

Langzeitevaluierung des Energieverbrauchs von 100 energieeffizienten Gebäuden in Österreich als repräsentativer Querschnitt österreichischer Leuchtturmobjekte

LZE 100 Leuchtturmobjekte

T. Roßkopf-Nachbaur, G. Lang,
M. Ploß, M. Lang, A. Peter, T. Hatt

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

24/2022

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Interimistischer Leiter: DI Theodor Zillner

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in
dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik
Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Langzeitevaluierung des Energieverbrauchs von 100 energieeffizienten Gebäuden in Österreich als repräsentativer Querschnitt österreichischer Leuchtturmobjekte

LZE 100 Leuchtturmobjekte

Ing. Günter Lang, Mag. (FH) Markus Lang
LANG consulting

Thomas Roßkopf-Nachbaur MSc, Arch. DI Martin Ploss,
Andreas Peter M.Sc., Dr. Tobias Hatt
Energieinstitut Vorarlberg

Dornbirn und Wien, April 2022

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Theodor Zillner

Interimistischer Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Kurzfassung | 8 |
| 1.1. | Motivation und Forschungsfrage..... | 8 |
| 1.2. | Ausgangssituation/Status Quo..... | 8 |
| 1.3. | Projekt-Inhalte und Zielsetzung | 9 |
| 1.4. | Methodische Vorgehensweise..... | 9 |
| 1.5. | Ergebnisse und Schlussfolgerungen..... | 9 |
| 1.6. | Ausblick | 10 |
| 2 | Abstract | 11 |
| 2.1. | Motivation and research question..... | 11 |
| 2.2. | Initial situation/status quo..... | 11 |
| 2.3. | Project contents and objectives..... | 11 |
| 2.4. | Methodological approach..... | 12 |
| 2.5. | Results and conclusions | 12 |
| 2.6. | Outlook | 13 |
| 3 | Ausgangslage | 14 |
| 3.1. | Ausgangslage, Zielsetzung des Projekts und Forschungsfragen | 14 |
| 3.2. | Status Quo des Energieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser am Beispiel der Kategorie Mehrfamilienhaus..... | 15 |
| 3.2.1. | Gesamtbestand – alle Altersklassen..... | 16 |
| 3.2.2. | Neubau – Beispiel gemeinnütziger Wohnbau Vorarlberg..... | 19 |
| 3.2.3. | Treibhausgasemissionen von Mehrfamilienhäusern | 20 |
| 3.3. | Status quo – Konzepte für hocheffiziente Gebäude | 25 |
| 3.3.1. | Berücksichtigte Energieanwendungen (Bedarf/Verbrauch)..... | 25 |
| 3.3.2. | Berücksichtigung der erneuerbaren Energieerzeugung (PV) am Gebäude..... | 26 |
| 3.3.3. | Bilanzierungsintervall | 27 |
| 3.3.4. | Räumliche Bilanzgrenze..... | 28 |
| 3.3.5. | Was genau wird bilanziert? | 29 |
| 3.3.6. | Bewertung Strom/Fernwärme auf Basis von Monats- oder Jahreswerten..... | 29 |
| 3.3.7. | Sonstige Unterschiede in der Bilanzierung..... | 31 |
| 3.4. | Beispielhafte Standards | 32 |
| 3.4.1. | Standard Passivhaus (Passivhaus Institut, Darmstadt)..... | 32 |
| 3.4.2. | Standard AktivPlus Gebäude | 36 |
| 3.4.3. | klimaaktiv Gebäudestandard..... | 38 |
| 3.4.4. | Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser | 38 |
| 3.4.5. | Standard Energieautarke Gebäude | 40 |
| 4 | Projekthalt | 42 |

| | |
|--|------------|
| 4.1. Übersicht der untersuchten Objekte | 43 |
| 4.2. Excel-Formular zur Verbrauchsdatenerfassung..... | 47 |
| 4.3. Randbedingungen und Bilanzgrenze der Verbrauchsdatenerfassung..... | 48 |
| 5 Ergebnisse | 54 |
| 5.1. Mehrwohnungsgebäude..... | 54 |
| 5.1.1. Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser | 54 |
| 5.1.2. Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen | 55 |
| 5.1.3. CO _{2eq} -Emissionen Heizung und Warmwasser..... | 57 |
| 5.1.4. CO _{2eq} -Emissionen alle Anwendungen..... | 58 |
| 5.2. Einfamilienhäuser | 60 |
| 5.2.1. Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser | 60 |
| 5.2.2. Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen | 61 |
| 5.2.3. CO _{2eq} -Emissionen Heizung und Warmwasser..... | 62 |
| 5.2.4. CO _{2eq} -Emissionen alle Anwendungen..... | 63 |
| 5.3. Wohnähnliche Gebäude | 64 |
| 5.3.1. Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen | 64 |
| 5.3.2. CO _{2eq} -Emissionen alle Anwendungen..... | 65 |
| 5.4. Nichtwohngebäude..... | 67 |
| 5.4.1. Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen | 67 |
| 5.4.2. CO _{2eq} -Emissionen alle Anwendungen..... | 70 |
| 5.5. Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur | 72 |
| 5.6. Detailauswertung für einzelne ausgewählte Projekte..... | 76 |
| 5.6.1. Projekt KliNaWo (LZE100LT-ID 019) | 76 |
| 5.6.2. Projekt Vögelebichl (LZE100LT-ID 030)..... | 82 |
| 5.6.3. Projekt Haller Feldkirch (LZE100LT-ID 025) | 86 |
| 5.6.4. Projekt Langenegg (LZE100LT-ID 029) | 89 |
| 5.6.5. Projekt Dafins A und B (LZE100LT-ID 022 und 023)..... | 92 |
| 5.6.6. Passivhaussanierung Am Sportplatz 4 (LZE100LT-ID 074)..... | 98 |
| 5.6.7. EFH Passivhausscheibe Salzkammergut (LZE100LT-ID 039) | 100 |
| 5.6.8. EFH Finkel (LZE100LT-ID 041) | 104 |
| 5.6.9. EFH Sanierung Schwarz (LZE100LT-ID 054) | 107 |
| 5.6.10. EFH Fleischanderl (LZE100LT-ID 094) | 110 |
| 6 Schlussfolgerungen | 112 |
| 6.1. Projekterkenntnisse | 112 |
| 6.1.1. Erkenntnis 1: Hocheffiziente Gebäude funktionieren in der Praxis | 112 |
| 6.1.2. Erkenntnis 2: Hohe Effizienz ist planbar | 112 |
| 6.1.3. Erkenntnis 3: Hohe Effizienz ist wirtschaftlich..... | 112 |
| 6.1.4. Erkenntnis 4: Das derzeitige Mindestanforderungsniveau ist nicht kompatibel zum Paris-Ziel..... | 113 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.1.5. | Erkenntnis 5: Paris-kompatible Energieträger für den Neubau – Wärmepumpe oder Nah-/Fernwärme | 113 |
| 6.1.6. | Erkenntnis 6: Große PV-Systeme sind nah an der Wirtschaftlichkeit | 113 |
| 6.1.7. | Erkenntnis 7: Analyse der realen Energieverbräuche von Gebäuden steckt noch in den Kinderschuhen | 113 |
| 6.2. | Zielgruppe | 114 |
| 6.3. | Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten | 114 |
| 7 | Ausblick und Empfehlungen | 116 |
| 7.1. | Empfehlungen für Umsetzungsmaßnahmen | 116 |
| 7.1.1. | Empfehlung 1: Sofortiges Verbot von fossilen Energieträgern im Neubau | 116 |
| 7.1.2. | Empfehlung 2: Verbindlicher Zeitplan für den Ausstieg aus fossilen Energieträgern im Bestand | 116 |
| 7.1.3. | Empfehlung 3: Erhöhung des Anforderungsniveaus für die Gebäudehülle in Neubau und Sanierung | 117 |
| 7.1.4. | Empfehlung 4: Verlagerung von Fördermitteln vom Neubau auf die Sanierung und Konzentration auf Paris-kompatible Qualitäten | 117 |
| 7.2. | Potenzial für Demonstrationsvorhaben..... | 117 |
| 7.2.1. | Anschubfinanzierung für serielle Sanierungen hoher energetischer Qualität | 117 |
| 7.2.2. | Entwicklung von Methoden zur Analyse der energetischen Gebäudequalität großer Gebäudebestände auf Basis von Verbrauchsauswertungen | 118 |
| 7.2.3. | Entwicklung und Test von Fördermodellen auf Basis des realen Energieverbrauchs | 118 |
| 8 | Verzeichnisse..... | 119 |
| 9 | Anhang..... | 130 |
| 9.1. | Geschichtliche Entwicklung des hochenergieeffizienten Bauens..... | 130 |
| 9.1.1. | Internationale Entwicklung..... | 130 |
| 9.1.2. | Geschichtliche Entwicklung des Passivhauses in Österreich | 130 |
| 9.2. | Endenergieeinsparung durch hocheffiziente Gebäude | 136 |
| 9.3. | Beispiel Excel-Formular zur Verbrauchsdatenerfassung | 137 |
| 9.4. | Data Management Plan (DMP) | 140 |

1 Kurzfassung

1.1. Motivation und Forschungsfrage

Österreich hat eine lange Tradition in der Errichtung hocheffizienter Gebäude – sowohl im Rahmen wissenschaftlich begleiteter Forschungsprojekte, als auch ohne wissenschaftliche Begleitung. Während die Verbrauchsdaten vieler Forschungs- und Modellvorhaben zeigen, dass sehr niedrige Verbräuche und Treibhausgasemissionen auch in der Praxis erreicht werden können und dass der reale Verbrauch mit geeigneten Rechenwerkzeugen unter Verwendung realistischer Nutzungsrandbedingungen gut vorausberechnet werden kann, wird oftmals postuliert, die realen Verbräuche hocheffizienter Gebäude lägen deutlich über den voraus berechneten Energiebedarfswerten.

Die Hauptforschungsfragen lauten:

- Wie hoch sind die realen Verbräuche hocheffizienter Gebäude verschiedener Nutzungskategorien?
- Wie hoch sind die Einsparpotenziale im Vergleich zu üblichen Neubauten, Sanierungen und Bestandsgebäuden gleicher Nutzungskategorie?
- Wie hoch sind die aus den realen Verbräuchen berechneten Treibhausgasemissionen?
- Wie können die Treibhausgasemissionen realitätsnah berechnet werden?

Das Projekt kann darüber hinaus dazu dienen, Grundlagen zur Beantwortung der folgenden Fragen zu liefern:

- Welchen realistischen Beitrag können Gebäude zur Reduktion des Endenergieverbrauchs, zur Dekarbonisierung und zur Reduktion der Energieimportabhängigkeit liefern?
- Welche Konzepte zum Bau hocheffizienter Gebäude haben sich in der Praxis bewährt?
- Was sind die notwendigen nächsten Schritte im Gebäudesektor?

1.2. Ausgangssituation/Status Quo

Als Grundlage für die Analyse der Reduktionspotentiale wird nachfolgend exemplarisch der Status Quo des Endenergieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser von Mehrfamilienhäusern dargestellt. Die Analyse erfolgt auf der Grundlage von Verbrauchsdatenauswertungen für möglichst große Gebäudebestände. Der gesamte Gebäudebestand benötigt im Mittel einen spezifischen Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser zwischen $105 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ für fernwärmeversorgte Gebäude und ca. $140 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ für öl- und gasbeheizte Gebäude. Der spezifische Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser von typischen Mehrwohnungsneubauten liegt im Mittel bei etwa $85 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

1.3. Projekt-Inhalte und Zielsetzung

Das gegenständliche Projekt zielt darauf ab, Verbrauchswerte hocheffizienter Gebäude zu erfassen, statistisch auszuwerten und mit den Verbräuchen gleichartiger Gebäudetypen in einem „üblichen“ Energieniveau zu vergleichen, um eine sachliche Diskussion auf der Basis von Fakten zu ermöglichen. Durch diesen Vergleich sollen Einsparpotenziale aufgezeigt werden, die nicht auf theoretischen Berechnungen, sondern auf gemessenen Verbräuchen beruhen.

Auf Basis der Energieverbrauchsdaten werden die realen THG-Emissionen der Gebäude im Betrieb bestimmt. Dabei werden auch die mittelfristigen Trends in der Entwicklung der spezifischen Emissionen des Energieträgers Strom berücksichtigt.

Die Darstellung und Diskussion der Ergebnisse sollen unter Berücksichtigung der historischen Entwicklung eingesetzter Technologien bzw. technologischer Innovationen in Österreich erarbeitet werden und daraus ableitend den weiteren Entwicklungs- und Forschungsbedarf aufzeigen.

1.4. Methodische Vorgehensweise

Zur Beantwortung der Hauptforschungsfragen werden die Energieverbrauchsdaten von mehr als 100 energieeffizienten Best-Practice Gebäuden in Österreich über eine Betriebszeit von 3 bis 25 Jahren erfasst und ausgewertet. Die Erfassung und Analyse erfolgt je nach Datenverfügbarkeit in unterschiedlichen Tiefen und zeitlichen Auflösungen – für wissenschaftlich begleitete Projekte sehr detailliert, für sonstige Projekte auf der Ebene des gemessenen und abgerechneten, jährlichen Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser sowie für andere Energieanwendungen.

1.5. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Energieverbrauchsdaten der untersuchten, innovativen Mehrwohnungsgebäude ergibt mittlere, spezifische Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser von ca. 64 kWh/(m²_{WNFA}) für die Energieträger Gas und Fernwärme sowie ca. 16,5 kWh/(m²_{WNFA}) für den Energieträger Strom (Wärmepumpe). Der mittlere, spezifische Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser der ausgewerteten Mehrwohnungsgebäude liegt somit ca. 25% unter dem Verbrauch typischer Mehrwohnungsgebäude.

Die besten gasbeheizten Mehrfamilienhäuser erreichen spezifische Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser von 42 bis 44 kWh/(m²_{WNFA}). Die besten fernwärmebeheizten Mehrfamilienhäuser erreichen spezifische Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser von 50 bis 53 kWh/(m²_{WNFA}). Der Verbrauch besten Projekte liegt somit bis zu 50% unter dem Verbrauch typischer Mehrwohnungsgebäude. Die besten fünf wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäuser – darunter eine Gebäudesanierung – erreichen spezifische Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser von 12 bis 13 kWh/(m²_{WNFA}).

Die CO_{2eq}-Emissionen der erdgasbeheizten Gebäude in Summe aller Energieanwendungen liegen um ein Mehrfaches über den Paris-kompatiblen Emissionen (3 bis 6 kg/(m²_{WNFA})). Mit gasbeheizten Gebäuden können die aus Klimaschutzgründen notwendigen Emissionsgrenzwerte nicht eingehalten werden.

Die Emissionen der besten wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäuser liegen bei aktuellem Strommix bei etwa $11 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Bei den für 2030 zu erwartenden spezifischen Treibhausgasemissionen des Verbraucherstroms werden die besten wärmepumpenbeheizten Gebäude Emissionen im Paris-kompatiblen Bereich (d.h. bis max. $6 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$) erreichen. Ähnliches gilt für die besten fernwärmebeheizten Gebäude sowie für Sanierungen und Nichtwohngebäude.

Folgende Haupterkenntnisse ergeben sich durch das Projekt.

- Erkenntnis 1: Hocheffiziente Gebäude funktionieren in der Praxis
- Erkenntnis 2: Hohe Effizienz ist planbar
- Erkenntnis 3: Hohe Effizienz ist wirtschaftlich
- Erkenntnis 4: Das derzeitige Mindestanforderungsniveau ist nicht kompatibel zum Paris-Ziel
- Erkenntnis 5: Paris-kompatible Energieträger für den Neubau – Wärmepumpe oder Nah/Fernwärme
- Erkenntnis 6: Große PV-Systeme sind nah an der Wirtschaftlichkeit
- Erkenntnis 7: Analyse der realen Energieverbräuche von Gebäuden steckt noch in den Kinderschuhen

1.6. Ausblick

Das Projekt zeigt, dass schon mit Großteil seit 20 Jahren marktverfügbaren Komponenten und Konzepten Paris-kompatible Niveaus erreicht werden können. Die Reduktion des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors hat primär ein Umsetzungsproblem – die notwendigen Technologien sind bekannt und verfügbar. Folgende Empfehlungen für Umsetzungsmaßnahmen ergeben sich durch das Projekt.

- Empfehlung 1: Sofortiges Verbot von fossilen Energieträgern im Neubau
- Empfehlung 2: Verbindlicher Zeitplan für den Ausstieg aus fossilen Energieträgern im Bestand
- Empfehlung 3: Erhöhung des Anforderungsniveaus für die Gebäudehülle in Neubau und Sanierung
- Empfehlung 4: Verlagerung von Fördermitteln vom Neubau auf die Sanierung und Konzentration auf Paris-kompatible Qualitäten

Folgende Empfehlungen für weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ergeben sich durch das Projekt.

- Anschubfinanzierung für serielle Sanierungen hoher energetischer Qualität
- Entwicklung von Methoden zur Analyse der energetischen Gebäudequalität großer Gebäudebestände auf Basis von Verbrauchsauswertungen
- Entwicklung und Test von Fördermodellen auf Basis des realen Energieverbrauchs

2 Abstract

2.1. Motivation and research question

Austria has a long tradition of constructing highly efficient buildings - both in the context of scientifically supported research projects and without scientific support. Many research and model projects show that very low consumption and greenhouse gas emissions can also be achieved in practice and that real consumption can be well predicted with suitable calculation tools using realistic boundary conditions of use. Nevertheless, it is often postulated that the real consumption of high-efficiency buildings is significantly higher than the energy demand values calculated in advance.

The main research questions are:

- What are the real consumptions of high-efficiency buildings of different use categories?
- How high are the savings potentials compared to conventional new buildings, refurbishments and existing buildings of the same use category?
- How high are the greenhouse gas emissions, calculated from real consumption?
- How can the greenhouse gas emissions be calculated realistically?

The project can also serve to provide a basis for answering the following questions:

- What realistic contribution can buildings make to reduce final energy consumption, decarbonisation, and reducing energy import dependence?
- Which concepts for constructing highly efficient buildings have proven themselves in practice?
- What are the necessary next steps in the building sector?

2.2. Initial situation/status quo

As a basis for the analysis of reduction potentials, the status quo of final energy consumption for space heating and hot water of multi-family buildings is presented below as an example. The analysis is based on consumption data evaluations for the largest possible building stock. The total building stock requires on average a specific final energy consumption for space heating and hot water between 105 kWh/(m²_{WNFA}) for buildings supplied with district heating and about 140 kWh/(m²_{WNFA}) for oil and gas heated buildings. The specific final energy consumption for space heating and hot water of typical new multi-apartment buildings averages about 85 kWh/(m²_{WNFA}).

2.3. Project contents and objectives

The project at hand aims at collecting consumption values of highly efficient buildings, evaluating them statistically and comparing them with the consumption of similar building types in a "usual" energy level in order to enable an objective discussion based on facts. This comparison is intended to highlight potential savings that are not based on theoretical calculations but on measured consumption.

Based on the energy consumption data, the real greenhouse gas emissions of the buildings in operation are determined. The medium-term trends in the development of specific emissions of the energy carrier electricity are also taken into account.

The presentation and discussion of the results are to be elaborated taking into account the historical development of technologies used or technological innovations in Austria, and deriving from this the need for further development and research.

2.4. Methodological approach

To answer the main research questions, the energy consumption data of more than 100 energy-efficient best-practice buildings in Austria will be collected and analysed over an operating period of 3 to 25 years. The collection and analysis is done in different depths and temporal resolutions depending on data availability - for scientifically supported projects very detailed, for other projects on the level of measured and billed annual final energy consumption for heating and hot water as well as for other energy applications.

2.5. Results and conclusions

The evaluation of the energy consumption data of the investigated, innovative multi-apartment buildings results in mean, specific final energy consumptions for heating and hot water of about 64 kWh/(m²_{WNFA}) for the energy carriers gas and district heating and about 16.5 kWh/(m²_{WNFA}) for the energy carrier electricity (heat pump). The average specific final energy consumption for heating and hot water of the evaluated multi-apartment buildings is thus about 25% below the consumption of typical multi-apartment buildings.

The best gas-heated multi-residential buildings achieve specific final energy consumptions for heating and hot water of 42 to 44 kWh/(m²_{WNFA}). The best district-heated multifamily buildings achieve specific final energy consumptions for heating and hot water of 50 to 53 kWh/(m²_{WNFA}). The consumption of the best projects is thus up to 50% below the consumption of typical multi-apartment buildings. The best five heat pump-heated multi-residential buildings - including one building renovation - achieve specific final energy consumptions for heating and hot water of 12 to 13 kWh/(m²_{WNFA}).

The CO₂eq emissions of the natural gas-heated buildings in the sum of all energy applications are several times higher than the Paris-compatible emissions (3 to 6 kg/(m²_{WNFA})). Gas-heated buildings cannot meet the emission limits required for climate protection reasons.

Emissions from the best heat pump-heated multifamily buildings are about 11 kg/(m²_{WNFA}) with the current electricity mix. With specific greenhouse gas emissions from consumer electricity expected in 2030, the best heat pump-heated buildings will achieve emissions in the Paris-compatible range (i.e. up to a maximum of 6 kg/(m²_{WNFA})). Similar results are obtained for the best district-heated buildings as well as for renovations and non-residential buildings.

The following main findings emerge from the project.

- Finding 1: High-efficiency buildings work in practice.
- Finding 2: High efficiency can be planned

- Finding 3: High efficiency is economical
- Finding 4: The current minimum requirement level is not compatible with the Paris target
- Finding 5: Paris-compatible energy sources for new construction - heat pump or local/district heating
- Finding 6: Large PV systems are close to economic viability
- Finding 7: Analysis of real energy consumption of buildings is still in its infancy

2.6. Outlook

The project shows that Paris-compatible levels can already be achieved with components and concepts that have been commercially available for most of the last 20 years. Reducing the energy demand and greenhouse gas emissions of the building sector is primarily an implementation problem - the necessary technologies are known and available. The following recommendations for implementation measures emerge from the project.

- Recommendation 1: Immediate ban on fossil fuels in new buildings.
- Recommendation 2: Binding timetable for phasing out fossil fuels in existing buildings
- Recommendation 3: Increase the requirement level for the building envelope in new construction and refurbishment
- Recommendation 4: Shift subsidies from new construction to refurbishment and focus on Paris-compatible qualities

The following recommendations for further research and development emerge from the project.

- Start-up funding for serial refurbishments of high-energy quality.
- Development of methods for analysing the energy quality of large building stocks based on consumption evaluations
- Development and test of funding models based on real energy consumption

3 Ausgangslage

3.1. Ausgangslage, Zielsetzung des Projekts und Forschungsfragen

Österreich hat eine lange Tradition in der Errichtung hocheffizienter Gebäude – sowohl im Rahmen wissenschaftlich begleiteter Forschungsprojekte, als auch ohne wissenschaftliche Begleitung. Da der Fokus vieler Forschungsprojekte oft auf der Weiterentwicklung einzelner Technologien lag und die Energieverbräuche im realen Betrieb nicht in jedem Fall erhoben und veröffentlicht wurden und da auch die Verbräuche effizienter Gebäude ohne wissenschaftliche Begleitung in der Regel nicht veröffentlicht werden, wird die energetische Performance derartiger Gebäude in den vergangenen Jahren z.T. kontrovers und mangels belastbarer Zahlen oftmals unsachlich diskutiert. Während die Verbrauchsdaten vieler Forschungs- und Modellvorhaben zeigen, dass sehr niedrige Verbräuche und Treibhausgasemissionen auch in der Praxis erreicht werden können und dass der reale Verbrauch mit geeigneten Rechenwerkzeugen unter Verwendung realistischer Nutzungsrandbedingungen gut vorausberechnet werden kann, wird oftmals postuliert, die realen Verbräuche hocheffizienter Gebäude lägen deutlich über den voraus berechneten Energiebedarfswerten. Die Abweichung wird oft mit dem Rebound-Effekt begründet oder als Performance-Gap bezeichnet (Perch-Nielsen 2019).

Eine sachliche Diskussion wird auch dadurch erschwert, dass bislang nur sehr wenige statistisch gut abgesicherte Benchmark-Werte für die Verbräuche von Gebäuden unterschiedlicher Nutzungstypen in üblichem Energieniveau vorliegen. Das gegenständliche Projekt zielt darauf ab, Verbrauchswerte hocheffizienter Gebäude zu erfassen, statistisch auszuwerten und mit den Verbräuchen gleichartiger Gebäudetypen in einem „üblichen“ Energieniveau zu vergleichen, um eine sachliche Diskussion auf der Basis von Fakten zu ermöglichen. Durch diesen Vergleich sollen Einsparpotenziale aufgezeigt werden, die nicht auf theoretischen Berechnungen, sondern auf gemessenen Verbräuchen beruhen.

Auf Basis der Energieverbrauchsdaten werden die realen THG-Emissionen der Gebäude im Betrieb bestimmt. Dabei werden auch die mittelfristigen Trends in der Entwicklung der spezifischen Emissionen des Energieträgers Strom berücksichtigt. Das Thema der realitätsnahen Ermittlung der THG-Emissionen strombeheizter Gebäude wird in einem eigenen Kapitel behandelt (Kapitel 3.3.6).

Die Darstellung und Diskussion der Ergebnisse sollen unter Berücksichtigung der historischen Entwicklung eingesetzter Technologien bzw. technologischer Innovationen in Österreich erarbeitet werden und daraus ableitend den weiteren Entwicklungs- und Forschungsbedarf aufzeigen.

Die Hauptforschungsfragen lauten:

- Wie hoch sind die realen Verbräuche hocheffizienter Gebäude verschiedener Nutzungskategorien?
- Wie hoch sind die Einsparpotenziale im Vergleich zu üblichen Neubauten, Sanierungen und Bestandsgebäuden gleicher Nutzungskategorie?
- Wie hoch sind die aus den realen Verbräuchen berechneten Treibhausgasemissionen?
- Wie können die Treibhausgasemissionen realitätsnah berechnet werden?

Das Projekt kann darüber hinaus dazu dienen, Grundlagen zur Beantwortung der folgenden Fragen zu liefern:

- Welchen realistischen Beitrag können Gebäude zur Reduktion des Endenergieverbrauchs, zur Dekarbonisierung und zur Reduktion der Energieimportabhängigkeit liefern?
- Welche Konzepte zum Bau hocheffizienter Gebäude haben sich in der Praxis bewährt?
- Was sind die notwendigen nächsten Schritte im Gebäudesektor?

Zur Beantwortung der Hauptforschungsfragen werden die Energieverbrauchsdaten von mehr als 100 energieeffizienten Best-Practice Gebäuden in Österreich über eine Betriebszeit von 3 bis 25 Jahren erfasst und ausgewertet. Die Erfassung und Analyse erfolgt je nach Datenverfügbarkeit in unterschiedlichen Tiefen und zeitlichen Auflösungen – für wissenschaftlich begleitete Projekte sehr detailliert, für sonstige Projekte auf der Ebene des gemessenen und abgerechneten, jährlichen Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser sowie für andere Energieanwendungen.

3.2. Status Quo des Energieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser am Beispiel der Kategorie Mehrfamilienhaus

Als Grundlage für die Analyse der Reduktionspotentiale wird nachfolgend exemplarisch der Status Quo des Endenergieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser und der Treibhausgasemissionen von Mehrfamilienhäusern dargestellt. Das Segment der Mehrfamilienhäuser ist besonders gut für derartige Benchmark-Vergleiche geeignet, da das mittlere Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer auf Basis zahlreicher Forschungsprojekte inzwischen sehr gut bekannt ist.

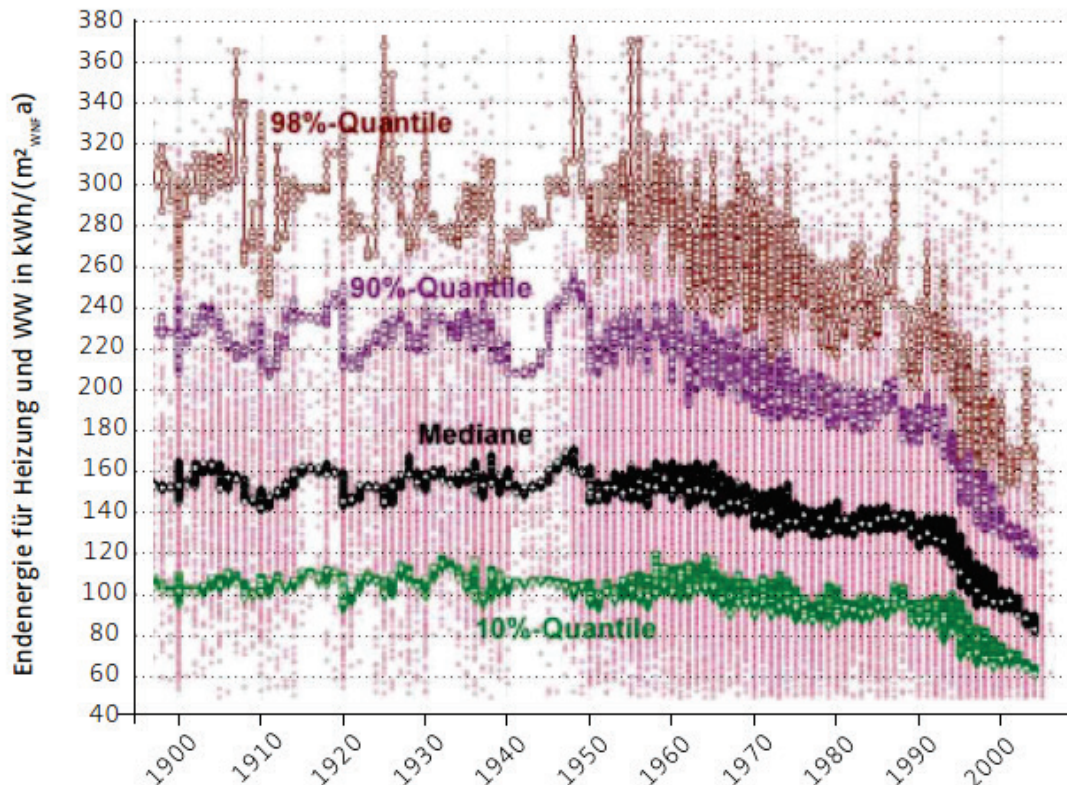
Die Analyse erfolgt auf der Grundlage von Verbrauchsdatenauswertungen für möglichst große Gebäudebestände. Wegen der besseren Datenverfügbarkeit werden zunächst Daten aus Deutschland analysiert, im Anschluss Vergleichsdaten für Österreich. Dabei werden zunächst Daten für Gesamtbestände aller Altersklassen analysiert, danach die für Neubau-Bestände¹.

¹ Die Status-Quo-Analyse wurde zu großen Teilen im Rahmen des EU-interreg Projekts „Low-Cost nZEB“ durchgeführt. Die Projektergebnisse sind detailliert im Buch „Low-Cost nZEB – Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser“ veröffentlicht (EIV 2022).

3.2.1. Gesamtbestand – alle Altersklassen

Abbildung 1 zeigt den spezifischen Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser von 110.000 öl- und gasbeheizten Mehrfamilienhäusern in Deutschland in Abhängigkeit ihres Baujahres.

Abbildung 1: Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser von 110.000 Mehrfamilienhäusern in Deutschland nach dem Gebäudebaujahr (rote Punkte), schwarze Linie: Mediane; grüne Linie: 10% Quantile; violette Linie: 90% Quantile; braune Linie: 98% Quantile (Greller 2010)

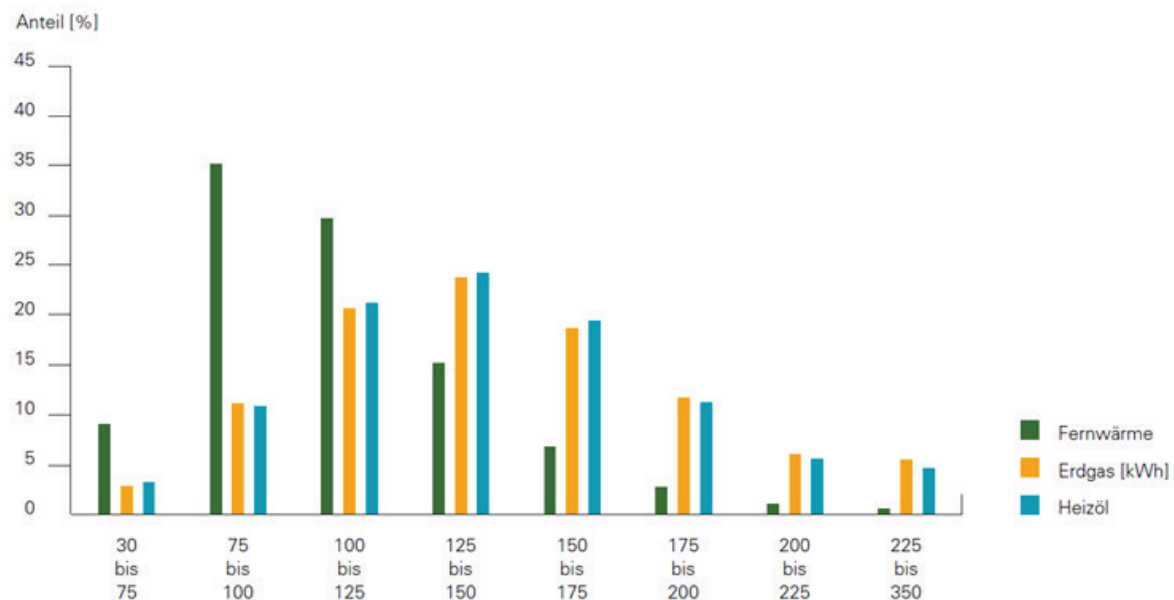


Wie die Abbildung zeigt, liegen die Verbräuche der 2% der schlechtesten Mehrfamilienhäuser der Baujahre bis etwa 1970 in einer Größenordnung von etwa 300 kWh/(m²_{WNF} a) (Kurve 98%-Quantile). Der Median des Verbrauchs der Gebäude der Baujahre 1900 bis 1964 liegt bei ca. 155 kWh/(m²_{WNF} a), die Werte der Baujahre 1965 bis 1976 sinken geringfügig auf etwa 145 kWh/(m²_{WNF} a), der Median des Baujahrs 1990 liegt bei 136 kWh/(m²_{WNF} a).

Die stärksten Rückgänge sind 1996 und 2003 zu verzeichnen, d.h. kurz nach den Verschärfungen der Mindestanforderungen in Wärmeschutzverordnung 1995 und EnEV 2002. Die Darstellung belegt damit die Wirksamkeit ordnungspolitischer Instrumente wie legislativer Mindestanforderungen. Der Median der 2004 bis 2006 errichteten Gebäude liegt bei 85 kWh/(m²_{WNF} a), seitdem sind die Anforderungen in Deutschland nur noch geringfügig verschärft worden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass der Median der Verbräuche von Mehrfamilienhaus-Neubauten der vergangenen Jahre in Deutschland nicht wesentlich unter 85 kWh/(m²_{WNF} a) liegt.

Abbildung 2 zeigt die Häufigkeitsverteilung des spezifischen Endenergieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser an einem Bestand von Mehrfamilienhäusern aller Baualter in Deutschland mit mehr als 950.000 Wohneinheiten (Techem 2017).

Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung des spezifischen, nicht witterungsbereinigten Endenergieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser von Mehrfamilienhäusern in Deutschland (Techem 2017)



Ein großer Teil der Mehrfamilienhäuser hat spezifische Verbräuche für Raumheizung und Warmwasser von 100 kWh/(m²_{WNFA}) bis 175 kWh/(m²_{WNFA}). Nur ein kleiner Teil von 3% bei Öl und Gas sowie von 13% bei Fernwärme erreicht Werte von weniger als 75 kWh/(m²_{WNFA}). Etwa 10% der gas- oder ölbeheizten Gebäude verbrauchen mehr als 200 kWh/(m²_{WNFA}), bei Fernwärme ist der Anteil deutlich kleiner, da im Gegensatz zu Öl und Gas die ins Gebäude übergebene Wärme abgerechnet wird, so dass Erzeuger- und Verteilverluste außerhalb des Gebäudes nicht enthalten sind.

Im Mittel der analysierten Gebäude betrug der nicht witterungsbereinigte, spezifische Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser im Jahr 2016:

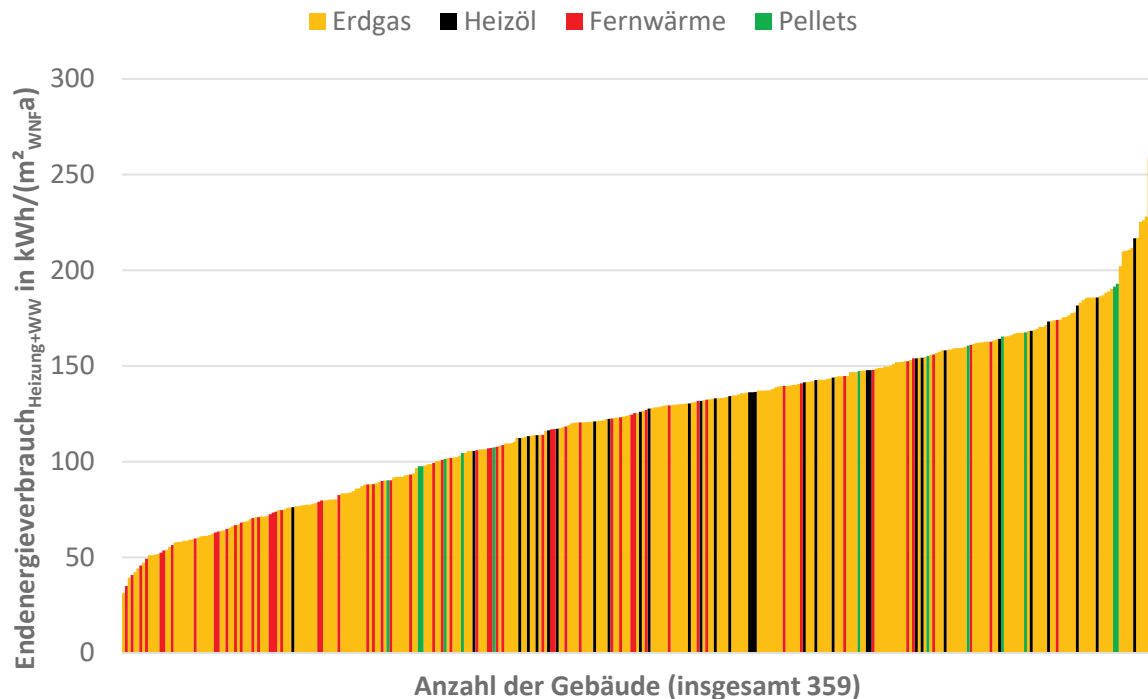
- 142 kWh/(m²_{WNF} a) für ölbeheizte Gebäude
- 140 kWh/(m²_{WNF} a) für gasbeheizte Gebäude
- 105 kWh/(m²_{WNF} a) für fernwärmeversorgte Gebäude

Der witterungsbereinigte, spezifische Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser ist gemäß einer aktuellen Studie des gleichen Abrechnungs-Unternehmens in den vergangenen Jahren in Deutschland tendenziell eher leicht gestiegen, die witterungsbereinigten Werte für das Jahr 2018 liegen geringfügig über den o.g. Werten für 2016 (Techem 2020).

Wie einzelne Auswertungen kleinerer Wohnungsbestände zeigen, liegen die mittleren Verbräuche von Mehrfamilienhäusern mit Fernwärme,- Öl- oder Gasheizung in Österreich in der gleichen Größenordnung. Abbildung 3 zeigt dies exemplarisch am Endenergieverbrauch von 359 Wohnanlagen der Vorarlberger gemeinnützigen Wohnbauvereinigung VOGEWOSI dar, in denen Heizung und Warmwasser über ein gemeinsames System (Öl, Gas, Fernwärme, Pellet) bereitgestellt werden.

Dargestellt sind die Verbrauchs-Mittelwerte der Jahre 2018 bis 2020. Die Wohnanlagen mit insgesamt 6.560 Wohneinheiten wurden in den Jahren 1956 bis 2019 errichtet, der überwiegende Teil der älteren Gebäude ist zumindest teilsaniert.

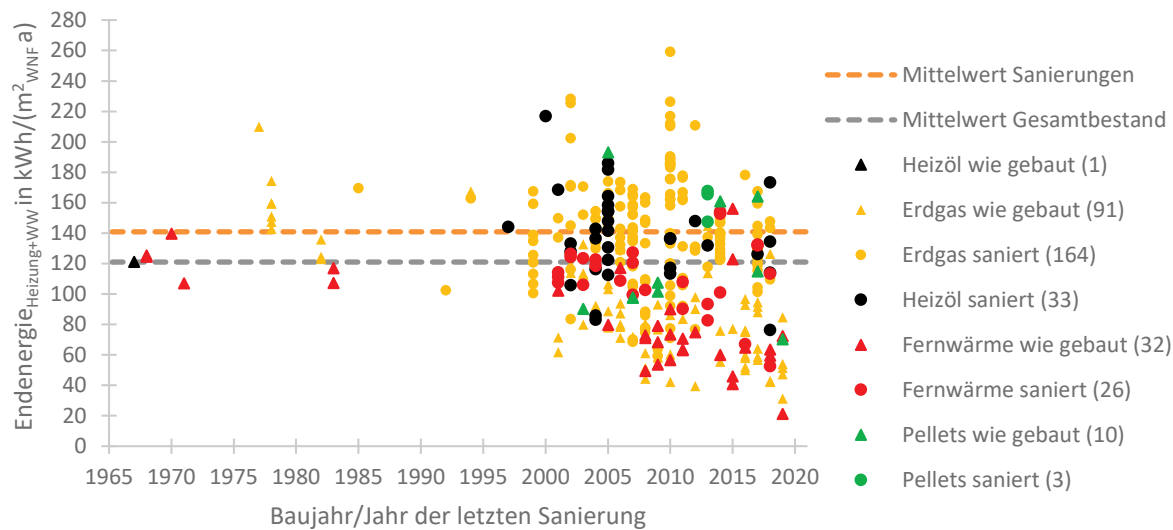
Abbildung 3: Endenergieverbrauch_{Heiz+WW} von 359 Wohnanlagen der VOGEWOSI (Baujahre 1956 bis 2019)



Wie zu erkennen, schwankt der Verbrauch zwischen etwa 30 und über 260 kWh/(m²_{WNFA}). Etwa ein Viertel der Wohnanlagen hat Verbräuche von weniger als 90 kWh/(m²_{WNFA}), etwa die Hälfte liegt im Bereich zwischen 90 und 150, das schlechteste Viertel liegt darüber. Der flächengewichtete Mittelwert des Verbrauchs der Jahre 2018 bis 2020 liegt bei 121 kWh/(m²_{WNFA}), der Median bei 117 kWh/(m²_{WNFA}).

