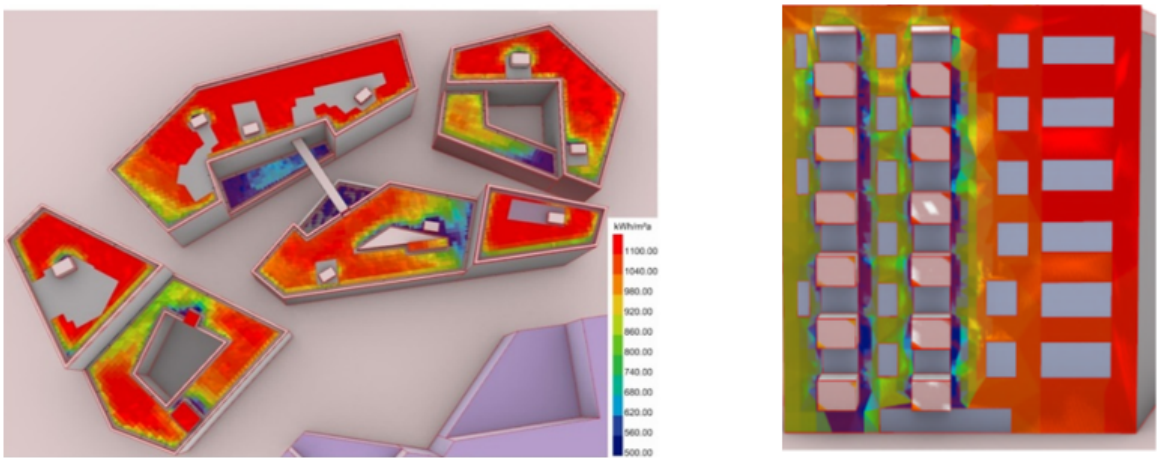


Abbildung 16 Beispiel für das PV-Potenzial auf den Dächern (links) und an der Fassade (rechts) der vier Gebäude in der Innsbrucker Campagne (Heiß 2023)

Bedeutung für Positive Energy Districts

Der Use Case Innsbruck Campagne zeigt exemplarisch, dass energieeffiziente Einzelgebäude allein nicht ausreichen, um im urbanen Wohnbau positive Energiebilanzen zu erzielen. Für PEDs ergibt sich daraus eine zentrale Erkenntnis: In hochverdichteten Quartieren liegt der Schlüssel nicht primär in der Maximierung der lokalen Erzeugung, sondern in der Systemoptimierung auf Quartiersebene.

Dazu zählen insbesondere die Reduktion von Warmwasserverlusten, die Optimierung von Verteilstrukturen, eine möglichst flexible Betriebsführung sowie die Kombination unterschiedlicher Gebäudetypen mit komplementären Last- und Erzeugungsprofilen. Gebäude wie jene der Innsbrucker Campagne können – trotz fehlender PEB-Eigenschaft – als hochwertige, lastarme Verbraucher in PEDs integriert werden und so indirekt zur Gesamtzielerreichung beitragen.

Schlussfolgerungen

Detaillierte methodische Beschreibungen, vollständige Datensätze sowie vertiefende Analysen zu den einzelnen Systemvarianten, Warmwasserprofilen, Simulations- und Optimierungsansätzen sowie CO_2-Bewertungen sind in Dermentzis et al. (2019), Dermentzis et al. (2021) und Venturi et al. (2024) dokumentiert und dienen als Referenz für weiterführende Untersuchungen.