Abbildung 4 zeigt den mittleren Endenergieverbrauch für die zentrale Bereitstellung von Heizung und Warmwasser der Jahre 2018-2020, differenziert nach Baujahr bzw. Jahr der letzten Sanierung sowie nach Energieträger. Der vorliegende Datensatz enthält, wie bereits zuvor angedeutet keine Informationen über die jeweiligen Sanierungsqualitäten, die innerhalb dieses Projektes analysierten tatsächlichen Verbräuche bieten jedoch ausreichende Evidenz für einen Rückschluss auf die realisierten Energiestandards. Rund zwei Drittel der Objekte im Gebäudebestand wurden zumindest einmal saniert bzw. teilsaniert. Der spezifische Energieverbrauch dieser Objekte liegt zwischen 52 und 260 kWh/(m²_{WNFA}), der flächengewichtete mittlere Verbrauch beträgt 140,9 kWh/(m²_{WNFA}) und liegt damit etwa im Medianbereich der 1990er-Baujahre in Deutschland (Abbildung 1). Überwiegend wurden die letzten Sanierungen in den 2000er-Jahren durchgeführt. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit deutlich ambitionierterer Energiestandards in der Sanierung, insbesondere, wenn ohnehin s.g. Sowiesokosten anfallen (Lock-In-Effekte) (Kirchengast et. al. 2019).

Abbildung 4: Mittlerer Endenergieverbrauch der Jahre 2018-2020 für die zentrale Bereitstellung von Heizung und Warmwasser des Vogewosi-Gebäudebestandes



Auch eine weitere Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die mittleren Verbräuche von Mehrfamilienhäusern in Österreich in der gleichen Größenordnung liegen, wie in Deutschland: in (Techem 2020) wird für den Endenergieverbrauch_{Heizung} ein etwas niedrigerer mittlerer Verbrauch für gas- und ölbeheizte Mehrfamilienhäuser in Österreich genannt, für fernwärmebeheizte ein etwas höherer Wert als für Deutschland.

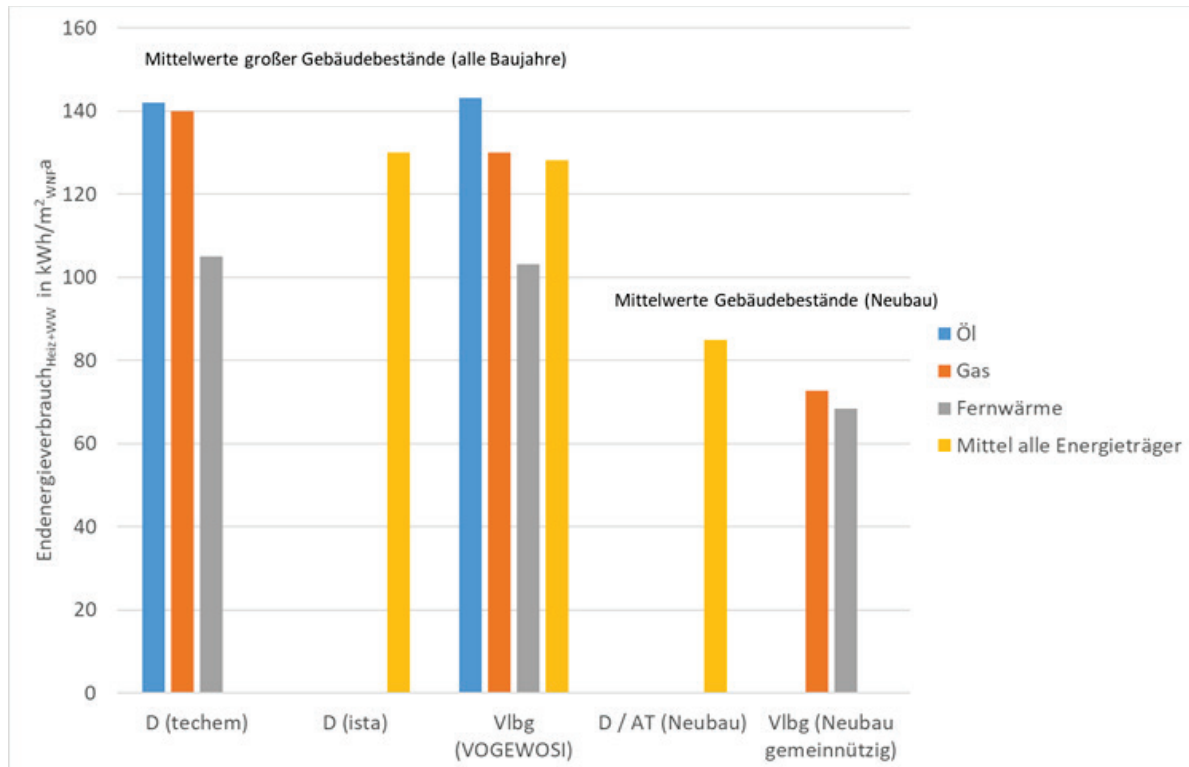
Da die in der Studie ausgewerteten Bestände in Deutschland und Österreich nicht näher spezifiziert werden, wird auf eine weitergehende Analyse verzichtet. Vereinfachend kann davon ausgegangen werden, dass die mittleren Verbräuche von Bestands-Mehrfamilienhäusern in Österreich denen in Deutschland entsprechen.

3.2.2. Neubau – Beispiel gemeinnütziger Wohnbau Vorarlberg

In Abbildung 5 sind die Verbräuche von 32 gas- oder fernwärmebeheizten Mehrfamilienhäusern der VOGEWOSI dargestellt, die in den Jahren 2009 bis 2014 errichtet wurden. Es handelt sich um Dreijahres-Verbrauchsmittelwerte der Jahre 2016 bis 2018 (Peter 2021). Die Gebäude repräsentieren ein für den Neubau von Mehrfamilienhäusern in Österreich überdurchschnittlich gutes Marktsegment, da die gemeinnützigen Bauvereinigungen Vorarlbergs in den angegebenen Baujahren Gebäude errichten mussten, deren Gebäudehülle in etwa Passivhausstandard erreichte und die mit Komfortlüftungen mit Wärmerückgewinnung ausgestattet waren. Die Primärenergie-Anforderung des Passivhausstandards und damit die Anforderung an die Effizienz der Wärmeversorgung wurden allerdings nicht umgesetzt, da die Berechnung von Primärenergiekennwerten im Verfahren nach OIB-Richtlinie 6 damals noch nicht Standard war. Ebenfalls dargestellt ist der aus Abbildung 1 abgeleitete Verbrauchsmittelwert „normaler“ Mehrfamilienhaus-Neubauten in Deutschland und Österreich.

Zur Einordnung der Verbräuche der Neubauten sind die mittleren Verbräuche großer Gebäudebestände aller Altersklassen in Deutschland (Techem 2017), (ista 2020) sowie der mittlere Verbrauch von 359 Mehrfamilienhäusern aller Altersklassen aus dem Bestand der VOGEWOSI gegenübergestellt (Vergleich Abbildung 3).

Abbildung 5: Mittelwerte des spezifischen Endenergieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser von Mehrfamilienhäusern aller Baualter in Deutschland (Techem 2017), (ista 2020) und Vorarlberg (Peter 2021) im Vergleich zu den Mittelwerten von Neubauten in Deutschland und Österreich sowie zu den Werten von 32 gemeinnützigen Neubauten der Baujahre 2009-2014 in Vorarlberg (Mittelwerte des Verbrauchs 2018-2020)



Der mittlere, spezifische Endenergieverbrauch der in der ista-Studie (ista 2020) berücksichtigten 300.000 Zwei- und Mehrfamilienhäuser aller Baualter liegt mit 130 kWh/(m²_{WNF}a) in der gleichen Größenordnung wie die in der techem-Studie für Deutschland und Österreich genannten Werte. Auch die Mittelwerte der 359 Vorarlberger Mehrfamilienhäuser aller Baujahre liegen in einer ähnlichen Größenordnung.

Der aus den in Abbildung 1 dargestellten Verbräuchen und aus Verbrauchsprognoseberechnungen abgeleitete spezifische Verbrauch von Neubauten in Deutschland und Österreich liegt bei etwa 75 (Deutschland) bis 95 (Österreich), im Mittel 85 kWh/(m²_{WNF} a), der spezifische Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser der 21 zwischen 2008 und 2014 errichteten gasbeheizten Neubauten in Vorarlberg liegt im Mittel bei 73 kWh/(m²_{WNF}a), der Mittelwert der 11 fernwärmebeheizten Neubauten bei 68 kWh/(m²_{WNF}a) (Peter 2021).

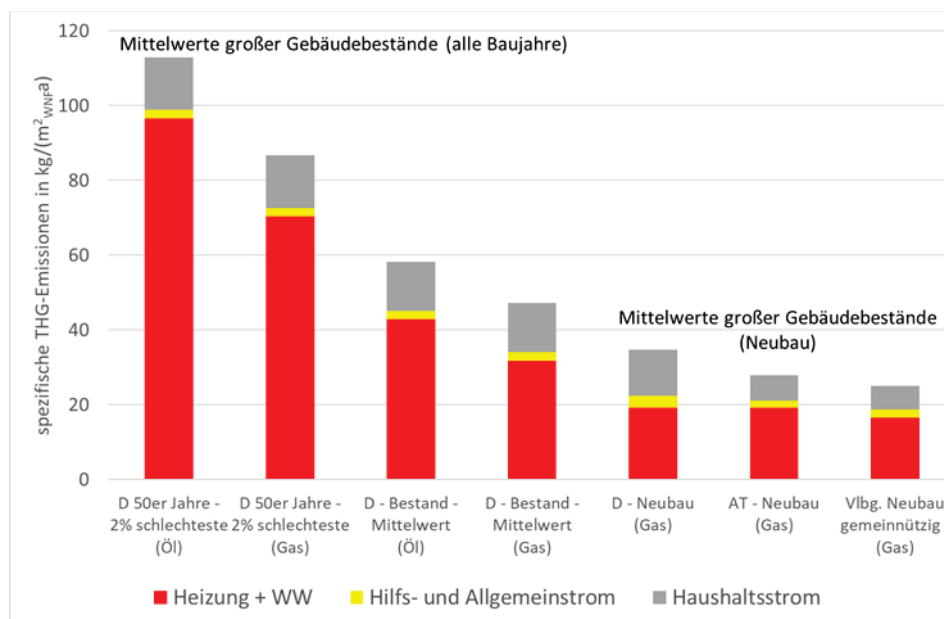
Die mittleren Verbräuche der von gewerblichen Bauträgern in den gleichen Jahren errichteten Mehrfamilienhäuser in Vorarlberg und ganz Österreich dürfte etwas höher liegen, da diese Mehrfamilienhäuser weniger ambitionierte Anforderungen erfüllen mussten als die Gemeinnützigen Wohnbauvereinigungen.

3.2.3. Treibhausgasemissionen von Mehrfamilienhäusern

Aus den Endenergieverbräuchen für Heizung und Warmwasser sowie repräsentativen Verbräuchen für Hilfs,- Allgemein- und Haushaltsstrom ergeben sich die in Abbildung 6 dargestellten spezifischen

Treibhausgas-Emissionen von Mehrfamilienhäusern. Die Abbildung verdeutlicht die Unterschiede der Emissionen von den schlechtesten, ölbeheizten Mehrfamilienhäusern der 50er Jahre (siehe Abbildung 1) zu den in der Breite durchgesetzten Standards im Neubau mit Gasheizung.

Abbildung 6: Spezifische Treibhausgasemissionen fossil beheizter Mehrfamilienhäuser nach Anwendung (Ploß 2022). Die zur Berechnung verwendeten Emissionsfaktoren aus wissenschaftlichen Studien weichen geringfügig von denen der OIB-Richtlinie 6 ab. Verwendet wurden die folgenden Werte: Öl: 302 g/kWh, Gas 227 g/kWh (Stolz 2016), Verbraucherstrommix Deutschland: 440 g/kWh, Verbraucherstrommix Österreich: 244 g/kWh (Jahresmittelwerte nach (Roßkopf-Nachbaur 2021))



Wie zu erkennen, werden die Treibhausgasemissionen fossil beheizter Mehrfamilienhäuser durch die Emissionen der Wärmebereitstellung (Heizung und Warmwasser) dominiert. Die Emissionen der schlechtesten 2% des ölbeheizten Bestandes der 50er Jahre in Deutschland für Heizung und Warmwasser liegen bei knapp 97 kg/(m²_{WNF}a). Im Mittel der in Abbildung 3 dargestellten 21 gasbeheizten, gemeinnützigen Neubauten in Vorarlberg liegt der Vergleichswert für Heizung und Warmwasser bei knapp 16 kg/(m²_{WNF}a), der Mittelwert gasbeheizter Neubauten in Deutschland und Österreich kann auf Basis der typischen Verbräuche auf knapp 20 kg/(m²_{WNF}a) abgeschätzt werden.

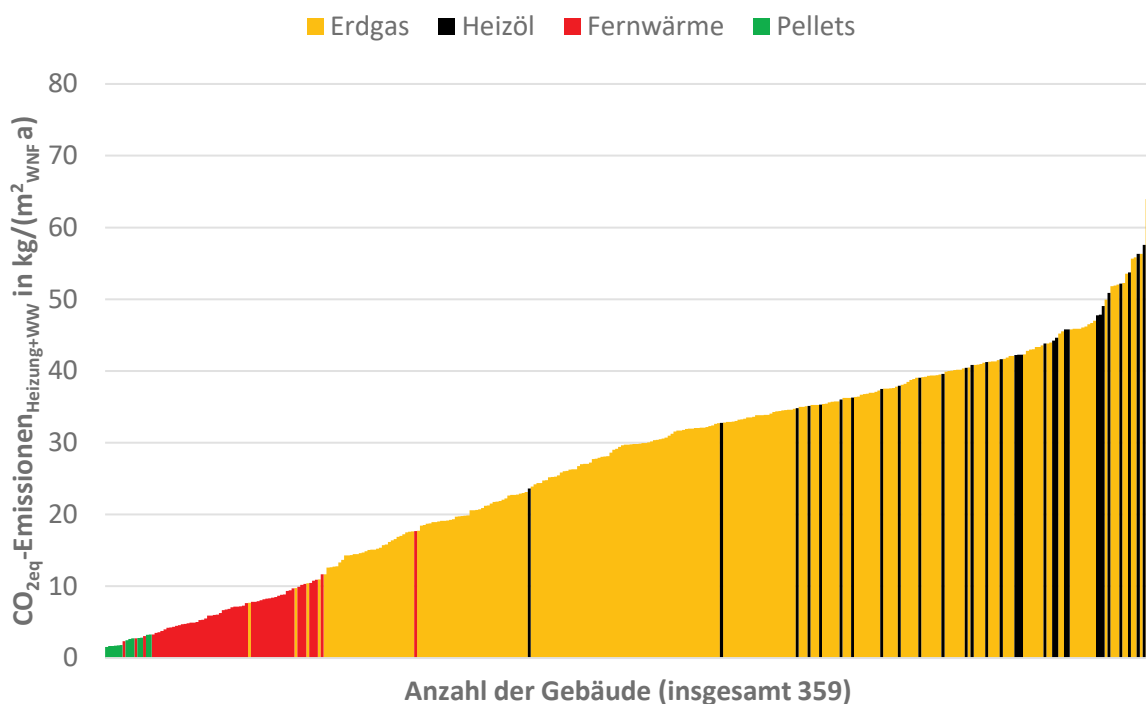
Zusätzlich zu diesen Emissionen für Heizung und Warmwasser fallen Emissionen für Hilfs-, Allgemein- und Haushaltsstrom an. Die Emissionen für Allgmeinstrom liegen in neueren Gebäuden tendenziell etwas höher, da Anwendungen wie Tiefgaragenbeleuchtung und Lift zusätzliche Verbräuche verursachen. Der Haushaltsstrombedarf liegt in neueren Gebäuden tendenziell leicht unter dem Mittelwert des Gesamtbestandes, da beim Umzug in neue Wohnungen häufig neue, sparsamere Geräte angeschafft werden.

Die Gesamtemissionen in Summe aller Energieanwendungen liegen zwischen 113 kg/(m²_{WNF} a) in den schlechtesten 2% des ölbeheizten Bestandes in Deutschland und etwa 25 kg/(m²_{WNF}a) im Mittel der 21 gasbeheizten, gemeinnützigen Neubauten in Vorarlberg. Die Emissionen für Hilfs-, Allgemein- und Haushaltsstrom liegen in Deutschland höher als in Österreich, da die spezifischen Emissionen des

Verbraucherstrommix aufgrund des höheren Anteils fossiler Kraftwerke in Deutschland deutlich höher liegen.

Abbildung 7 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für Heizung und Warmwasser von 359 Wohnanlagen der Vorarlberger gemeinnützigen Wohnbauvereinigung VOGEWOSI, deren Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser in Abbildung 3 dargestellt wurden. Die Projekte werden farblich nach ihrem Energieträger (Öl, Gas, Fernwärme, Pellet) differenziert. Wie zu erkennen, schwanken die Emissionen zwischen etwa 1,5 und über 67 kg/(m²_{WNFA}). Etwa ein Viertel der Wohnanlagen hat Emissionen von weniger als 15 kWh/(m²_{WNFA}), etwa die Hälfte liegt im Bereich zwischen 15 und 37,5, das schlechteste Viertel liegt darüber. Der flächengewichtete Mittelwert und Median der CO_{2eq}-Emissionen für Heizung und Warmwasser der Jahre 2018 bis 2020 liegt bei 26,6 kg/(m²_{WNFA}).

Abbildung 7: CO_{2eq}-Emissionen_{Heiz+WW} von 359 Wohnanlagen der VOGEWOSI (Baujahre 1956 bis 2019)



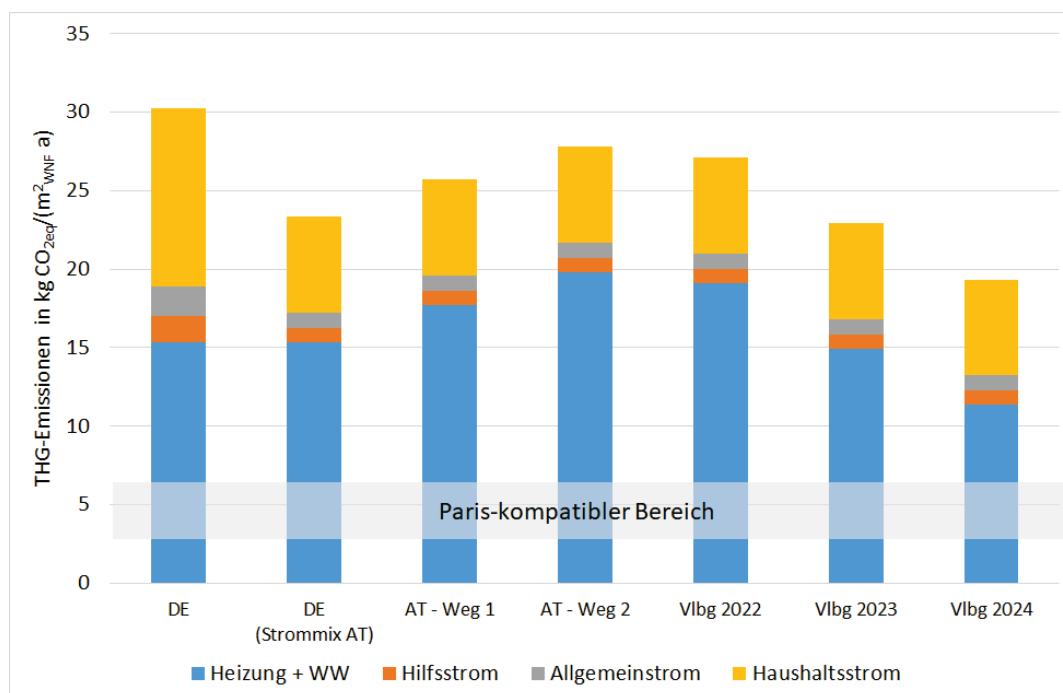
Unter Annahme einer mittleren pro-Kopf-Wohnflächen von 40 m² in Mehrfamilienhäusern liegen die jährlichen Gesamt-Emissionen aufgrund der Energieanwendungen Raumheizung, Warmwasser, Hilfs- und Haushaltsstrom zwischen 1,0 t CO_{2eq} pro Person im Mittel der gasbeheizten, gemeinnützigen Neubauten in Vorarlberg und mehr als 4,5 t CO_{2eq} pro Person in den schlechtesten 2% der ölbeheizten Mehrfamilienhäuser der 50er Jahre in Deutschland.

Bei den genannten Treibhausgasemissionen handelt es sich um die Summe der direkten und der indirekten Emissionen, d.h. um eine verursachergerechte Bilanzierung der Emissionen. Diese Art der Bilanzierung ist zur Bestimmung der Emissionen von Gebäuden und zur Festlegung von Ziel- und Grenzwerten sinnvoller, als die Beschränkung auf die direkten Emissionen, wie sie etwa im Klimaschutzgesetz erfolgt.

Beide Werte liegen um ein Vielfaches über dem Paris-kompatiblen Budget für die Anwendung Wohnen. Dieses wurde in einer aktuellen Studie erstmals aus dem Globalbudget abgeleitet (Vallentin 2022). Als kompatibel zum Ziel des Pariser Klimaschutzabkommens können gemäß der szenariengestützten Studie Wohngebäude gelten, deren jährliche pro-Kopf-Emissionen in Summe aller Energieanwendungen schnellstmöglich auf Werte von etwa 0,15 bis 0,5 t CO_{2eq} pro Person reduziert werden. Für Neubauten sollten im Mittel Werte von 0,125 bis 0,25 t CO_{2eq} pro Person nicht überschritten werden². Dies entspricht für Neubau-Mehrfamilienhäuser etwa 3,13 bis 6,25 kg/(m²_{WNFA}).

Zur Einordnung dieses Wertes sind in Abbildung 8 die Treibhausgasemissionen eines gasbeheizten Beispiel-Mehrfamilienhauses (Neubau) dargestellt, das die Mindestanforderungen der OIB-Richtlinie 6 (2019) bzw. die Mindestanforderungen der Bautechnikverordnung Vorarlberg für die Jahre 2022, 2023 und 2024 gerade einhält. Die Emissionen wurden auf Basis von Verbrauchsprognoseberechnungen mit realistischen Randbedingungen ermittelt, Vorgehensweise und Randbedingungen sind in (EIV 2022) detailliert erläutert. Die Werte sind nicht auf die Bruttogrundfläche (BGF), sondern auf die Wohnnutzfläche (WNF) bezogen.

Abbildung 8: maximale flächenspezifische Treibhausgasemissionen gasbeheizter Gebäudevarianten bei Erfüllung der nationalen (regionalen) Mindestanforderungen im Vergleich zum Paris-kompatiblen Bereich (EIV 2022). Die Varianten AT Weg 1 und AT Weg 2 bezeichnen die beiden Nachweismöglichkeiten des so genannten dualen Weges nach OIB-Richtlinie 6 (2019), wobei Weg 2 den meist gewählten Nachweisweg (HWB nach 16er Linie + fGEE) beschreibt.



Wie zu erkennen, liegen die maximalen flächenspezifischen Treibhausgasemissionen der gasbeheizten Varianten bei Erfüllung der nationalen bzw. regionalen Mindestanforderungen um ein Vielfaches über dem Paris-kompatiblen Wert.

² Die Herleitung des Standards Paris-kompatibles Mehrfamilienhaus findet sich im Buch „Low-Cost nZEB – Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser“ (EIV 2022).

Die höchsten zulässigen Werte ergeben sich mit etwa $30 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WFlA}})$ für gasbeheizte Gebäude, die die deutschen Mindestanforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) erfüllen. Nimmt man aus Gründen der Vergleichbarkeit für die GEG-Variante den österreichischen Verbraucherstrommix (für Hilfs-, Allgemein- und Haushaltsstrom) an, so zeigt sich, dass das Anforderungsniveau in Österreich (OIB Nachweiswege 1 und 2) sowie in Vorarlberg (2022) am wenigsten ambitioniert ist.³ Erst das Anforderungsniveau Vorarlbergs für 2023 führt zu geringfügig niedrigeren Emissionen als im Gebäude nach GEG. Die Anforderung der Bautechnikverordnung Vorarlberg für 2024 liegen nochmals niedriger, jedoch noch immer drastisch höher als das Paris-Ziel-kompatible Budget.

Da sich die spezifischen THG-Emissionen von Erdgas nicht oder - bei Annahme einer geringfügigen Einspeisung von Biogas oder regenerativ erzeugten, synthetischen Gasen – auch in Zukunft nur geringfügig reduzieren werden, werden die gasbeheizten Gebäude auch in 20 Jahren noch die gleichen THG-Emissionen haben. Sollte – wie sich aufgrund des russischen Überfalls auf die Ukraine andeutet – russisches Erdgas in größerem Ausmaß durch LNG ersetzt werden, werden die spezifischen Emissionen von Gas sogar steigen. Die spezifischen Emissionen wärmepumpenbeheizter Gebäude werden hingegen aufgrund der anstehenden Dekarbonisierung des Stromversorgungssystems im Laufe der Zeit sinken.

Das aktuelle Anforderungsniveau ist nicht nur für gasbeheizte Gebäude deutlich zu wenig ambitioniert, sondern auch für Gebäude mit anderen Energieträgern.

So liegen die THG-Emissionen der schlechtesten zulässigen wärmepumpenbeheizten Gebäudevarianten zwar schon beim aktuellen österreichischen Verbraucherstrommix deutlich niedriger als die der gasbeheizten Varianten, auch die Emissionen wärmepumpenbeheizter Gebäude, die nur die gesetzlichen Mindestanforderungen an die Effizienz erfüllen, liegen jedoch deutlich über dem Paris-kompatiblen Bereich, Nochmals weit höher liegen die Emissionen von Gebäuden mit direktelektrischer Heizung und Warmwasserbereitung (EIV 2022).

Auch für biomassebeheizte Gebäude ist das aktuelle Anforderungsniveau bei Weitem nicht ambitioniert genug: angesichts des begrenzten Biomassepotenzials und der Bedeutung der Biomasse zur Substitution fossiler Energieträger für Mittel- und Hochtemperaturprozesse in der Industrie wird die Biomassemenge, die zur Beheizung und Warmwasserbereitung von Gebäuden zur Verfügung steht, enge Grenzen haben. Es wird darum gehen, die für den Gebäudesektor zur Verfügung stehenden Biomassemenge möglichst effizient – etwa in Form von KWK – zu nutzen oder als „Notlösung“ für Gebäude(sanierungen), in denen Wärmepumpenlösungen oder der Anschluss an dekarbonisierte Fernwärmenetze nicht möglich sind. Sollen die für den Gebäudesektor verfügbaren Biomassemenge für möglichst viele Gebäude nutzbar sein, so bedingt dies eine höchst mögliche Effizienz auch der biomassebeheizten Gebäude.

³ Anders als in Deutschland muss in Österreich jedoch die Zulässigkeit fossiler Wärmeversorgungssysteme in der so genannten Alternativenprüfung untersucht werden: in dieser Prüfung ist als Voraussetzung für den Einsatz von Gas nachzuweisen, dass ein hocheffizientes, alternatives Heizsystem aus wirtschaftlichen, technischen oder rechtlichen Gründen nicht in Frage kommt. Die Kontrolle dieses Nachweises obliegt den Gemeinden; die Art der Kontrolle ist von Gemeinde zu Gemeinde sehr unterschiedlich. Die Alternativenprüfung hat in Vorarlberg nicht dazu geführt, dass der Anteil an Gasheizungen in den vergangenen Jahren zurückgegangen ist.

3.3. Status quo – Konzepte für hocheffiziente Gebäude

Die Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden von den EU-Mitgliedsstaaten sind in der Europäischen Gebäuderichtlinie (EPBD) festgelegt. Der in der EPBD geforderte Mindeststandard Niedrigstenergiegebäude oder nearly Zero Energy Building (nZEB) ist nicht europaweit einheitlich und anhand konkreter Grenzwerte definiert. Er wird von jedem Mitgliedsstaat definiert und in Österreich – wie auch in Deutschland - so umgesetzt, dass das Mindestniveau bei Weitem nicht kompatibel zum Paris-Ziel ist.

Weltweit werden jedoch seit mehr als 30 Jahren Gebäude errichtet und betrieben, die nachweislich eine weit bessere energetische Qualität und niedrigere Treibhausgasemissionen erreichen, als solche nach den aktuellen Mindestanforderungen. Rein technisch gesehen ist es also problemlos möglich, Paris-kompatible Gebäude zu errichten.

Abbildung 9: Plusenergiesiedlung Am Schlierberg, Freiburg, Arch. Rolf Disch, 59 Wohneinheiten, Baujahr 1999 bis 2006; höchste Hüllqualität, Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Fernwärme, große PV; Foto Energieinstitut Vorarlberg



Fünf der Standards und Konzepte, nach denen solche Gebäude im deutschsprachigen Raum errichtet werden, sind in Kapitel 3.4 kurz skizziert.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Standards und Konzepte werden in diesem Kapitel einige Gemeinsamkeiten und Unterscheidungsmerkmale in den Definitionen beschrieben.

3.3.1. Berücksichtigte Energieanwendungen (Bedarf/Verbrauch)

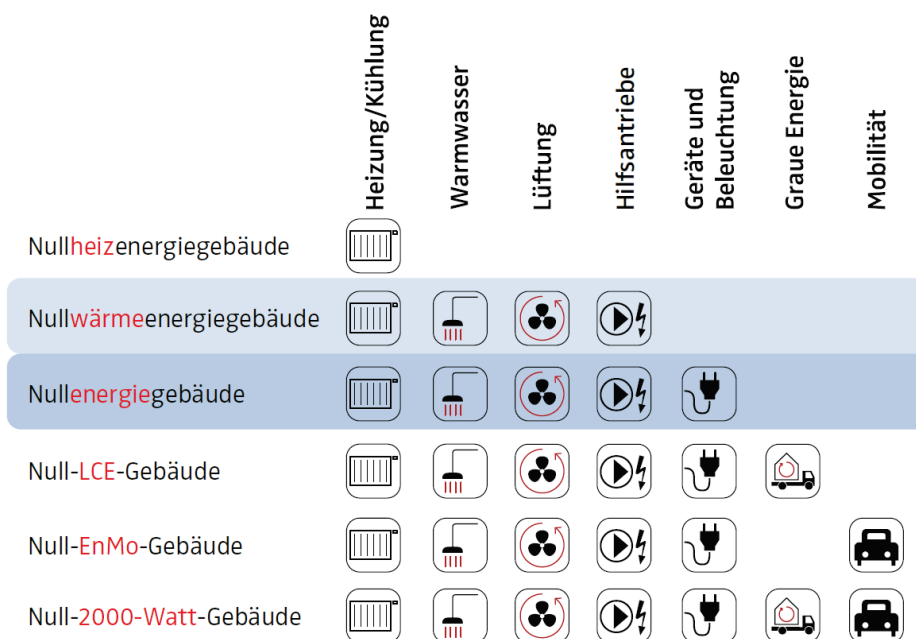
Wurden in ersten Verordnungen über die Energieeffizienz meist Einzelanforderungen an die U-Werte der Gebäudehülle oder einzelne Haustechnikkomponenten gestellt, so wird die energetische Qualität

seit längerem auf der Basis von Energiebilanzen definiert und bewertet. Der Vergleich verschiedener Standards ist jedoch schon im deutschsprachigen Raum schwierig, da bei der Bilanzierung in Standards wie (Gebäudeenergiegesetz und Effizienzhaus Plus, AktivPlus Haus (Deutschland), Passivhaus (weltweit), Minergie A und P (Schweiz) sowie OIB-Richtlinie 6 und klimaaktiv (Österreich) schon bedarfsseitig unterschiedliche Energieanwendungen berücksichtigt werden: Zusätzlich zum Mindestbilanzierungsrahmen gemäß EPBD (Heizung, Warmwasser, Kühlung, Lüftung und Hilfsstrom) werden in den meisten Standards auch die Energiebedarfe für Haushalts- und Allgemeinstrom berücksichtigt, in manchen darüber hinaus auch der Energieaufwand zur Herstellung. In zwei Standards wird auch der Strombedarf für Mobilität – zumindest in Form von Boni – berücksichtigt.

3.3.2. Berücksichtigung der erneuerbaren Energieerzeugung (PV) am Gebäude

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Art der Berücksichtigung der erneuerbaren Energieerzeugung, meist durch PV am Gebäude. Während in manchen Standards (Passivhaus, klimaaktiv Nachweisweg PHPP) der Gesamtertrag der PV ermittelt und bewertet wird, wird in den meisten anderen der eigengenutzte Anteil des PV-Ertrags – nach sehr unterschiedlichen Regeln – ermittelt und mit dem Energiebedarf des Gebäudes bilanziert. In vielen dieser Verfahren mit Bilanzierung von Bedarf und PV-Ertrag wird auf einen (möglichst vollständigen) Ausgleich des Bedarfs durch die eigengenutzten Anteile des PV-Stroms abgezielt. So soll im Niedrigstenergiegebäude nach EPBD (nearly Zero Energy Building = nZEB) der Bedarf fast vollständig durch PV gedeckt werden. Im Standard Net Zero Energy Building (NZEB) hingegen soll die Bilanz aus Bedarf und Erzeugung in einem Jahr ausgeglichen sein (jahresbilanzielles Nullenergiegebäude). Wie Abbildung 10 verdeutlicht, existieren unterschiedliche Definitionen des Begriffs Nullenergiegebäude, die sich u.a. dadurch unterscheiden, auf welchen Bedarf sich die Definition der Nullenergiebilanz bezieht.

Abbildung 10: Vergleich möglicher Bilanzierungsgrenzen für „Nullenergiegebäude“; Darstellung Energieinstitut Vorarlberg in Anlehnung an (Hall 2014a)

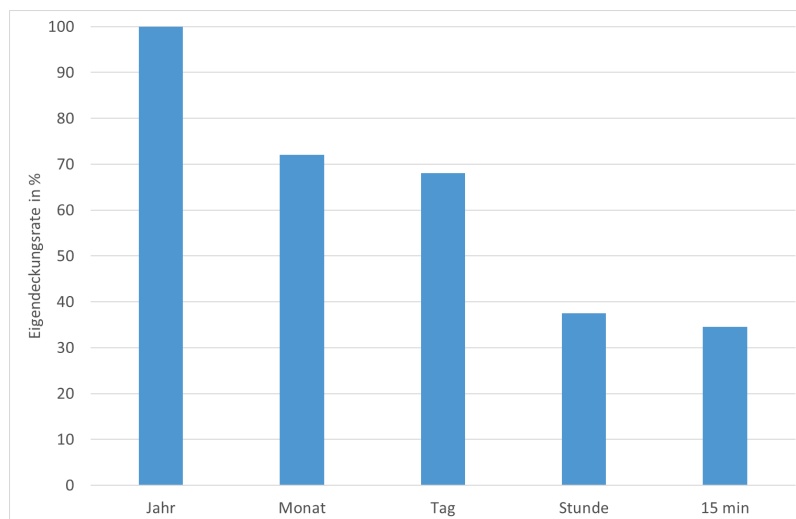


Die Grafik verdeutlicht, dass der Begriff „Nullenergiegebäude“ ohne genaue Beschreibung des Bilanzierungsrahmens wenig aussagekräftig ist.

3.3.3. Bilanzierungsintervall

Wie Abbildung 11 verdeutlicht, ist das durch den Begriff Nullenergiegebäude beschriebene Energieniveau in erheblichem Ausmaß davon abhängig, in welchen Zeitschritten die Bilanzierung von Bedarf und PV-Erzeugung erfolgt. Dargestellt ist die Eigendeckungsrate, also der Anteil des Energiebedarfs des Gebäudes, der durch den erzeugten Strom gedeckt werden kann.

Abbildung 11: Abhängigkeit des PV-Eigendeckungsrate vom Bilanzierungsintervall (Hall 2014b)

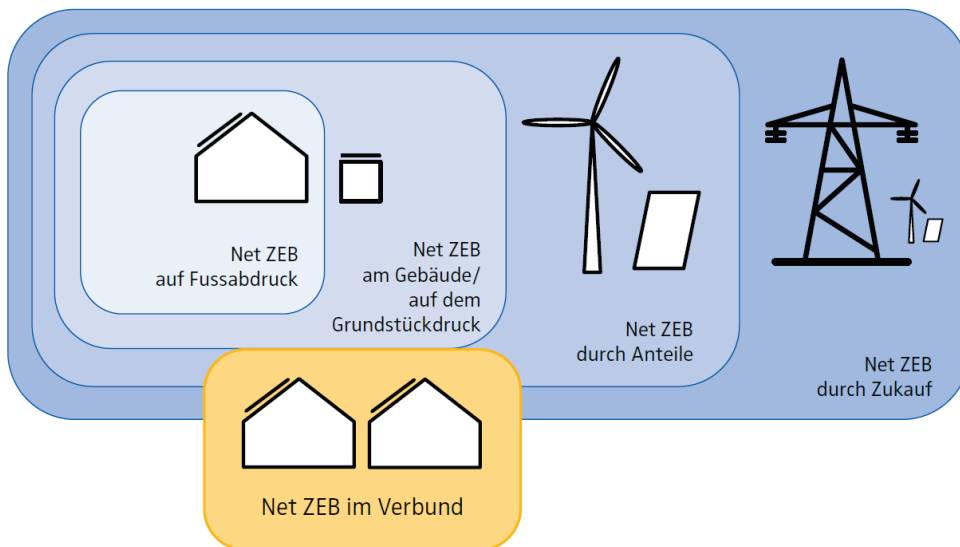


Ein Gebäude, das jahresbilanziell seinen Energiebedarf zu 100% durch PV-Strom decken kann (jahresbilanzielles Nullenergiegebäude), erreicht bei monatlicher Bilanzierung des Bedarfs mit der Erzeugung nur knapp über 70% Eigendeckung, bei Bilanzierung in Stundenschritten nur etwa 38%. Dieser Unterschied kommt dadurch zustande, dass der Zeitpunkt der Erzeugung und des Verbrauchs oft nicht identisch sind. Beispiel ist der Strombedarf des Fernsehers, der oft abends genutzt wird, wenn (ohne Speicher) keine PV-Erträge zur Verfügung stehen oder die Wärmepumpe, die in Winternächten den höchsten Strombedarf hat, während die PV-Anlage keine Erträge liefert. Umgekehrt liefert die PV-Anlage mittags im Sommer weit mehr Strom als im Gebäude benötigt wird. Während also eine Nullenergiebilanz jahresbilanziell je nach Geschosshöhe des Gebäudes relativ leicht (d.h. mit mittlerem Dämmniveau und/oder mittelgroßer PV-Anlage) erreicht werden kann, ist das Ziel Nullenergie bei Bilanzierung in Monats- oder gar Stundenschritten weit anspruchsvoller: da nur ein weit geringerer Anteil der PV-Erzeugung im Gebäude genutzt werden kann, muss entweder die Gebäudeeffizienz deutlich gesteigert und/oder die Größe der PV erhöht und eventuell Speicher eingesetzt werden um das Niveau „Nullenergie“ zu erreichen. Vor allem bei Stunden- oder noch feineren Zeitschritten erkennt man am Beispiel des Fernsehers am Abend, dass es dann ohne Speicher oder Änderung der Bilanzgrenze (Zukauf, nachfolgend beschrieben) nicht möglich ist, ein Nullenergiegebäude zu erreichen. Nimmt man jedoch noch das Beispiel der Wärmepumpe zum Heizen, so müsste die überschüssige Energie auch noch vom Sommer in den Winter gespeichert werden, damit „Nullenergie“ möglich wird.

3.3.4. Räumliche Bilanzgrenze

Wie die folgende Abbildung 12 verdeutlicht, beeinflusst auch die räumliche Bilanzgrenze die Definition des Begriffs „Nullenergiegebäude“.

Abbildung 12: Darstellung möglicher räumlicher Bilanzgrenzen, Darstellung Energieinstitut Vorarlberg in Anlehnung an (Voss 2010) und (Hall 2014b)



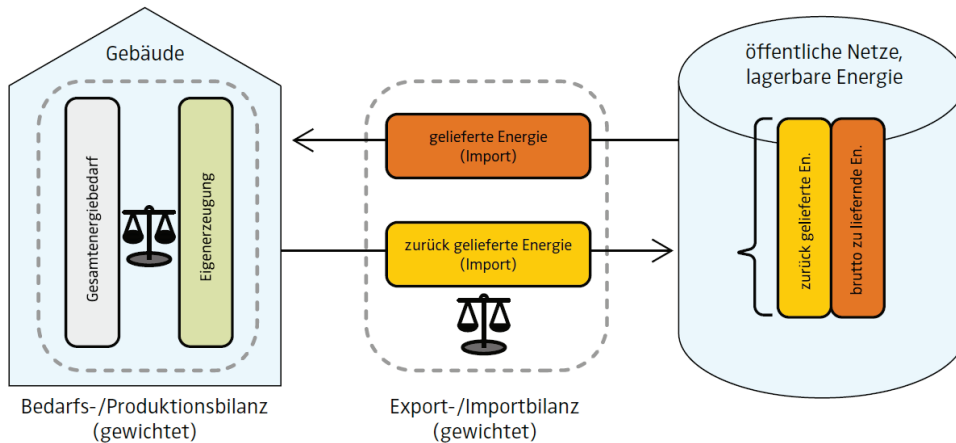
Die Nullenergiebilanz von Einzelgebäuden kann entweder auf ihren Flächen-Fußabdruck (d.h. die überbaute Fläche) oder auf einen etwas größeren Bereich, etwa das Grundstück inkl. Nebengebäuden wie Carports bezogen werden. Alternativ sind Definitionen möglich, in denen die Nullenergiebilanz durch den Kauf von Anteilen an regenerativen Energieerzeugungsanlagen (Wind, PV...) in der Nähe (oder auch in weiterer Entfernung) erreicht wird. Die finanziellen Anteile an der Erzeugungsanlage werden in diesem Fall so bemessen, dass der Anteil an der Gesamterzeugung zur Deckung des Gebäudeenergiebedarfs reicht. Ein erstes Beispiel war die 1998 errichtete Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, deren sehr geringer Energieverbrauch in Summe aller Anwendungen durch eine Beteiligung an einer in unmittelbarer Nähe neu errichteten Windkraftanlage jahresbilanziell ausgeglichen wurde. Die Kosten für die Beteiligung an der Windkraftanlage lagen damals bei 1.250 EUR pro Wohneinheit (Feist 2001).

Eine weitere Möglichkeit der Definition besteht in der Deckung des Gebäudeenergiebedarfs durch den Zukauf von Strom aus erneuerbaren Anlagen (Ökostrom). Letztere Möglichkeit ist die mit der geringsten Verbindlichkeit, da für den Kunden in vielen Fällen kaum nachvollziehbar ist, ob durch den Kauf von Ökostrom neue erneuerbare Erzeugungsanlagen entstehen. Es besteht die Gefahr des greenwashing. Darüber hinaus kann der Vertrag mit einem Anbieter von Ökostrom jederzeit gekündigt und durch einen Vertrag mit üblichem, weniger grünen Strom ersetzt werden.

Alternativ zur Bewertung auf der Ebene von Einzelgebäuden ist auch die Bewertung auf Quartiersebene möglich. Diese Möglichkeit kann durchaus sinnvoll sein, wenn die Energiekonzepte gesamter Quartiere geplant werden können.

3.3.5. Was genau wird bilanziert?

Abbildung 13: Mögliche Bilanzierungsarten; Darstellung Energieinstitut Vorarlberg in Anlehnung an (Sartori 2012) und (Hall 2014a)



Zur Bilanzierung des Bedarfs mit der Erzeugung regenerativer Energie (PV) am Gebäude können zwei unterschiedliche Verfahren angewandt werden, wie in Abbildung 13 ersichtlich.

1. Bedarfs-/Produktionsbilanz

Die Bilanzierung erfolgt auf Basis des Gesamtenergiebedarfs (-bzw. im Betrieb: des Gesamtverbrauchs) und der gesamten Eigenerzeugung (der PV-Anlage).

2. Export-/Importbilanz

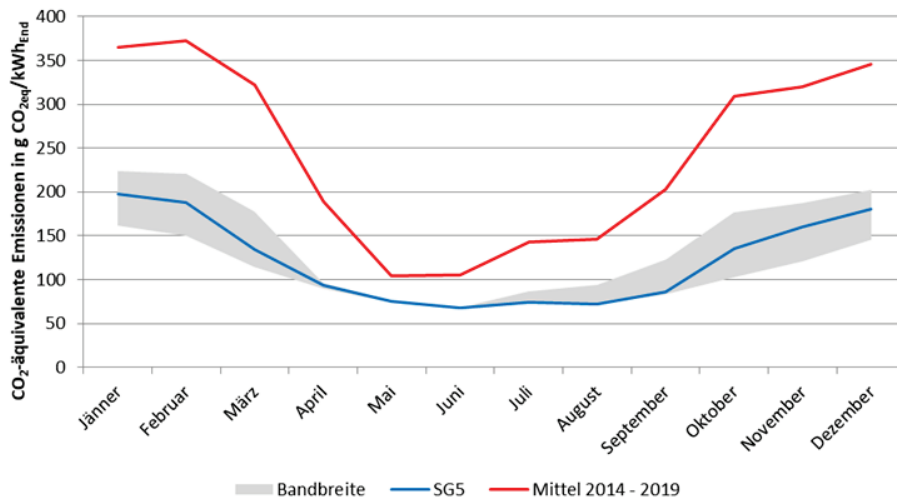
Die Bilanzierung erfolgt auf Basis der aus dem Netz bezogenen Energie (Import) und der ins Netz eingespeisten Energie (Export).

Auch wenn die beiden Möglichkeiten ähnlich erscheinen, liefern sie unterschiedliche Ergebnisse. Während in der Bedarfs-/Produktionsbilanz der eigengenutzte Anteil des PV-Stroms keine Rolle spielt, wird er in der Export-/Importbilanz berücksichtigt.

3.3.6. Bewertung Strom/Fernwärme auf Basis von Monats- oder Jahreswerten

In der nZEB Bilanz von Gebäuden können neben Strom auch andere Energieträger wie Fernwärme und Biomasse mit betrachtet werden. Sollen die Bilanzanteile verschiedener Energieträger berücksichtigt werden, so müssen diese mit Primärenergiefaktoren oder THG-Emissionsfaktoren vergleichbar gemacht werden. Die Ermittlung des Primärenergiebedarfs und der THG-Emissionen erfolgt derzeit zumeist auf der Basis jahresmittlerer Konversionsfaktoren, mit denen der Endenergiebedarf je Energieträger in Primärenergiebedarf oder THG-Emissionen umgerechnet wird. Wie in (EIV 2022) dargestellt, schwankt die THG-Intensität des österreichischen Verbraucherstrommix jahreszeitlich sehr stark: Wie Abbildung 14 zeigt, liegen die derzeitigen spezifischen Emissionen im Winter weit höher als im Sommer (rote Linie), dies wird auch im zu erwartenden Strommix 2030 (blau Linie) so sein.

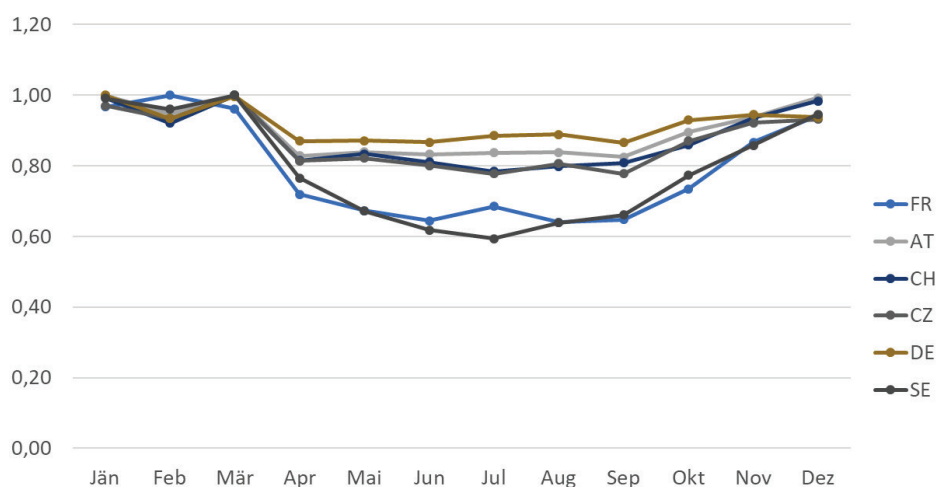
Abbildung 14: Spezifische CO_{2eq}-Emissionen Verbraucherstrom Österreich 2030 – Bandbreite, Szenariengruppe 5 und Mittelwert 2014 – 2019 (Roßkopf-Nachbaur 2021)



Wie zu erkennen, liegen die spezifischen Emissionen bei aktuellem Verbraucherstrommix im Winter um den Faktor 3,5 über denen im Sommer. An dieser Tendenz wird sich auch bei dem für 2030 zu erwartenden Strommix nichts ändern. Die Grafik veranschaulicht, dass die Bilanzierung von Strombedarf und Erzeugung auf Basis von Jahresbilanzen zumindest in Österreich ungenaue Ergebnisse für die THG-Emissionen liefert: 1 kWh eingespeister PV-Strom im Sommer kann den Bezug 1 kWh deutlich emissionsintensiveren Winterstroms nicht 1:1 kompensieren. In Stromerzeugungssystemen mit hohen regenerativen Anteilen ist die Bereitstellung von „Winterstrom“ mit niedrigen Treibhausgasemissionen deutlich schwieriger, als die von „Sommerstrom“.

Diese Herausforderung stellt sich nicht nur in Österreich, sondern in ganz Europa, zumal der Gesamtstromverbrauch (bzw. der Lastverlauf) in fast allen EU-Staaten einen Verbrauchspeak im Winter zeigt. Abbildung 15 verdeutlicht dies am Gesamt-Lastverlauf in Summe aller Sektoren für Deutschland, Österreich und einige weitere EU-Staaten.

Abbildung 15: Jahreslastgänge Strom verschiedener EU-Staaten im Jahr 2018 (Büchele 2022)



In der Abbildung ist der monatliche Höchstwert der mittleren Last in jedem der dargestellten Staaten mit 1,0 (=100%) dargestellt. Wie zu erkennen, treten die höchsten mittleren Lasten in den

Wintermonaten auf. In Deutschland und Österreich liegen die Werte im Winter um etwa 15-18% höher als im Sommer. Eine Ursache ist der Stromverbrauch von Gebäuden für die Beheizung durch Wärmepumpen und elektrisch-direkte Heizsysteme. In den nächsten Jahrzehnten wird nicht nur der Jahreswert des Bruttoverbrauchs für Strom steigen – in Deutschland gemäß (Prognos 2021) von 595 auf 1.000 TWh/a, sondern auch der Anteil im Winter aufgrund des notwendigen Umstiegs von Fossilen auf Wärmepumpen in Neubau und Sanierung. Da die Erzeugungskapazitäten für erneuerbare Erzeugungssysteme mit relevanten Erträgen im Winter (Wind) begrenzt erscheinen (aufgrund des vorhandene Flächenpotenzials und vor allem aufgrund der z.T. politisch bedingten Umsetzungsschwierigkeiten, wird es notwendig sein, einen Teil des notwendigen, erneuerbaren Winterstroms aus den absehbaren PV-Überschüssen im Sommer zu erzeugen und jahreszeitlich zu speichern. Der so erzeugte Winterstrom wird teurer sein (müssen), als Strom im Sommer. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, weiterhin und gerade auch in wärmepumpenbeheizten Gebäuden auf hohe Effizienz zu setzen und - um diesen Effekt bewerten und z.B. in Förderungen honorieren zu können - die THG-Emissionen mit jahreszeitlich differenzierten THG-Konversionsfaktoren zu ermitteln.

Der Effekt einer zu großen Teilen auf Strom (elektrisch-direkt) basierenden Beheizung von Gebäuden⁴ mäßiger Qualität zeigt sich am Lastverlauf Frankreichs, wo die winterliche Last um mehr als 30% über der Last im Sommer liegt. Die Last steigt pro Kelvin sinkender Außenlufttemperatur um ca. 2.300 MW – der Leistung von 2 Atomkraftwerken.

Auch der Lastverlauf in Schweden (kaltes Klima, Anteil elektrischer Heizsysteme am Gesamt-Wohngebäudebestand: 29% (Savvidou 2020) zeigt einen starken jahreszeitlichen Swing; die Last im Winter liegt um etwa 40% über der im Sommer.

Auch die Bilanzierung von Gebäuden mit Fernwärmeversorgung sollte zukünftig auf Basis monatlicher Emissionsfaktoren durchgeführt werden. Wie exemplarische Untersuchungen verschiedener Fernwärmenetze in Österreich zeigen, können auch die Emissionen der Fernwärme jahreszeitlich stark schwanken – ähnlich wie beim Strom ist der Erzeugungsmix derzeit in vielen Netzen im Winter weniger „grün“ als im Sommer (Global 2022).

3.3.7. Sonstige Unterschiede in der Bilanzierung

Neben den beschriebenen Einflussfaktoren hängen die Ergebnisse der Bilanzierung von Null- oder Plusenergiegebäuden von den folgenden Faktoren ab:

- Bilanzierung des Bedarfs oder des realen Verbrauchs
- Bei Bedarfsberechnungen: Berechnungsalgorithmen und Randbedingungen (Annahmen Raumlufttemperatur, Warmwasserbedarf, Verschattung, Lastprofile für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom...)
- Bei Flächenbezug: Definition der Energiebezugsfläche (BGF, A_N , EBF_{PHPP} , Wohnnutzfläche, Wohnfläche...)
- Bei pro-Kopf Werten: Annahmen für die pro-Kopf Wohnfläche
- Bewertungsgegenstand: Endenergie (nur in monoelektrischen Gebäuden sinnvoll), Primärenergie, THG-Emissionen

⁴ Der Anteil strombeheizter Wohngebäude Frankreich liegt aktuell bei 40% (RTE 2022)

- Bei Bewertung auf Ebene Primärenergiebedarf oder THG-Emissionen: Quelle der Konversionsfaktoren, Berücksichtigung Primärenergie gesamt oder nur nicht erneuerbar
- Bei Bewertung von Biomasse (auch in Nah/Fernwärmenetzen): Berücksichtigung der Begrenztheit von Biomasse als Energieträger für den Gebäudebereich

Die dargestellten Unterschiede in der Definition verschiedener Standards zeigen, dass der Vergleich der energetischen Qualität von Gebäuden verschiedener Standards nicht ganz einfach ist.

Als Grundlage für derartige Vergleiche werden in dieser Studie die Verbräuche einer hohen Anzahl von Gebäuden dargestellt und analysiert.

3.4. Beispielhafte Standards

Bei allen Unterschieden in der genauen Definition haben sich die Standards und Konzepte für energieeffiziente Neubauten in den vergangenen Jahren angenähert. Alle setzen auf überdurchschnittliche Hüllqualitäten, effiziente Haustechniksysteme und große Solarsysteme, seit einigen Jahren meist PV-Anlagen. Zur Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs sind in den meisten Standards auch der Haushalts- und der Allgemeinstrom Teil der Bewertung.

Stellvertretend für die verschiedenen Ansätze werden nachfolgend die Standards Passivhaus (mit den Stufen Plus und Premium) und AktivPlus Haus kurz dargestellt (PHI 2021), (AktivPlus 2016). Auch das Bewertungssystem des klimaaktiv Gebäudekatalogs sowie die Anforderungen an Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser werden skizziert (klimaaktiv 2020), (EIV 2022). Zusätzlich wird auch das Konzept Energieautarkes Gebäude kurz präsentiert, um aufzuzeigen, was technisch möglich ist. Das Ziel der Energieautarkie auf Gebäudeebene dürfte aufgrund hoher Kosten und wegen der vorhandenen Möglichkeit, Energien im Stromnetz in beide Richtungen zu verschieben, in der Regel nicht sinnvoll sein.

3.4.1. Standard Passivhaus (Passivhaus Institut, Darmstadt)

Der bereits Ende der 80er Jahre definierte, 1991 erstmals baulich realisierte und inzwischen weltweit in hohen Zahlen umgesetzte Standard steht synonym für höchste energetische Qualität der Gebäudehülle in Kombination mit einer Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung. Neben dem Grenzwert für den Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBFa}})$ bzw. der alternativen Nachweisgröße einer spezifischen Heizlast von $\text{max. } 10 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$ wurde schon sehr früh der Primärenergiebedarf als weitere Nachweisgröße eingeführt, um nicht nur die Hüllqualität, sondern auch die Effizienz der Wärmeversorgung und die eingesetzten Energieträger zu bewerten. Die Energiebilanz umfasst von Anfang an auch den Haushaltsstrom.

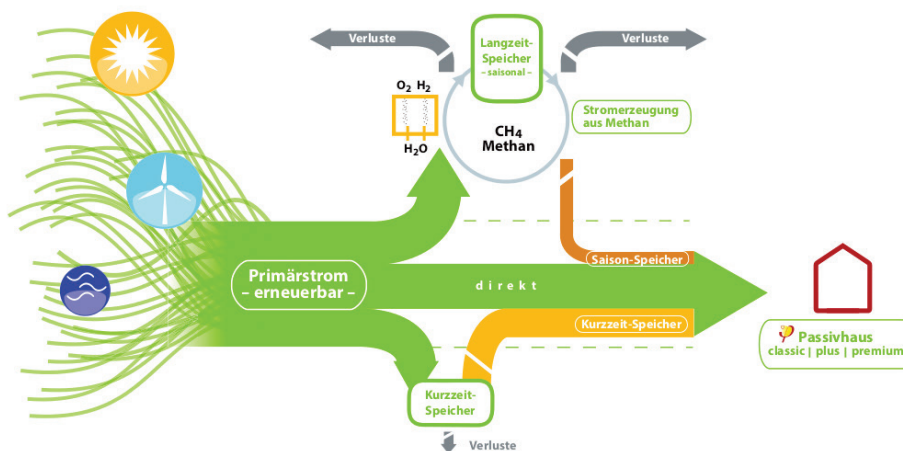
Das Bewertungssystem wurde 2014 grundlegend überarbeitet. Beibehalten wurde die Anforderung an den Heizwärmebedarf (alternativ an die Heizlast). Die Bewertung auf Basis der Primärenergie wurde durch eine Bewertung ersetzt, in der die Eignung des Gebäudes für ein zukünftiges, rein regeneratives Energieversorgungssystem bewertet wird. Nachweisgröße ist der erneuerbare Primärenergiebedarf, der sich aus der Multiplikation des Endenergiebedarfs je Anwendung mit dem Faktor Primary Energy Renewable (PER) ergibt. Der PER-Faktor beschreibt, mit welchem Aufwand so genannter Primärstrom aus erneuerbaren Quellen (Wind, PV...) umgewandelt, gespeichert und als so genannter

Sekundärstrom zeitlich versetzt in Zeiten ohne ausreichendes regeneratives Primärstromangebot genutzt werden kann.

Je nach Energieanwendung sind die Anteile des direkt nutzbaren Primärstroms und des mit Umwandlungs- und Speicherverlusten erzeugten Sekundärstroms unterschiedlich. Während die Anwendung Gebäudekühlung im Sommer zu hohen Anteilen aus vor Ort erzeugtem Primärstrom aus PV versorgt werden kann, muss für die Anwendung Heizen ein größerer Anteil des Bedarfs in Form umgewandelten und gespeicherten Sekundärstroms eingesetzt werden. Der PER-Faktor ist daher für die Anwendung Kühlen niedrig, für die Anwendung Heizen merklich höher.

Die Bewertung durch den Indikator PER verfolgt das gleiche Ziel, wie die Bewertung durch Treibhausgasemissionen, die mit monatlichen Konversionsfaktoren ermittelt werden – die Umweltwirkung von Strom wird nach dem Zeitpunkt des Stromverbrauchs und der Übereinstimmung mit dem Angebot regenerativ erzeugtem Stroms differenziert. Abbildung 16 zeigt die Zusammenhänge zwischen Primärstrom erneuerbar und dem im Gebäude genutzten Strom.

Abbildung 16: Flussschema der Energieströme von der Erzeugung erneuerbaren Primärstroms bis zur Versorgung am Gebäude inklusive der Verluste für Kurzzeit- und Saisonal-Speicherung (Grove-Smith 2014)



Die PER Faktoren für Strom liegen zwischen 1,1 für die Kühlung und 1,8 für die Heizung.

Das Bewertungssystem ist eines der ersten, das konsequent auf die Erfordernisse rein regenerativer Energieversorgungssysteme ausgerichtet ist und die Zusammenhänge zwischen Gebäude als Energieverbraucher (und Erzeuger) sowie den übergeordneten Versorgungssystemen berücksichtigt.

Neben der differenzierten Bewertung regenerativen Stroms werden durch den PER-Faktor auch andere regenerative Energieträger differenzierter abgebildet als in anderen Bewertungssystemen: so wird etwa Biomasse mit einem Budgetansatz bewertet: der Anteil der Biomasse, der das Budget überschreitet, das aus dem für den Gebäudesektor verfügbaren Potenzial ermittelt wurde, wird durch den PER deutlich schlechter bewertet als der Teil, der im Rahmen des Budgets zur Verfügung steht.

Als zweite Neuerung wurden bei der Überarbeitung der Kriterien drei Passivhausklassen definiert, die sich bezüglich ihres erneuerbaren Primärenergiebedarfs sowie ihres PV-Ertrags unterscheiden. Der erneuerbare Primärenergiebedarf in Summe aller Energieanwendungen darf in den drei Klassen nur 60 (Classic) bzw. 45 (Premium) bzw. 30 kWh/(m²_{EBFa}) (Plus) betragen.

In den beiden Klassen Passivhaus Plus und Passivhaus Premium muss die Erzeugung erneuerbarer Energie am Gebäude (i.d.R. PV-Strom) bei mindestens 60 bzw. 120 kWh/(m²_{überbaute Fläche}) liegen. Der Grenzwert für die erneuerbare Energieerzeugung wird nicht wie in anderen Systemen auf den m² Energiebezugsfläche bezogen, sondern auf den m² überbaute Fläche. Dies hat den Vorteil, dass eingeschossige Gebäude nicht wie in anderen Bewertungsansätzen bevorzugt und höhere Gebäude benachteiligt werden. Bewertet wird der Gesamtertrag der PV-Anlage, nicht der ins Netz eingespeiste Anteil. Eine Bilanzierung der Energieerzeugung von PV-Anlagen mit dem Energiebedarf findet nicht statt.

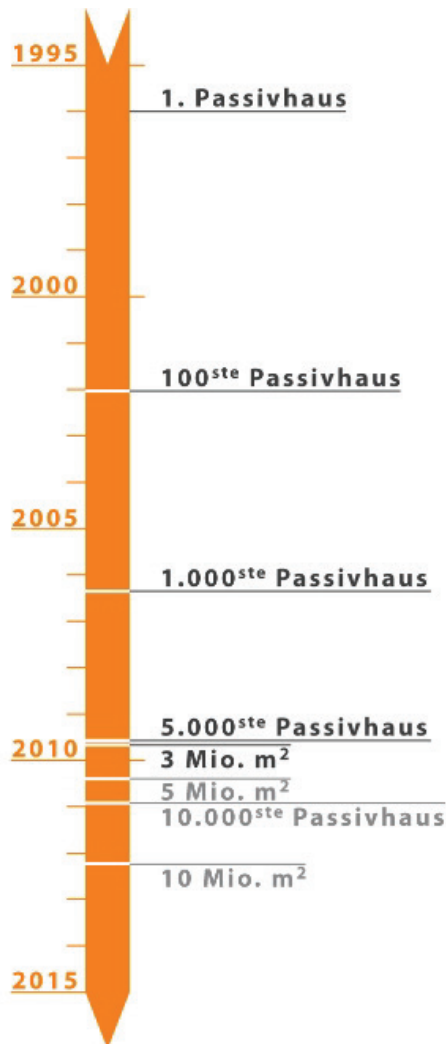
Ein Vorteil des Standards ist die sehr hohe Effizienz der Gebäudehülle, die den winterlichen Energiebedarf reduziert. Der Fokus auf die Reduktion des Bedarfs führt darüber hinaus zu relativ einfachen, robusten Lösungen: die Energieeinsparung durch guten Wärmeschutz kann mit hoher Genauigkeit vorausbestimmt werden, da sie nur geringfügig vom Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer abhängig ist. Ein weiterer Vorteil ist, dass zur Projektierung das sehr gut validierte Rechentool PHPP (PHI 2022) zur Verfügung steht. Das seit 1998 erhältliche Tool ist durch den Vergleich der Verbräuche wissenschaftlich begleiteter Projekte mit den Berechnungswerten sehr gut validiert und bietet gegenüber den staatlichen Nachweisprogrammen in Deutschland und Österreich den Vorteil einer großen Kontinuität und Flexibilität. Ein Nachteil des Berechnungsprogramms ist, dass die Endenergiekennwerte nicht als Monatswerte ausgewiesen werden. Im gegenständlichen Forschungsprojekt entwickelte die Universität Innsbruck daher ein zusätzliches Arbeitsblatt, mit dem diese Bilanzierung sowie eine Ermittlung der selbst genutzten Anteile des PV-Ertrags auf Basis höher aufgelöster Bilanzen in PHPP möglich ist. Ein weiterer Vorteil des Standards ist das eingespielte Zertifizierungsverfahren, das eine sehr gute Qualitätssicherung während der Planungsphase bietet.

Abbildung 17: Ausschnitt Passivhaussiedlung Heidelberg (links) - Foto: Energieinstitut Vorarlberg; PH Langenegg mit balkonintegrierter Solarthermie und Dach-PV (Arch. H. Kaufmann; HLS: Planungsteam E-Plus); Foto: C. Begle



Entwicklung des Standards Passivhaus in Österreich

Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der Markteinführung Passivhäuser (Lang 2012)



1996 wurde Österreichs erstes Einfamilienhaus als Passivhaus fertiggestellt. Das Einfamilienhaus von Martin Caldonazzi in Amerlügen/Vorarlberg geplant und errichtet von seinem Bruder Bmst. Richard Caldonazzi auf über 900 Metern Seehöhe. Kurze Zeit darauf wurde 1997 Österreichs erste Reihenanlage in Batschuns/Vorarlberg vom Atelier Unterrainer, sowie im gleichen Jahr das erste Mehrfamilienhaus als Passivhaus mit 13 Wohnungen - die Wohnanlage Ölbündt in Dornbirn/Vorarlberg vom Architekturbüro DI Hermann Kaufmann - errichtet und beide als „Haus der Zukunft“ ausgezeichnet. Zehn Jahre später – 2007 - waren es bereits 4.000 Wohneinheiten. Im Oktober 2009 wurde mit 354 Wohnungen vom Bauträger Neue Heimat Tirol in Innsbruck am Lodenareal die damals größte Passivhaus-Wohnanlage ihrer Bestimmung übergeben. In Wien starteten am „Eurogate“ Ende 2009 die Bauarbeiten für die erste großvolumige Passivhaus-Siedlung in Österreich mit 800 Wohnungen für mehr Wohnkomfort und Behaglichkeit. Mit Ende 2011 waren bereits knapp 21.000 Wohnungen in Passivhaus-Standard in Österreich bewohnt, wovon die Mehrheit sich in Mehrfamilienhäusern befanden.

Maßgebenden Anteil an dieser rasanten Entwicklung des Passivhaus-Standards in Österreich hatte die Programmlinie „Haus der Zukunft“ im Rahmen des Forschungs- und Technologieprogramms des Bundesministeriums, bei der speziell in der Periode 2000 – 2007 dem Thema Passivhaus ein ausführlicher Schwerpunkt gewidmet wurde.

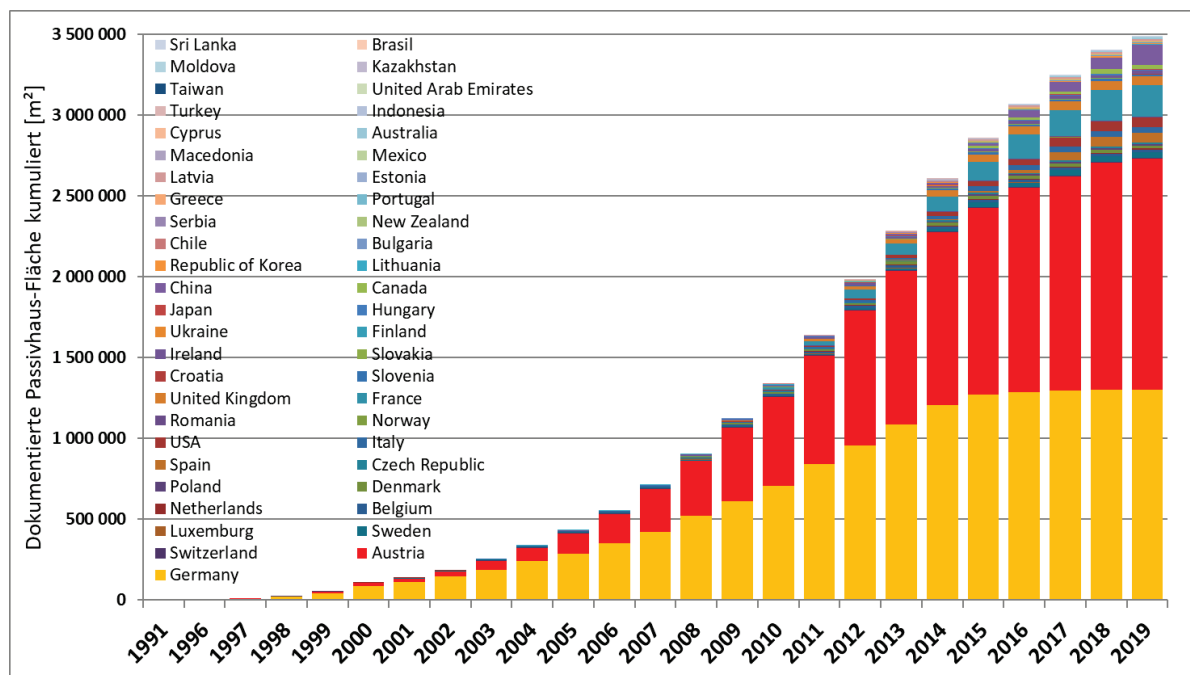
Diese in Summe sehr erfolgreiche Entwicklung energieeffizienten Bauens und Sanierens schaffte ein umfangreiches Know-how und Innovationsschub in Österreichs Bauwirtschaft und war weltweit Vorbild für viele Länder, wie auch für die EU-Institutionen. Die ursprünglichen Ansätze für das nZEB beinhalteten ebenfalls den Passivhaus-Standard als Mindeststandard.

Die österreichische Justierung des in der EPBD geforderten Standards Niedrigstenergiegebäude (nZEB) in OIB-Richtlinie 6 und Nationalem Plan bleibt wie in Kapitel 3.2.3 dargestellt weit hinter den Anforderungen an Paris-kompatible Gebäude und an denen des Passivhausstandards mit seinen Stufen Plus und Premium zurück.

Durch den Aufbau einer zunächst österreichischen Passivhaus-Datenbank „1000 Passivhäuser in Österreich – Interaktives Dokumentations-Netzwerk Passivhaus“ im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ zwischen 2002 und 2009 konnten 11% aller bis 2009 errichteten Passivhäuser in Österreich als gelungene Beispiele für nachhaltiges Bauen dokumentiert werden. Mit Ende 2009 konnten so insgesamt 801 Passivhausobjekte primär aus Österreich, davon 42 internationale

dokumentiert werden, was zu dem damaligen Zeitpunkt 30% aller in Europa dokumentierten Passivhäuser entsprochen hat. Bei der letzten Gesamtauswertung der Datenbank per Juli 2019 waren insgesamt 4.547 Objekte auf vier Kontinenten von 49 Nationen mit 3.485.646 m² Energiebezugsflächen in der Passivhaus Datenbank dokumentiert.

Abbildung 19: Dokumentierte Energiebezugsfläche an Objekten in Passivhaus Datenbank nach Baujahr/Nation untergliedert 1991 – 2019 per 12.07.2019 (Lang 2019)



In der Nationenwertung hatte Österreich per Juli 2019 mit 1.429.294 m² dokumentierter Energiebezugsfläche die Führung vor Deutschland mit 1.301.372 m² übernommen. An dritter Stelle mit 190.697 m² lag Frankreich. Sehr gut entwickelt hatte sich das Passivhaus in China, wo sich binnen eines Jahres die Fläche auf 123.048 m² verdoppelt hatte. Die USA, Spanien und UK lagen 2019 mit rund 60.000 m² etwa gleich auf.

3.4.2. Standard AktivPlus Gebäude

Der Standard AktivPlus Gebäude des Vereins aktivplus e.V. wird stellvertretend für Konzepte vorgestellt, in denen eine Bilanzierung der PV-Erträge mit dem Energiebedarf des Gebäudes erfolgt. Der 2014 vorgestellte Standard wird bislang vorwiegend in Deutschland angewandt und bewertet nicht nur den Energiebedarf/verbrauch für alle Energieanwendungen im Betrieb und die PV-Stromerzeugung, sondern auch die CO₂-Bilanz im Lebenszyklus. Insgesamt werden 14 Kriterien in den Kategorien Energie, Nutzerinnen und Nutzer, Vernetzung und Lebenszyklus definiert.

Die energetische Qualität im Betrieb wird durch zwei Kriterien bewertet:

- Netto-Endenergiebedarf (alle Energieanwendungen) max. 30 kWh/(m²_{ANA})⁵

⁵ Als Flächenbezugsmaß wird im AktivPlus Gebäude wie im deutschen Gebäudeenergiegesetz die Energiebezugsfläche A_N verwendet. Diese wird wie folgt aus dem beheizten Bruttovolumen V_e berechnet: A_N = V_e * 0,32. Die Fläche A_N eines Gebäudes ist i.d.R. deutlich größer als die Wohnnutzfläche, so dass sich bei Bezug auf A_N deutlich niedrigere Werte ergeben, als bei Bezug auf die Wohnnutzfläche.

- Eigenversorgung min. 25%

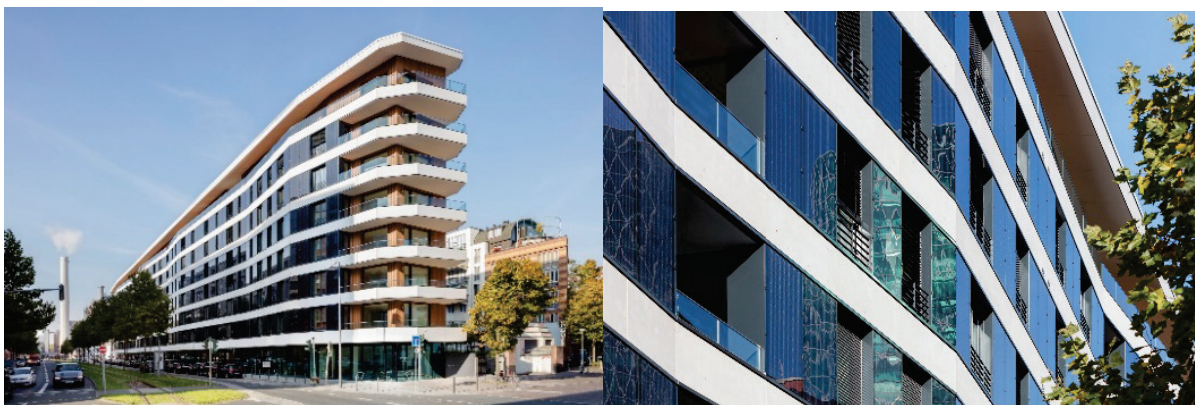
Unter dem Begriff Netto-Endenergiebedarf wird der Endenergiebedarf nach Abzug der lokalen erneuerbaren Energiegewinnung, z.B. des eigengenutzten PV-Stroms verstanden. Die Bilanzierung erfolgt prinzipiell in einer Jahresbilanz auf Basis von Monatswerten, allerdings sollen Werte wie der Eigennutzungsgrad, die zeitlich kürzere Bilanzierungsintervalle benötigen, möglichst auf Basis von Stundenwerten ermittelt werden (AktivPlus 2016). Der Eigennutzungsgrad wird damit deutlich realistischer bestimmt, als bei monatsweiser Ermittlung.

Als Indikator wird bewusst nicht wie in EnEV/GEG oder OIB-Richtlinie 6 der Primärenergiebedarf, sondern der Endenergiebedarf verwendet. Gründe sind die leichtere Nachvollziehbarkeit für Laien (gleiche Betrachtungsebene wie die Energiekostenabrechnung) und die Kontinuität (Primärenergiefaktoren ändern sich mit der Zeit, z.B. bei höheren Anteilen erneuerbarer Quellen an der Stromerzeugung – dadurch ergeben sich im Laufe der Zeit unterschiedliche Primärenergiekennwerte und Primärenergieanforderungen).

Bei der Berechnung des Netto-Endenergiebedarfs bleiben bis zu 20 kWh/(m²_{ANA}) an Nah/Fernwärme oder erneuerbaren Brennstoffen anrechnungsfrei. Diese Begrenzung dient – ähnlich wie das Biomassebudget im Ansatz PER des Passivhauses dazu, eine übermäßige Nutzung von Biomasse zu unterbinden.

Zusätzlich zu den beiden Indikatoren für die Betriebsenergie gilt ein Grenzwert von 660 kg CO₂/(Person a) für die THG-Emissionen im Lebenszyklus. Der Wert gliedert sich in einen Orientierungswert für die Errichtung von 510 kg CO₂/(Person a) und von 150 kg CO₂/(Person a) für den Betrieb. Das entspricht etwa 11 kg CO₂/(m²_{ANA}) für die Errichtung und 3,2 kg CO₂/(m²_{ANA}) für den Betrieb.

Abbildung 20: Aktiv Stadthaus in Frankfurt; HHS Architekten und Planer AG; EGS-plan; Fotos: Constantin Meyer



Dritter Indikator in der Kategorie ist ein mindestens zweijähriges Monitoring. Für Mehrfamilienhäuser sollen dabei alle relevanten Verbräuche als Monatswerte erfasst werden.

Vorteile des Standards sind die Beschreibung der energetischen Gebäudequalität im Betrieb durch zwei leicht verständliche Indikatoren, die im Vergleich zu anderen Standards deutlich realistischere Berechnung des Eigenversorgungsgrades sowie die Definition von Anforderungen für die THG-Emissionen im Lebenszyklus.

3.4.3. klimaaktiv Gebäudestandard

Der vom Ministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Technologie und Innovation herausgegebene klimaaktiv Kriterienkatalog beschreibt in seiner Version 2020 die energetische und ökologische Qualität von Gebäuden sowie ihre Behaglichkeit. Im klimaaktiv Selbstdeklarationssystem wird die Gesamtqualität durch etwa 20 Kriterien in vier Bewertungskategorien in einem Punktsystem mit maximal 1.000 Punkten beschrieben. Gebäude, die mit mindestens 900 Punkten bewertet werden, werden mit der höchsten Bewertungsstufe (Gold) bewertet. Die Kategorie Energie und Versorgung, in der der Energiebedarf im Betrieb sowie die dadurch verursachten Treibhausgasemissionen bewertet werden, wird mit maximal 550 Punkten bewertet. Zusätzlich werden u.a. der Herstellungenergieaufwand und die Emissionen für die Herstellung sowie die Vermeidung besorgniserregender Substanzen, die thermische Behaglichkeit, die Raumluf- und die Tageslichtqualität berücksichtigt. Auch Aspekte wie Standort (Infrastrukturangebot) umweltfreundliche Mobilität und Mikroklima und Grünraum und Wirtschaftlichkeit werden bewertet.

Die Hauptnachweise in der Kategorie Energie und Versorgung können alternativ durch Energieausweisberechnungen, PHPP-Berechnungen oder dynamische Gebäudesimulationen erbracht werden.

Die zum Erreichen der Stufe Gold erforderliche energetische Qualität ist deutlich höher, als die gesetzliche Mindestqualität nach OIB-Richtlinie 6 (2019). Da seit der Katalogversion 2020 fossile Energieträger auch in der Sanierung nicht mehr zulässig sind, erreichen die Gebäude auch niedrige Treibhausgasemissionen.⁶

Seit 2017 ist die Deklaration nicht nur in den Stufen Planung und Fertigstellung möglich, sondern auch in der Stufe Gebäudenutzung. In dieser Bewertungsstufe wird die energetische Gebäudequalität nicht durch die Resultate von Energiebedarfsberechnungen und andere Energiekriterien bewertet, sondern anhand der gemessenen Energieverbräuche, die aus dem Verbrauch ermittelten Treibhausgasemissionen sowie Übereinstimmung zwischen berechnetem Bedarf und realem Verbrauch (klimaaktiv 2017). Die Bewertung in der Stufe „In der Gebäudenutzung“ ist bislang für die Gebäudetypen Wohnen (Mehrfamilienhaus) sowie Bürogebäude möglich. Eine Erweiterung auf die Kategorie Bildungsgebäude ist für 2022 geplant.

Vorteile des Bewertungssystems sind seine sehr hohe Verbreitung in Österreich sowie die Möglichkeit der Bewertung der energetischen Gebäudequalität anhand des realen Verbrauchs.

3.4.4. Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser

Im Rahmen eines Forschungsprojekts des Energieinstitut Vorarlberg mit der Universität Innsbruck und der Technischen Hochschule Rosenheim wurden die Anforderungen an den Betriebsenergieverbrauch Paris-kompatibler Mehrfamilienhäuser erstmals aus dem Globalbudget ermittelt (Vallentin 2022). Dazu wurden in einem ersten Schritt die Treibhausgasbudgets Österreichs und Deutschlands aus dem Globalbudget bestimmt. In einem zweiten Schritt wurde aus diesen nationalen Treibhausgasbudgets Teilbudgets für den Sektor der Wohngebäude abgeleitet. Aus dem sektoralen Budget wurden

⁶ Einzige Ausnahme vom Verbot fossiler Energieträger sind Gebäude mit bis zu 12 Jahre alten Gas-Brennwertkesseln. Diese dürfen bis zum Ende ihrer technischen Lebensdauer weiter betrieben werden, wenn ein schrittweiser Sanierungsfahrplan mit Umstieg auf ein nicht fossiles Wärmesystem vorgelegt wird

szenariengestützt Maximalwerte für die Treibhausgasemissionen von Einzelgebäuden (Mehrfamilienhäusern) ermittelt, aus denen die notwendige energetische Qualität abgeleitet werden konnte.

Die Studie zeigt, dass für den Neubau von Mehrfamilienhäusern ab sofort nur noch Wärmepumpen und nachhaltige Fern/Nahwärme in Frage kommen. Für beide Energieträger wurden Anforderungen auf Basis des realen Verbrauchs sowie der realen Erzeugung durch gebäudeintegrierte PV-Anlagen beschrieben (Ploß 2022).