Die Innsbrucker Campagne stellt einen wichtigen Referenz-Use-Case für dichten, urbanen Wohnbau dar. Sie verdeutlicht, dass sehr hohe energetische Gebäudestandards eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung für energiepositive Quartiere sind. Für die Umsetzung von PEDs ist vielmehr ein systemischer Ansatz erforderlich, der Gebäudeeffizienz, Energieversorgung, Flächenpotenziale und Betriebsstrategien integriert betrachtet. In diesem Kontext liefert der Use Case wertvolle Erkenntnisse für Planung, Auslegung und Bewertung zukünftiger PEDs im urbanen Bestand.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Das PED-Konzept bietet die Möglichkeit, einen Rahmen zu schaffen, der eine positive Energiebilanz auf Stadtquartiersebene mit klaren Richtlinien für die Netzinteraktion, die Energiespeicherung und die Integration erneuerbarer Energien sowohl für Gebäude als auch für E-Mobilität einführt. Das Hauptprinzip liegt dabei in der Schaffung eines Stadtteils, der in der Lage ist, mehr Energie zu produzieren als er verbraucht, der flexibel auf die Situation des Energiemarktes reagieren kann und der darüber hinaus zur Verbesserung der Lebensqualität und des Wohlbefindens der Bewohner*innen beiträgt.
Die Rahmenbedingen zeigen deutlich den Bedarf sowie das Potential für energieeffizientere Gebäude, die Nutzung effizienter erneuerbarer Umwandlungs- und Speichertechnologien und die Kaskadierung lokaler Energieströme für die Nutzung von Überschüssen. Geht man mittelfristig von einer nachhaltigen Versorgung von Stadtquartieren durch hohe Anteile erneuerbarer Energien aus, werden die kombinierte Solarnutzung samt lokaler Strom- und Wärmespeicherung und die Interaktion mit den öffentlichen Strom- und Wärmenetzen sowie Nachbarquartieren eine wichtige Rolle spielen. Damit entsteht auch ein Bedarf nach verbesserten und intelligenteren Steuerungen, um die Nachfrage und das Angebot vor Ort aufeinander abzustimmen, um die Belastung des Netzes zu minimieren und die Effektivität von PED in thermischen bzw. elektrischen Netzen zu maximieren.
Das Ziel von PEDs geht deutlich über die Erfüllung einer rein mathematisch positiven Energiebilanz hinaus, wobei soziale Belange, Einbeziehung von Menschen in die Gesellschaft, Lösungen für Energiearmut, räumliche Planung zusätzlich zu stadtteilweiten Überlegungen zu den Verkehrsnetzen und Designoptimierung miteinbezogen werden. Die mehrdimensionale Natur von PEDs erfordert die Berücksichtigung verschiedener Ebenen und Zielgruppen: einerseits eine soziale, ökologische und ökonomische Leistungsbewertung, Interaktion mit Interessenvertretern, Verbreitung von Know-how und öffentliche Wahrnehmung, andererseits weiterentwickelte effizientere Technologien, die nicht für die Einbettung im Gesamtsystemkontext von Nöten sind, sondern in vieler Weise in unterschiedlichen Energiesystemen weltweit integriert und eingesetzt werden können.
Aus diesem Grunde ergibt sich ein immenses markt- und Umsetzungspotential von vielschichtigen Kundensegmenten. Für die Ergebnisse des IEA Annexes lassen sich somit folgende Kundinnen- und AnwenderInnen-Gruppen identifizieren:
Subtask A "Entwicklung von Definitionen und Schlüsselkonzepten für PEDs " / Task 2.1 der österreichischen Beteiligung

Die dort entwickelten Definitionen, Kriterien und Systemabgrenzungen stellen eine wichtige Vorarbeit für die Entwicklung von Normen und Standards im Bereich der Bautechnik sowie, in einem nächsten Schritt, für die Entwicklung von Zertifizierungs- und Monitoringsysteme für PEDs. Stakeholder / Anwender: ÖIB, ASI, ÖGNI, ÖGNB. KlimaAktiv und andere Standardisierungs- und Zertifizierungsorganisationen.

Subtask B: "Methoden, Tools und Technologien für die Planung und Umsetzung von PEDs" / Task 2.2 der österreichischen Beteiligung

Die dort entwickelte Methoden sind in erster Linie für Planungspraktiker und die sie vertretenden Organisationen interessant, sowie für Stadtverwaltungen, Energieversorger und Netzbetreiber. Stakeholder / Anwender: Architektur- und Ingenieurbüros, vertreten durch die Architekten- und Ingenieurskammer, Stadtverwaltungen, Energieversorger und Netzbetreiber.

Mit Hilfe dynamische Gebäude- und Anlagen-Simulationen wird die Elektrifizierung eines realen Stadtquartiers in Österreich sowie archetypischer Plusenergiequartiere untersucht und die sogenannte „Winter Gap“ bzw. die „Energy Gap“ und die „Power Gap“ als Performanceindikator für nachhaltige, leistbare und resiliente Energiesysteme definiert.
Ochs, F.; Tosatto, A.; Venturi, E.; Breuss, S.; Magni, M.; Dermentzis, G.; Wemhoener, C. (2025)

Ein Plusenergiequartier (PEQ) in Innsbruck, Österreich, wird untersucht, welches an die Fernwärme für die Warmwasserbereitung angeschlossen ist und mit einer Grundwasser-Wärmepumpe für die Raumheizung versorgt wird. Die Bewertung des Primärenergiebedarfs beziehungsweise der CO_2-Emissionen erfolgt anstelle der derzeit üblichen jährlichen Umrechnungsfaktoren mit monatliche Umrechnungsfaktoren um den Einfluss sowohl der der saisonalen Last als auch der Verfügbarkeit von Erneuerbaren darstellen zu können. Venturi, E.; Ochs, F.; Magni, M.; Dermentzis, G. (2024)

Verschiedene Integrationsoptionen von Wärmepumpen und Photovoltaik werden untersucht, mit dem Ziel im neu entstehenden Innsbrucker Stadtquartier Campagne ein Plusenergiequartier zu realisieren und mit dem Schwerpunkt die sogenannte „Winterlücke“ zu verringern. Ochs, F.; Breuss, S.; Venturi, E.; Magni, M.; Dermentzis, G. (2024)

Monitoringdaten eines Passivhaus-Quartiers in Innsbruck werden analysiert und diskutiert. Die Auswertung der Monitoring-Ergebnisse zeigt, dass der Heizwärmebedarf sowie die Effizienz der Wärmepumpe in der Größenordnung der Planungsannahmen liegen. Während der Warmwasserbedarf deutlich geringer ausfällt als bei der Planung zugrunde gelegt, liegen die Wärmeverteilungsverluste deutlich über den Planungswerten. Dies zeigt die Bedeutung des Monitorings bei der Inbetriebnahme eines Gebäudes und dessen technischer Anlagen, insbesondere mit dem Ziel Plusenergiestandard zu erreichen.
Venturi, E.; Breuss, S.; Dermentzis, G.; Magni, M.; Ochs, F. (2024)

Folgenabschätzung und Organisationsmodelle (IEA Subtaks C) / Task 2.3 der österreichischen Beteiligung

Die Methoden für die Folgenabschätzung sowie neue Organisationsmodelle sind sowohl für Stadtverwaltungen als auch für Planer und die Immobilienwirtschaft interessant. Stakeholder / Anwender: Stadtverwaltungen, Architektur- und Ingenieurbüros, Urban Land Institute als Vertreter der Immobilienwirtschaft.

Die Ergebnisse der ökonomischen Analysen richteten sich an Entscheidungsträger in Politik und Verwaltung, Stadt und Quartiersentwickler, die Energie und Immobilienwirtschaft sowie die Forschung. Sie wurden über wissenschaftliche Publikationen, internationale Konferenzen und Fachveranstaltungen kommuniziert und über die Projektwebsite https://positive-energy-buildings.eu/ öffentlich zugänglich gemacht. Zentrale Erkenntnisse zu Kostenoptimalität, Flexibilitäten und Geschäftsmodellen wurden unter anderem auf internationalen Fachkonferenzen wie den Internationalen Energiewirtschaftstagen 2024 präsentiert. Die Ergebnisse leisten national einen Beitrag zur Weiterentwicklung von Bewertungsmethoden, Förderinstrumenten und Standards und stärken international den Wissenstransfer zu wirtschaftlich tragfähigen Plusenergiequartieren.

Linking environmental impact assessment and Positive Energy Districts: A literature review
https://doi.org/10.1016/j.cesys.2025.100264

Economic Impact Assessment for Positive Energy Districts: A Literature Review
https://doi.org/10.3390/en18205341

Folgenabschätzung und Organisationsmodelle (IEA Subtaks D) / Task 2.3 der österreichischen Beteiligung

Das Planungshandbuch richtet sich an Planungspraktiker in der öffentlichen Verwaltung sowie in Planungsbüros sowie für Energieversorger und Netzbetreiber. Stakeholder / Anwender: Architektur- und Ingenieurbüros, vertreten durch die Architekten- und Ingenieurskammer, Stadtverwaltungen, Energieversorger und Netzbetreiber.

Platz für Vernetzungsaktivitäten und die Ergebnisse

Die IEA EBC Annex 83 und EXCESS Summer School fand vom 8. bis 13. Juli 2024 in Graz statt. Ziel dieser Summer School war es, Einblicke in die techno-ökonomische Modellierung von Positive Energy Districts (PEDs), in Lebenszykluskosten sowie in Geschäftsmodelle für PEDs zu geben. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Replizierbarkeit von PED-Technologien und -Lösungen unter besonderer Berücksichtigung der wirtschaftlichen Machbarkeit in unterschiedlichen Klimazonen. Die Summer School umfasste außerdem Gruppenarbeiten zu konkreten Fallbeispielen.

Unter Annex 83 wurden mehrere wissenschaftliche Artikel veröffentlicht, die sich u. a. mit der Verknüpfung von Umweltwirkungsanalysen und PEDs, mit ökonomischen Auswirkungen von PEDs sowie mit Bewertungsmethoden, Modellierungsansätzen und identifizierten Forschungslücken befassen. Weitere Arbeiten untersuchen die vielfältigen Nutzen städtischer und energetischer Erneuerungsprojekte anhand stakeholderzentrierter methodischer Ansätze.
Positive Energy Districts: Fundamentals, Assessment Methodologies, Modeling and Research Gaps https://doi.org/10.3390/en17174425