Exemplarisch sind nachfolgend die Anforderungen für wärmepumpenbeheizte Gebäude aufgeführt:

Anforderungen bei Wärmeversorgung durch Wärmepumpe:

- Endenergieverbrauch_{gesamt}⁷: max. 45 kWh/m²_{WNFA})
- Erzeugung PV-Anlagen am Gebäude: min. 60 kWh/(m²_{ÜFLA})⁸

Alternativnachweis bei Wärmeversorgung durch Wärmepumpe:

- Netzbezug Strom_{gesamt}: max. 35 kWh/(m²_{WNFA})
- Treibhausgasemissionen Netzbezug Strom_{gesamt}: max. 10 kg/(m²_{WNFA})

Die genannten maximalen Treibhausgasemissionen sind auf Basis des realen Verbrauchs mit monatlichen Konversionsfaktoren für den aktuellen österreichischen Verbraucherstrommix (Roßkopf-Nachbaur 2021) zu bestimmen. Wird der o.g. Wert von 10 kg/(m²_{WNFA}) mit dem aktuellen österreichischen Verbraucherstrommix erreicht, so ergeben sich für die betreffenden Gebäude mit dem für 2030 zu erwartenden österreichischen Verbraucherstrommix Treibhausgasemissionen von etwa 3 bis 6 kg/(m²_{WNFA}). Dieser Wert entspricht etwa 125 bis 250 kg CO_{2eq}/(Person a) und damit dem Bereich, der als kompatibel zum Paris-Ziel bezeichnet werden kann.

Analoge Anforderungen werden auch für Gebäude mit Wärmeversorgung durch Fern-/Nahwärme definiert. Auch für diese erfolgt die Berechnung der Treibhausgasemissionen auf Basis monatlicher Konversionsfaktoren, da Analysen verschiedener urbaner Fernwärmenetze zeigten, dass auch die spezifischen Emissionen von Fernwärme derzeit einen deutlichen Jahresswing haben, so dass die Emissionen im Winter (Heizung) höher liegen als die Werte im Sommer (Global 2022).

Die oben genannten Anforderungen an Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser werden von Gebäuden in eingeführten Standards wie Passivhaus Premium oder Plus sowie AktivPlus Haus in der Regel erreicht. Auch Gebäude, die die Stufe Gold in den klimaaktiv Deklarationsstufen Fertigstellung oder Gebäudenutzung erreichen, liegen in der Regel im Bereich Paris-kompatibler Emissionen.

Vorteil des Bewertungssystems ist die Herleitung des Anforderungsniveaus aus dem Globalbudget sowie die Definition der Anforderungen durch einfach zu ermittelnde, auf dem realen Verbrauch und der realen Erzeugung basierende Kennwerte.

Zusätzlich zu den Anforderungen an den Energieverbrauch werden auch Orientierungswerte für den rechnerischen Energiebedarf genannt, der planungsbegleitend in so genannten

⁷ Der Strombedarf gesamt umfasst alle Energieanwendungen, also Heizung, Warmwasser, Kühlung, Hilfs-, Allgemein- und Haushaltsstrom

⁸ Die überbaute Fläche ÜFL bezeichnet die projizierte Dachfläche des Gebäudes.

Verbrauchsprognoseberechnungen ermittelt werden soll. Um eine gute Übereinstimmung der Verbrauchsprognoseberechnungen mit dem realen Verbrauch zu gewährleisten, werden realistische, aus Monitoringprojekten abgeleitete Nutzungsrandbedingungen hergeleitet, die in den Berechnungen verwendet werden sollten.

3.4.5. Standard Energieautarke Gebäude

Der Vollständigkeit halber werden als fünfter „Standard“ die energieautarken Gebäude kurz skizziert. Diese sind ganzjährig autark, d.h. sie können ihren Energiebedarf/verbrauch für alle Anwendungen zu jeder Sekunde des Jahres ohne Energiezufuhr von außen decken. Ein erstes Einfamilienhaus entstand 1992 im Rahmen eines Forschungsprojekts in Freiburg, ein erstes Mehrfamilienhausprojekt wurde 2016 in Brütten/CH fertiggestellt.

Abbildung 21: Energieautarkes Einfamilienhaus Freiburg (links), (Planerwerkstatt Hölken + Berghof) Erstes energieautarkes Mehrfamilienhaus in Brütten/CH (René Schmid Architekten); Fotos: Energieinstitut Vorarlberg



Ein Vorteil des Standards ist seine einfache, auch für Laien gut verständliche Definition.

Ein Nachteil ist der hohe technische Aufwand, der notwendig ist, um das Ziel der Autarkie in der Praxis umzusetzen: Wie das Beispiel des Projekts in Brütten verdeutlicht, muss zunächst der Energiebedarf durch höchste Effizienz der Hülle und der Wärmeversorgung, Wärmerückgewinnung und effizienteste Haushaltsgeräte auf ein Minimum reduziert werden.

Darüber hinaus müssen Fassaden und Dach nahezu vollflächig zur PV-Stromerzeugung genutzt werden. Um den Bedarf jederzeit ohne Energiebezug von außen decken zu können, sind hohe Aufwände für die Kurzzeitspeicherung- etwa durch große Wasserspeicher und große Batteriespeicher - notwendig.

Besonders aufwändig ist die unabdingbare Langzeitspeicherung, etwa durch Wasserstoff. Dieser wird im Sommer mit PV-Strom über einen Elektrolyseur erzeugt und im Winter über eine Brennstoffzelle zurückverstromt. Die Beheizung und Warmwasserbereitung erfolgt durch eine Wärmepumpe, die auch zwei Langzeit-Wasserspeicher mit je 125 m³ Inhalt nutzt.

Das Konzept des energieautarken Gebäudes ist in Gebieten wie Europa mit Stromnetzen, die zum Ausgleich von Strombedarf und – Erzeugung genutzt werden können, vermutlich auf längere Zeit kein

Standard für die Umsetzung in der Breite. Als Forschungsprojekt sind autarke Gebäude jedoch gut geeignet, um neuartige Komponenten zu testen und den Stand der Technik zu demonstrieren. Deutlich sinnvoller als die Anwendung erscheint dabei die Anwendung für ganze Quartiere oder Siedlungen/Stadtteile.

4 Projektinhalt

Die folgende Tabelle 1 zeigt den Arbeits- und Zeitplan des Projekts. Die Laufzeit des Projekts war ursprünglich von 1. April 2021 bis 31. März 2022 geplant, wurde jedoch bis 30. April 2022 verlängert.

In Arbeitspaket 1 wurden die Leuchtturmobjekte aus verschiedenen Quellen wie Forschungsberichten und Datenbanken sowie durch direkte Anfragen bei Bauherrinnen und Bauherren, Bewohnerinnen und Bewohnern und Nutzerinnen und Nutzern ausgewählt. Eine Übersicht der untersuchten 105 Objekte findet sich in Kapitel 4.1.

In Arbeitspaket 2 wurde eine gemeinsame Auswertungsmaske erarbeitet, um alle Objekte einheitlich erfassen und im Anschluss auswerten zu können. Eine Beschreibung des Excel-Formulars zur Verbrauchsdatenerfassung findet sich in 4.2.

In Arbeitspaket 3 erfolgte die Auswertung der erfassten Verbrauchsdaten der einzelnen Objekte. Eine Beschreibung der Randbedingungen und der Bilanzgrenze der Verbrauchsdatenerfassung findet sich in Kapitel 4.3. Die Auswertungsergebnisse finden sich in Kapitel 5.

Tabelle 1: Arbeits- und Zeitplan

| AP | Arbeitsplan | Zeitplan |
|------|--|------------------------------|
| AP 1 | <p>Erhebung von 100 Objekten:</p> <p>Identifikation von Objekten aus verschiedenen Quellen wie Forschungsberichten und Datenbanken sowie durch direkte Anfragen bei Bauherrinnen und Bauherren, Bewohnerinnen und Bewohnern und Nutzerinnen und Nutzern.</p> | 1. April – Oktober 2021 |
| AP 2 | <p>Erfassung und Eingabe der Verbrauchsdaten:</p> <p>Erarbeitung einer gemeinsamen Auswertungsmaske als Arbeitsgrundlage. Erfassung der Daten (Nutzungsrandbedingungen, Energieverbrauch, Behaglichkeit) / Monitoring</p> | 1. April – Dezember 2021 |
| AP 3 | <p>Auswertung und Endbericht:</p> <p>Darstellung der Verbrauchsdaten und Gegenüberstellung mit Vergleichsdaten. Aufzeigen und Beschreibung der Energiekonzepte der Gebäude mit den niedrigsten Verbräuchen; Gegenüberstellung und Analyse. Erstellung eines publizierbaren Endberichts.</p> | August 2021 – 30. April 2022 |

4.1. Übersicht der untersuchten Objekte

Im Rahmen des Projekts wurde der Energieverbrauch von insgesamt 105 Objekten erfasst und ausgewertet. Die ausgewählten Objekte bilden einen Querschnitt der österreichischen Leuchtturmobjekte (klimaaktiv Gold - Gebäude, Plusenergiegebäude, Passivhäuser und Forschungsprojekte) zum klimaschonenden Bauen (Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser gewerblicher Bauträger und gemeinnütziger Bauvereinigungen, Schulen, Kindergärten, Studentenwohnheime, Bürobauten und sonstige Gebäude). Ausgewählt wurden bewusst nicht nur Forschungsprojekte mit wissenschaftlicher Begleitung bei der Projektplanung und Umsetzung sowie mit wissenschaftlichem Monitoring, sondern auch effiziente Gebäude, die ohne wissenschaftliche Begleitung entstanden. Anhand der Verbräuche dieser Gebäude soll untersucht werden, inwieweit hohe energetische Ziele auch im normalen Planungs- und Realisierungsalltag in der Praxis umgesetzt werden. Für die Untersuchung wurden Gebäude mit niedrigem rechnerischem Energiebedarf herangezogen, welche bereits in einschlägigen Datenbanken erfasst und veröffentlicht sind.

- klimaaktiv Gebäudedatenbank unter <https://klimaaktiv-gebaut.at/>
- Forschungsobjekte der Programmlinie Haus/Stadt der Zukunft unter <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/publikationen/>
- Mustersanierungsprojekte unter <https://mustersanierung.at/projekte/>
- Internationale Passivhaus-Datenbank unter <https://passivehouse-database.org/>
- Forschungsprojekte des Energieinstitut Vorarlberg zu Neubau und Sanierung von Mehrfamilienhäusern
- Weitere Forschungsprojekte unter Beteiligung des Energieinstitut Vorarlberg (Mehrfamilienhäuser in Tirol und Niederösterreich)
- Verbrauchsdatenaufzeichnungen und Energiekostenabrechnungen für die Gesamtbestände mehrerer gemeinnütziger Wohnbauvereinigungen
- Verbrauchsdatenaufzeichnungen für öffentliche Gebäude aus der Energiebuchhaltung online (EBO) des Energieinstitut Vorarlberg
- Verbrauchsdatenauswertungen aus dem Pool der über 100 öffentlichen Gebäude, zu denen das Energieinstitut Vorarlberg Beratungen im Rahmen des Servicepakets „nachhaltig Bauen in der Gemeinde“ durchgeführt hat

In diesen Datenpools sind die jeweiligen Objekte nach jeweils einheitlichen Strukturen erfasst, so dass Angaben zu Konstruktionsart, Energieversorgungssystem und berechnetem Energiebedarf vorhanden sind. Diese Angaben dienen als Basiswerte für den Abgleich mit den im Projekt LZE100LT erfassten Energieverbrauchsdaten und ermöglichen die Analyse der realen Energieverbräuche. In die Analyse werden auch Ergebnisse von bereits erfolgten Evaluierungs- und Monitoring-Studien einbezogen, auch wenn diese meist nur über einen kurzen Betrachtungszeitraum von 1 – 3 Jahren erfolgten. Berücksichtigt werden Forschungsobjekte der Programmlinie Haus/Stadt der Zukunft, sowie Projekte, die im Rahmen von regionalen Landesforschungen durchgeführt wurden.

Bei den untersuchten Objekten handelt es sich mehrheitlich um Gebäude mit einem sehr effizienten Gebäudestandard (Passivhaus, Mustersanierung, klimaaktiv etc.). Der Optimierungsfokus lag bei diesen Objekten in der Vergangenheit jedoch oftmals nur auf einer sehr effizienten thermischen Gebäudehülle, weshalb bei vielen Projekten nach wie vor ein Einsparpotential im Bereich der Gebäudetechnik besteht. Berücksichtigt wurden auch Gebäude mit Gasheizung, auch wenn deren

Treibhausgasemissionen brennstoffbedingt deutlich über denen anderer Energieträger liegen. Auch aus dem Verbrauch gasbeheizter Gebäude kann jedoch auf den Stand der Umsetzung verbrauchsminderter Gebäude geschlossen werden.

Im Rahmen des Projekts wurde der Energieverbrauch von Leuchtturmobjekten mit verschiedenen Nutzungsprofilen erfasst und ausgewertet. Die Namen der Nutzungsprofile wurde in Anlehnung an den Österreichischen Energieausweis nach ÖNORM B 8110-5, 2019 (ASI 2019) gewählt. Die 105 ausgewerteten Leuchtturmobjekte lassen sich in folgende Nutzungsprofile einteilen.

- 22 Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten
- 12 Wohngebäude mit 3 bis 9 Nutzungseinheiten
- 37 Wohngebäude mit 10 und mehr Nutzungseinheiten
- 8 Heime
- 1 Beherbergungsbetrieb (Pension)
- 14 Bildungseinrichtungen
- 6 Bürogebäude
- 5 Sonstige Gebäude
 - 2 Sportstätten
 - 1 Verkaufsstätte
 - 1 Mischnutzung Bürogebäude und Industrie
 - 1 Mischnutzung Bürogebäude und Wohngebäude

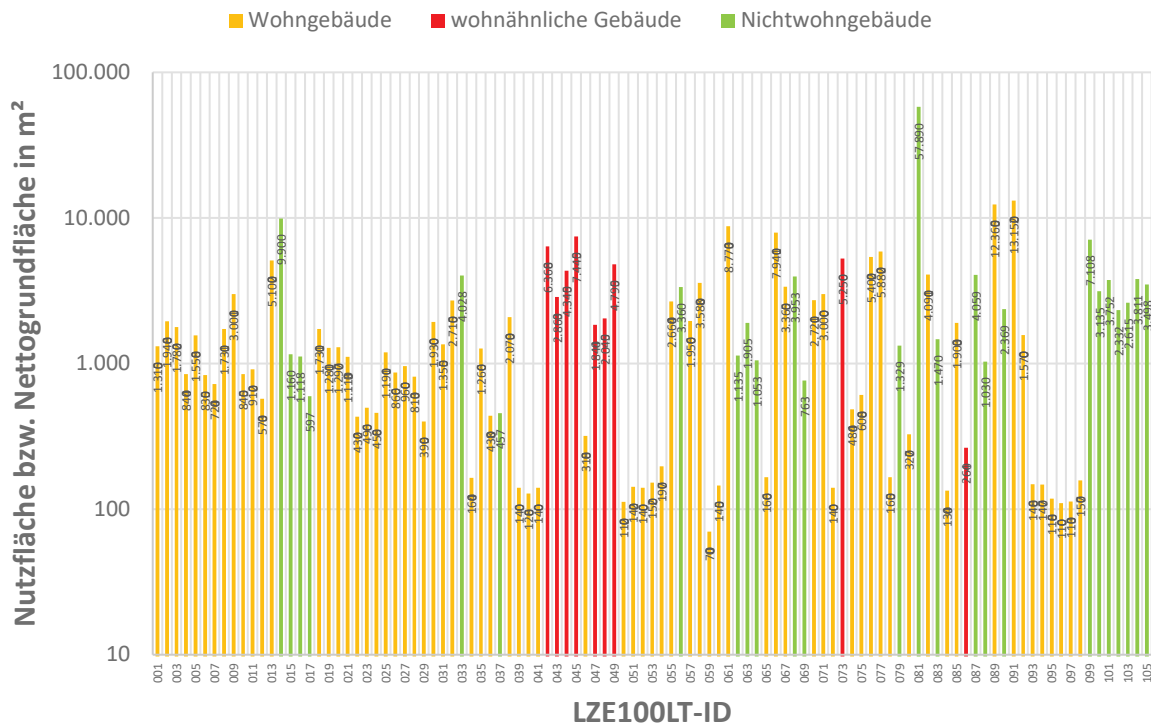
Die einzelnen Nutzungskategorien werden in den Ergebnisabbildungen in Kapitel 5 zu folgenden Nutzungsgruppen zusammengefasst, um die Ergebnisse der Verbrauchsdatenauswertung übersichtlicher darstellen zu können.

- 71 Wohngebäude
 - 22 Einfamilienhäuser
 - Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten
 - 49 Mehrwohnungsgebäude
 - Wohngebäude mit 3 bis 9 Nutzungseinheiten
 - Wohngebäude mit 10 und mehr Nutzungseinheiten
- 9 Wohnähnliche Gebäude
 - Heime
 - Beherbergungsbetrieb (Pension)
- 25 Nichtwohngebäude
 - Bildungseinrichtungen
 - Bürogebäude
 - Sonstige Gebäude

Die folgende Abbildung 22 zeigt die (Wohn-)Nutzfläche bzw. Nettogrundfläche der 105 ausgewerteten Objekte in logarithmischer Skalierung. Bei den Wohngebäuden und den wohnähnlichen Gebäuden ist die (Wohn-)Nutzfläche angegeben. Bei den Nichtwohngebäuden ist die Nettogrundfläche angegeben, welche sich aus der Nutzfläche, Funktionsfläche und Verkehrsfläche zusammensetzt. Beim kleinsten Objekt mit ca. 70 m² Wohnnutzfläche handelt es sich um eine einzelne Wohnung, welche im Passivhausstandard saniert wurde. Beim größten Objekt mit ca. 57.890 m² Nettogrundfläche handelt

es sich um ein Nichtwohngebäude mit Mischnutzung aus Bürogebäude und Industrie, ebenfalls im Passivhausstandard errichtet.

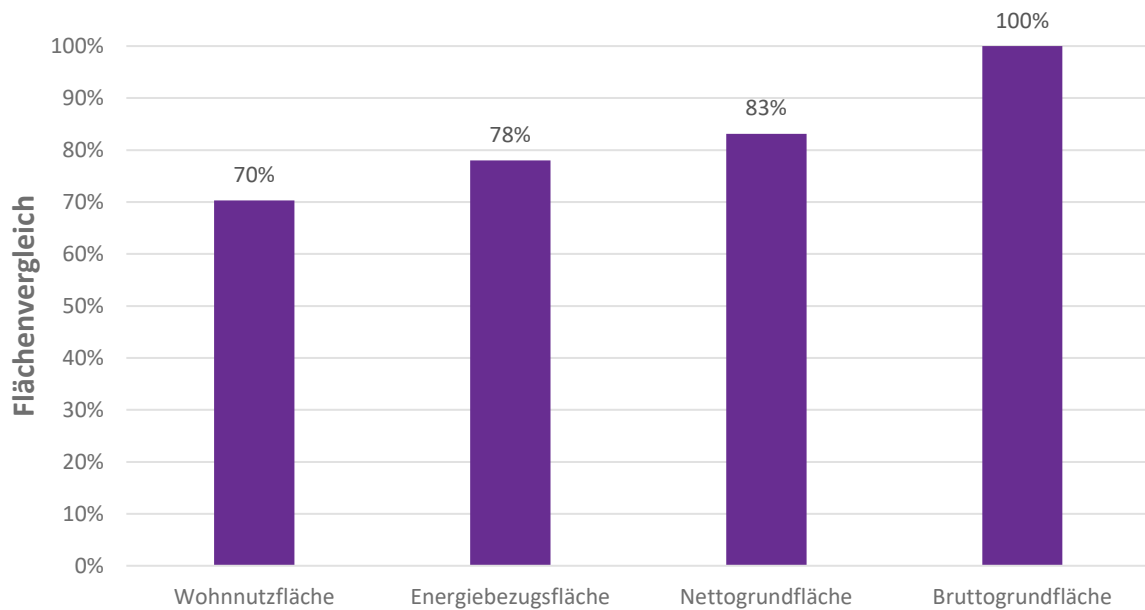
Abbildung 22: (Wohn-)Nutzfläche (Wohngebäude, wohnähnliche Gebäude) bzw. Nettogrundfläche (Nichtwohngebäude) pro Objekt in logarithmischer Skalierung



Die folgende Abbildung 23 zeigt einen Vergleich der verschiedenen Flächen eines Mehrwohnungsgebäudes mit 18 Wohneinheiten und einem Gemeinschaftsraum bezogen auf die größte Fläche, die Bruttogrundfläche nach Österreichischem Energieausweis. Die Wohnnutzfläche entspricht ca. 70% und die Nettogrundfläche ca. 83% der Bruttogrundfläche. Die Energiebezugsfläche nach Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) (PHI 2017) liegt zwischen der Wohnnutzfläche und der Nettogrundfläche, da sie zusätzlich zur Wohnnutzfläche auch 60% der Funktions- und Verkehrsfläche enthält. Die Energiebezugsfläche ist um ca. 10% größer als die Wohnnutzfläche.

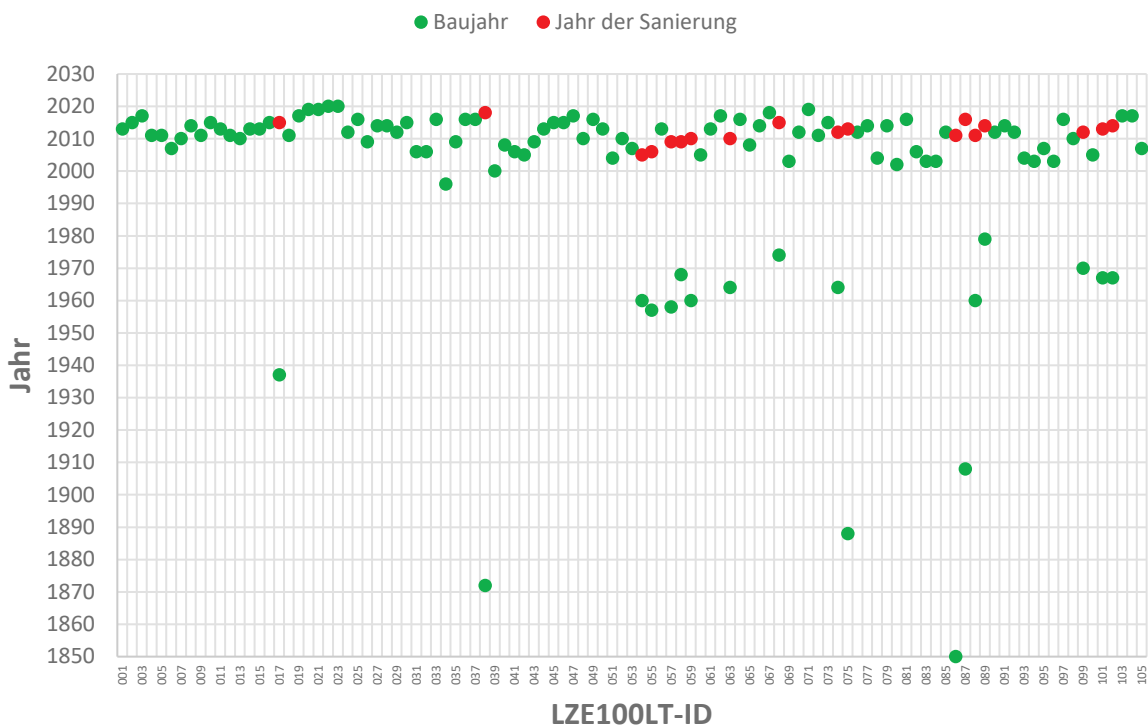
Wird also der spezifische Energieverbrauch – wie in dieser Studie – auf die Wohnnutzfläche (WNF) bezogen, so ergeben sich deutlich höhere spezifische Verbräuche als bei Bezug auf die Bruttogrundfläche (BGF). Der Bezug auf die WNF erscheint deutlich sinnvoller als der Bezug auf die BGF, da auch die Heizkostenabrechnung auf die WNF und nicht auf die BGF erfolgt. Für die Nutzerin bzw. den Nutzer ist relevant, welche WNF sie bzw. er nutzen kann, die BGF ist eine für sie bzw. ihn irrelevante, vereinfachende Planungsgröße aus dem Energieausweis.

Abbildung 23: Flächenvergleich am Beispiel eines Mehrwohnungsgebäudes



Die folgende Abbildung 24 zeigt das Baujahr aller untersuchten Objekte als grüne Punkte. Falls es sich dabei um eine Sanierung handelt, ist zusätzlich noch das Jahr der Sanierung als rote Punkte dargestellt. Insgesamt handelt es sich bei den Objekten um 87 Neubauten, 15 Sanierungen und 3 Erweiterungen und Sanierungen. Die ältesten Objekte stammen ursprünglich aus der Mitte des 19. Jahrhunderts.

Abbildung 24: Baujahr bzw. Jahr der Sanierung pro Objekt



Die folgende Abbildung 25 zeigt die Bundesländerverteilung der untersuchten Objekte. Es konnten aus ganz Österreich Objekte untersucht werden. Die genaue Verteilung aus den Bundesländern ergibt sich wie folgt.

- Vorarlberg: 42
- Tirol: 4
- Salzburg: 7
- Oberösterreich: 8
- Niederösterreich: 12
- Wien: 14
- Burgenland: 3
- Steiermark: 10
- Kärnten: 5

Abbildung 25: Bundesländerverteilung der untersuchten Objekte



4.2. Excel-Formular zur Verbrauchsdatenerfassung

Im Rahmen des Projekts wurde für die Erfassung der Verbrauchsdaten ein Excel-Formular erstellt, mit welchem alle Objekte einheitlich erfasst und im Anschluss ausgewertet werden können. Folgende Informationen werden mithilfe des Excel-Formulars abgefragt.

- Gebäudedaten
 - Nutzungsprofil
 - Neubau, Sanierung oder Erweiterung und Sanierung
 - Baujahr und Jahr der Sanierung (Sanierung oder Erweiterung und Sanierung)
 - Wohnnutzfläche bzw. Nettogrundfläche
 - Anzahl Wohn- bzw. Nuteinheiten
 - Anzahl Bewohnerinnen und Bewohner bzw. Nutzerinnen und Nutzer

- Energiekennwerte nach PHPP und österreichischem Energieausweis
- Wärmeerzeugung
 - Kombinierte oder getrennte Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser
 - Auswahl Wärmeerzeuger Heizung/Heizung und Warmwasser: Ölkessel, (Flüssig-)Gaskessel, Wärmepumpe, Wärmepumpen-Kompaktgerät, Stromheizung, Kachelofen Ganzhausheizung, Stückholzkessel, Pelletkessel oder Hackschnitzelanlage
 - Auswahl zusätzlicher Wärmeerzeuger Heizung: zusätzlich Kaminofen oder Ethanolofen
 - Auswahl (zusätzlicher) Wärmeerzeuger Warmwasser: zusätzlich Elektroboiler, Heizstab oder Wärmepumpenboiler
- Kälteerzeugung (Nichtwohngebäude)
 - Auswahl Kälteerzeuger: Passive oder freie Kühlung, Kompressionskälteanlage, Absorptionskälteanlage
- Solarthermische Anlage
 - Für Warmwasserbereitung, Heizungsunterstützung und/oder Absorptionskälteanlage (falls vorhanden)
 - Bruttokollektorgröße
- PV-Anlage
 - Nennleistung
 - Nennkapazität Batteriespeicher
- Art der Verbrauchserfassung
 - Erfassungszeitraum
 - Detailierungsgrad
- Verbrauchserfassung pro Jahr des Erfassungszeitraums
 - Gesamter Stromverbrauch
 - Endenergieverbrauch von Wärmeerzeugern jeweils getrennt für Heizung und Warmwasser und in Summe
 - Endenergieverbrauch von Kälteerzeuger
 - Hilfsstromverbrauch jeweils getrennt für Heizung, Warmwasser, Kühlung und Lüftung und in Summe
 - Zusätzliche hohe Energieverbraucher wie bspw. E-Mobilität
 - Solarertrag von solarthermischer Anlage jeweils getrennt für Heizung, Warmwasser und Absorptionskälteanlage (falls vorhanden) und in Summe
 - PV-Ertrag, Netzeinspeisung und Netzbezug

Im Anhang befindet sich das ausgefüllte Excel-Formular von einem der Objekte als Beispiel.

4.3. Randbedingungen und Bilanzgrenze der Verbrauchsdatenerfassung

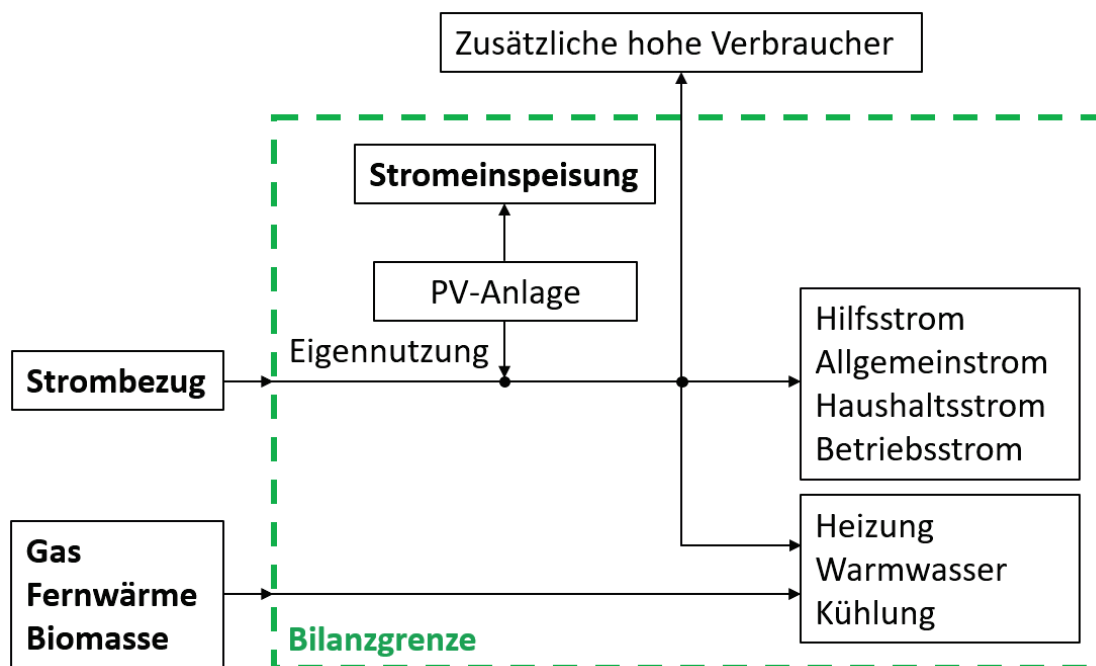
Die folgende Abbildung 26 zeigt die Bilanzgrenze der Verbrauchsdatenerfassung. Es wird der gesamte Endenergieverbrauch (Strom, Gas, Fernwärme und Biomasse) des Objekts erfasst, der über die Grundstücksgrenze an das Gebäude geliefert wird. Dazu gehören folgende Energieverbrauchskategorien, von denen manche nur bei bestimmten Nutzungsprofilen vorkommen.

- Hilfsstrom
- Allgemiestrom (Wohngebäude mit 3 und mehr Nutzungseinheiten)
- Haushaltsstrom (Wohngebäude und wohnähnliche Gebäude)
- Betriebsstrom (Nichtwohngebäude)
- Endenergie für Heizung und Warmwasser
- Endenergie für Kühlung (Nichtwohngebäude)

Zusätzliche hohe Verbraucher, welche beim jeweiligen Nutzungsprofil des Objekts üblicherweise nicht vorkommen, wie beispielsweise der Stromverbrauch für E-Mobilität oder ein Betriebsrestaurant, werden in der Auswertung, sofern möglich, nicht berücksichtigt. Da der Haushaltsstromverbrauch bei den Mehrwohnungsgebäuden in den meisten Fällen nicht erfasst werden konnte, da dieser nur bei den Stromzählern der einzelnen Wohneinheiten erfasst wird und somit für den Gebäudebetreiber üblicherweise nicht zugänglich ist, wird der Haushaltsstromverbrauch bei diesen Objekten mit 24,2 kWh/(m²a) abgeschätzt. Diese Abschätzung beruht auf Auswertungen im Rahmen des Forschungsprojekts Low Cost nZEB (EIV 2022): 22 kWh/(m²_{EBFa}) nach PHPP $\times 1,1 \text{ m}^2_{\text{EBF}}/\text{m}^2_{\text{WNF}} = 24,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNF}})$. Dieser Defaultwert für den Haushaltsstrom ist in den Ergebnisabbildungen in Kapitel 5 separat dargestellt.

Sofern beim Objekt eine PV-Anlage vorhanden ist, wird der eigengenutzte Strom in der Verbrauchsbilanz durch Reduktion des Strombezugs berücksichtigt. Der eingespeiste Strom wird in der Auswertung nicht berücksichtigt. Es erfolgt keine jahresbilanzielle Betrachtung, wie es beispielsweise bei Null- und Plusenergiegebäuden gemacht wird, in welcher die Stromeinspeisung vom Strombezug abgezogen wird.

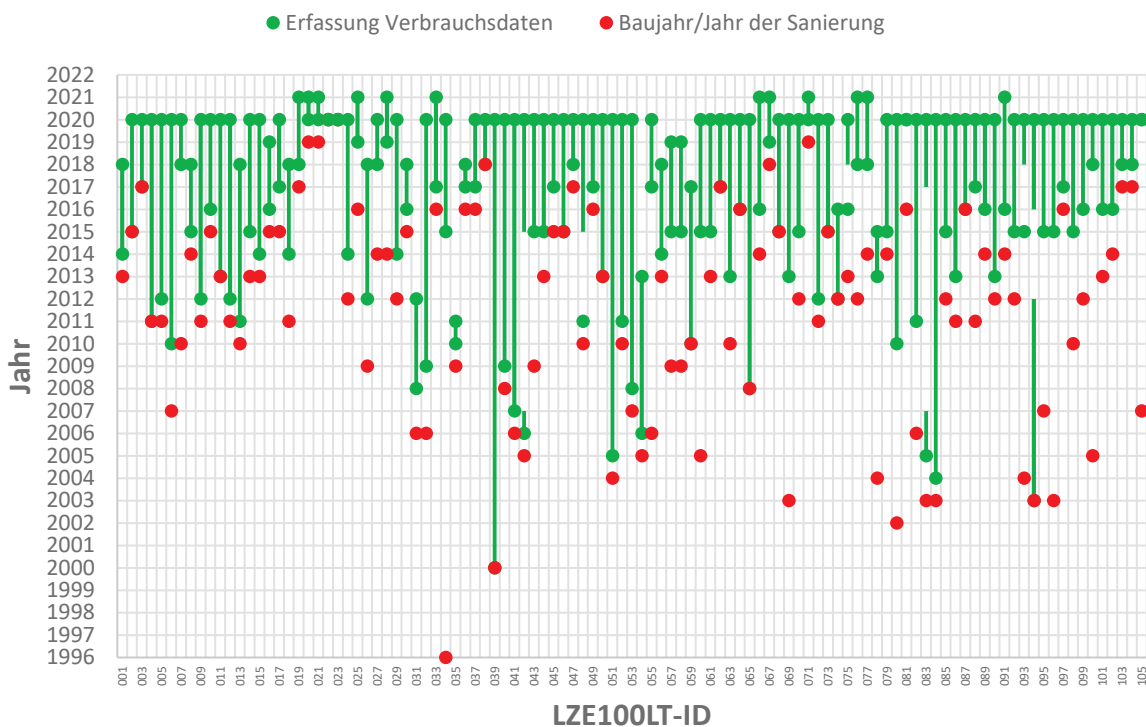
Abbildung 26: Bilanzgrenze der Verbrauchsdatenerfassung



Die folgende Abbildung 27 zeigt für alle untersuchten Objekte das Baujahr bzw. das Jahr der Sanierung als rote Punkte und den Erfassungszeitraum der Verbrauchsdaten als grüne Bereiche, deren Anfang und Ende jeweils mit einem grünen Punkt gekennzeichnet ist. Wenn bei einem Objekt nicht alle

Verbrauchsdaten durchgehend von Anfang bis Ende des Erfassungszeitraums vorliegen, dann wird der grüne Bereich im Diagramm unterbrochen dargestellt. Wie im Diagramm ersichtlich, liegen bei den meisten untersuchten Objekten die Verbrauchsdaten für mindestens drei Messjahre vor. Es wurden aber auch einzelne Objekte in die Auswertung aufgenommen für welche Verbrauchsdaten von nur einem oder zwei Messjahre vorlagen. Dabei handelt es sich jedoch nur um Forschungsobjekte der Programmlinie Haus/Stadt der Zukunft, bzw. Projekte, die im Rahmen von regionalen Landesforschungen durchgeführt wurden und für welche ein detaillierter Monitoringbericht vorliegt.

Abbildung 27: Erfassungszeitraum der Verbrauchsdaten



In der Auswertung werden jedoch nur die aktuellsten fünf Messjahre berücksichtigt. Aus diesen maximal fünf Werten wird der Median gebildet, um den Einfluss von geringerem Energieverbrauch bei unterjähriger Gebäudeinbetriebnahme oder sonstiger zeitweiser Mindernutzung auf die Auswertung zu verhindern. In nachfolgender Abbildung 28 ist der Bereich der Verbrauchsdatenerfassung dargestellt, welcher für die Medianbildung des Verbrauchs für Wärmeanwendungen berücksichtigt wird. In Abbildung 29 ist dasselbe für die Medianbildung des Stromverbrauchs dargestellt. Für einzelne Objekte ist in Abbildung 28 kein Bereich angegeben. Das liegt daran, dass diese Objekte über strombasierte Wärmeerzeuger verfügen und der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser nicht getrennt vom restlichen Stromverbrauch angegeben wurde. Das trifft insbesondere für Einfamilienhäuser zu, bei denen oftmals nur ein gesamter Stromverbrauch für Hilfsstrom, Haushaltsstrom und Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser vorliegt.

Abbildung 28: Medianbildung Verbrauch für Wärmeanwendungen

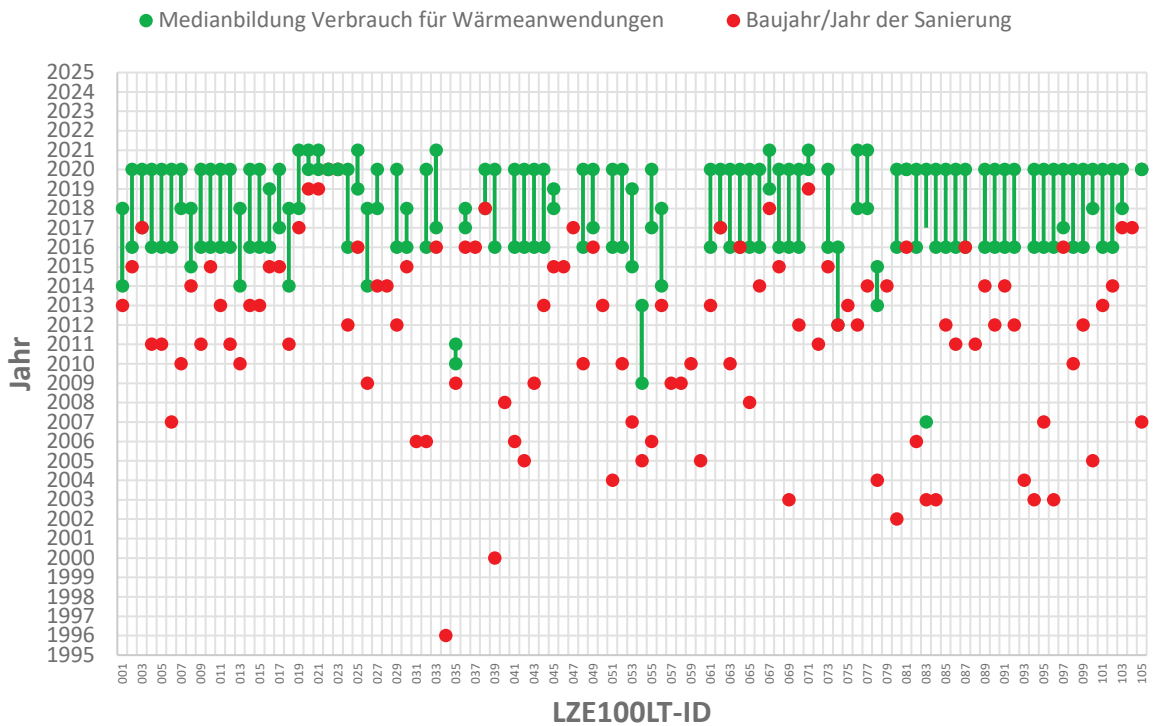
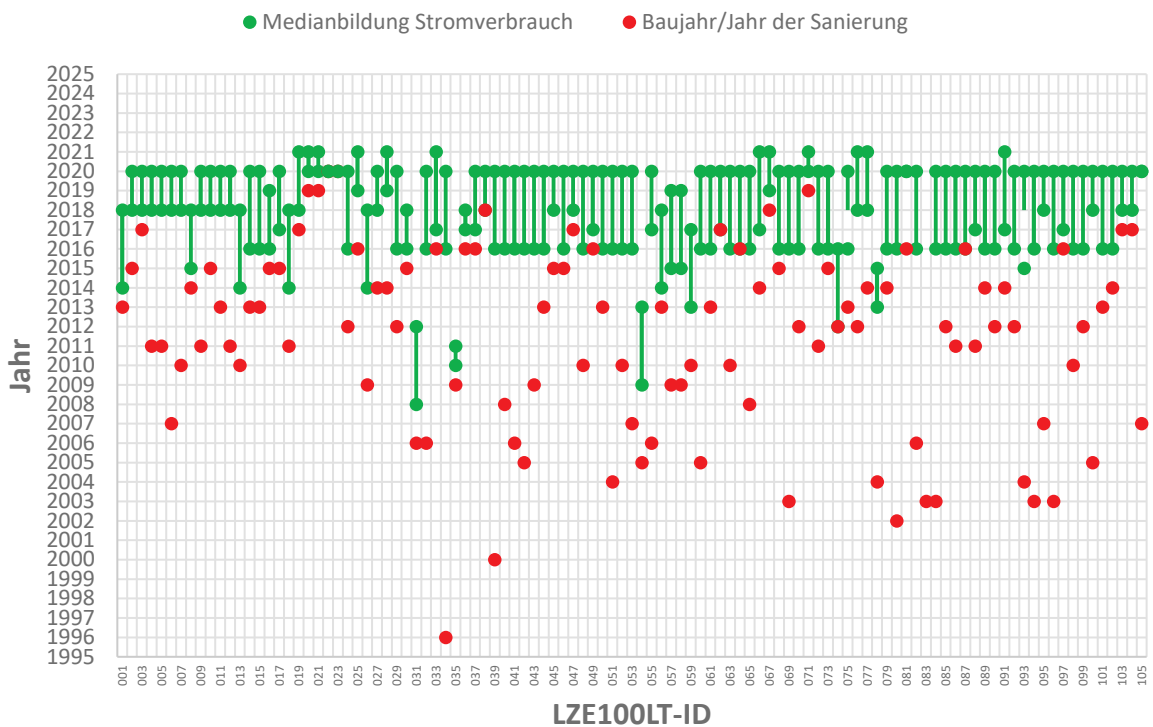


Abbildung 29: Medianbildung Stromverbrauch



Die erfassten Endenergieverbräuche der Objekte werden mithilfe der Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6, 2019 (OIB 2019) in CO_{2eq}-Emissionen umgerechnet.

- Gas: 247 g CO_{2eq}/kWh
- Strom: 227 g CO_{2eq}/kWh
- Fernwärme: 67 g CO_{2eq}/kWh (Mittelwert aus Fernwärme aus erneuerbarem Heizwerk und Fernwärme aus hocheffizienter KWK)
- Biomasse: 17 g CO_{2eq}/kWh

Wie bereits in Kapitel 3.3.6 beschrieben, wäre es sinnvoller den Stromverbrauch bzw. den Endenergieverbrauch Fernwärme eines Gebäudes mit monatlichen CO_{2eq}-Konversionsfaktoren zu bewerten, da die THG-Intensität des österreichischen Verbraucherstrommix bzw. von Fernwärmenetzen jahreszeitlich sehr stark schwankt. Da in diesem Projekt für die einzelnen Objekte jedoch nur Jahresverbräuche vorliegen, können nur jahresmittlere CO_{2eq}-Konversionsfaktoren für die Energieträger Strom und Fernwärme verwendet werden (227 g CO_{2eq}/kWh für Strom und 67 g CO_{2eq}/kWh für Fernwärme nach OIB-Richtlinie 6, 2019). In Kapitel 5.6 erfolgt der direkte Vergleich der CO_{2eq}-Bewertung auf Jahres- und Monatsbasis am Beispiel mehrerer Forschungsprojekte, dessen Verbrauchsdaten auch als Monatswerte vorliegen.

Die gemittelten Endenergieverbräuche (Medianbildung) bzw. CO_{2eq}-Emissionen der Objekte werden in den Ergebnisabbildungen in Kapitel 5 zum einen auf die (Wohn-)Nutzfläche (Wohngebäude, wohnähnliche Gebäude) bzw. Nettogrundfläche (Nichtwohngebäude) aber auch auf die Personenanzahl (Wohngebäude, wohnähnliche Gebäude = Anzahl Bewohnerinnen und Bewohner, Nichtwohngebäude = Anzahl Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Nutzerinnen und Nutzer, Besucherinnen und Besucher) bezogen. Bei einzelnen Wohngebäuden in der Auswertung ist die genaue Anzahl der Bewohnerinnen und Bewohner nicht bekannt. Sie wird für diese Objekte mithilfe folgender Formel ermittelt, welche auch im PHPP (PHI 2017) zur Abschätzung der Anzahl (Bezeichnung P in Formel) verwendet wird. Für die Berechnung wird die Wohnnutzfläche (Bezeichnung WNF in Formel) und die Anzahl Wohneinheiten (Bezeichnung WE in Formel) benötigt. Da in der Originalformel im PHPP die Energiebezugsfläche verwendet wird, wird diese in der nachfolgenden Formel durch eine um 10% erhöhte Wohnnutzfläche ersetzt (WNF x 1,1).

$$P = \left(1 + 1,9 \times \left(1 - e^{\left(-0,00013 \times \left(\frac{WNF \times 1,1}{WE} - 7 \right)^2 \right)} \right) \right) + 0,001 \times \frac{WNF * 1,1}{WE} \times WE$$

Die meisten Ergebnisabbildungen in Kapitel 5 sind ohne Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur der einzelnen Erfassungsjahre. Die Ergebnisabbildungen in Kapitel 5.5 werden jedoch einmal ohne und einmal mit Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur dargestellt, um den Einfluss der jährlich leicht schwankenden Klimabedingungen und der Innenraumtemperatur auf den Endenergieverbrauch der Wärmeerzeugung darzustellen. Dazu wird die Heizgradstundenberechnung nach PHPP verwendet, welche sowohl die Monatsmitteltemperaturen als auch die mittlere Innenraumtemperatur im Winter berücksichtigt. Damit können für jedes Objekt und jedes Erfassungsjahr die Heizgradstunden in kWh/a ermittelt werden. Wird nun der Referenz-Heizgradstundenwert durch die ermittelten Heizgradstunden geteilt, dann ergibt sich ein Korrekturfaktor welcher mit dem jeweiligen Endenergieverbrauch der Wärmeerzeugung multipliziert wird. Sind die ermittelten Heizgradstunden höher als der Referenz-Heizgradstundenwert, dann war das jeweilige Jahr am Objektstandort entweder kälter oder die Innenraumtemperatur höher als die Referenzsituation und es ergibt sich ein Korrekturfaktor kleiner 1. Der Endenergieverbrauch der Wärmeerzeugung wird in diesem Fall runterkorrigiert. Im umgekehrten Fall ergibt sich ein Korrekturfaktor größer 1, womit der Endenergieverbrauch hochkorrigiert wird. Als Referenz-Heizgradstunden werden 94,6 kWh/a gewählt,

welche dem PHPP-Klimadatensatz für den Standort Feldkirch bei einer mittleren Innentemperatur im Winter von 22 °C entspricht.

Die Monatsmitteltemperaturen für jedes Erfassungsjahr und jedes Objekt sind dem Jahrbuch der ZAMG (Zamg 2022) entnommen. Es wird für jedes Objekt die nächste Klimastation zum Objektstandort gewählt.

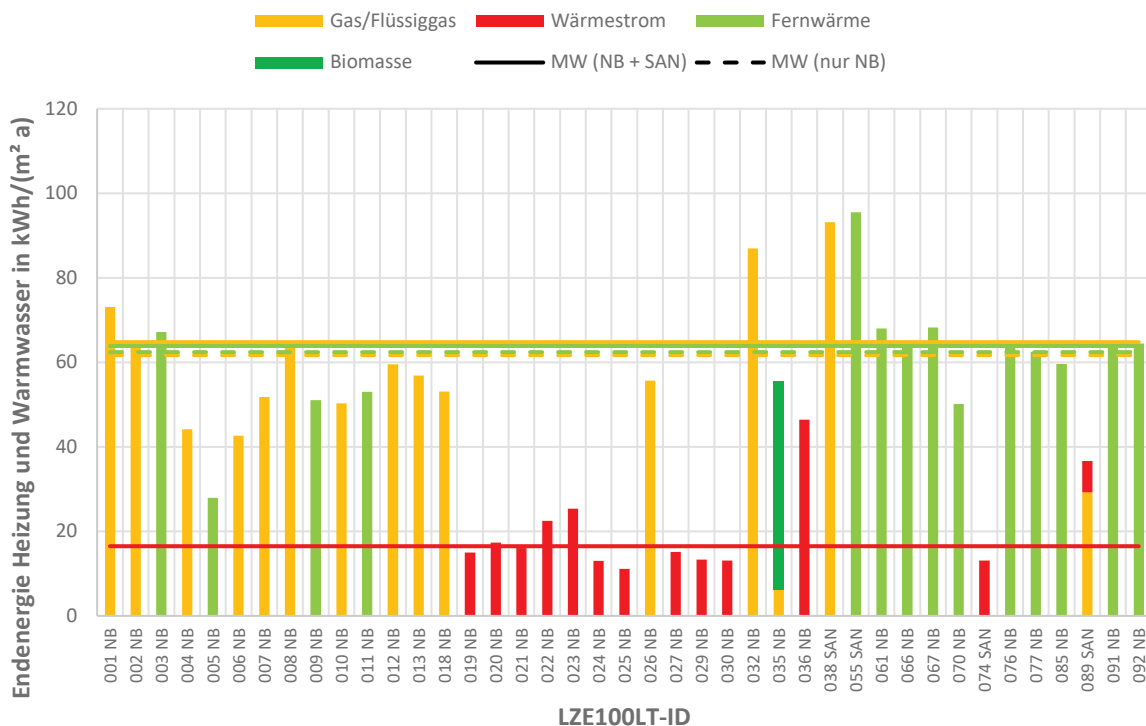
5 Ergebnisse

5.1. Mehrwohnungsgebäude

5.1.1. Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser

Die folgende Abbildung 30 zeigt den spezifischen Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser von 41 Mehrwohnungsgebäuden bezogen auf die Wohnnutzfläche getrennt nach Energieträger. In dieser Abbildung sind alle Mehrwohnungsgebäude aufgeführt, bei denen der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser getrennt vom restlichen Energieverbrauch und vollständig erfasst vorliegt. Vollständig erfasst bedeutet hierbei, dass alle Energieverbräuche für die Deckung des gesamten Wärmebedarfs separat erfasst vorliegen (bspw. auch der Verbrauch eines Elektroheizstabs). Wenn nicht alle Energieverbräuche eines Objekts separat erfasst vorliegen, dann wird es in dieser Abbildung nicht dargestellt. Auf der x-Achse ist zusätzlich zur LZE100LT-ID angegeben, ob es sich beim Objekt um einen Neubau (NB) oder eine Sanierung (SAN) handelt. Bei Projekt 036 handelt es sich um Gebäude mit direkt elektrischer Wärmebereitung für Heizung und Warmwasser, weshalb sich ein wesentlich höherer Stromverbrauch im Vergleich zu den anderen strombasierten Heizsystemen ergibt.

Abbildung 30: Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser pro Wohnnutzfläche nach Energieträger – Mehrwohnungsgebäude



Die durchgezogenen Linien zeigen den mittleren Endenergieverbrauch je nach Energieträger für alle dargestellten Mehrwohnungsgebäude (Neubauten und Sanierungen), nach Wohnnutzfläche gemittelt. Die gestrichelten Linien zeigen den mittleren Endenergieverbrauch für alle dargestellten Neubauten.

- Gas: 64,8 kWh/(m²_{WNFA}) (Neubauten und Sanierungen) bzw. 61,7 kWh/(m²_{WNFA}) (nur Neubauten)
- Fernwärme: 63,9 kWh/(m²_{WNFA}) (Neubauten und Sanierungen) bzw. 62,4 kWh/(m²_{WNFA}) (nur Neubauten)
- Strom: 16,5 kWh/(m²_{WNFA}) (Neubauten und Sanierungen)

Die besten gasbeheizten Mehrfamilienhäuser erreichen spezifische Endenergieverbräuche_{Heiz+WW} von 42 bis 44 kWh/(m²_{WNFA}) und liegen damit nur knapp über dem Wert von 40 kWh/(m²_{WNFA}), der im Kriterienkatalog klimaaktiv in der Gebäudenutzung für die Höchstbepunktung definiert ist. Beide Gebäude haben eine sehr gute Gebäudehülle (Passivhausniveau), eine Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung sowie Solarthermieanlagen. Der gemessene Verbrauch beider Gebäude entspricht sehr gut den nach PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen mit realistischen Randbedingungen zu erwartenden Wert.

Die gemessenen spezifischen Verbräuche der besten gasbeheizten Mehrfamilienhäuser liegen um 50% unter den Werten gasbeheizter Neubauten, die gerade die Mindestanforderungen der OIB-Richtlinie 6 (2019) erfüllen – siehe Abbildung 5. Die besten fernwärmebeheizten Mehrfamilienhäuser erreichen spezifische Endenergieverbräuche_{Heiz+WW} von 50 bis 53 kWh/(m²_{WNFA}), ein „positiver Ausreißer“ liegt mit 28 sogar deutlich unter diesen Werten. Die besten fünf wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäuser – darunter eine Gebäudesanierung – erreichen spezifische Endenergieverbräuche_{Heiz+WW} von 12 bis 13 kWh/(m²_{WNFA}) und liegen damit sehr nah am Wert von 12 kWh/(m²_{WNFA}), für den im 2017er klimaaktiv Kriterienkatalog „In der Gebäudenutzung“ die Höchstpunktzahl im Neubau vergeben wird.

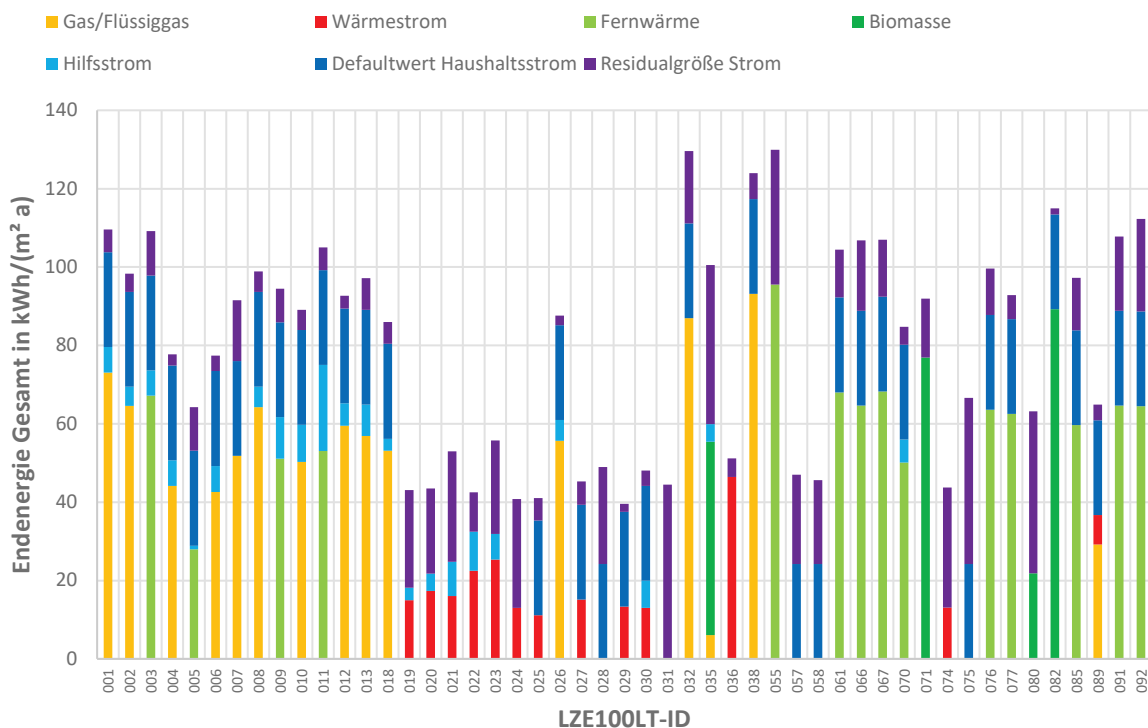
5.1.2. Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen

Die folgende Abbildung 31 zeigt den spezifischen, netzbezogenen Endenergieverbrauch⁹ der Mehrfamilienhäuser für alle Energieanwendungen bezogen auf die Wohnnutzfläche getrennt nach Energieträger. Die Balken „Gas/Flüssiggas“, „Wärmestrom“, „Fernwärme“ und „Biomasse“ entsprechen den Endenergieverbräuchen für Heizung und Warmwasser aus Abbildung 30. Wie bereits in Kapitel 4.3 beschrieben, konnte der Haushaltsstromverbrauch bei den Mehrwohnungsgebäuden in den meisten Fällen nicht erfasst werden, da dieser nur bei den Stromzählern der einzelnen Wohneinheiten erfasst wird und somit für die Gebäudebetreiberin bzw. den Gebäudebetreiber üblicherweise nicht zugänglich ist. Der geschätzte Haushaltsstromverbrauch ist als eigener Balken „Defaultwert Haushaltsstrom“ gekennzeichnet. Der Balken „Residualgröße Strom“ ist die sogenannte Residualgröße und enthält alle Endenergieverbräuche (Endenergieverbrauch Heizung und Warmwasser, Hilfsstrom, Allgemiestrom und Haushaltsstrom), sofern diese nicht schon separat im Balkenturm dargestellt sind, abzüglich der PV-Eigennutzung, sofern vorhanden. Bei Objekt „030“ enthält der Balken „Residualgröße Strom“ nur den Allgemiestrom, da der Stromverbrauch der Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser, der Hilfsstrom und der Haushaltsstrom schon als separate Balken dargestellt sind. Bei Objekt „031“ enthält der Balken „Residualgröße Strom“ sowohl den Stromverbrauch der Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser als auch den Hilfsstrom, Allgemiestrom und Haushaltsstrom, da keiner von diesen separat dargestellt ist. Bei Objekt 022

⁹ Als netzbezogener Endenergieverbrauch wird in diesem Bericht der aus dem Netz bezogene Stromverbrauch des Gebäudes bezeichnet. Dieser entspricht dem gesamten Endenergieverbrauch (Strom) abzüglich der eigengenutzten Anteile des PV-Stromertrags.

beinhaltet der Balken „Residualgröße Strom“ den Allgemein- und Haushaltsstrom abzüglich der PV-Eigennutzung. Der Allgemein- und Haushaltsstrom des Objekts ist $25,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$, wird jedoch durch Abzug der gesamten PV-Eigennutzung auf $10,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ reduziert, was im Balken „Residualgröße Strom“ dargestellt ist.

Abbildung 31: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro Wohnnutzfläche nach Energieträger – Mehrwohnungsgebäude



Die 9 besten wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäuser - darunter eine Sanierung – haben einen spezifischen Strom-Netzbezug von etwa 40 bis $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Wie schon in Abbildung 29 dargestellt liegen die Verbräuche der besten 5 wärmepumpenbeheizten Gebäude für Heizung und Warmwasser bei etwa 12 bis $13 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$, drei weitere Projekte erreichen Werte von 15 bis $17 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Die Hilfsstromverbräuche der besten dieser Gebäude liegen - wo messtechnisch separat erfasst - bei $3,2$ bis $8,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

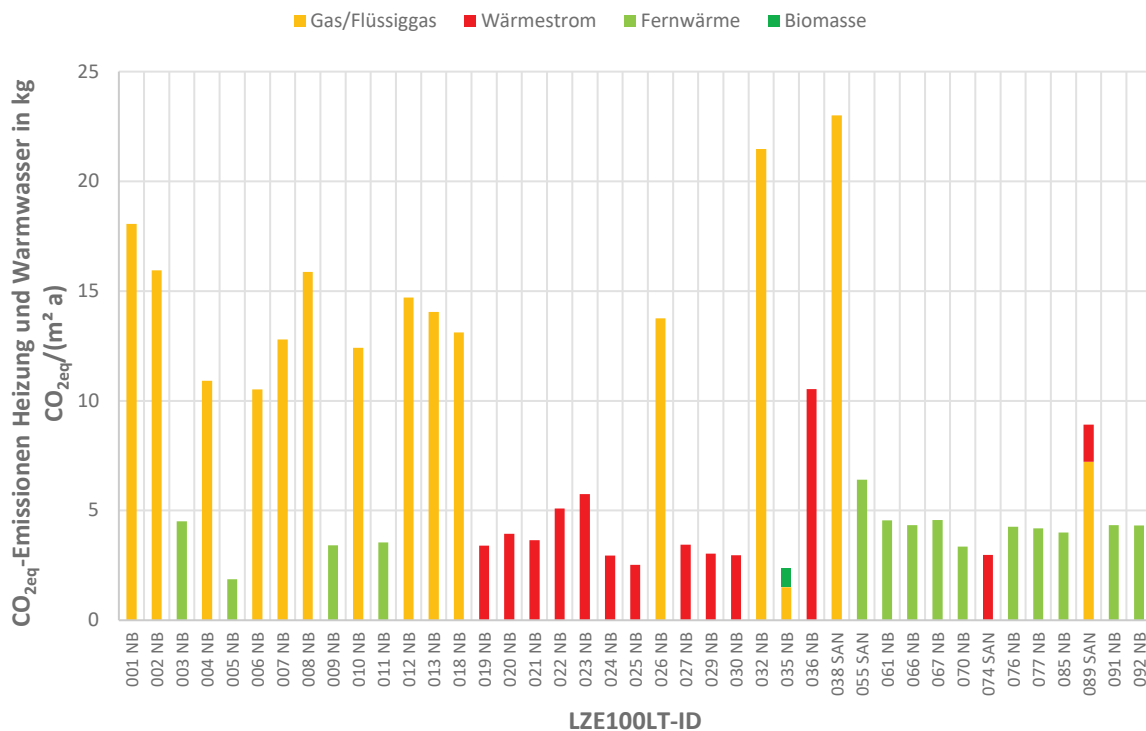
Für die energetisch besten wärmepumpenbeheizten Gebäude liegt damit der Stromverbrauch für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom niedriger als der Haushaltsstrombedarf, der in den Projekten, in denen er messtechnisch erfasst wurde, in der Größenordnung von etwa 22 bis $28 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{WNFA}}$ liegt. Diese Größenordnungen zeigen, dass die Bilanzgrenze für Gebäude in jedem Fall den Haushaltsstrom beinhalten sollte und dass Energiekonzepte für Mehrfamilienhäuser Konzepte zur Reduktion des Haushaltsstrombedarfs umfassen sollten.

Die technischen Potenziale zur Verringerung des Haushaltsstromverbrauchs werden u.a. in einem Projekt in Frankfurt aufgezeigt: in dem Gebäude, in dem die Wohnungen vom Vermieter mit marktbesten Elektro-Großgeräten ausgestattet wurde, konnte der spezifische Verbrauch auf $14,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ reduziert werden (EIV 2022).

5.1.3. CO_{2eq}-Emissionen Heizung und Warmwasser

Die folgende Abbildung 32 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für Heizung und Warmwasser von Mehrwohnungsgebäuden bezogen auf die Wohnnutzfläche getrennt nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019).

Abbildung 32: CO_{2eq}-Emissionen für Heizung und Warmwasser pro Wohnnutzfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Mehrwohnungsgebäude



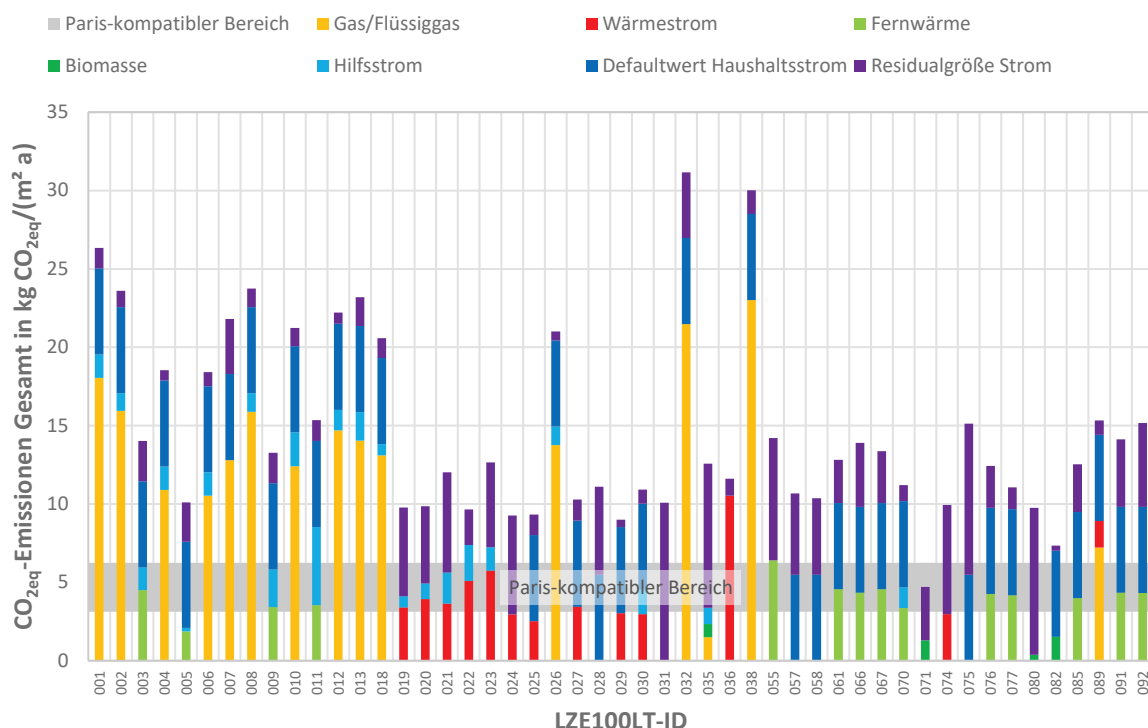
Wie die Abbildung zeigt, liegen die CO_{2eq}-Emissionen der erdgasbeheizten Gebäude für Heizung und Warmwasser bei etwa 10,5 bis 23 kg/(m²_{WNFA}). Dieser Wert liegt um ein Mehrfaches über den Paris-kompatiblen Emissionen von Mehrfamilienhäusern in Summe aller Energieanwendungen, d.h. inkl. der Emissionen aufgrund des Energieverbrauchs für Hilfs-, Allgemein- und Haushaltsstrom. Diese liegen bei etwa 3 bis 6 kg/(m²_{WNFA}) (EIV 2022). Mit gasbeheizten Gebäuden können die aus Klimaschutzgründen notwendigen Emissionsgrenzwerte nicht eingehalten werden, zumal die spezifischen Emissionen von Gas tendenziell steigen werden, wenn – wie angesichts der Bestrebungen zum Ersatz russischen Erdgases zu erwarten – zunehmend höhere Anteile an LNG genutzt werden.

Die Emissionen der wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäuser aufgrund des Energieeinsatzes für Heizung und Warmwasser liegen – bei Verwendung des Jahres-Konversionsfaktors der OIB-Richtlinie 6 (2019) für Strom – zwischen knapp 3 und knapp 6 kg/(m²_{WNFA}). Wie in Kapitel 5.6 dargestellt liegen die unter Verwendung monatlicher Konversionsfaktoren für den Verbraucherstrommix Österreich berechneten Werte merklich höher, da der zum Heizen im Winter verwendete Anteil des Stroms deutlich höhere spezifische Emissionen verursacht.

5.1.4. CO_{2eq}-Emissionen alle Anwendungen

Die folgende Abbildung 33 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen von Mehrwohnungsgebäuden bezogen auf die Wohnnutzfläche getrennt nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019). Wie bereits in Abbildung 31 entsprechen die Balken „Gas/Flüssiggas“, „Wärmestrom“, „Fernwärme“ und „Biomasse“ den CO_{2eq}-Emissionen für Heizung und Warmwasser aus Abbildung 32. Die CO_{2eq}-Emissionen des geschätzten Haushaltsstromverbrauchs ist wiederum als eigener Balken „Defaultwert Haushaltsstrom“ gekennzeichnet, der Balken „Residualgröße Strom“ ist auch hier die Residualgröße.

Abbildung 33: CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen pro Wohnnutzfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Mehrwohnungsgebäude



Wie die Abbildung zeigt, liegen die CO_{2eq}-Emissionen der erdgasbeheizten Gebäude in Summe aller Energieanwendungen mit etwa 17 bis 31 kg/(m²_{WNFA}a) um ein Mehrfaches über den Paris-kompatiblen Emissionen (grauer Bereich). Diese liegen bei etwa 3 bis 6 kg/(m²_{WNFA}a) (EIV 2022). Mit gasbeheizten Gebäuden können die aus Klimaschutzgründen notwendigen Emissionsgrenzwerte nicht eingehalten werden, zumal die spezifischen Emissionen von Gas tendenziell steigen werden, wenn – wie angesichts der Bestrebungen zum Ersatz russischen Erdgases zu erwarten – zunehmend höhere Anteile an LNG genutzt werden.

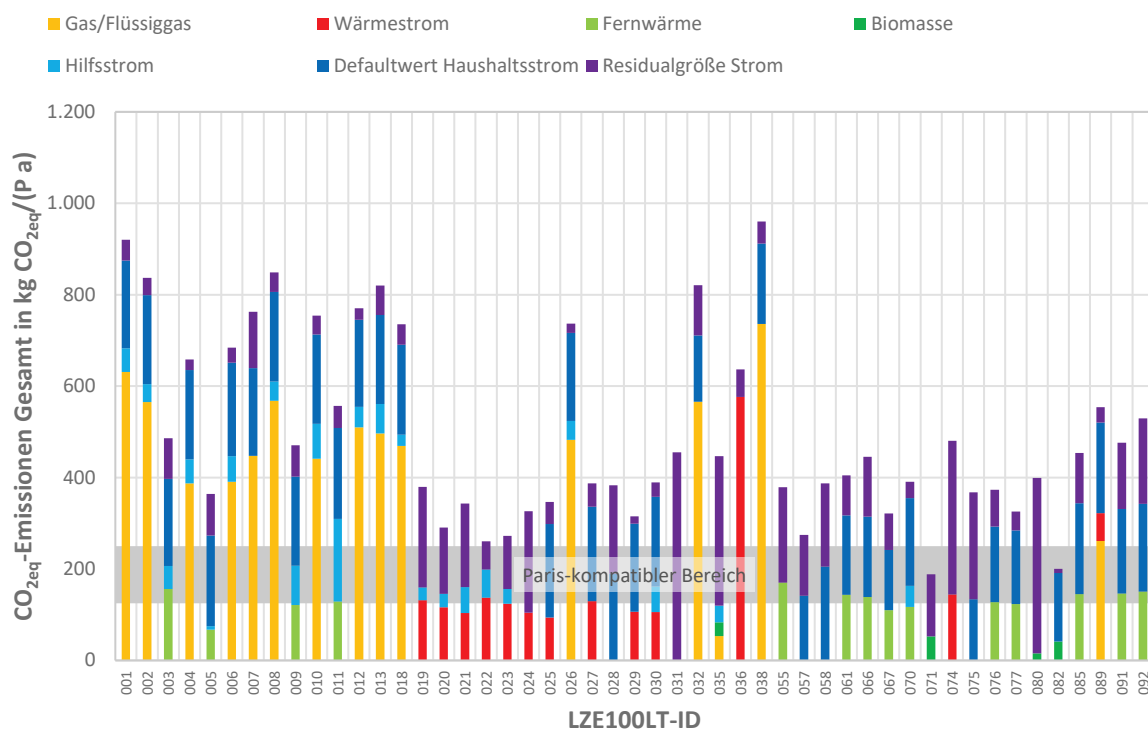
Die Emissionen der besten wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäuser liegen bei etwa 11 kg/(m²_{WNFA}a), wenn der Stromverbrauch mit dem Jahres-Konversionsfaktor der OIB-Richtlinie 6 (2019) bewertet wird. Wie in Kapitel 5.6 dargestellt, sollte der Verbraucherstrommix jedoch mit monatlichen Konversionsfaktoren bewertet werden. Bei dieser realistischeren Art der Bewertung ergeben sich etwas höhere THG-Emissionen der wärmepumpenbeheizten Gebäude. Bei den für 2030 zu

erwartenden spezifischen Treibhausgasemissionen des Verbraucherstroms Österreich (siehe Abbildung 14) werden die besten wärmepumpenbeheizten Gebäude Emissionen im Paris-kompatiblen Bereich (d.h. bis max. 6,25 kg/(m²_{WNF}a) erreichen – siehe Darstellung in (EIV 2022).

Der sehr niedrige Emissionswert des Objekts 071 ergibt sich, da das Gebäude über Biomasse beheizt wird. Wie in Kapitel 3.2.3 erläutert, sollte Biomasse jedoch nur in absoluten Ausnahmefällen zur Beheizung neuer Mehrfamilienhäuser eingesetzt werden: Angesichts der sehr begrenzten Biomassepotenzials und des großen zukünftigen Bedarfs der Industrie (zur Substitution fossiler Energieträger für Mittel- und Hochtemperaturprozesse) sollte Biomasse im Gebäudebereich tendenziell eher in KWK-Anlagen in Fernwärmenetzen oder als „Notlösung“ in Bestandsgebäuden eingesetzt werden, für die weder Wärmepumpen noch Fernwärme in Frage kommen.

Die folgende Abbildung 34 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen von Mehrwohnungsgebäuden bezogen auf die Anzahl Bewohnerinnen und Bewohner getrennt nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019).

Abbildung 34: CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Mehrwohnungsgebäude



Wie die Abbildung verdeutlicht, liegen die pro-Kopf-Treibhausgasemissionen einiger der wärmepumpenbeheizten Gebäude schon bei den spezifischen Emissionen des aktuellen österreichischen Verbraucherstrommix nach OIB-Richtlinie 6 (2019) nur knapp über dem Paris-kompatiblen Wertebereich. Mit dem für 2030 anzunehmenden Strommix werden diese Gebäude Paris-kompatible pro-Kopf-Emissionen erreichen.

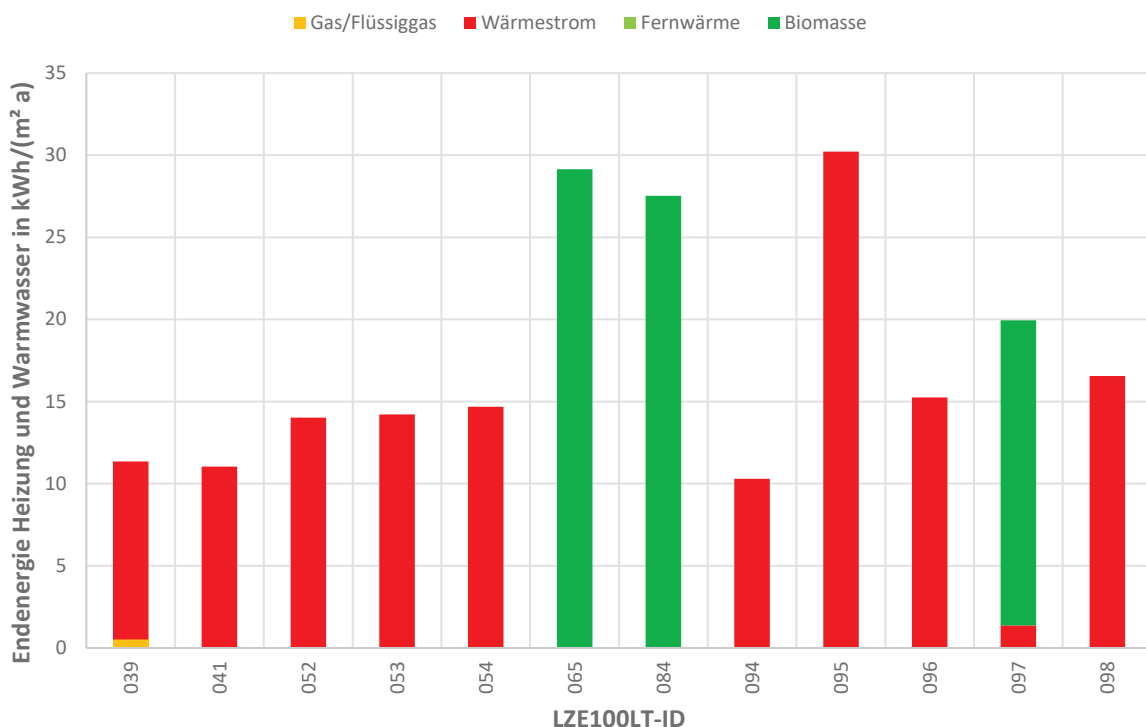
Auffällig ist, dass die pro-Kopf-Emissionen der beiden Gebäude in Dafins (LZE100LT-ID 022 und 023) schon mit aktuellem Strommix nur geringfügig über dem Paris-kompatiblen Wertebereich liegen (Abbildung 34), während ihre flächenspezifischen Emissionen bei aktuellem Strommix merklich über dem Paris-kompatiblen Bereich liegen. Grund für diese Tatsache ist, dass die beiden Gebäude mit 27 bzw. 21,6 m²_{WNF} pro Person sehr dicht belegt sind, so dass sich der Verbrauch auf viele Personen aufteilt. Die beiden Gebäude in Dafins verdanken also die sehr niedrigen pro-Kopf-Emissionen der Kombination aus hoher Effizienz mit hoher Suffizienz.

5.2. Einfamilienhäuser

5.2.1. Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser

Die folgende Abbildung 35 zeigt den spezifischen Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser von Einfamilienhäusern bezogen auf die Wohnnutzfläche getrennt nach Energieträger. In dieser Abbildung sind, wie bereits bei Abbildung 30, nur die Objekte aufgeführt, bei denen der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser getrennt vom restlichen Energieverbrauch und vollständig erfasst vorliegt.

Abbildung 35: Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser pro Wohnnutzfläche nach Energieträger – Einfamilienhäuser

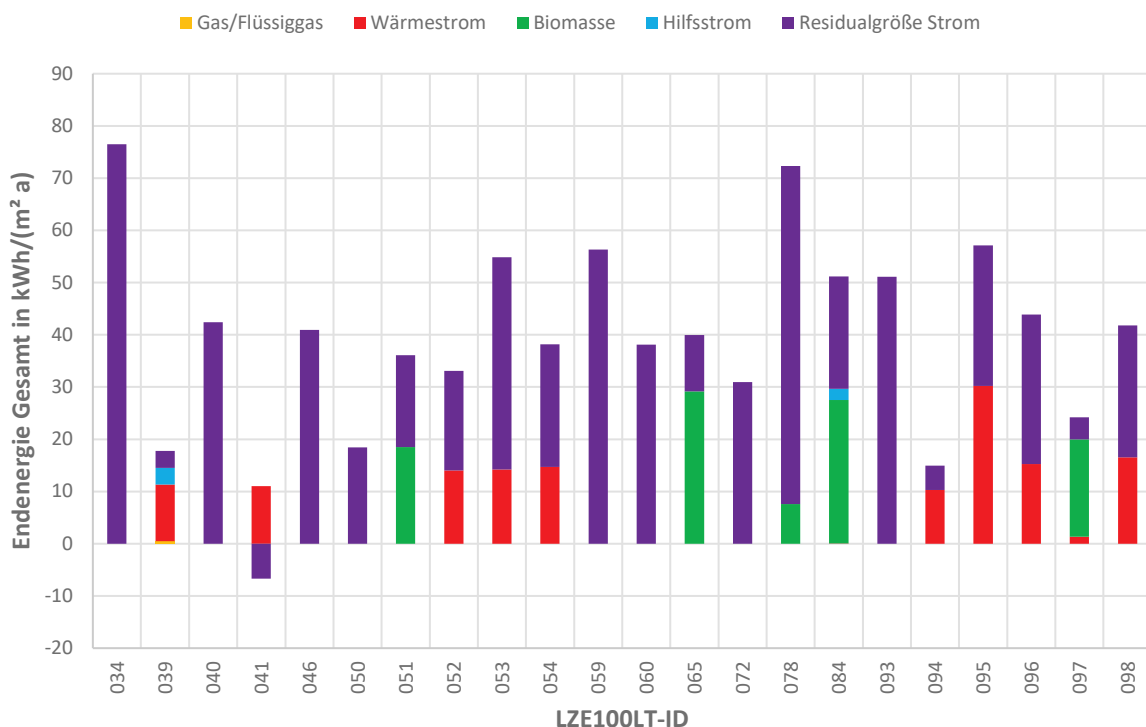


Die Endenergieverbräuche der besten wärmepumpenbeheizten Einfamilienhäuser liegen mit etwa 10 bis 15 kWh/(m²_{WNF}a) in der gleichen Größenordnung, wie die Werte der Mehrfamilienhäuser.

5.2.2. Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen

Die folgende Abbildung 36 zeigt den spezifischen, netzbezogenen Endenergieverbrauch für alle Anwendungen von Einfamilienhäusern bezogen auf die Wohnnutzfläche getrennt nach Energieträger. Die Balken „Gas/Flüssiggas“, „Wärmestrom“ und „Biomasse“ entsprechen den Endenergieverbräuchen für Heizung und Warmwasser aus Abbildung 35. Der Balken „Residualgröße Strom“ kann alle Endenergieverbräuche (Endenergieverbrauch Heizung und Warmwasser, Hilfsstrom und Haushaltsstrom) enthalten, sofern diese nicht schon separat im Balkenturm dargestellt sind, abzüglich der PV-Eigennutzung, sofern vorhanden. Beim Projekt 041 ergibt sich beim Balken „Residualgröße Strom“ ein negativer Wert, da bei diesem Projekt die PV-Eigennutzung für Stromverbrauch der Wärmepumpe, Hilfsstrom und Haushaltsstrom aufgrund eines Batteriespeichers größer ist als die Summe aus Hilfsstrom und Haushaltsstrom (Stromverbrauch der Wärmepumpe ist separat angegeben).

Abbildung 36: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro Wohnnutzfläche nach Energieträger – Einfamilienhäuser



Der Gesamt-Netzbezug der vier besten wärmepumpenbeheizten Gebäude liegt zwischen 11 und 18 kWh/(m²_{WNFA}), u.a. das Projekt 050, ein lastabtragendes Strohhaus sowie die in Kapitel 5.6 detailliert vorgestellten Projekte.