PED-DB – Positive Energy Districts Database: Die Datenbank mit aktuell (Stand: Dez 2025) 114 PEDs wurde an die DUT-Plattform übergeben, die künftig die Betreuung der Datenbank übernimmt. Kurzfristig konzentriert sich DUT darauf, die Plattform stabil, sicher und für alle offen zugänglich zu halten[16].
Das DUT-Partnerschaftsprogramm verfolgt das Ziel, die Daten sowohl Forschenden als auch städtischen Praktiker*innen zur Verfügung zu stellen, um die Weiterentwicklung und Verbreitung des PED-Konzepts zu unterstützen. Damit spielt die PED-Datenbank eine wichtige Rolle in der Kommunikation, Verbreitung und Nutzung von datenbasierten Erkenntnissen zu PEDs.
Langfristig soll die PED-Datenbank kontinuierlich verbessert, erweitert und strategisch auf übergeordnete europäische Nachhaltigkeitsziele ausgerichtet werden. Dies umfasst die Weiterentwicklung der Struktur, der Funktionen und der Datenabdeckung, um eine robuste und benutzerfreundliche Ressource für die Entwicklung und das Monitoring von PEDs bereitzustellen – auch über die Arbeiten von Annex 83 hinaus.
IEA EGRD Workshop: Technologies and innovations for the climate-neutral city, May 12–13, 2025, Vienna (Austria) and online
Francesco Guarino und Shokufeh Zamini präsentierten den IEA EBC Annex 83 on Positive Energy Districts: research activities, outcomes and future research.
Die PED-Konferenz in Mailand, durchgeführt von DUT, fand vom 1. bis 3. Oktober 2025 statt.
• Sie bot ein ansprechendes Programm, das der Gestaltung der Zukunft von Positive Energy Districts gewidmet war.
Ziel der Veranstaltung war es:
• Erfolgreiche Beispiele und gewonnene Erkenntnisse aus über 100 PED-Projekten zu präsentieren.
• Vertiefte Diskussionen über Replizierbarkeit, Skalierung sowie die Integration von PEDs in die reguläre Stadtpolitik zu ermöglichen.

[16] https://peddatabase.dutpartnership.eu/

(#SID - Super Impact Day, 2025) die Verbreitung von PEDs als zentralem Hebel für ein klimaneutrales, inklusives und dekarbonisiertes Europa zu beschleunigen.

Tabelle 2: Den Subtasks zugeordnete Publikationen

Publikationen	Subtask A	Subtask B	Subtask C	Subtask D
Schneider, S , T. Zelger, D. Sengl, und J. Baptista. „A Quantitative Positive Energy District Definition with Contextual Targets“. Buildings 13, Nr. 5 (2023): 5. https://doi.org/10.3390/buildings13051210.	X			
Bruckner, H., S. Alyokhina, S. Schneider, u. a. „Lessons Learned from Four Real-Life Case Studies: Energy Balance Calculations for Implementing Positive Energy Districts“. Energies 18, Nr. 3 (2025): 560. https://doi.org/10.3390/en18030560.	X			
Schneider, S., R. Drexel, T. Zelger, und J. Baptista. „PEExcel: A Fast One-Stop-Shop Assessment and Simulation Framework for Positive Energy Districts“. BauSim Conference, Bd. 10 (2024): 80–88. https://doi.org/10.26868/29761662.2024.11.	X			
Schneider, Simon, Svitlana Alyokhina, Helmut Bruckner, und José Baptista. „Can Urban Retrofitting Achieve a Positive Energy Balance? a Case Study of Four European Positive Energy Districts“. 2024 International Conference on Sustainable Technology and Engineering (i-COSTE), Dezember 2024, 01–06. https://doi.org/10.1109/i-COSTE63786.2024.11024809.	X			
Schneider, Simon, und José Baptista. „Annual Hourly E-Mobility Modelling and Assessment in Climate Neutral Positive Energy Districts“. 2025 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2025 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Juli 2025, 1–7. https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEurope64998.2025.11169136.	X			
Schneider, Simon, Thomas Zelger, Raphael Drexel, Manfred Schindler, Paul Krainer, und José Baptista. „Declaration-Ready Climate-Neutral PEDs: Budget-Based, Hourly LCA Including Mobility and Flexibility“. Designs 9, Nr. 6 (2025): 123. https://doi.org/10.3390/designs9060123.	X			
Gumhalter, M., Gradl, P., et al. (2024). Providing flexibility for district heating grids with thermally activated building structures in residential buildings. EuroSun 2024, Limassol, Cyprus. DOI: 10.18086/eurosun.2024.02.07.		X		