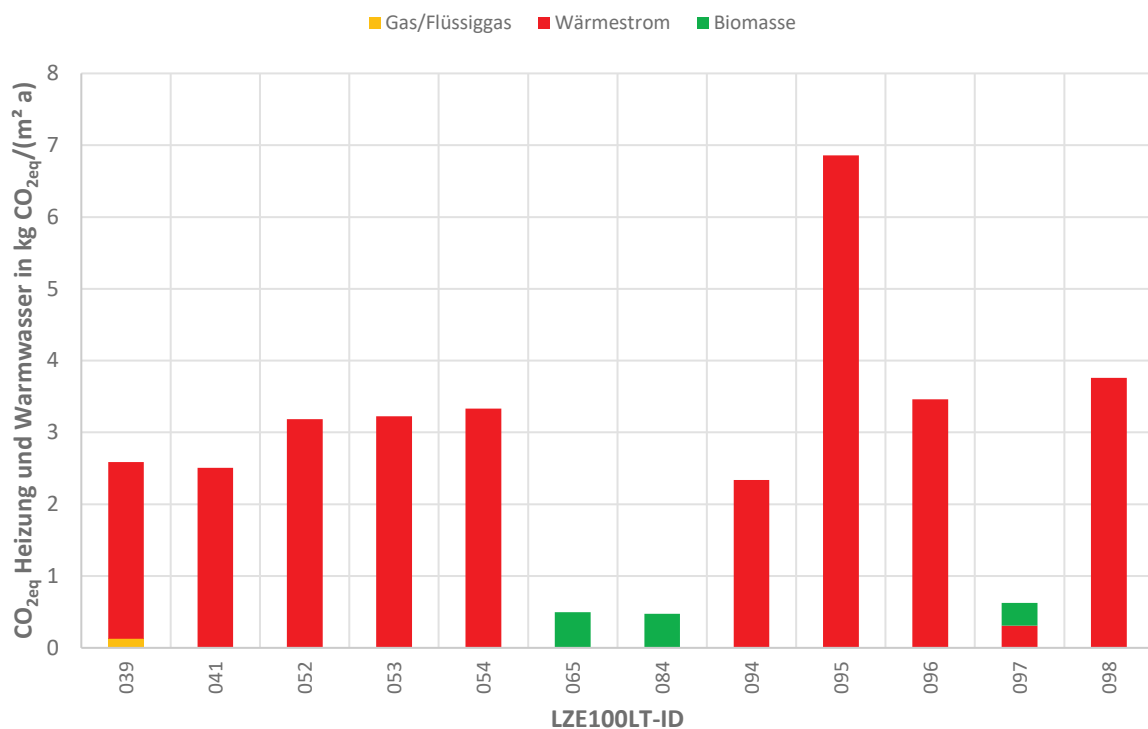
Die Ergebnisse der Einfamilienhäuser sind ohne detailliertes Monitoring und detaillierte Angaben zur Anzahl der Nutzerinnen und Nutzer und deren Verhalten (Anwesenheitszeiten, Lüftungsverhalten, Warmwasserbedarf...) usw. deutlich schwerer interpretierbar als die Werte von Mehrfamilienhäusern. Während das „mittlere Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer“ in Mehrfamilienhäusern inzwischen sehr gut bekannt ist und daher in Verbrauchsprognoseberechnungen mit hoher Genauigkeit vorab ermittelt werden kann, kann das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer einzelner Haushalte in

Einfamilienhäusern stärker schwanken. Dies gilt umso mehr, wenn, wie in einigen der untersuchten Gebäude Zusatznutzungen wie E-Autos im Verbrauch enthalten sind, ein Büro samt Server mit beherbergen, oder ursprünglich unbeheizte Keller außerhalb der ursprünglichen thermischen Hülle nachträglich in Büroräume umgewandelt wurden und elektrisch direkt beheizt werden.

5.2.3. CO_{2eq}-Emissionen Heizung und Warmwasser

Die folgende Abbildung 37 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für Heizung und Warmwasser von Einfamilienhäusern bezogen auf die Wohnnutzfläche getrennt nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019).

Abbildung 37: CO_{2eq}-Emissionen für Heizung und Warmwasser pro Wohnnutzfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Einfamilienhäuser

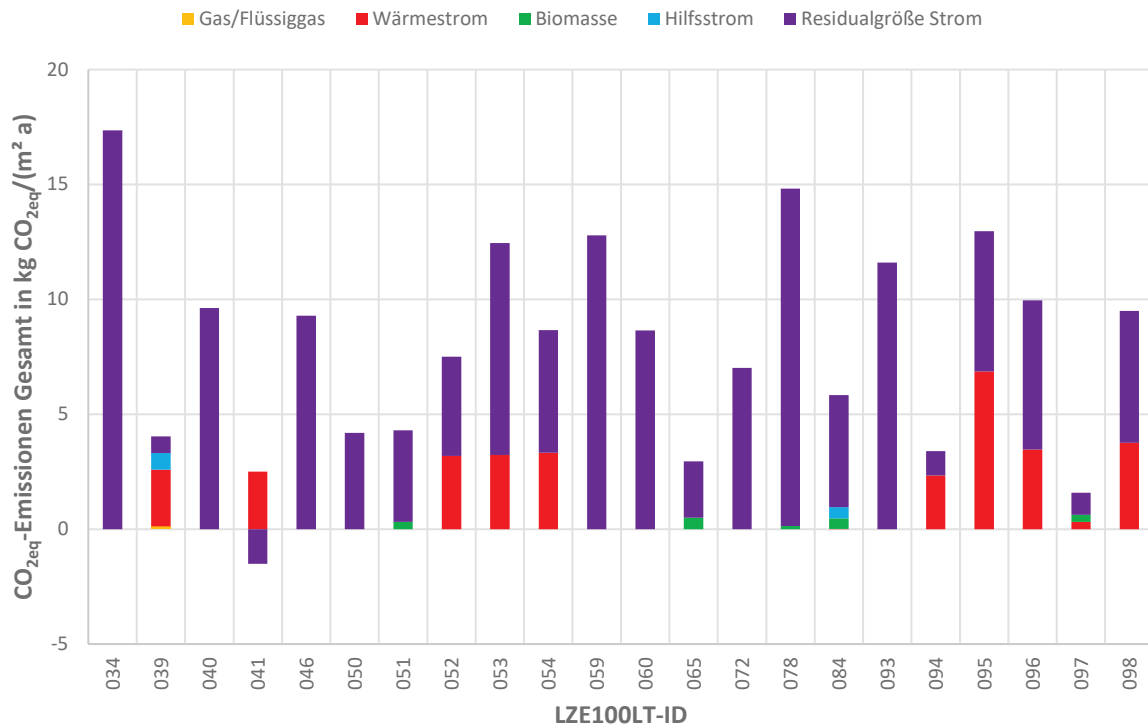


Die besten wärmepumpenbeheizten Einfamilienhäuser erreichen sehr niedrige flächenspezifische THG-Emissionen für Heizung und Warmwasser. Noch niedriger sind die Emissionen der biomassebeheizten Gebäude, für die jedoch der gleiche Vorbehalt gilt, wie für die Mehrfamilienhaus-Neubauten: angesichts der begrenzten für den Gebäudebereich zur Verfügung stehenden Biomassepotenziale sollte die Biomasseheizung im Neubau nicht als Standardlösung angestrebt werden.

5.2.4. CO_{2eq}-Emissionen alle Anwendungen

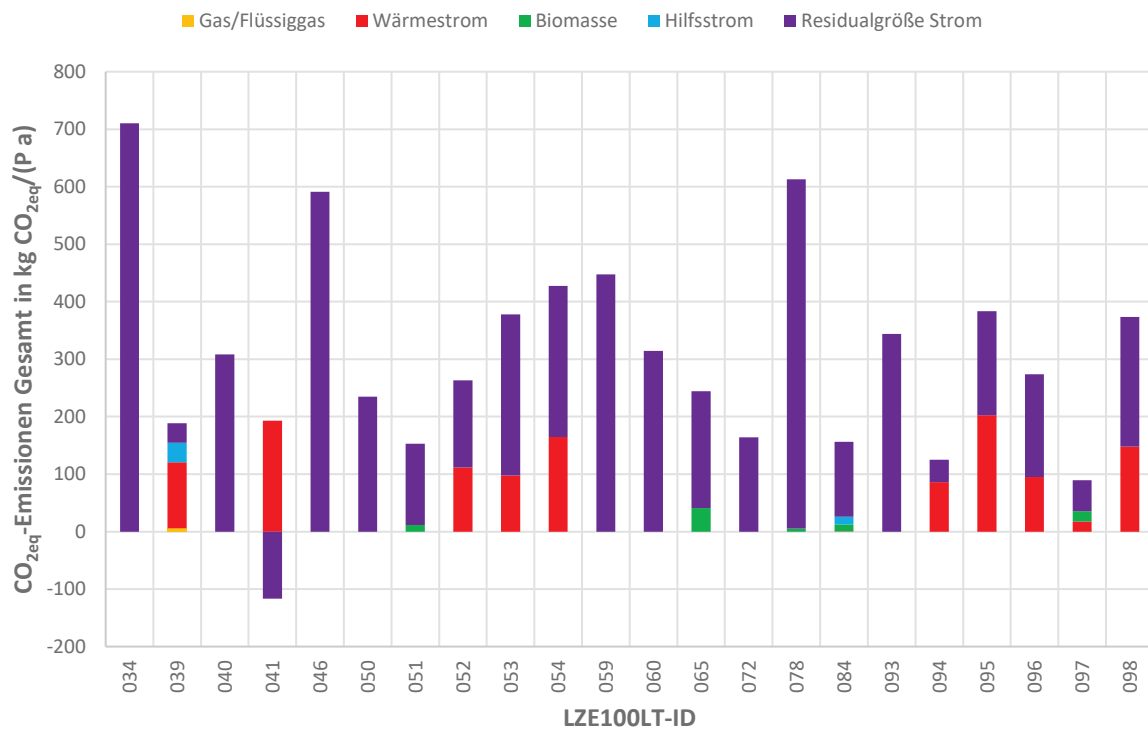
Die folgende Abbildung 38 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen von Einfamilienhäusern bezogen auf die Wohnnutzfläche getrennt nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019).

Abbildung 38: CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen pro Wohnnutzfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Einfamilienhäuser



Wie die Abbildung zeigt, haben die besten Einfamilienhäuser sehr niedrige flächenspezifische THG-Emissionen. Gerade für Einfamilienhäuser erscheint es jedoch wichtig, als zusätzliches Kriterium die pro-Kopf-Emissionen zu berücksichtigen. Diese sind in der folgenden Abbildung 39 getrennt nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) dargestellt.

Abbildung 39: CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Einfamilienhäuser



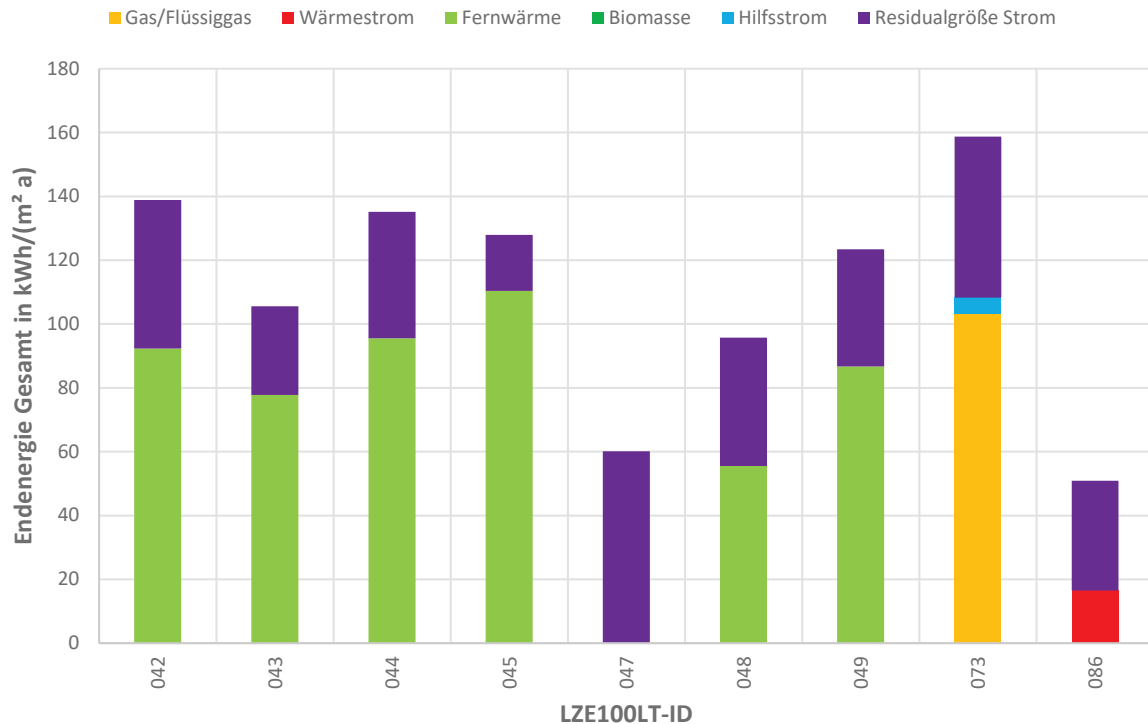
Wie die Abbildung 39 verdeutlicht, liegen die pro-Kopf-Treibhausgasemissionen von 41 % der untersuchten Einfamilienhäuser schon mit dem aktuellen österreichischen Verbraucherstrommix im Paris-kompatiblen Wertebereich (125 – 250 kg CO_{2eq}/P a). Mit dem für 2030 anzunehmenden Strommix werden bereits über 80 % die Paris-kompatible pro-Kopf-Emissionen erreichen.

5.3. Wohnähnliche Gebäude

5.3.1. Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen

Die folgende Abbildung 40 zeigt den spezifischen, netzbezogenen Endenergieverbrauch für alle Anwendungen von wohnähnlichen Gebäuden (Heime, Beherbergungsbetriebe) bezogen auf die Nutzfläche getrennt nach Energieträger. Bei Projekt 086 handelt es sich um einen Beherbergungsbetrieb, bei Projekt 073 um ein Seniorenpflegeheim, die restlichen Objekte sind Studierendenwohnheime. Die Balken „Gas/Flüssiggas“, „Wärmestrom“ und „Fernwärme“ sind die Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser des jeweiligen Objekts, sofern diese Verbräuche separat erfasst vorliegen. Der Balken „Residualgröße Strom“ ist, wie bereits bei den Wohngebäuden, die sogenannte Residualgröße, welche alle Endenergieverbräuche (Endenergieverbrauch Heizung und Warmwasser, Hilfsstrom, Allgemestrom und Haushaltsstrom) beinhalten kann, sofern diese nicht schon separat im Balkenturm dargestellt sind, abzüglich der PV-Eigennutzung, sofern vorhanden.

Abbildung 40: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro Nutzfläche nach Energieträger – wohnähnliche Gebäude



Wie die Abbildung zeigt, liegen die spezifischen Endenergieverbräuche der wohnähnlichen Gebäude höher als die der Mehrfamilienhäuser. Dies ist aufgrund der abweichenden Nutzungsrandbedingungen – etwa für Pflegeheime mit höheren durchschnittlichen Raumlufttemperaturen und höheren Luftwechselraten – zu erwarten. Für die Studierendenwohnheime ergibt sich speziell durch die wesentlich höhere Belegungsdichte ein etwa doppelt so hoher Endenergieverbrauch für die Warmwassererzeugung. Zusätzlich weisen auch die Studierendenwohnheime durch deren internationale Belegung eine mit 23,5°C überdurchschnittlich hohe Innenraumtemperatur auf.

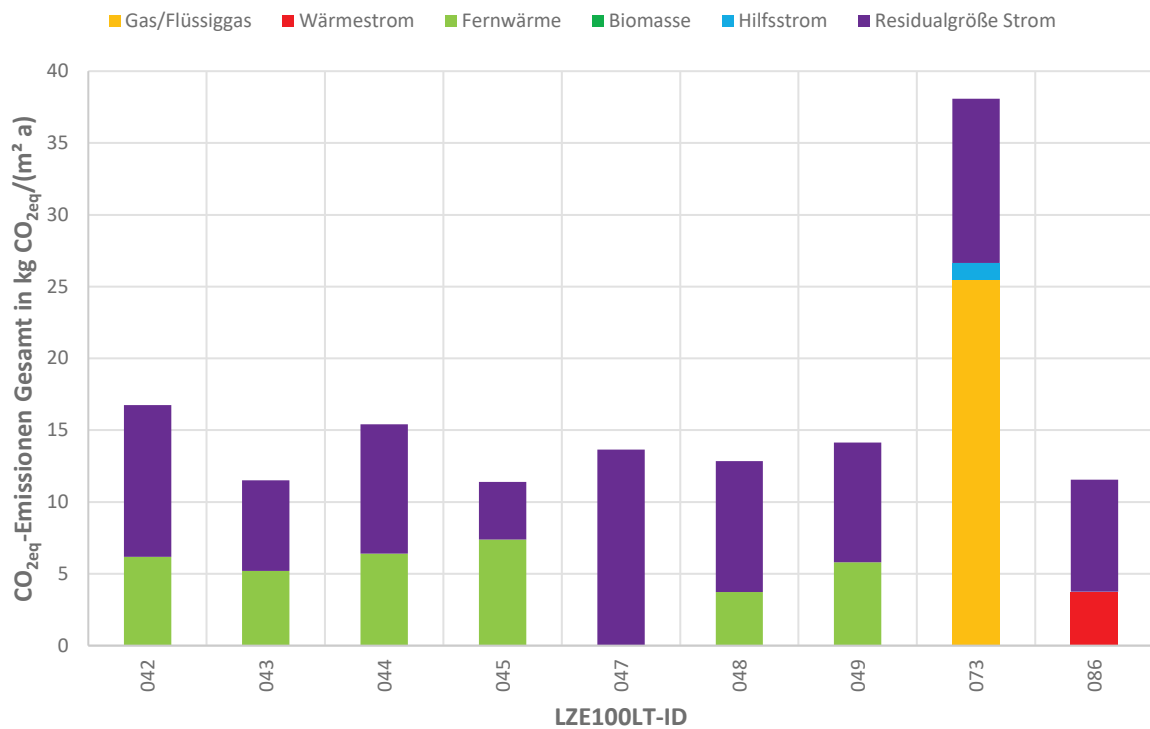
Das Objekt 047, das Studierendenwohnheim „PopUp dorms“ in Wien erreicht einen für die Gebäudekategorie guten Endenergieverbrauch, der auf den Einsatz von dezentralen Wärmepumpen-Kompakttaggregaten je Moduleinheit zurückzuführen ist. Zudem hat das Gebäude als Gewinner des FIANCI World Prix d'Excellence 2019 in der Kategorie „Leistbares Wohnen“ bewiesen, dass bester energetischer Standard auch mit einem minimalen Baubudget realisierbar ist.

Zur Einordnung der Ergebnisse erscheint es dringend erforderlich, statistisch gut abgesicherte Benchmark-Werte nach Nutzungsarten und jeweils getrennt für Neubauten und Sanierungen zu erheben. Derartige Werte sind für Österreich bislang für viele Gebäudekategorien nicht frei zugänglich.

5.3.2. CO_{2eq}-Emissionen alle Anwendungen

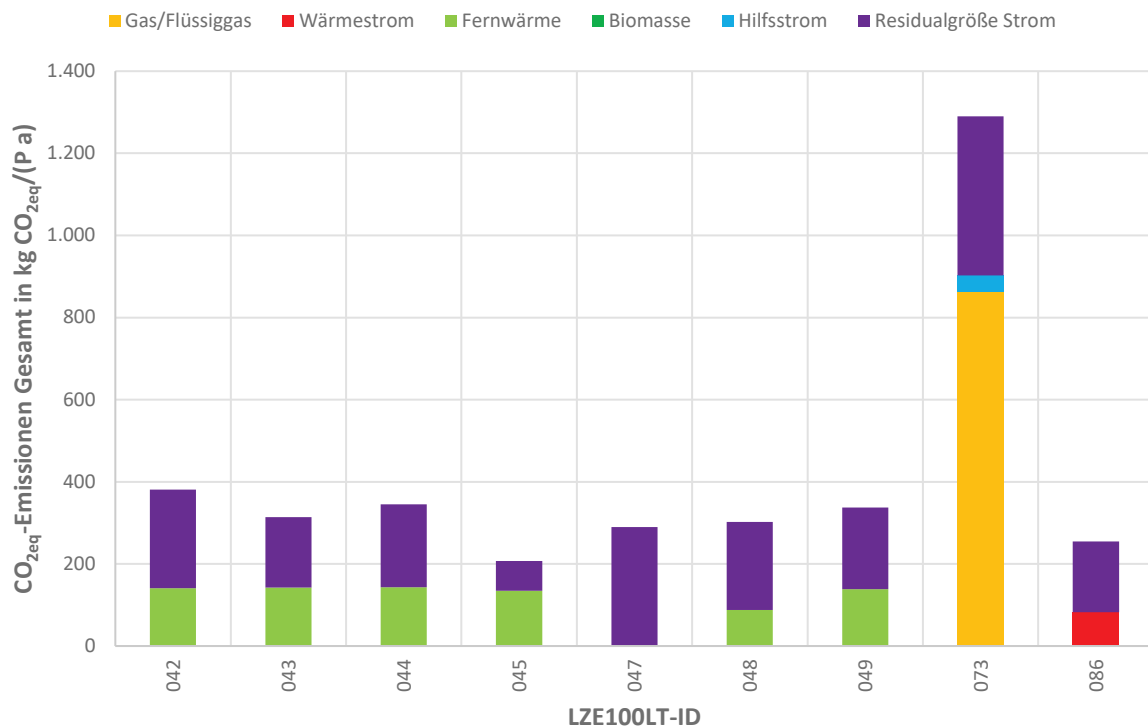
Die folgende Abbildung 41 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen von wohnähnlichen Gebäuden bezogen auf die Nutzfläche getrennt nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019).

Abbildung 41: CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen pro Nutzfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – wohnähnliche Gebäude



Die folgende Abbildung 42 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen von wohnähnlichen Gebäuden bezogen auf die Anzahl der Nutzerinnen und Nutzer getrennt nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019).

Abbildung 42: CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – wohnähnliche Gebäude

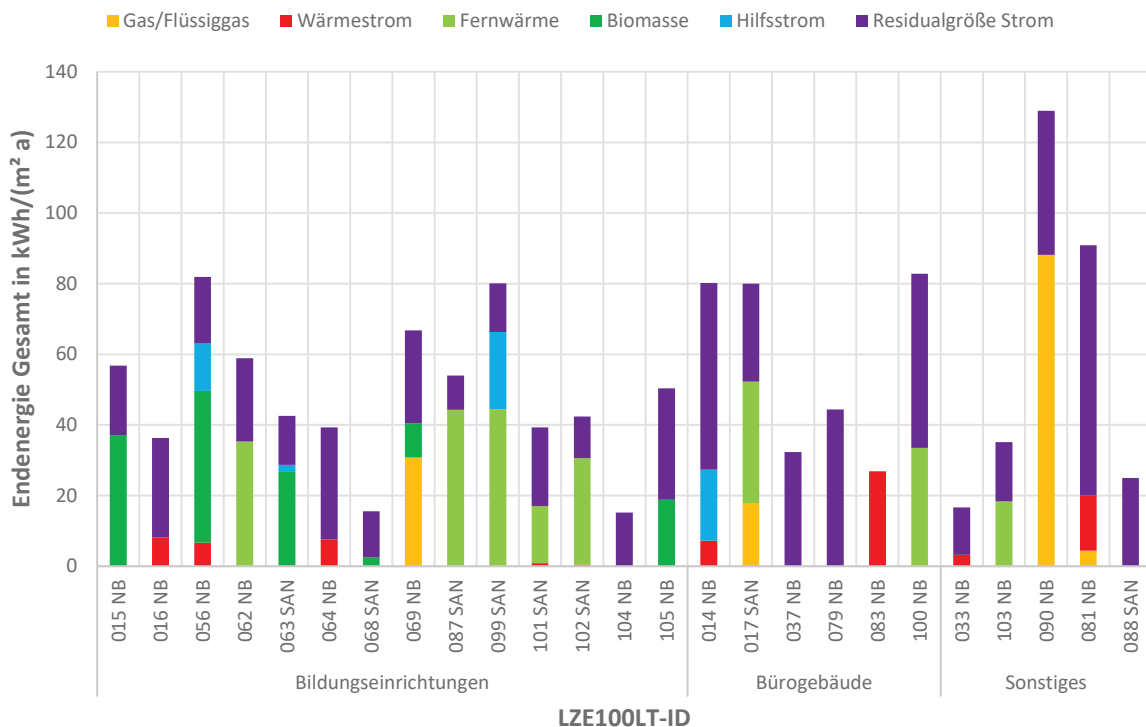


5.4. Nichtwohngebäude

5.4.1. Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen

Die folgende Abbildung 43 zeigt den spezifischen, netzbezogenen Endenergieverbrauch für alle Anwendungen von Nichtwohngebäuden (Bildungseinrichtungen, Bürogebäude, Sonstiges) bezogen auf die Nettogrundfläche getrennt nach Energieträger. Die Objekte sind nach Nutzungsprofilen gereiht dargestellt, welche unter der LZE100LT-ID ersichtlich sind. Die Balken „Gas/Flüssiggas“, „Wärmestrom“, „Fernwärme“ und „Biomasse“ sind die Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser des jeweiligen Objekts, sofern diese Verbräuche separat erfasst vorliegen. Der Balken „Residualgröße Strom“ ist, wie bereits bei den Wohngebäuden, die sogenannte Residualgröße, welche alle Endenergieverbräuche (Endenergieverbrauch Heizung, Warmwasser und Kühlung, Hilfsstrom, Betriebsstrom) beinhalten kann, sofern diese nicht schon separat im Balkenturm dargestellt sind, abzüglich der PV-Eigennutzung, sofern vorhanden. Bei den Objekten 033 und 103 handelt es sich um Sportstätten. Objekt 090 ist eine Verkaufsstätte. Bei den Objekten 081 und 088 handelt es sich um eine Mischnutzung aus Bürogebäude und Industrie bzw. Büro- und Wohngebäude. Beim Objekt 017 handelt es sich um eine denkmalgeschützte Sanierung eines Gemeindezentrums.

Abbildung 43: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro Nettogrundfläche nach Energieträger – Nichtwohngebäude



Wie die Abbildung verdeutlicht, schwanken die Endenergieverbräuche zwischen den Nutzungskategorien aber auch innerhalb der einzelnen Kategorien stark.

Für viele der dargestellten Gebäude konnte im Rahmen des Projekts die genaue Aufteilung der Verbräuche auf die einzelnen Anwendungen nicht genau ermittelt werden, so wird etwa das Warmwasser oft elektrisch direkt erwärmt und als Teil des Nutzerstroms gemessen. Auch die Abgrenzung zwischen Hilfsstrom (Pumpen, Ventilatoren...) und Nutzerstrom (EDV, Beleuchtung...) ist nicht einheitlich und in vielen Projekten nicht klar definiert. Die nachfolgenden Ausführungen stehen daher unter dem Vorbehalt der oft unbefriedigenden, nicht gut nachvollziehbaren Datenlage.

Nutzungskategorie Bildungseinrichtungen

Die Verbräuche der im Projekt LZE100LT ausgewerteten, mit Biomasse, Gas oder Fernwärme beheizten Bildungsgebäude für Heizung und Warmwasser liegen bei etwa 16 bis 50 kWh/(m²_{NFA}). Der Stromverbrauch für Hilfsstrom wurde nur für drei Bildungsgebäude separat erfasst, er schwankt sehr stark zwischen 2 und 22 kWh/(m²_{NFA}). Der Stromverbrauch für die sonstigen Anwendungen liegen etwa zwischen 13 und 32 kWh/(m²_{NFA}).

Zur Einordnung dieser Werte werden nachfolgend einige Vergleichswerte für zumeist kleinere Samples an Bildungsgebäuden aufgeführt. Auch die Nachvollziehbarkeit der öffentlich verfügbaren Daten zu den in den Samples zusammengefassten Energieverbräuche ist mäßig. So sind z.T. die Abgrenzungen zwischen den unterschiedlichen Energieanwendungen nicht einheitlich, es werden unterschiedliche, nicht immer spezifizierte Flächenbezugsmaße verwendet und nur in wenigen Fällen sind alle Energieanwendungen erfasst. Die Benchmarkwerte können daher nur Größenordnungen vermitteln und eine grobe Einordnung der im Projekt LZE100LT ausgewerteten Verbrauchsdaten ermöglichen.

Benchmark 1

Der Mittelwert des Endenergieverbrauchs für die Heizung von 25 untersuchten Kindergärten in Deutschland lag gemäß einer älteren Studie bei 201 kWh/(m²_{NFA}), der Mittelwert von 177 Schulen bei etwa 211 kWh/m²_{NFA} (Kluttig 2002).

Benchmark 2

Die Energieverbräuche der in der Energiebuchhaltung online (EBO) erfassten Schulen ohne Turnhallen in Vorarlberg für Wärme lagen 2016 bei etwa 30 bis 210 kWh/(m²_{NFA}) (EIV 2016).

Benchmark 3

In der Luxemburger Studie wurden 68 Bildungsgebäude der Baujahre 1996 bis 2010 untersucht. Diese wurden in Anlehnung an Klassifizierungen aus Förderprogrammen in die drei Energieniveaus Standard, Niedrigenergie und Passivhaus eingeteilt.

Tabelle 2: Mittlerer Endenergiebedarf der untersuchten Bildungsgebäude für Heizung und Warmwasser sowie für Strom (Maas 2012)

| | | | PH | NEH | Standard |
|-------------------|---------------------|---------------------------------------|---|-----|----------|
| Mittlerer Heiz+WW | Endenergieverbrauch | kWh/(m ² _{BGFA}) | 35 | 72 | 113 |
| Mittlerer Strom | Endenergieverbrauch | kWh/(m ² _{BGFA}) | Bildungsgebäude mit Küchenbetrieb: 39 Bildungsgebäude ohne Küchenbetrieb: 29 | | |

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass der mittlere Endenergieverbrauch der Bildungsgebäude für Heizung und Warmwasser bei 93 kWh/(m²_{BGFA}) liegt. Die Auswertung zeigt einen deutlichen Einfluss des Baualters: Gebäude, die nach 2005 errichtet und gemäß Anforderungen für die Förderungen für Passiv- und Niedrigenergieniveau geplant wurden, haben deutlich niedrigere Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser: Unterrichtsgebäude in Passivhausniveau erreichen im Mittel mit 35 kWh/(m²_{BGFA}) deutlich niedrigere Werte als solche in NEH-Niveau mit 72 kWh/(m²_{BGFA}) und Standard-Bildungsgebäude mit 113 kWh/(m²_{BGFA}).

Benchmark 4

Der Endenergieverbrauch für Heizung von 146 Schulen in München liegt zwischen etwa 40 und 260 kWh/m²_{NFA}), die neueren Schulen ab etwa Baujahr 2000 liegen im Bereich von 40 bis 70 kWh/(m²_{NFA}). Der Stromverbrauch der Schulen liegt mit Ausnahme eines Ausreißers zwischen 4 und etwa 40 kWh/(m²_{NFA}) (Reiß 2017).

Benchmark 5

Die Endenergieverbräuche mehrerer im Rahmen des deutschen Forschungsprojekts EnEff Schule begleiteter, messtechnisch begleiteter Schulneubauten und -sanierungen sind in (Reiß 2017) dokumentiert. Für die meisten Projekte liegen keine komplett (d.h. für alle Energieanwendungen) gemessenen Energieverbräuche vor. Der Flächenbezug der nachfolgend zusammengefassten Verbrauchswerte ist in der Quelle nicht genau spezifiziert. Der Endenergieverbrauch für Heizung von

drei wärmepumpenbeheizten Schulneubauten liegt zwischen etwa 7 und 10 kWh/(m²a). Die Endenergieverbräuche für Heizung von vier fernwärmebeheizten Schulen (Neubau und Sanierungen) liegt zwischen etwa 13 und 42 kWh/(m²a), der Verbrauch einer pelletsbeheizten neuen Schule bei 46,4 kWh/(m²a).

Benchmark 6

Im Laufe des Jahres 2022 wird der klimaaktiv Kriterienkatalog der Deklarationsstufe Nutzung auf Bildungsgebäude erweitert werden. In dieser Deklarationsstufe erfolgt die Bewertung nach dem realen Verbrauch und den aus dem Verbrauch ermittelten CO_{2eq}-Emissionen.

Nach derzeitigem Diskussionsstand ist geplant, für fernwärme- oder biomassebeheizte Bildungsgebäude mit einem Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser von etwa 20 kWh/(m²_{NFA}) die Höchstpunktzahl zu vergeben, für Gebäude mit etwa 50 kWh/(m²_{NFA}) die Mindestpunktzahl. Für wärmepumpenbeheizte Gebäude ist geplant, die Höchstpunktzahl bei einem Endenergieverbrauch Heizung + Warmwasser von etwa 6 kWh/(m²_{NFA}) zu vergeben, die Mindestpunktzahl bei einem Verbrauch von etwa 14 kWh/(m²_{NFA}).

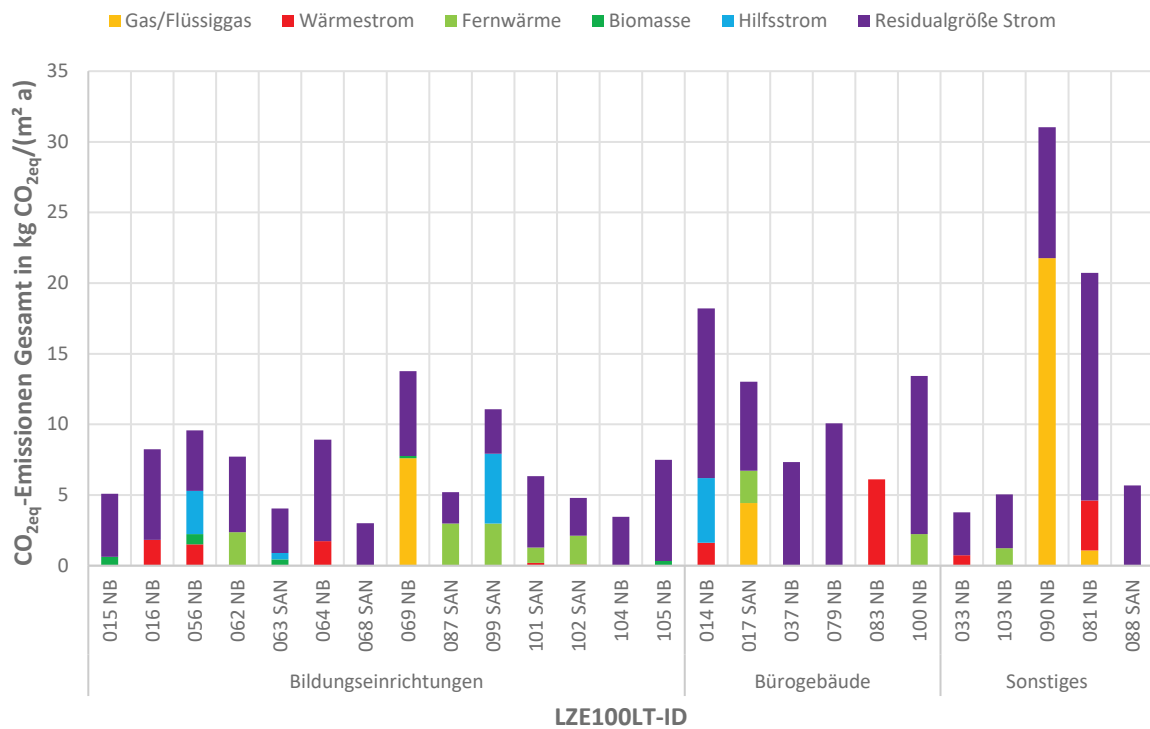
Die Höchstpunktzahl für den Endenergieverbrauch für Hilfs- und Betriebsstrom soll bei etwa 10 kWh/(m²_{NFA}) vergeben werden, die Mindestpunktzahl bei etwa 30 kWh/(m²_{NFA}). Die Verbräuche der in LZE100LT ausgewerteten Bildungsgebäude für Hilfs- und Betriebsstrom inkl. Beleuchtung liegen zwischen 10 und 32 kWh/(m²_{NFA}).

Die im Projekt LZE100LT erhobenen Energieverbräuche für Bildungseinrichtungen bestätigen damit die Vorjustierung im klimaaktiv Kriterienkatalog „In der Gebäudenutzung“.

5.4.2. CO_{2eq}-Emissionen alle Anwendungen

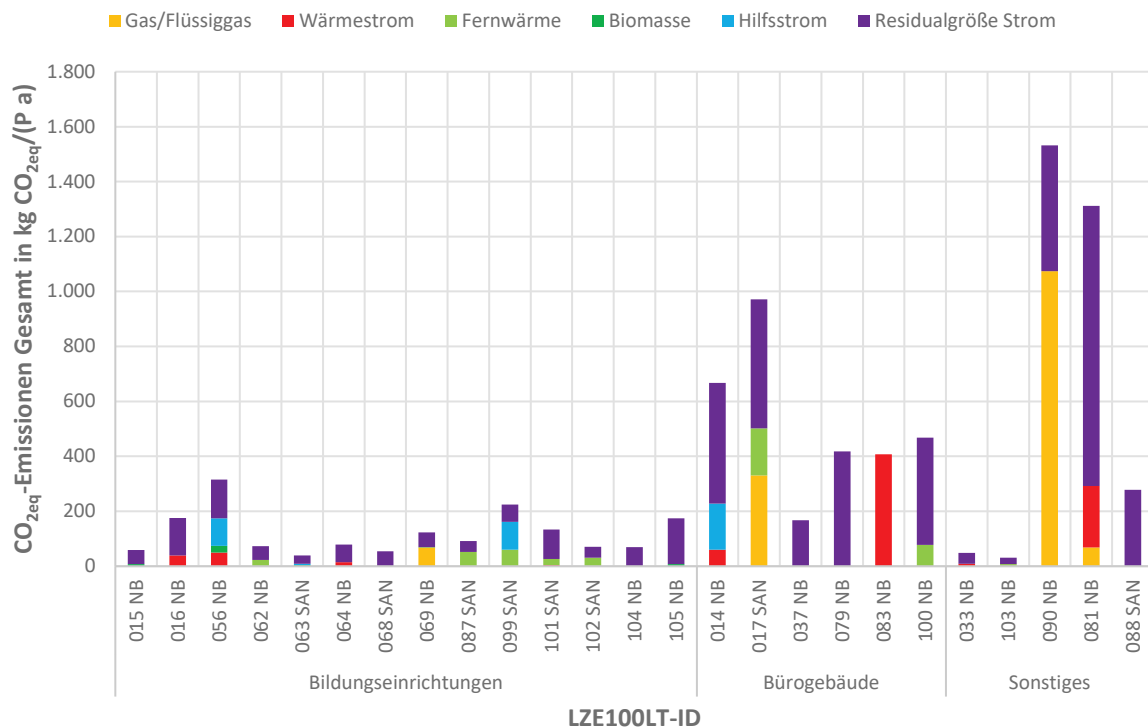
Die folgende Abbildung 44 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen von Nichtwohngebäuden bezogen auf die Nutzfläche getrennt nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019).

Abbildung 44: CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen pro Nettogrundfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Nichtwohngebäude



Die folgende Abbildung 45 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen von Nichtwohngebäuden bezogen auf die Anzahl Nutzerinnen und Nutzer getrennt nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019).

Abbildung 45: CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Nichtwohngebäude



5.5. Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur

Abbildung 46 zeigt den spezifischen, netzbezogenen Endenergieverbrauch für alle Anwendungen aller 105 untersuchten Objekte bezogen auf die (Wohn-)Nutzfläche (Wohngebäude, wohnähnliche Gebäude) bzw. Nettogrundfläche (Nichtwohngebäude) getrennt nach Energieträger. Die dargestellten Endenergieverbräuche sind ohne Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur. Abbildung 47 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen aller 105 untersuchten Objekte bezogen auf die Anzahl Bewohnerinnen und Bewohner (Wohngebäude) bzw. Anzahl Nutzerinnen und Nutzer (wohnhähnliche Gebäude, Nichtwohngebäude) getrennt nach Nutzungsprofil ohne Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019).

Abbildung 48 zeigt den spezifischen, netzbezogenen Endenergieverbrauch für alle Anwendungen aller Objekte mit Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur. Abbildung 49 zeigt die CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen aller Objekte mit Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019).

Abbildung 46: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro (Wohn-)Nutzfläche bzw. Nettogrundfläche nach Energieträger – ohne Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur

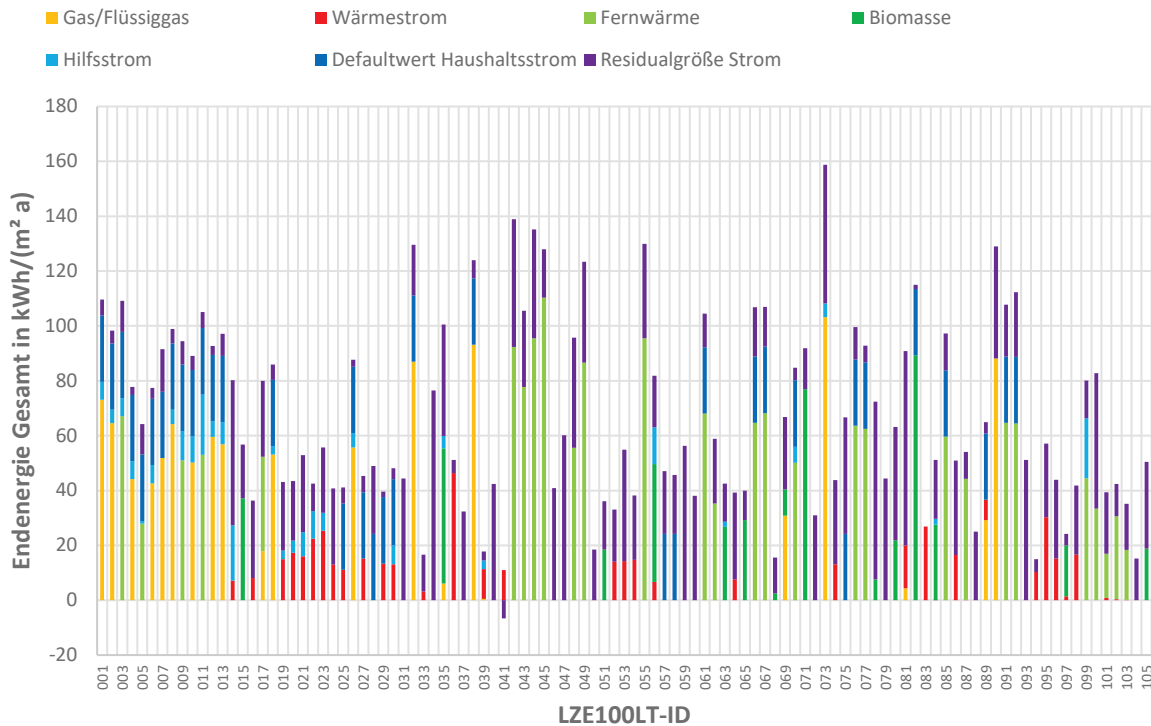


Abbildung 47: CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Nutzungsart bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – ohne Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur

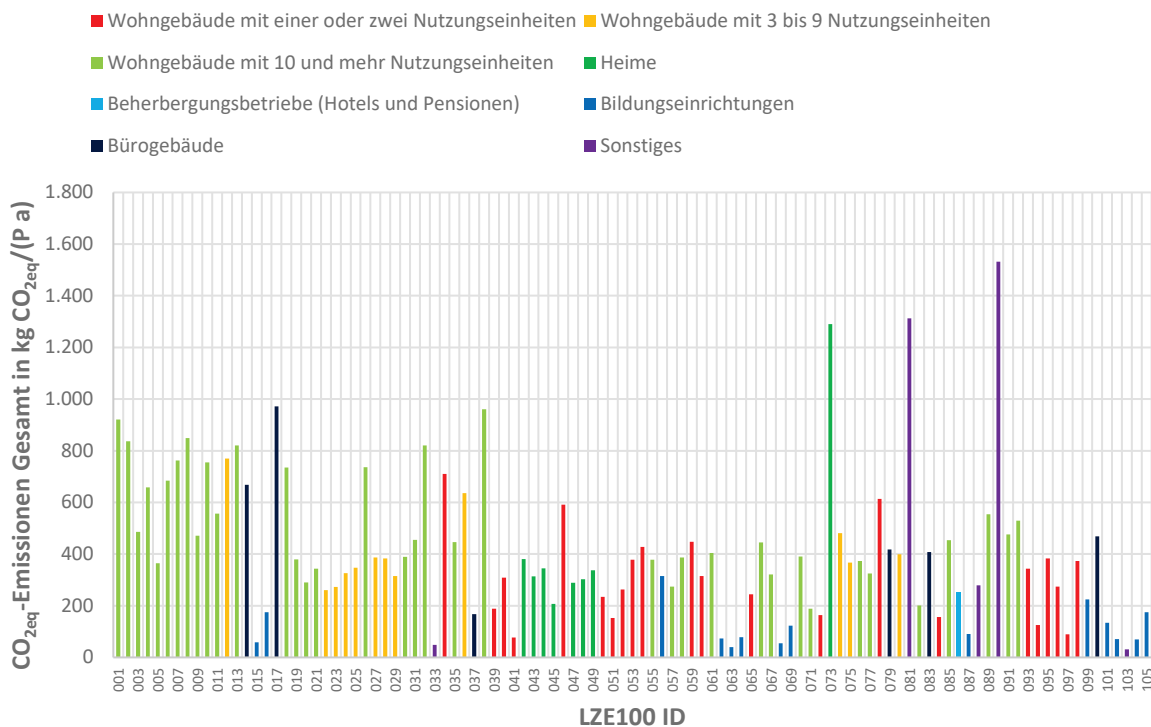


Abbildung 48: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro (Wohn)Nutzfläche bzw. Nettogrundfläche nach Energieträger – mit Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur

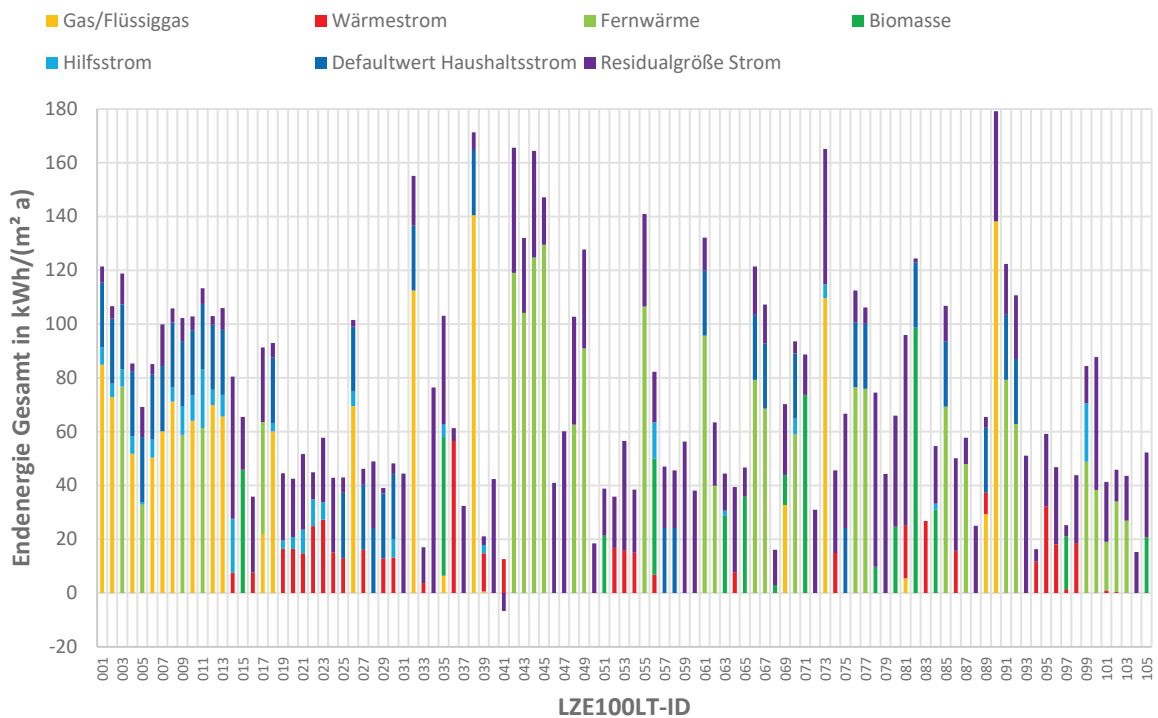
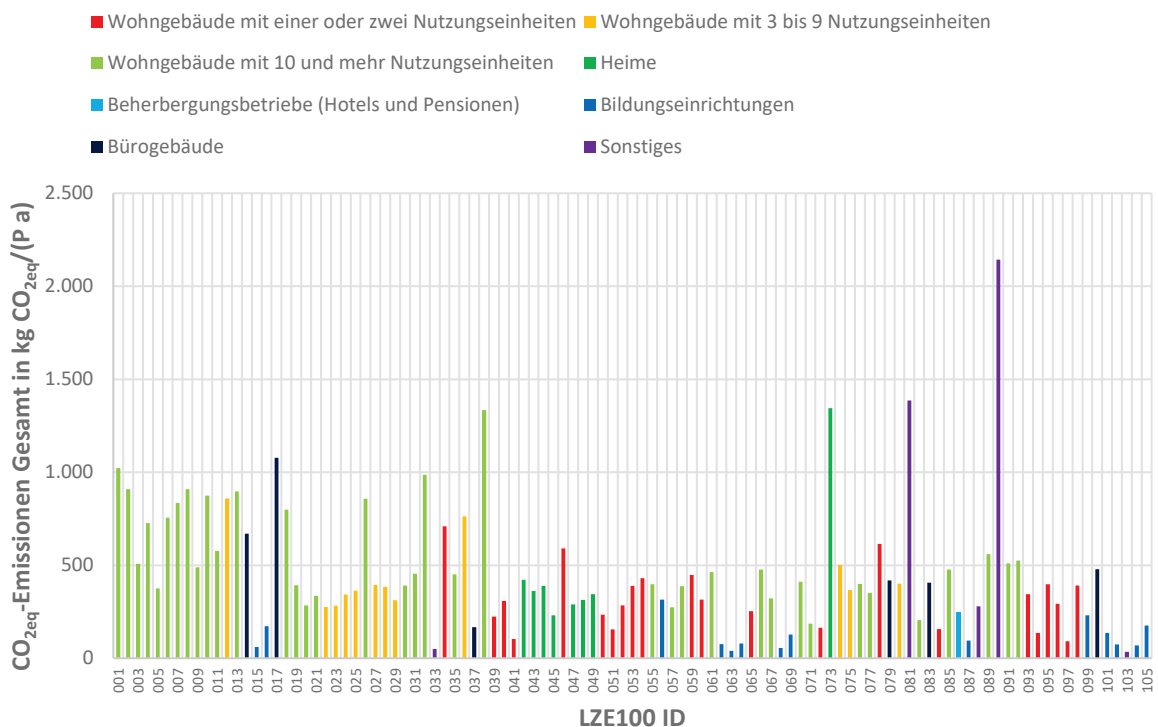


Abbildung 49: CO_{2eq}-Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Nutzungsart bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – mit Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur



Der Einfluss der Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur auf den netzbezogenen Endenergieverbrauch bzw. die daraus resultierenden CO_{2eq}-Emissionen liegt bei vielen Projekten im Bereich von unter ±10%. Bei einzelnen Objekten, bei denen der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser einen Großteil des netzbezogenen Endenergieverbrauchs ausmacht, kann der Einfluss jedoch auch bis zu 40% ausmachen.

5.6. Detailauswertung für einzelne ausgewählte Projekte

Im Folgenden werden Verbrauch und Energieerzeugung einiger Gebäude detaillierter analysiert, für die Messdaten in höherer zeitlicher Auflösung vorliegen. Dabei werden pro Projekt unterschiedliche Aspekte dargestellt. Die in den Detailauswertungen angegebenen Energieverbräuche sind für ein Messjahr und können sich von den Werten in den vorigen Ergebnisabbildungen in Kapitel 5.1 bis 5.5 unterscheiden, da es sich dabei um gemittelte Verbräuche aus mehreren Jahren handelt.

5.6.1. Projekt KliNaWo (LZE100LT-ID 019)

Das Mehrfamilienhausprojekt in Feldkirch wird vorgestellt, da es im Rahmen eines Forschungsprojekts energetisch-wirtschaftlich optimiert wurde und da detaillierte Monitoringdaten für vier Jahre vorliegen (Ploß 2017), (Ploß 2019a). Im Rahmen der energetisch-wirtschaftlichen Optimierung wurde eine sehr hohe Anzahl möglicher Gebäudevarianten detailliert geplant und modular ausgeschrieben, u.a. vier unterschiedliche Konstruktionsarten, zwei Hüllqualitäten, zwei unterschiedliche Lüftungssysteme, vier verschiedene Energieträger, verschiedene Wärmeverteiler- und Abgabesysteme sowie verschiedene Solarsysteme. Für jede der 60.000 möglichen Realisierungsvarianten wurde der zu erwartende Energieverbrauch in automatisierten PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen ermittelt, für jede Variante neben den Investitionskosten auch die Lebenszykluskosten (genauer: die Kapitalwerte der Gesamtkosten für Investition, Wartung und Instandhaltung sowie Energie für vordefinierte Betrachtungszeiträume von 35 und 50 Jahre) bestimmt. Realisiert wurde nicht die Variante mit den geringsten Investitionskosten, sondern jene mit den niedrigsten „Lebenszykluskosten“. 2016/17 errichtete Projekt ist das Mehrfamilienhaus in Österreich, für das der Zusammenhang zwischen energetischer Qualität und Treibhausgasemissionen auf der einen und Investitions- und Lebenszykluskosten auf der anderen Seite am genauesten untersucht wurde.

Abbildung 50: Modellvorhaben KliNaWo in Feldkirch; Bauherrin/Bauherr: VOGEWOSI; Architektur: Walser + Werle; Foto: C. Begle



Projektsteckbrief

Tabelle 3: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – KliNaWo

| | | | |
|--|---|--|----------------------------|
| Ort/Seehöhe/Mitteltemperatur Okt.-März | 6800 Feldkirch | 448 m | 3,8 °C |
| Flächen | BGF: 1.822 m ² | WNF: 1.281 m ² | PHPP: 1.421 m ² |
| Anzahl Geschosse/Wohneinheiten | E + 2, unterkellert | 18 + Gemeinschaftsraum | |
| Anzahl Personen/Pro-Kopf-Wohnfläche | 33 Personen | 38,8 m ² _{WNF} /Person | |
| Bauherrin/Bauherr | VOGEWOSI, Dornbirn | | |
| Planung | Architektur: Walser + Werle, Feldkirch HSL: Planungsteam E-Plus, Egg | | |
| Konstruktionsart | Ziegelmauerwerk + WDVS | | |
| U-Werte Wand/Dach/Fenster | 0,118 W/(m ² K) | 0,081 W/(m ² K) | 0,71 W/(m ² K) |
| Lüftungssystem/Luftwechselrate | mechanische Abluft, zentral | | 0,3 h ⁻¹ |
| Wärmeerzeuger | zwei Sole WP (Hochtemperatur + Niedertemperatur) | | |
| Wärmespeicher | 6.740 Liter | | |
| Wärmeverteilung | Vierleitersystem mit Zirkulation | | |
| Wärmeabgabesystem | Fußbodenheizung 35 °C / 28 °C | | |
| Solarthermie | 99 m ² | | |
| PV | keine PV | | |
| Heizlast PHPP (20 °C) | 14,9 W/m ² _{EBF} | | |
| Endenergiebedarf _{Heiz + WW} (Prognose) | 17,6 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| Endenergieverbrauch Heiz + WW | 14,2 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| Endenergieverbrauch _{gesamt} | 41,1 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| PV-Erzeugung | 0 kWh/(m ² _{ÜFLA}) | | |
| Netzbezug _{gesamt} | 41,1 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| Netzeinspeisung | 0 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |

Die Ausschreibung zeigte nur geringe Unterschiede bezüglich der Investitions- und der Lebenszykluskosten der vier untersuchten Konstruktionsarten (Ziegelmauerwerk + Wärmedämmverbundsystem (WDVS), Mauerwerk aus dämmstoffgefüllten Ziegeln, Mischbau mit STB Konstruktion und Holz-Außenwänden, reine Holzbaukonstruktion). Das Gebäude wurde in Ziegelmauerwerk mit WDVS (24 cm EPS) und Stahlbetondecken realisiert, da die Bauherrin bzw. der Bauherr mit diesem System gute Erfahrungen hat und es minimal niedrigere Investitionskosten aufwies. Die Lebenszykluskostenberechnungen zeigten, dass die Hülle in Passivhausqualität in allen vier untersuchten Konstruktionsarten wirtschaftlicher ist, als die Ausführung gemäß der österreichweiten Mindestanforderungen (OIB-Richtlinie 6) bzw. der regionalen Anforderungen der Bautechnikverordnung Vorarlberg. Die Fenster wurden mit guten Holz-Alu-Rahmen (IV 90) mit einer sehr guten Dreifachverglasung ausgeführt.

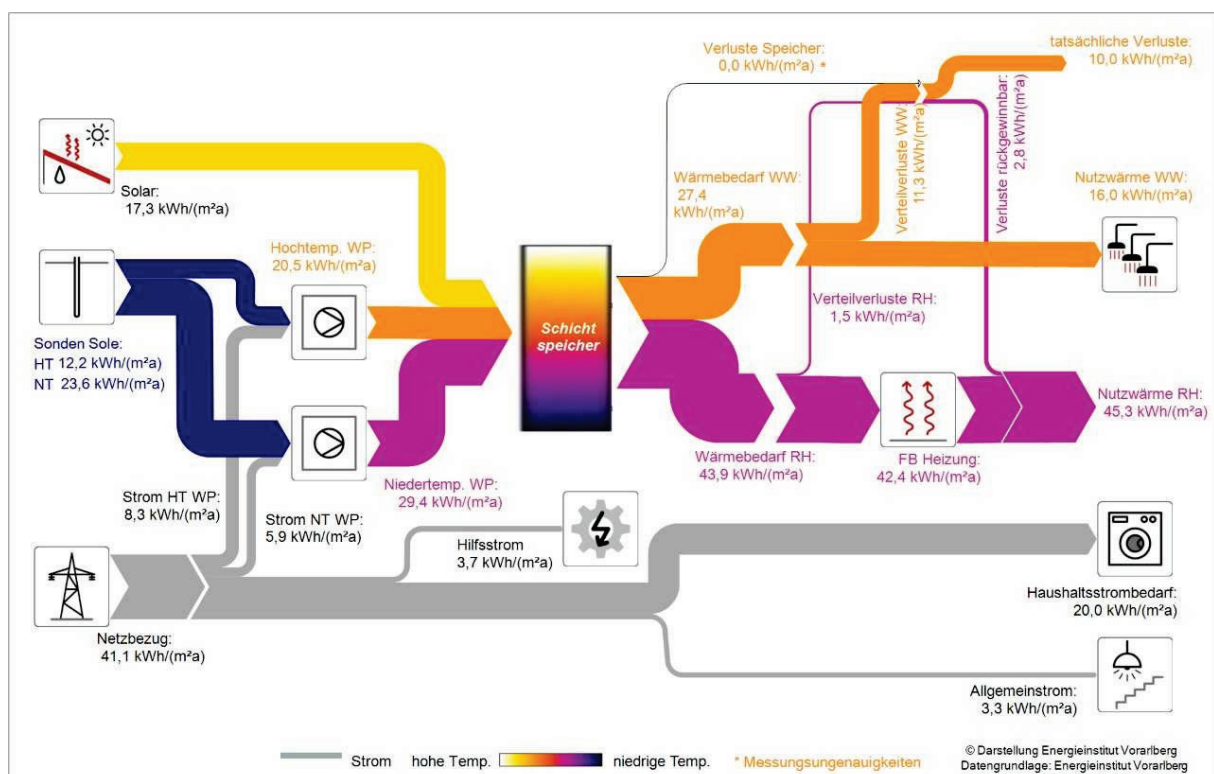
Das Gebäude wurde mit einer zentralen Abluftanlage realisiert. Die Abluft wird in Küche, Bad und WC jeder Wohnung abgesaugt, die Zuluft strömt durch Luftdurchlässe in den Außenwänden der Aufenthaltsräume nach. Die Anlage wird mit einer konstanten Luftwechselrate von 0,3 h⁻¹ betrieben. Das Wärmesystem besteht aus einer Niedertemperatur- und einer Hochtemperatur-Sole-Wärmepumpe kombiniert mit einer großen solarthermischen Anlage und einem 6.740 Liter Schichtspeicher. Die Niedertemperatur-Wärmepumpe liefert Energie auf einem niedrigen Temperaturniveau für die Fußbodenheizung, die Hochtemperatur-Wärmepumpe ist für hohe Temperaturen ausgelegt und bedient das Temperaturniveau von über 60 °C für Warmwasser, welches über eine Verteilleitung mit Zirkulation in die Wohnungen gelangt. Die Wärmeverteilung erfolgt also über ein klassisches Vierleiter-Verteilsystem mit Zirkulation.

Energetische Performance – Sankey

Die energetische Performance des Gebäudes im Jahr 2018 ist in der folgenden Abbildung 51 in einem Energieflussdiagramm (Sankey) visualisiert. Dargestellt sind die auf die Wohnnutzfläche von 1.281 m² bezogenen spezifische Werte. Die Energieflüsse der Wärmeanwendungen sind in einem Farbschema von gelb (hohe Temperatur) bis blau (niedrige Temperatur), die Stromverbräuche der einzelnen Anwendungen in grau dargestellt. Die mittlere Raumlufttemperatur während der Heizperiode lag bei 23,1 °C.

Der Stromverbrauch für Heizung und Warmwasser lag bei 14,2 kWh/(m²_{WNFA}), das Gebäude ist damit eines der effizientesten wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäuser Österreichs. Auch die übrigen Verbräuche wie Hilfsstrom (Pumpen, Lüftung) 3,7 kWh/(m²_{WNFA}), Allgemeinstrom (Lift, Beleuchtung) 3,3 kWh/(m²_{WNFA}) und Haushaltsstrom 20 kWh/(m²_{WNFA}) sind sehr niedrig. Der Gesamtstromverbrauch in Summe aller Anwendungen betrug 41,1 kWh/(m²_{WNFA}). Hauptverbraucher mit etwa der Hälfte des Gesamtverbrauchs ist der Haushaltsstrom. Der zweitgrößte Stromverbraucher sind die beiden Wärmepumpen für Heizung und Warmwasser. Wie zu erwarten hat die Niedertemperaturwärmepumpe eine höhere Jahresarbeitszahl als die Hochtemperaturwärmepumpe.

Abbildung 51: Energieflussdiagramm (Sankey) – KliNaWo, Monitoringdaten 2018

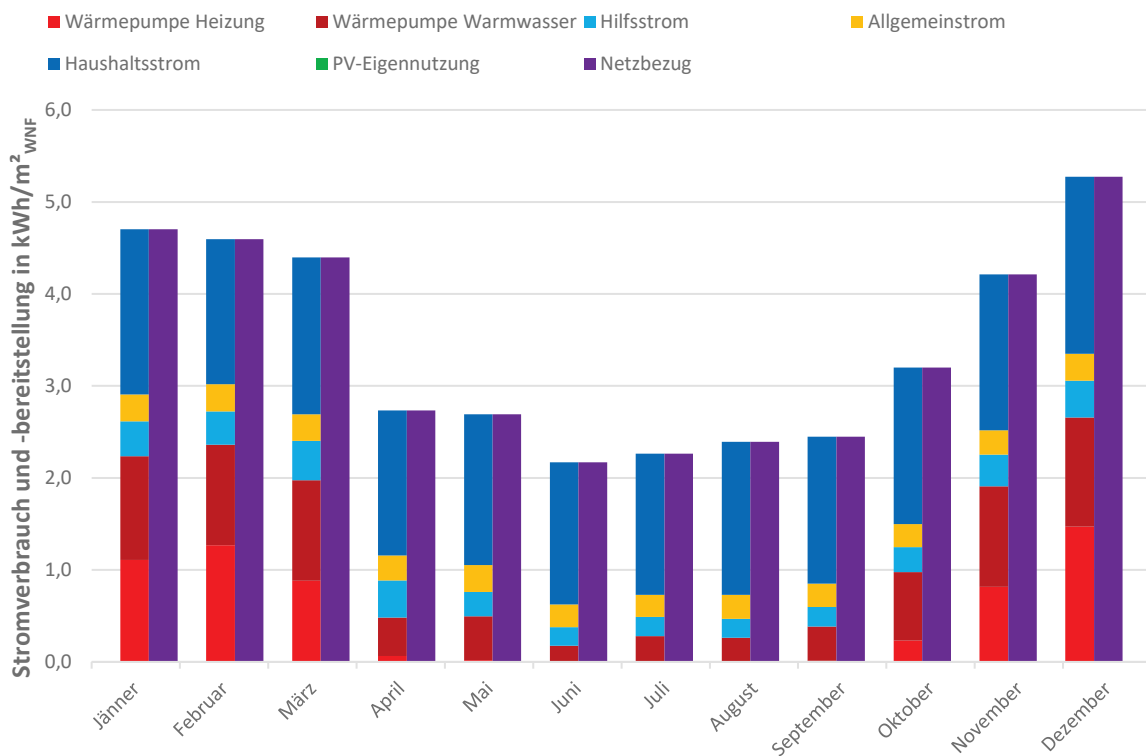


file:///nevf02/energieinstitut/EEB/2%20aktiv/23.240%20Low%20Cosf%20nZEB/23.246%20ÖA/Endpublikation%20Buch/10%20Kapitel%20h2.1%20Bsp%20KliNaWo%208%20Seiten/Quellen/Sankey/KliNaWo.xlsx

Monatsbewertung

Die folgende Abbildung 52 zeigt den spezifischen, monatlichen Stromverbrauch für das Jahr 2018 bezogen auf die Wohnnutzfläche. Da bei diesem Objekt keine PV-Anlage vorhanden ist wird der gesamte Stromverbrauch aus dem Netz bezogen. Durch die Wärmepumpe ergibt sich eine eindeutige jahreszeitliche Schwankung des Stromverbrauchs.

Abbildung 52: Monatlicher Stromverbrauch und -bereitstellung – KliNaWo



Wird der jährliche Netzbezug ($41,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$) mit dem Jahres-Konversionsfaktor für Strom nach OIB-Richtlinie 6 (2019) ($247 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$) bewertet, ergeben sich gesamte $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emissionen von $10,2 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Erfolgt die Bewertung jedoch auf Monatsbasis mit den monatlichen Konversionsfaktoren aus Abbildung 14 (Mittelwert 2014 – 2019) dann ergeben sich gesamte $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emissionen von $11,2 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Die $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Bewertung auf Monatsbasis ist selbst für das sehr effiziente Gebäude mit vergleichsweise geringem winterlichen Stromverbrauch um ca. 10% höher als die Bewertung auf Jahresbasis.

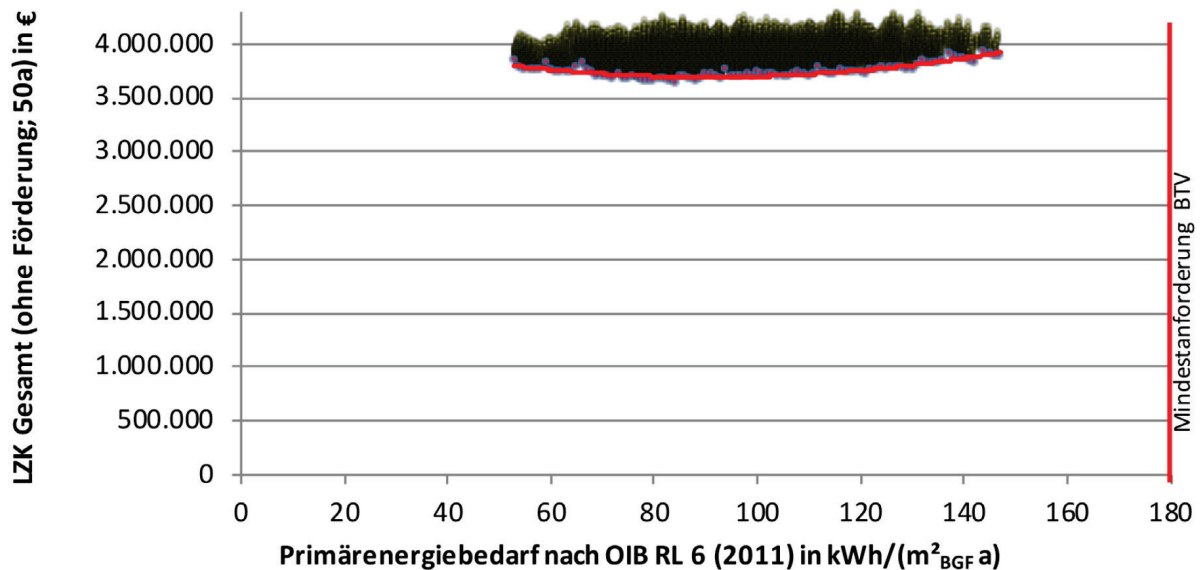
Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die Besonderheit des Projekts KliNaWo ist, dass die Ausführungsvariante erstmals im gemeinnützigen Wohnbau Österreichs nach den Lebenszykluskosten statt nach den Investitionskosten ausgewählt wurde. Um den Einfluss des Energieniveaus auf Investitions- und Lebenszykluskosten zu quantifizieren, wurde eine sehr große Anzahl an möglichen Ausführungsvarianten in unterschiedlichen Energieniveaus und mit unterschiedlichen Energiekonzepten im Detail geplant und modular ausgeschrieben.

Auf Basis der modularen Ausschreibungen wurden die Investitionskosten von 60.000 Varianten ermittelt, für die in einem nächsten Schritt automatisierte PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen

durchgeführt wurden. Diese dienten zur Abschätzung der zu erwartenden Energiekosten. Die Wartungskosten wurden auf der Basis von Erfahrungswerten der Bauherrin bzw. des Bauherrn geschätzt. Abbildung 53 zeigt die Lebenszykluskosten (genauer gesagt: die Kapitalwerte der Gesamtkosten aus Investitions-, Energie- und Wartungskosten) der untersuchten Varianten.

Abbildung 53: Lebenszykluskosten (Kapitalwerte der Investitions-, Wartungs- und Energiekosten) der 60.000 untersuchten Varianten in Abhängigkeit vom Primärenergiebedarf bei Berechnung nach OIB Richtlinie 6 (2011); Betrachtungsdauer: 50 Jahre, mit Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen; ohne Förderungen (Ploß und Hatt 2017)



Die Abbildung zeigt jede Variante als Punkt mit zugehörigem Primärenergiebedarf und den jeweiligen Lebenszykluskosten ohne Berücksichtigung von Förderungen. Die untere Umschließungskurve der Kurve (in rot) der Punktwolke zeigt an ihrem Tiefpunkt das Kostenoptimum. Wie die Abbildung zeigt, liegt das Kostenoptimum schon ohne Berücksichtigung von Förderungen bei Werten von etwa 77 kWh/(m²_{BGFa}) (Berechnung nach OIB-Richtlinie 6 (2011)). Die Mindestanforderung der damaligen Bautechnikverordnung Vorarlberg lag bei 180 kWh/(m²_{BGFa}). Die realisierte, kostenoptimale Gebäudevariante erfüllte die Projektziele in der Praxis nicht nur, sondern übertraf sie:

- Der reale Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser lag schon im ersten Betriebsjahr mit 14,2 kWh/(m²_{WNFa}) knapp unter dem Ergebnis der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung.
- Auch alle anderen Verbräuche liegen sehr niedrig und entsprechen sehr gut der Prognose.
- Die thermische Behaglichkeit im Winter ist sehr hoch und war auch im „Jahrhundertsommer“ 2018 hoch.
- Die abgerechneten Netto-Errichtungskosten liegen mit 2.400 EUR/m²_{WNF} um 230 EUR/m²_{WNF} unter dem Mittelwert aller 69 zeitgleich errichteten gemeinnützigen Wohnbauten Vorarlbergs
- Die Mehrkosten gegenüber architektonisch identischen Gebäuden nach den Mindestanforderungen der Bautechnikverordnung Vorarlberg liegen mit etwa 2/3 reduziertem Primärenergiebedarf bei 3-5 % (Bezug auf Bauwerkskosten KG 2-4 nach ÖNORM 1801-1, entspricht KG 300+400 nach DIN 276).
- Die Miete konnte nach dem ersten Betriebsjahr zweimal gesenkt werden.

- Die im Projekt entwickelte Methode der energetisch-wirtschaftlichen Optimierung hat sich in der Praxis bewährt und wurde auch in Nachfolgeprojekten erfolgreich eingesetzt.

Wenn nur auf Lebenszykluskosten als alleinige Zielgröße optimiert wird, können auch energetisch schlechtere Varianten als Optimum gefunden werden. Deshalb ist es sinnvoll, Energieeffizienz und Lebenszykluskosten von Anfang an als gleichberechtigte Planungsziele zu definieren.

5.6.2. Projekt Vögelebichl (LZE100LT-ID 030)

Die von der gemeinnützigen Wohnbauvereinigung Neue Heimat Tirol im Innsbrucker Stadtteil Vögelebichl errichtete, wärmepumpenbeheizte Wohnanlage verfolgt das energetische Ziel, das Niveau Netto-Nullenergie-Gebäude (NZEB) zu erreichen, d.h. den Energieverbrauch für Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung und Hilfsstrom jahresbilanziell durch PV-Stromerzeugung auszugleichen. Die Ende 2015 in Betrieb genommene Anlage besteht aus dem viergeschossigen Gebäudeblock Nord mit 16 Wohneinheiten und dem dreigeschossigen Block Süd mit 10 Wohneinheiten.

Abbildung 54: Mehrfamilienhäuser Vögelebichl; Bauherrin/Bauherr: Neue Heimat Tirol; Architektur: vogl-fernheim; Foto: Neue Heimat Tirol / Vandory



Das Projekt kombiniert eine sehr gute Hüllqualität mit einer Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung, einer gemeinsamen, wärmepumpenbasierten Wärmeversorgung sowie Solarthermie und Photovoltaik. Die Gebäude wurden als erste Gebäude weltweit durch das Passivhaus Institut im Standard Passivhaus Plus zertifiziert. Dies verlangt neben der Begrenzung des jährlichen Heizwärmebedarfs ($15 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBFa}})$) einen begrenzten Bedarf an erneuerbarer Primärenergie ($45 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBFa}})$) und die Erzeugung einer Mindestmenge an erneuerbarer Energie am Standort ($60 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{ÜFla}})$), (Passipedia 2015). Beide Gebäude wurden vom Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen der Universität Innsbruck über vier Jahre messtechnisch begleitet. Auf der Basis der Monitoringergebnisse und detaillierter, dynamischer Gebäude- und Anlagensimulationen konnten im Gebäudebetrieb Optimierungen durchgeführt werden, die zu sehr geringen Verbräuchen führten (Dermentzis 2021), (Dermentzis 2018), (Ochs 2014).

Projektsteckbrief

Tabelle 4: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – Vögelebichl

| | | | |
|--|---|---------------------------|----------------------------|
| Ort/Seehöhe/Mitteltemperatur Okt.-März | 6020 Innsbruck | 578 m | 2,6 °C |
| Flächen (Summe Nord – und Süd) | BGF: 2.808 m ² | WNF: 1.930 m ² | PHPP: 2.149 m ² |
| Anzahl Geschosse/Wohneinheiten | E + 3 bzw. E + 2, unterkellert | 16 + 10 | |
| Anzahl Personen/Pro-Kopf-Wohnfläche | k.A. | k.A. | |
| Bauherrin/Bauherr | Neue Heimat Tirol, Innsbruck | | |
| Planung | Architektur: architekt vogl-fernheim ZT GmbH HSL: Alpsolar Klimadesign OG, Innsbruck | | |
| Konstruktionsart | Stahlbeton + WDVS | | |
| U-Werte Wand/Dach/Fenster | 0,106 W/(m ² K) | 0,09 W/(m ² K) | 0,91 W/(m ² K) |
| Lüftungssystem/Luftwechselrate | Komfortlüftung mit WRG, zentral | | 0,31 h ⁻¹ |
| Wärmeerzeuger | Grundwasser-WP zweistufig | | |
| Wärmespeicher | 6.000 Liter | | |
| Wärmeverteilung | Zwei + Zweileiter mit wohnungsweisen Frischwasserstationen | | |
| Wärmeabgabesystem | Fußbodenheizung 35 °C / 30 °C | | |
| Solarthermie | 74 m ² | | |
| PV | 24,5 kWp | | |
| Heizlast PHPP (20 °C) | 12,1 W/m ² _{EBF} | | |
| Endenergiebedarf _{Heiz + WW} (Prognose) | 6,9 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| Endenergieverbrauch Heiz + WW | 11,6 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| Endenergieverbrauch _{gesamt} | 46,9 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| PV-Erzeugung | 27,0 kWh/(m ² _{ÜFLA}) | | |
| Netzbezug _{gesamt} | 41,1 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| Netzeinspeisung | 12,6 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |

Beide Gebäude wurden in Massivbauweise mit Stahlbetonwänden und Wärmedämmverbundsystem (EPS) in Passivhausqualität ausgeführt. Die Fenster kombinieren sehr gute Dreifach-Verglasungen mit guten Rahmen, der Fenster U-Wert (U_w) beträgt 0,91 W/(m²K).

Beide Gebäudedächer sind mit Photovoltaik-Paneele bedeckt, zusätzlich sind solarthermische (ST) Kollektoren partiell am Dach des Nordgebäudes, in dem sich die gemeinsame Technikzentrale befindet, installiert worden. Die mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG) wird eingesetzt, um den hygienischen Luftwechsel mit hohem Komfort zu garantieren und die Lüftungswärmeverluste zu begrenzen (ein Gerät für das Südgebäude, zwei für das Nordgebäude). Die mittlere Luftwechselrate beträgt 0,31 h⁻¹.

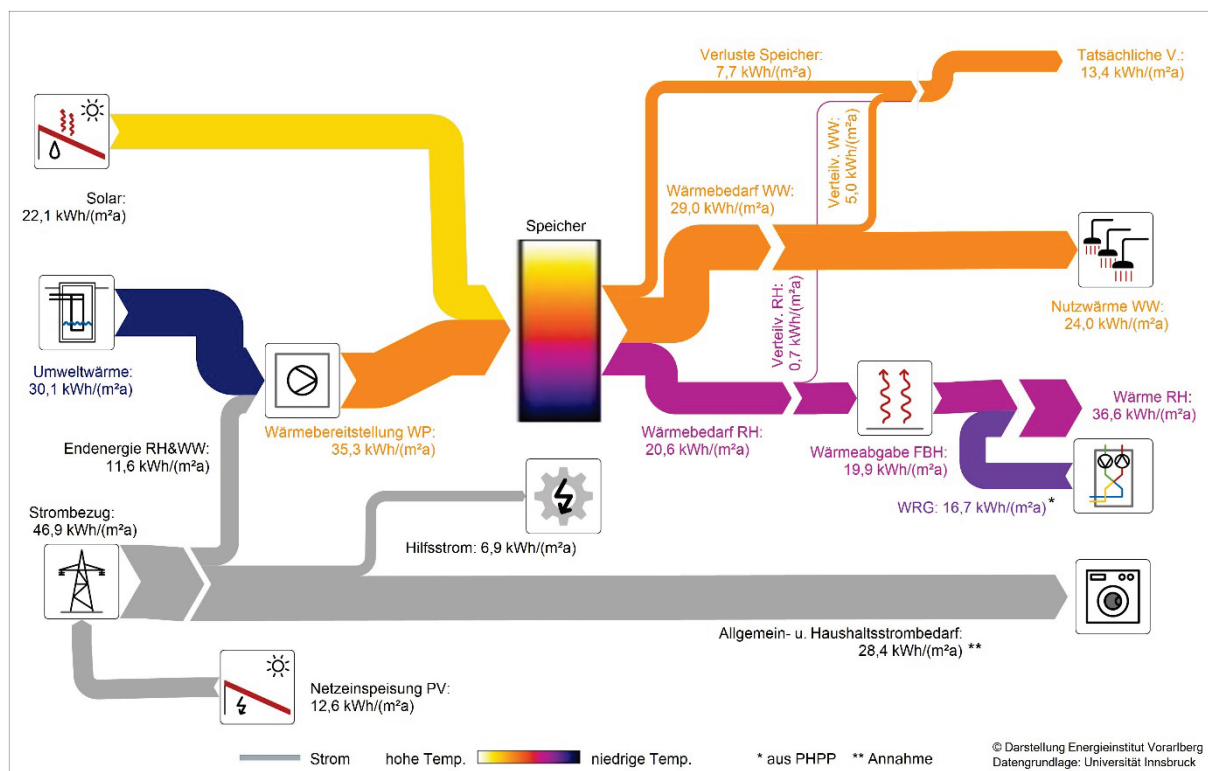
Das Wärmeversorgungssystem besteht aus einer zentralen, zweistufigen Grundwasser-Wärmepumpe für Heizung und Warmwasserbereitung, einer solarthermischen Anlage, einem 6.000 Liter Pufferspeicher, einem 2+2-Leiter Wärmeverteilsystem mit wohnungsweisen Frischwasserstationen sowie einer Fußbodenheizung. Zur Reduktion der Wärmeverteilverluste wurde das Wärmeverteilsystem sehr gut gedämmt und auf ein niedriges Temperaturniveau (max. 30 °C für die Fußbodenheizung, 52 °C Vorlauftemperatur für Warmwasser) ausgelegt. Während der Sommerperiode ist eine passive Kühlung möglich, indem die Wärme über einen Wärmeübertrager an den Grundwasserkreislauf abgegeben wird.

Energetische Performance - Sankey

In der folgenden Abbildung 55 sind die Stromverbräuche und Wärmeströme der Wohnanlage (Summe Nord- und Südgebäude) für das Jahr 2018 als spezifische, auf die Wohnnutzfläche von 1.930 m² bezogenen Werte dargestellt. Die Wärmeströme sind in einem Farbschema von gelb (hohe Temperatur) bis blau (niedrige Temperatur), die Stromverbräuche der einzelnen Anwendungen in grau dargestellt. Die mittlere Raumlufttemperatur während der Heizperiode lag zwischen 22 °C und 23 °C.

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe für Heizung und Warmwasserbereitung beträgt 11,6 kWh/(m²_{WNFA}), der Hilfsstrombedarf inkl. Lüftung 6,9 kWh/(m²_{WNFA}). Der Stromverbrauch für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom inkl. Lüftung beträgt damit in Summe 18,5 kWh/(m²_{WNFA}). Der Ertrag der PV-Anlage von 12,6 kWh/(m²_{WNFA}) reicht nicht ganz aus, um das Ziel des jahresbilanziellen Nullenergiestandards (NZEB) zu erreichen. Der Allgemestromverbrauch und der Haushaltsstromverbrauch wurden im Projekt nicht gemessen, der Schätzwert von 3,9 + 24,5 = 28,4 kWh/(m²_{WNFA}) bedeutet, dass der Allgemein- und Haushaltsstromverbrauch der größte Verbraucher des Gebäudes ist. Der Gesamt-Stromverbrauch des monoelektrisch betriebenen Gebäudes läge mit diesen Werten bei 46,9 kWh/(m²_{WNFA}). Der Ertrag der PV-Anlage von 12,6 kWh/(m²_{WNFA}) reicht nicht ganz aus, um das Ziel des jahresbilanziellen Nullenergiestandards (NZEB) zu erreichen.