Gumhalter, M.; Ramschak, T.; Gradl, P. (2024): Optimierung des elektrischen Netzverhaltens von Solar Energie Gebäuden mit modellprädiktiven Reglern, 34. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme; Bad Staffelstein; Germany; ISBN 978-3-948176-26-6		X		
Gumhalter, M.; Ramschak, T.; Baumgartner, M. et al. (2024): *Integrierte solare Versorgungskonzepte für klimaneutrale Gebäude der „Stadt der Zukunft" – Sol4City*, Publizierbarer Ergebnisbericht.		X		
Gumhalter, M.; Gradl, P. (2025) *Multifunctional Thermally Activated Façades and Predictive Control as Enablers for Plus Energy Renovations in Urban Quarters*; 20th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES); Dubrovnik; Croatia		X		
Elisa Venturi; Fabian Ochs; Mara Magni; Georgios Dermentzis; Evaluation of positive energy districts with district heating and heat pumps; EuroSun 2024; http://dx.doi.org/10.18086/eurosun.2024.03.06		X		
Fabian Ochs; Samuel Breuss; Elisa Venturi; Mara Magni; Georgios Dermentzis; Towards Positive Energy Districts - Innsbruck "Campagne Areal"; ISEC 2024; http://dx.doi.org/10.52825/isec.v1i.1206		X		
Fabian Ochs; Samuel Breuss; Elisa Venturi; Mara Magni; Georgios Dermentzis; Towards Positive Energy Districts - Innsbruck "Campagne Areal"; ISEC 2024; http://dx.doi.org/10.52825/isec.v1i.1206		X		
Elisa Venturi; Samuel Bruess; Georgios Dermentzis; Mara Magni; Fabian Ochs; Campagne project: Passive houses to enable Positive Energy District. Proceedings of the 27th Passivhaus Conference / Passivhausinstitut, Darmstadt : Passivhaus Institut Darmstadt, 2024, (2024), Seite 231-236; Publikationen von Forschenden / Campagne project: passive houses to enable Positive Energy District		X		
Fabian Ochs; Alice Tosatto; Elisa Venturi; Samuel Breuss; Mara Magni; Georgios Dermentzis; Carsten Wemhoener; Characteristic load curves of positive energy districts; Solar Energy Advances 2025; https://doi.org/10.1016/j.seja.2024.100081		X		
Mayer, Clemens, Tuerk, Andreas, Marotta Illaria, Ciria Aylagas, Raul. "Cost Optimal Analysis of Positive Energy Buildings" International Sustainable Energy Conference – Proceedings. 2024. https://doi.org/10.52825/isec.v1i.1144			X	
Neumann, Camilla, Mayer, Clemens, Tuerk, Andreas, Rehman, ur Hassam, Marotta, Illaria. ""Techno-economic analysis of the flexibility potential in Positive Energy Buildings. 14.Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien. 2025.			X	

Rosaria Volpe, Adriano Bisello, Andreas Tuerk, and et.al. Linking environmental impact assessment and Positive Energy Districts: A literature review, ttps://doi.org/10.1016/j.cesys.2025.100264			X	
Hans-Martin Neumann; Sergio Díaz Garayo; Niki Gaitani; Daniele Vettorato; Laura Aelenei; Judith Borsboom; Ghazal Etminan; Anna Kozlowska; Francesco Reda; Jørgen Rose; Pekka Tuominen , Qualitative Assessment Methodology for Positive Energy District Planning Guidelines, https://doi.org/10.1007/978-981-16-6269-0_42				X
Beril Alpagut, Silvia Bossi, Paolo Civiero, Sergio Diaz de Garayo, Christoph Gollner, Matthias Haase, Michal Kuzmic, Nuria Sanchez, Oscar Secco, Silvia Soutullo Castro, Giulia Turci, Shokufeh Zamini, Development of an early design tool for the sustainability assessment of positive energy, 10.1088/1742-6596/2600/8/082020, **Positive Energy Districts: Fundamentals, Assessment Methodologies, Modeling and Research Gaps**				X
Kozlowska, Anna, Francesco Guarino, Rosaria Volpe, Adriano Bisello, Andrea Gabaldòn, Abolfazl Rezaei, Vicky Albert-Seifried, Beril Alpagut, Han Vandevyvere, Francesco Reda, Shokufeh Zamini and et al. , https://doi.org/10.3390/en17174425				X

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

- **Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen**

1. Erkenntnisse für das Projektteam (fachliche Einschätzung)

Die Entwicklung des **klimaaktiv-Standards „Klimaneutrale Plus-Energie-Quartiere“** stellt einen internationalen Meilenstein dar. Er operationalisiert die PED-Definition und ermöglicht eine überprüfbare Bewertung von Quartieren hinsichtlich Klimaneutralität.

Mit dem **klimaaktiv PEQ-Nachweistool** wurde ein praxisorientiertes Instrument geschaffen, das die komplexe Bilanzierung von Energie und Treibhausgasen auf Quartiersebene ermöglicht.

Technologische Erkenntnisse: PEDs erfordern integrierte Energiesysteme (Photovoltaik, PVT, Wärmepumpen, Speicher, Flexibilitätsoptionen) und intelligente Steuerungen (Model Predictive Control, MPC). Besonders relevant sind Lösungen für urbane Flächenknappheit und netzdienliche Betriebsstrategien.

Ökonomische Bewertung: Lebenszyklusorientierte Kostenanalysen zeigen, dass PEDs unter geeigneten Rahmenbedingungen wirtschaftlich tragfähig sind. Flexibilität und neue Geschäftsmodelle (Energiegemeinschaften, Quartiersdienste) sind zentrale Hebel.

Praktische Umsetzbarkeit: Use Cases wie *Am Bichl III*, *Pilzgasse* und *RUGInnovation* belegen die Anwendbarkeit des Standards in Neubau und Sanierung. Gleichzeitig zeigen Projekte wie *Innsbruck Campagne* die Grenzen lokaler Erzeugung und die Notwendigkeit systemischer Ansätze.

2. Weiterführende nationale Forschungsprojekte und IEA-Kooperationen Nationale Projekte:

- *Hybrid LSC Wien Donaufeld* (Flexibilitätsoptionen für Fernwärme)
- *Sol4City* (integrierte solare Versorgungskonzepte für urbane Quartiere)
- *EXCESS Graz Tagger* (multifunktionale Fassaden und MPC für Bestandsgebäude)
- *Campagne-Areal Innsbruck* (Monitoring und Systemoptimierung im dichten Wohnbau)

IEA-Kooperationen:

- Anschluss an laufende und geplante Annexes wie Annex 67 (Energy Flexible Buildings), Annex 75 (District-Level Renovation) und Annex 83-Folgeprojekte.
- Weiterentwicklung der PED-Datenbank (PED-DB) unter DUT-Plattform für Monitoring und internationale Vergleichbarkeit.

Geplante Initiativen:

- Vertiefung der Themen „Flexibilitätsmärkte“, „digitale Zwillinge“ und „Dekarbonisierung des Bestands“ in europäischen Programmen (Horizon Europe, JPI Urban Europe).

3. Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik Standardisierung und Normung:

- Integration des klimaaktiv-Standards in nationale Zertifizierungssysteme und Normungsprozesse (ÖIB, ASI, ÖGNI).
- Entwicklung eines Monitoringsystems für PEDs auf Basis kontextsensitiver THG-Budgets.

Förderpolitik:

- Anpassung von Förderprogrammen (z. B. „Stadt der Zukunft“, „Smart City Demo“) zur Unterstützung von PEDs, inkl. Flexibilitätsoptionen und Geschäftsmodellen.
- Förderung von Quartierslösungen statt isolierter Gebäudemaßnahmen.

Forschung und Innovation:

- Stärkere Fokussierung auf systemische Ansätze (Quartiersintegration, MPC, digitale Zwillinge).
- Ausbau der Forschung zu ökonomischen und sozialen Aspekten (Akzeptanz, Energiearmut, Governance).

Internationale Positionierung:

- Sicherstellung der aktiven Beteiligung Österreichs an IEA-Annexen und europäischen PED-Initiativen.
- Nutzung der PED-Datenbank als strategisches Instrument für Wissenstransfer und Benchmarking.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die Tabelle zeigt die Zuordnung von österreichischen Aufgaben (Tasks) zu internationalen Subtasks und den entsprechenden internationalen Zielen im Rahmen des IEA EBC Annex 83 Projekts. 19

Tabelle 2: Den Subtasks zugeordnete Publikationen 50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenspiel von Politik sowie Forschung und Innovation in einem kontinuierlichen Prozess. 18

Abbildung 2 Aufbau und inhaltliche Erweiterung der klimaaktiv-Systematik von Plus-Energie-Quartieren hin zu klimaneutralen Quartieren. © FH Technikum Wien 22

Abbildung 3 Vergleich der drei Deklarationsstufen der klimaaktiv Plus-Energie-Quartiere hinsichtlich Bilanzumfang und Systemgrenzen für Betrieb, Mobilität und graue Energie Energie © FH Technikum Wien 23

Abbildung 4 Dashboard des klimaaktiv PEQ-Nachweistools zur Darstellung von Primärenergie-, THG- und Kontextbeiträgen auf Quartiersebene. © FH Technikum Wien 25

Abbildung 5 Am Bichl Igls (c) IIG (links) und Primärenergiebilanz *Am Bichl III* mit positivem Saldo durch lokale Erneuerbare, Flexibilität und Kontextfaktoren (klimaaktiv Plus-Energie-Quartier). (rechts, © FH Technikum Wien) 30

Abbildung 6 Rendering Pilzgasse (links, ©SÜBA) und Primärenergiebilanz *Pilzgasse*: positiver Saldo trotz hoher Dichte durch Erneuerbare, Flexibilität und Mobilitätskontext (klimaaktiv PEQ). (Rechts, © FH Technikum Wien) 31

Abbildung 7 Konzeptdarstellung Rugierstraße (©wohnbund:consult | ÖSW AG) 32

Abbildung 8 Kumulative THG-Bilanz RUGInnovation (2025–2075) mit Beiträgen aus Errichtung, Betrieb und Mobilität im Vergleich zum kontextbasierten THG-Budget des klimaaktiv-Standards. © FH Technikum Wien 33

Abbildung 9 Vereinfachte Darstellung des Gesamtenergieversorgungskonzeptes inklusive der Energieströme (Gumhalter & Ramschak, 2023). 34

Abbildung 10 Dauerlinien des gesamten elektrischen Netzbezuges für die 1.000 Stunden mit der höchsten Netzleistung sowohl für Bezug (links) als auch für Einspeisung (rechts) mit Detailbetrachtung der einzelnen Verbraucher zum Vergleich mit einer Referenztechnologie (WP+PV) (Gumhalter et al., 2024a) 36

Abbildung 11 3D-Darstellung des simulierten Wohngebäudes im Donaufeld (Adaptiert von Quelle: Stipsits 2023) 37

Abbildung 12 RC-Ersatzmodell des Gebäudes als Grundlage für MPC und Zustandsbeobachtung (Quelle: Gumhalter et al. 2024d) 38

Abbildung 13 Dauerlinien der Heizleistung für die kälteste Woche des Jahres – Vergleich Standardregelung vs. MPC (Quelle: Gumhalter et al. 2024d) 39

Abbildung 14 Innenaufnahme eines Raumes dessen Außenseite mit der EXCESS Fassade beheizt wird (links: konventionelles Bild, rechts: Infrarotaufnahme) (Quelle: Schwarzl IT, AEE INTEC, Projekt EXCESS) 41

Abbildung 15 Vergleich des Strombedarfs von Wärmepumpen bei unterschiedlichen Regelungsstrategien, simuliert am österreichischen EXCESS Demonstrationsgebäude, im Verhältnis zur verfügbaren PV-Erzeugung an der Fassade für eine durchschnittliche Winterwoche im Februar. 42

Abbildung 16 Beispiel für das PV-Potenzial auf den Dächern (links) und an der Fassade (rechts) der vier Gebäude in der Innsbrucker Campagne (Heiß 2023) 44

Literaturverzeichnis

Bossi, S.; Gollner, C.; Theierling, S. (2020): Towards 100 Positive Energy Districts in Europe: Preliminary Data Analysis of 61 European Cases. *Energies*, 13(22), 6083. https://doi.org/10.3390/en13226083

Brozovsky, J.; Gustavsen, A.; Gaitani, N. (2021): Zero Emission Neighbourhoods and Positive Energy Districts – A State-of-the-Art Review. *Sustainable Cities and Society*, 72, 103013. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103013

Dermentzis, G.; Ochs, F.; Streicher, W.; Thür, A. (2021): Supporting Decision-Making for Heating and Distribution Systems in a New Residential District: An Austrian Case Study. *Energy*, 224, 120141. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120141

Dermentzis, G.; Ochs, F.; Thür, A. (2019): Primary-energy Based Optimization of a New Building District through Simulations on Flat, Building, Block and District Level. *IBPSA Conference Proceedings*.

EXCESS (2020-2025): EXCESS – FleXible user-CEntric Energy poSitive houseS. EU Horizon 2020 Projekt, Grant Agreement Nr. 870157.

Gumhalter, M.; Baumgartner, M.; Ramschak, T. et al. (2024c): IEA SHC Task 66 – Solar Energy Buildings – Integrierte Energieversorgungskonzepte für klimaneutrale Gebäude für die Stadt der Zukunft. Publizierbarer Ergebnisbericht.

Gumhalter, M.; Gradl, P. (2025): Multifunctional Thermally Activated Façades and Predictive Control as Enablers for Plus Energy Renovations in Urban Quarters. In: *20th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES)*, Dubrovnik, Croatia.

Gumhalter, M.; Gradl, P. et al. (2024d): Providing Flexibility for District Heating Grids with Thermally Activated Building Structures in Residential Buildings. In: *EuroSun 2024*, Limassol, Cyprus. https://doi.org/10.18086/eurosun.2024.02.07

Gumhalter, M.; Ramschak, T. (2023): Elektrisches Netzverhalten von Solar-Energie-Gebäuden – Lastmanagement und Netzentlastung. In: *33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme*, Bad Staffelstein, Deutschland. ISBN 978-3-948176-22-8.

Gumhalter, M.; Ramschak, T.; Baumgartner, M. et al. (2024b): Integrierte solare Versorgungskonzepte für klimaneutrale Gebäude der „Stadt der Zukunft" – Sol4City. Publizierbarer Ergebnisbericht.

Gumhalter, M.; Ramschak, T.; Gradl, P. (2024a): Optimierung des elektrischen Netzverhaltens von Solar-Energie-Gebäuden mit modellprädiktiven Reglern. In: *34. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme*, Bad Staffelstein, Deutschland. ISBN 978-3-948176-26-6.

Gumhalter, M.; Ramschak, T.; Hengel, F. (2022): Flexibility Potentials of Prefabricated Facade Elements with Integrated Active Layer. In: *ISEC 2022*, Graz, Austria. https://doi.org/10.32638/isec2022

Hedman, Å. et al. (2021): IEA EBC Annex 83 Positive Energy Districts. *Buildings*, 11(3), 130. https://doi.org/10.3390/buildings11030130

Heiß, S. (2023): *Bewertung von Plusenergiequartieren am Beispiel Innsbruck Campagne*. Bachelorarbeit, Universität Innsbruck.

JPI Urban Europe (2020): *Reference Framework for Positive Energy Districts and Neighbourhoods*. White Paper, März 2020.

Lindholm, O.; ur Rehman, H.; Reda, F. (2021): Positioning Positive Energy Districts in European Cities. *Buildings*, 11(1), 19. https://doi.org/10.3390/buildings11010019

Mayer, C.; Türk, A.; Marotta, I.; Ciria Aylagas, R. (2024): Cost Optimal Analysis of Positive Energy Buildings. In: *International Sustainable Energy Conference Proceedings*.

Neumann, C.; Mayer, C.; Türk, A.; ur Rehman, H.; Marotta, I. (2025): Techno-economic Analysis of the Flexibility Potential in Positive Energy Buildings. In: *14. Internationale Energiewirtschaftstagung (IEWT)*, TU Wien.

Ochs, F.; Breuss, S.; Venturi, E.; Magni, M.; Dermentzis, G. (2024): Towards Positive Energy Districts – Innsbruck "Campagne Areal". In: *ISEC 2024*. https://doi.org/10.52825/isec.v1i.1206

Ochs, F.; Mara, M.; Dermentzis, G. (2022): Integration of Heat Pumps in Buildings and District Heating Systems – Evaluation on a Building and Energy System Level. *Energies*, 15(11), 3889. https://doi.org/10.3390/en15113889

Ochs, F.; Tosatto, A.; Venturi, E.; Breuss, S.; Magni, M.; Dermentzis, G.; Wemhoener, C. (2025): Characteristic Load Curves of Positive Energy Districts. *Solar Energy Advances*. https://doi.org/10.1016/j.seja.2024.100081

Ramschak, T.; Gumhalter, M. (2022): Participation Potentials for Energy-Active Facades in Future Flexibility Markets. In: *EuroSun 2022 – ISES and IEA SHC International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry*, Kassel, Deutschland. ISBN 978-3-9820408-8-2. https://doi.org/10.18086/eurosun.2022.02.08

Sartori, I.; Napolitano, A.; Voss, K. (2012): Net Zero Energy Buildings: A Consistent Definition Framework. *Energy and Buildings*, 48, 220-232. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.032

Schneider, S.; Zelger, T.; Sengl, D.; Baptista, J. (2023): A Quantitative Positive Energy District Definition with Contextual Targets. *Buildings*, 13(5), 1210. https://doi.org/10.3390/buildings13051210

SET-Plan (2018): *SET-Plan Action 3.2 "Smart Cities and Communities" Implementation Plan*. European Commission / SET-Plan Temporary Working Group.

SET-Plan Working Group (2018): *Europe to Become a Global Role Model in Integrated, Innovative Solutions for the Planning, Deployment, and Replication of Positive Energy Districts*. SET-Plan Action 3.2.

Stipsits, A. (2023): *Regelkonzepte zur Lastverschiebung bei fernwärmeversorgten Gebäuden mit thermischer Bauteilaktivierung*. Masterarbeit, Studiengang Gebäudetechnik und Gebäudemanagement, FH Burgenland, Pinkafeld, Austria.

Venturi, E.; Breuss, S.; Dermentzis, G.; Magni, M.; Ochs, F. (2024): Campagne Project: Passive Houses to Enable Positive Energy District. In: *Proceedings of the 27th International Passive House Conference*. Darmstadt: Passivhaus Institut, S. 231-236.

Venturi, E.; Ochs, F.; Magni, M.; Dermentzis, G. (2024): Evaluation of Positive Energy Districts with District Heating and Heat Pumps. In: *EuroSun 2024*. https://doi.org/10.18086/eurosun. 2024.03.06