Abbildung 55: Energieflussdiagramm (Sankey) – Vögelebichl, Monitoringergebnisse 2018



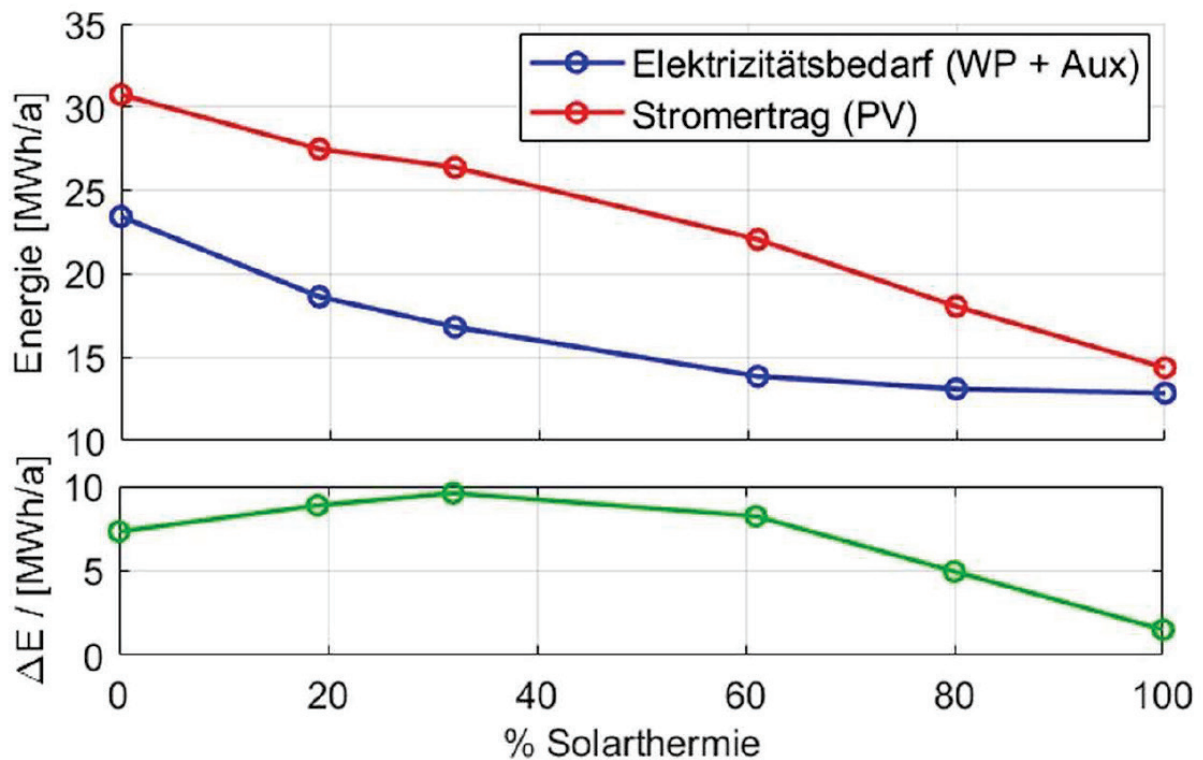
Photovoltaik und Solarkollektoren

Die Energieerzeugung am Standort wird durch die PV-Paneele und ST- Kollektoren ermöglicht, die die Dächer beider Gebäude vollständig bedecken. Die Auslegung des Systems war Gegenstand einer Studie (Ochs 2014), in der der optimale energetische Anteil von Photovoltaik Paneelen und Solarkollektoren für das Dach des Nordgebäudes ermittelt wurde. Abbildung 5 zeigt den Trend der Differenz zwischen dem elektrischen Energieertrag der Photovoltaik Paneele und dem elektrischen Energiebedarf der

Wärmepumpe samt Hilfsenergie als Funktion des Flächenanteils der Solarkollektoren. Das Maximum der Differenz liegt bei einem Flächenanteil der solarthermischen Kollektoren von 30%. Das umgesetzte Flächenverhältnis beider Systeme unterscheidet sich von (Ochs 2014), wobei die solarthermischen Kollektoren in der aktuellen Ausführung einen höheren Flächenanteil einnehmen.

(Ochs 2014) betonte auch, dass, obwohl eine kleine ST-Fläche aus energetischer Sicht vorteilhaft ist, die wirtschaftliche Analyse eine vollständige Abdeckung der PV-Paneele nahelegt, da die Kosten der PV-Paneele und damit auch die Systemkomplexität und der Wartungsaufwand sinken. Seither sind die PV Preise weiter gesunken, während die Preise für Solarthermieanlagen eher stagnieren.

Abbildung 56: Strombedarf für Wärmepumpe (WP) und Hilfsenergie (Aux) und PV-Energieerzeugung für beide Gebäude im Verhältnis zur solarthermischen Kollektorfläche auf dem Dach des Nordgebäudes. Die maximale Differenz zwischen Ertrag und Bedarf (ΔE) liegt bei etwa 30%, was 50 m² entspricht, im Gegensatz zu den tatsächlichen 80 m² (Ochs 2014).



5.6.3. Projekt Haller Feldkirch (LZE100LT-ID 025)

Das Mehrfamilienhausprojekt Haller in Feldkirch wird vorgestellt, da es ein hervorragendes Beispiel für ein hocheffizientes Mehrfamilienhaus ist, das ohne wissenschaftliche Begleitung und mit einem bewusst einfachen, reproduzierbaren Energiekonzept von einem gewerblichen Bauträger errichtet wurde. Darüber hinaus liegen für das Projekt detaillierte Energieverbrauchsdaten in hoher zeitlicher Auflösung vor, da der Gebäudeeigentümer diese zur Optimierung im Betrieb nutzt – leider auch im Jahr 2022 noch eine absolute Seltenheit.

Projektsteckbrief

Tabelle 5: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – Haller Feldkirch

| | | | |
|--|--|--|----------------------------|
| Ort/Seehöhe/Mitteltemperatur Okt.-März | 6800 Feldkirch | 448 m | 3,8 °C |
| Flächen | BGF: 1.602 m ² | WNF: 1.191 m ² | PHPP: 1.243 m ² |
| Anzahl Geschosse/Wohneinheiten | E + 3, unterkellert | 13 | |
| Anzahl Personen/Pro-Kopf-Wohnfläche | 32 Personen | 37,2 m ² _{WNF} /Person | |
| Bauherrin/Bauherr | ACK Immobilien | | |
| Planung | Architektur: Architekturbüro Haller und Partner, Rankweil HSL: k.A. | | |
| Konstruktionsart | Massivbau mit Außendämmung | | |
| U-Werte Wand/Dach/Fenster | 0,16 (0,19) W/(m ² K) | 0,18 W/(m ² K) | 1,06 W/(m ² K) |
| Lüftungssystem/Luftwechselrate | Abluftanlage | | 0,31 h ⁻¹ |
| Wärmeerzeuger | Erdreich-WP | | |
| Wärmespeicher | 1.300 Liter | | |
| Wärmeverteilung | Vierleitersystem mit Zirkulation | | |
| Wärmeabgabesystem | Fußbodenheizung | | |
| Solarthermie | 31 m ² | | |
| PV | keine PV | | |
| Heizlast PHPP (20 °C) | 16,4 W/m ² _{EBF} | | |
| Endenergiebedarf _{Heiz + WW} (Prognose) | k.A. | | |
| Endenergieverbrauch Heiz + WW | 11,1 kWh/(m ² _{WNF,a}) | | |
| Endenergieverbrauch _{gesamt} | 33,0 kWh/(m ² _{WNF,a}) | | |
| PV-Erzeugung | 0 kWh/(m ² _{ÜFLa}) | | |
| Netzbezug _{gesamt} | 33,0 kWh/(m ² _{WNF,a}) | | |
| Netzeinspeisung | 0 kWh/(m ² _{WNF,a}) | | |

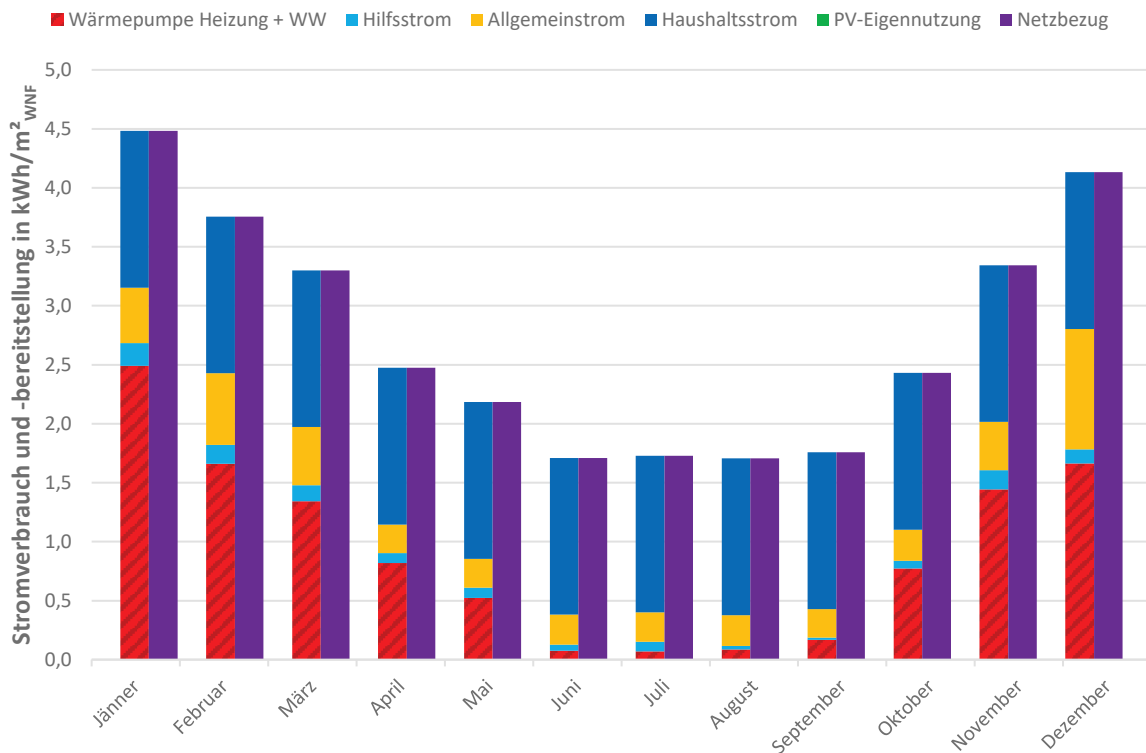
Abbildung 57: Mehrfamilienhaus in Feldkirch; Bauherrin/Bauherr: ACK Immobilien; Planung: Architekturbüro Haller und Partner; Foto: C. Begle



Monatsbewertung

Die folgende Abbildung 58 zeigt den spezifischen, monatlichen Stromverbrauch für das Jahr 2019 bezogen auf die Wohnnutzfläche. Da bei diesem Objekt keine PV-Anlage vorhanden ist, wird der gesamte Stromverbrauch aus dem Netz bezogen. Durch die Wärmepumpe ergibt sich eine eindeutige jahreszeitliche Schwankung des Stromverbrauchs.

Abbildung 58: Monatlicher Stromverbrauch und -bereitstellung – Haller Feldkirch



Wird der jährliche Netzbezug ($33,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$) mit dem Jahres-Konversionsfaktor für Strom nach OIB-Richtlinie 6 (2019) ($247 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$) bewertet, ergeben sich gesamte $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emissionen von $8,2 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Erfolgt die Bewertung jedoch auf Monatsbasis mit den monatlichen Konversionsfaktoren aus Abbildung 14 (Mittelwert 2014 – 2019) dann ergeben sich gesamte $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emissionen von $9,1 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Die $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Bewertung auf Monatsbasis ist selbst für das sehr effiziente Gebäude mit vergleichsweise geringem winterlichen Stromverbrauch um ca. 11% höher als die Bewertung auf Jahresbasis.

Förderhöhe in Abhängigkeit des tatsächlichen Verbrauchs

Am Beispiel des im Rahmen dieses Modellvorhabens begleiteten Bauprojekt in Feldkirch (Ploß 2019b) wurde als Alternative zum bisherigen Fördermodell eine Variante vorgeschlagen, mit der eine Bewertung der energetischen Gebäudequalität auf Basis der realen Energieverbräuche vorgenommen werden kann. In diesem Modell würde ein kleinerer Teil der Förderung bei Fertigstellung ausgezahlt (Basisförderung) und ein zweiter Teil später auf der Basis der realen Verbräuche (Bonusförderung). Durch diesen Ansatz ist das Fördermodell technologieoffen – bewertet wird die energetische Qualität und nicht die eingesetzten technischen Komponenten.

Das Projekt in Feldkirch eignete sich sehr gut als Testobjekt für das neue Fördermodell, da die Bauherrin bzw. der Bauherr sich auf eine Bewertung auf Basis der realen Verbräuche einlassen und das Gebäude ohnehin mit den notwendigen Monitoring-Einrichtungen ausstatten wollte.

Für die Bemessung des Bonus wurde vorgeschlagen, ein Modell zu verwenden, das auf der Bewertung in der Deklarationsstufe „Im Gebäudebetrieb“ des Programms klimaaktiv beruht. In diesem Modell werden die folgenden Bewertungsindikatoren verwendet:

- Gemessener Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser
- Gemessener Endenergieverbrauch für Hilfs- und Allgemeinstrom (Pumpen, Lüftung, Solarthermie etc. sowie Lift, Beleuchtung Treppenhaus + Tiefgarage...)
- $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emissionen aufgrund des gemessenen Endenergieverbrauchs für Heizung, Warmwasser und Allgemeinstrom
- Gemessene PV-Stromerzeugung
- Übereinstimmung des gemessenen Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser mit dem in einer Verbrauchsprognoseberechnung bestimmten Bedarfswerts
- Gemessener Haushaltsstrombedarf in Summe aller Wohnungen (dieses Kriterium ist in der Bewertung von klimaaktiv nicht enthalten).

Das im Rahmen des Projekts entwickelte Fördermodell aus Grundförderung aufgrund der eingesetzten Technologien und Boni aufgrund der gemessenen Energieverbräuche und aufgrund der Übereinstimmung zwischen Energieverbrauch und vorab ermitteltem Bedarf hat sich bewährt.

Die sehr niedrigen Energieverbräuche des Gebäudes zeigen, dass das Fördermodell dazu führte, dass eine durchgängige, wirkungsvolle Qualitätssicherung von der Planungsphase über die Bauleitung und die Abnahme des Gebäudes bis zur Optimierung im Betrieb erfolgte. Das Projekt gehört zu den effizientesten wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäusern Österreichs und wurde darüber hinaus zu äußerst marktfähigen Kosten errichtet. Der Mehraufwand für Messtechnik war überschaubar, die Bauherrin bzw. der Bauherr demonstrierte, dass das durchgängige Qualitätssicherungskonzept auch in kleineren Firmen angewandt werden kann.

5.6.4. Projekt Langenegg (LZE100LT-ID 029)

Das Projekt in Langenegg wurde als Beispiel für besonders effiziente, kleine Mehrfamilienhäuser ausgewählt. Die Wohnanlage mit zwei Mehrfamilienhäusern wurde als Ergebnis eines Bauträger-Wettbewerbs der Gemeinde Langenegg im Bregenzerwald errichtet. Die beiden Gebäude mit jeweils 6 Wohneinheiten wurden 2013 (Haus A) und 2015 (Haus B) fertiggestellt, die nachfolgende Projektdarstellung bezieht sich auf das in Abbildung 59 dargestellte Haus A.

Abbildung 59: Mehrfamilienhaus in Langenegg; Bauherrin/Bauherr: Morscher Bau- und Projektmanagement GmbH; Architektur: HK Architekten Herman Kaufmann und Partner ZT GmbH; Foto: R. Fessler/G. Morscher



Für das in Passivhausniveau errichtete Gebäude des gewerblichen Bauträgers Morscher Bau- & Projektmanagement GmbH liegen Verbrauchsdaten für die Jahre 2014 bis 2020 vor. Zudem war das Projekt Gegenstand einer Haustechnik-Variantenstudie, in welcher der End- und Primärenergiebedarf für Haus B, auf Basis des annähernd baugleich ausgeführten Haus A prognostiziert wurde (Morscher 2016).

Projektsteckbrief

Tabelle 6: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – Langenegg

| | | | |
|--|--|----------------------------|---------------------------|
| Ort/Seehöhe/Mitteltemperatur Okt.-März | 6941 Langenegg | 669 m | 2,5 °C |
| Flächen | BGF: 589 m ² | WNF: 399 m ² | PHPP: 438 m ² |
| Anzahl Geschosse/Wohneinheiten | E + 1, Keller im Hang | 6 | |
| Anzahl Personen/Pro-Kopf-Wohnfläche | k.A. | k.A. | |
| Bauherrin/Bauherr | Morscher Bau- & Projektmanagement GmbH | | |
| Planung | Architektur: Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH HSL: Planungsteam E-Plus, Egg | | |
| Konstruktionsart | Mischbauweise: Tragstruktur in Stahlbeton + Holz-Elemente | | |
| U-Werte Wand/Dach/Fenster | 0,119 W/(m ² K) | 0,084 W/(m ² K) | 0,75 W/(m ² K) |
| Lüftungssystem/Luftwechselrate | wohnungswise Komfortlüftung mit WRG | | 0,30 h ⁻¹ |
| Wärmeerzeuger | Erdreich-WP | | |
| Wärmespeicher | 3.000 Liter | | |
| Wärmeverteilung | 2+2-Leiter mit zentraler Frischwasserstation | | |
| Wärmeabgabesystem | Fußbodenheizung 35 °C / 28 °C | | |
| Solarthermie | 52,5 m ² | | |
| PV | 5,2 kWp | | |
| Heizlast PHPP (20 °C) | 11,6 W/m ² _{EBF} | | |
| Endenergiebedarf _{Heiz + WW} (Prognose) | 10,2 kWh/(m ² _{WNFa}) | | |
| Endenergieverbrauch Heiz + WW | 9,9 kWh/(m ² _{WNFa}) | | |
| Endenergieverbrauch _{gesamt} | 36,5 kWh/(m ² _{WNFa}) | | |
| PV-Erzeugung | 19,8 kWh/(m ² _{ÜFLa}) | | |
| Netzbezug _{gesamt} | 29,3 kWh/(m ² _{WNFa}) | | |
| Netzeinspeisung | 5,8 kWh/(m ² _{WNFa}) | | |

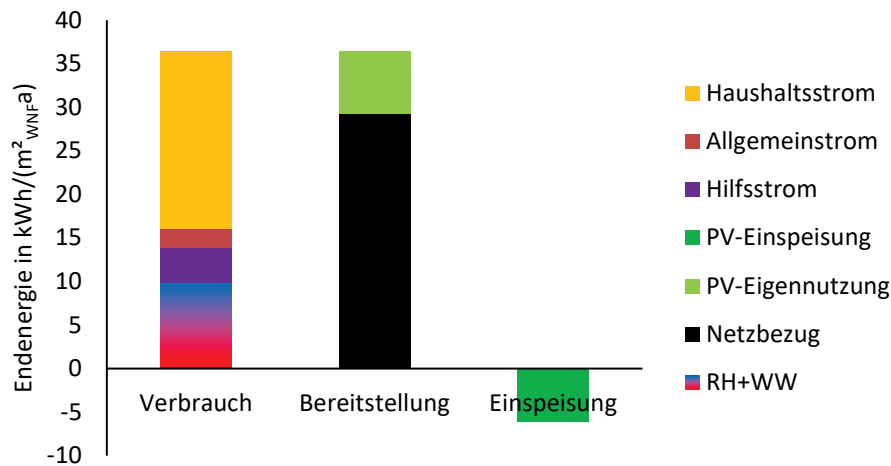
Das in den Hang gebaute Projekt wurde in Mischbauweise mit Tragstruktur inkl. oberster Geschossdecke aus Stahlbeton und oberirdischen Außenwänden in Holz-Elementbauweise mit 30 cm Zellsulosedämmung errichtet. Über die opaken Bauteile wird ein mittlerer U-Wert von 0,156 W/(m²K) erreicht, das Gebäude wurde also mit sehr guter Hüllqualität ausgeführt. Die Fenster wurden mit Holzrahmen IV 88 und sehr guter Dreifachverglasung ausgeführt. Aufgrund der überwiegend großen Fensterformate ergibt sich ein sehr guter U_w-Wert von 0,65 W/(m²K) über alle Fenster.

Das Gebäude wird mit dezentralen, wohnungsweisen Komfortlüftungen mit Wärmerückgewinnung belüftet, die mittlere Luftwechselrate beträgt 0,30 h⁻¹. Das Wärmeversorgungssystem besteht aus einer Sole-Wärmepumpe, einem in die Balkonbrüstung integrierten thermischen Kollektoren, einem 3.000-Liter-Speicher und Vierleitersystem mit zentraler Frischwasserstation. Der Rücklauf aus der Solarthermie bedient die Fußbodenheizung vorrangig gegenüber dem Speicher. So kann bereits bei einer Rücklauftemperatur von 30 °C im Frühjahr bzw. Spätherbst die Fußbodenheizung direkt durch die solarthermische Anlage bedient werden. Die Wärmeabgabe vom Pufferspeicher an das Warmwassersystem erfolgt über eine Wasserhygienestation. Das Gebäude verfügt zusätzlich über eine 5,2kWp-PV-Anlage mit Nutzung des PV-Stroms für Hilfs- und Allgemeinstrom sowie Wärmepumpe.

Energetische Performance

Die energetische Performance des Gebäudes im Jahr 2015 ist in Abbildung 60 mittels Balkendiagramm dargestellt. Präsentiert werden die auf die Wohnnutzfläche von 399 m² bezogenen spezifische Werte. Die mittlere Raumlufttemperatur während der Heizperiode lag bei 22,8°C.

Abbildung 60: Gemessene Energieflüsse im Jahr 2015 – spezifische Werte mit Bezug auf Wohnnutzfläche von 399,3 m²



Der Jahresstromverbrauch für Heizung und Warmwasser betrug 9,9 kWh/(m²_{WNFA}). Das Gebäude ist damit eines der effizientesten wärmepumpenbeheizten Mehrfamilienhäuser Österreichs. Auch die übrigen Verbräuche (Hilfsstrom (Pumpen, Lüftung) 4,1 kWh/(m²_{WNFA}), Allgemestrom (Lift, Beleuchtung) 2,1 kWh/(m²_{WNFA}) und Haushaltsstrom (20,4 kWh/(m²_{WNFA})) sind sehr niedrig. Ein Teil des Stromverbrauchs kann durch die kleine PV-Anlage gedeckt werden, ein Teil des Ertrags wird eingespeist. Der gesamte Netzbezug in Summe aller Energieanwendungen ist mit 29,3 kWh/m²_{WNFA} der niedrigste aller im Projekt LZE100LT untersuchten Mehrfamilienhäuser.

Besonderheiten

Das Projekt wurde als österreichweit erstes in der Deklarationsstufe „In der Gebäudenutzung“ des Gebäudebewertungssystems klimaaktiv deklariertes Mehrfamilienhaus Österreichs in der Stufe Gold ausgezeichnet. In dieser 2017 eingeführten Deklarationsstufe wird nicht der rechnerische Energiebedarf, sondern der reale Verbrauch bewertet.

Eine weitere Besonderheit ist, dass der Bauträger Morscher Bau- & Projektmanagement GmbH sämtliche Projekte in derselben energetischen Qualität wie das Projekt in Langenegg errichtet. Die in der Praxis bestätigte, hervorragende energetische Qualität ist Resultat einer seit 20 Jahren von Projekt zu Projekt durchgeführten, schrittweisen energetischen Optimierung. Der Bauträger errichtet alle seine Projekte im Bregenzerwald. Das zeigt sich auch im Gemeinde-Ranking der Dichte an Passivhausobjekten (Quadratmeter Energiezugsfläche je Einwohner) in der Abbildung 80 im Anhang. Unter den Top 5 Gemeinden befinden sich 3 Gemeinden aus dem Bregenzerwald (Krumbach, Doren und Langenegg).

5.6.5. Projekt Dafins A und B (LZE100LT-ID 022 und 023)

Im Rahmen eines vom Land Vorarlberg geförderten Wohnbauforschungsprojekts wurden zwei architektonisch sehr ähnliche Gebäude mit je 6 Wohneinheiten in der gleichen Konstruktionsart und Hüllqualität errichtet (EIV 2022). Der erste Schwerpunkt des Forschungsprojekts lag auf dem Vergleich einer zentralen, wärmepumpenbasierten Wärmeversorgung mit einem ebenfalls wärmepumpenbasierten System, in dem die Heizung zentral, die Warmwasserbereitung durch wohnungsweise Warmwasser-Wärmepumpenboiler erfolgt. Zweiter Schwerpunkt war der energetische und wirtschaftliche Vergleich von PV-Anlagen in unterschiedlicher Größe und Ausrichtung.

Die von der Alpenländischen Heimstätte- gemeinnützige Wohnungsbau- und SiedlungsgesmbH errichteten Gebäude werden seit Fertigstellung im Herbst 2020 durch das Energieinstitut Vorarlberg messtechnisch begleitet.

Abbildung 61: Mehrfamilienhäuser in Dafins; Bauherrin/Bauherr: Alpenländischen Heimstätte- gemeinnützige Wohnungsbau- und SiedlungsgesmbH; Architektur: drexel architekten ZT OG, Hohenems; Foto: Energieinstitut Vorarlberg



Projektsteckbrief

Tabelle 7: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – Dafins Haus A und B

| | | | |
|--|--|--|--|
| Ort/Seehöhe/Mitteltemperatur Okt.-März | 6832 Dafins | 790 m | 0,4 °C |
| Flächen | BGF: 644 m ² (A) 678 m ² (B) | WNF: 432 m ² (A) 496 m ² (B) | PHPP: 482 m ² (A) 520 m ² (B) |
| Anzahl Geschosse/Wohneinheiten | E + 1 | 6 (A) | 6 (B) |
| Anzahl Personen/Pro-Kopf-Wohnfläche | 16 Personen (A) 23 Personen (B) | 27 m ² _{WNF} /Person (A) 21,6 m ² _{WNF} /Person (B) | |
| Bauherrin/Bauherr | Alpenländischen Heimstätte- gemeinnützige Wohnungsbau- und SiedlungsgesmbH | | |
| Planung | Architektur: drexel architekten ZT OG, Hohenems HSL: Planungsteam E-Plus, Egg | | |
| Konstruktionsart | Massivbau mit vorgesetzter gedämmter Holzfassade | | |
| U-Werte Wand/Dach/Fenster | 0,133 W/(m ² K) | 0,094 W/(m ² K) | 0,76 W/(m ² K) |
| Lüftungssystem/Luftwechselrate | wohnungswise Komfortlüftung mit WRG | | 0,33 h ⁻¹ |
| Wärmeerzeuger Heizung | Erdreich-WP | | |
| Wärmeerzeuger Warmwasser | kombiniert mit Wärmeerzeuger Heizung (A) dezentrale, wohnungswise Wärmepumpenboiler (B) | | |
| Wärmespeicher | 1.000 Liter (A) | 400 Liter (B) | |
| Wärmeverteilung | 2+2-Leiter mit zentraler Frischwasserstation (A) Zweileitersystem für FBH (B) | | |
| Wärmeabgabesystem | Fußbodenheizung 35 °C / 28 °C | | |
| Solarthermie | keine Solarthermie | | |
| PV | 30 kWp (A) | 30 kWp (B) | |
| Heizlast PHPP (20 °C) | 13,3 W/m ² _{EBF} (A) | 12,3 W/m ² _{EBF} (B) | |
| Endenergiebedarf _{Heiz + WW} (Prognose) | 17,2 kWh/(m ² _{WNFA}) (A) | 17,8 kWh/(m ² _{WNFA}) (B) | |
| Endenergieverbrauch Heiz + WW | 22,9 kWh/(m ² _{WNFA}) (A) | 24,9 kWh/(m ² _{WNFA}) (B) | |
| Endenergieverbrauch _{gesamt} | 60,1 kWh/(m ² _{WNFA}) (A) | 77,6 kWh/(m ² _{WNFA}) (B) | |
| PV-Erzeugung | 83,9 kWh/(m ² _{ÜFLA}) (A) | 82,9 kWh/(m ² _{ÜFLA}) (B) | |
| Netzbezug _{gesamt} | 43,1 kWh/(m ² _{WNFA}) (A) | 56,9 kWh/(m ² _{WNFA}) (B) | |
| Netzeinspeisung | 45,1 kWh/(m ² _{WNFA}) (A) | 33,6 kWh/(m ² _{WNFA}) (B) | |

Die beiden Baukörper wurden in der gleichen Konstruktionsart (Massivbau mit vorgesetzter, gedämmter Holzfassade) im gleichen, sehr guten Hüllniveau ausgeführt. Die mittleren U-Werte der opaken Bauteile der Gebäudehülle liegen bei 0,127 bzw. 0,129 W/(m²K). Die Fenster wurden mit IV90 Holzrahmen in Fichte mit einem $U_f = 1,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und einer Dreifachverglasung mit $U_g = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und einem g-Wert von 0,49 ausgeführt. Beide Gebäude verfügen über dezentrale, wohnungswise Komfortlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung mit einer mittleren Luftwechselrate von 0,33 h⁻¹.

Das Wärmesystem von Haus A besteht aus einer modulierenden Sole-Erdreichwärmepumpe, einem 1.000-Liter-Speicher (nur für Warmwasser) und einem 2+2-Leitersystem mit 48-50 °C Vorlauftemperatur für die Frischwasserstationen und 30°-35 °C für die Fußbodenheizung, welche von der WP direkt versorgt wird. Die Warmwasser Zapftemperatur beträgt etwa 45 °C, höhere Temperaturen zur Legionellen-Prävention müssen nicht erreicht werden, da es sich aufgrund der Wohnungsstationen um ein dezentrales System handelt. Das Gebäude verfügt zusätzlich über eine 30 kWp-PV-Anlage mit Nutzung des PV-Stroms für alle Energieanwendungen im Gebäude inkl. Haushaltsstrom.

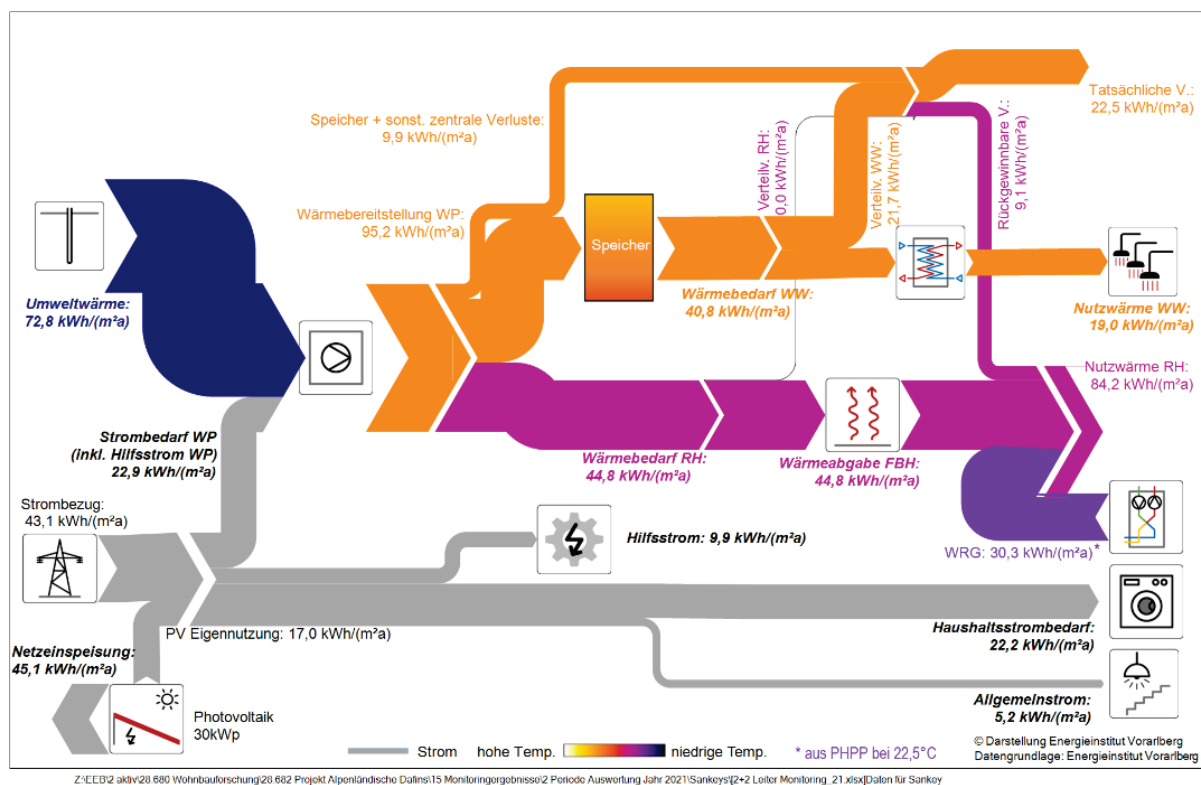
Das Wärmesystem von Haus B besteht aus einer modulierenden Sole-Wärmepumpe, einem Speicher als hydraulische Weiche, einem Zweileitersystem mit 30-35 °C Vorlauftemperatur für die

Fußbodenheizung sowie dezentralen Warmwasser-Wärmepumpenboilern. Diese nutzen als Wärmequelle die Fußbodenheizung, so dass die Wärmepumpen kaskadenartig betrieben werden: Die zentrale Heizungs-Wärmepumpe erwärmt in der Heiz- und Übergangssaison das Wasser im Heizkreis auf 30-35 °C, die wohnungsweisen Warmwasser-Wärmepumpen müssen nur einen Temperaturhub von dieser Temperatur auf die Speichertemperatur von etwa 55 °C bewältigen. Im Sommer reicht der passive Solarertrag durch die Fenster, der über die Fußbodenheizung für die dezentrale Brauchwasserwärmepumpe nutzbar gemacht wird, als Wärmequelle aus. Zusätzlich kann so eine leichte Raumkühlung erreicht werden. Haus B verfügt wie Haus A über eine 30 kWp-PV-Anlage mit Nutzung des PV-Stroms für alle Energieanwendungen im Gebäude inkl. Haushaltsstrom.

Energetische Performance - Sankey

Die energetische Performance von Haus A im Jahr 2021 ist in Abbildung 62 in einem Energieflussdiagramm (Sankey) dargestellt. Das Gebäude wurde Ende 2020 bezogen, somit ist das dargestellte Messjahr 2021 das erste Betriebsjahr. Es sind die auf die Wohnnutzfläche von 432 m² bezogenen spezifische Werte angegeben. Die Wärmeströme sind in einem Farbschema von gelb (hohe Temperatur) bis blau (niedrige Temperatur), die Stromverbräuche der einzelnen Anwendungen in grau dargestellt. Die mittlere Raumlufttemperatur während der Heizperiode lag bei 22,5°C.

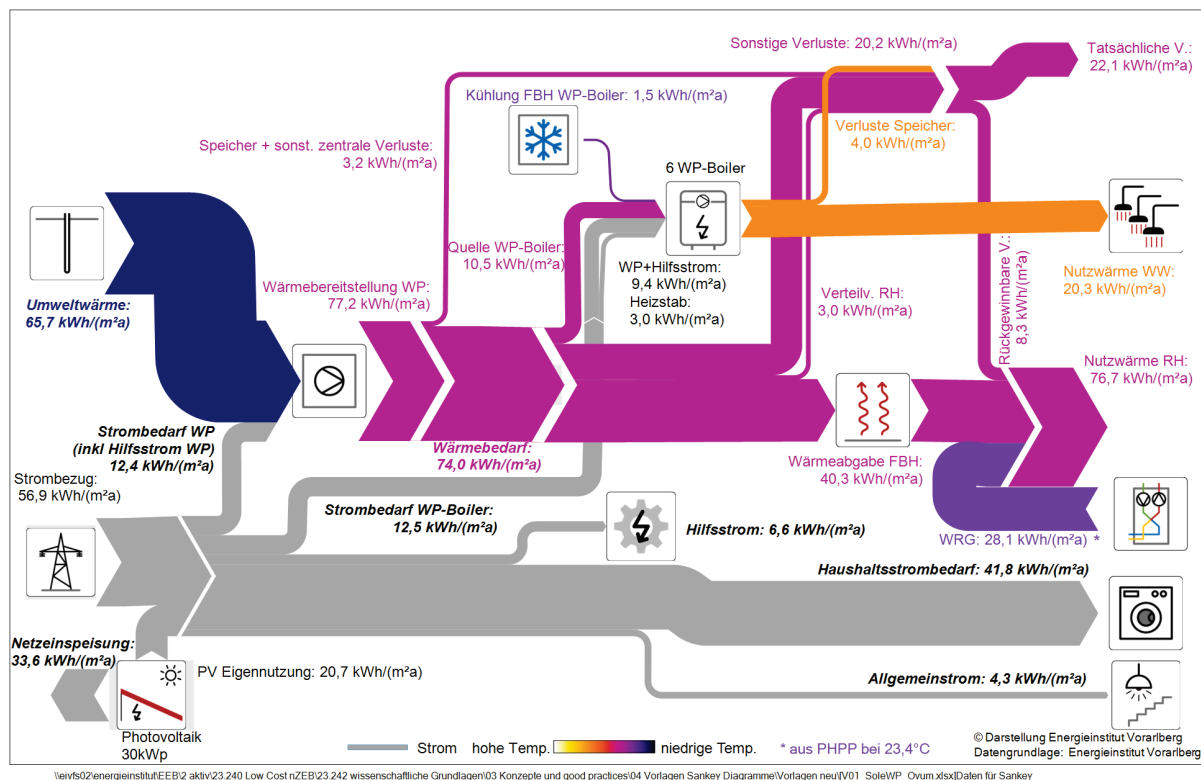
Abbildung 62: Energieflussdiagramm (Sankey) – Dafins Haus A, Monitoringergebnisse 2021



Der gesamte Strombezug aus dem Netz für alle Anwendungen wie Heizung, Warmwasser, Hilfsstrom, Allgemeinstrom und Haushaltsstrom ist in der Jahresbilanz mit 43,1 kWh/(m²_{WNFA}) niedriger als die Netzeinspeisung mit 45,1 kWh/(m²_{WNFA}). Das Gebäude ist durch die Effizienzmaßnahmen und die relativ große PV-Anlage somit ein jahresbilanzielles Plusenergiegebäude.

Die energetische Performance von Haus B im Jahr 2021 ist in Abb. 5 in einem Energieflussdiagramm (Sankey) dargestellt. Es sind die auf die Wohnnutzfläche von 496 m² bezogenen spezifische Werte angegeben.

Abbildung 63: Energieflussdiagramm (Sankey) – Dafins Haus B, Monitoringergebnisse 2021



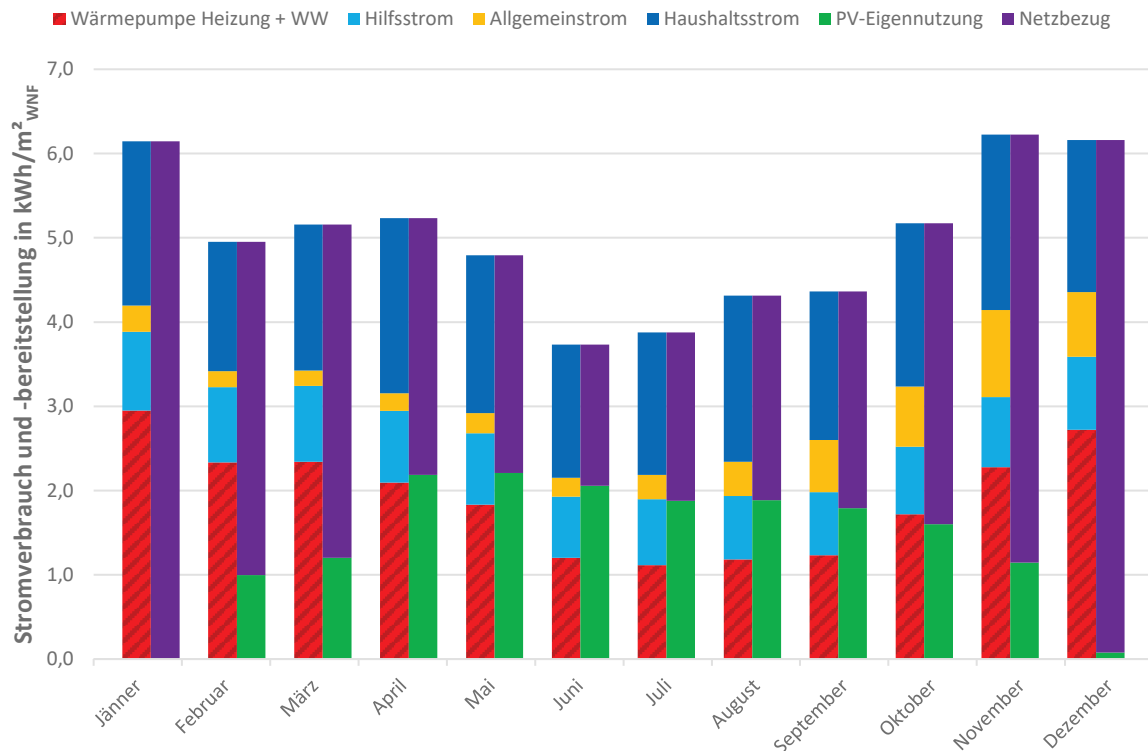
Der gesamte Strombezug aus dem Netz für alle Anwendungen wie Heizung, Warmwasser, Hilfs-, Allgemein- und Haushaltsstrom ist in der Jahresbilanz mit 56,9 kWh/(m²_{WNFA}) höher als die Netzeinspeisung mit 33,6 kWh/(m²_{WNFA}). Das Gebäude benötigt also trotz Effizienzmaßnahmen und der relativ großen PV-Anlage jahresbilanziell mehr Strom als es erzeugt. Hauptgründe für den im Vergleich zu Haus A höheren Verbräuche sind:

- Regelungstechnische Probleme der wohnungsweisen Wärmepumpen – inzwischen behoben – dadurch ab dem zweiten Messjahr 2022 höhere Effizienzen und niedrigere Verbräuche für die Warmwasserbereitung
- Höhere Verteilverluste als berechnet – Optimierung läuft im zweiten Jahr
- Sehr hohe Belegungsdichte (pro-Kopf-Wohnfläche 21,6 m²) im Vergleich zu 27 m² in Haus A und meist etwa 35 bis 40 m² in den anderen Projekten. Dadurch höherer flächenspezifischer Warmwasser- und Haushaltsstromverbrauch.
- Sehr ineffiziente Elektro-Großgeräte speziell in zwei Wohnungen

Monatsbewertung

Die folgende Abbildung 64 zeigt den spezifischen, monatlichen Stromverbrauch von Haus A für das Jahr 2021 bezogen auf die Wohnnutzfläche. Ein Teil des Stromverbrauchs wird durch die PV-Anlage abgedeckt, der Rest wird aus dem Netz bezogen. Durch die Wärmepumpe und die PV-Eigennutzung ergibt sich eine eindeutige jahreszeitliche Schwankung des netzbezogenen Stromverbrauchs.

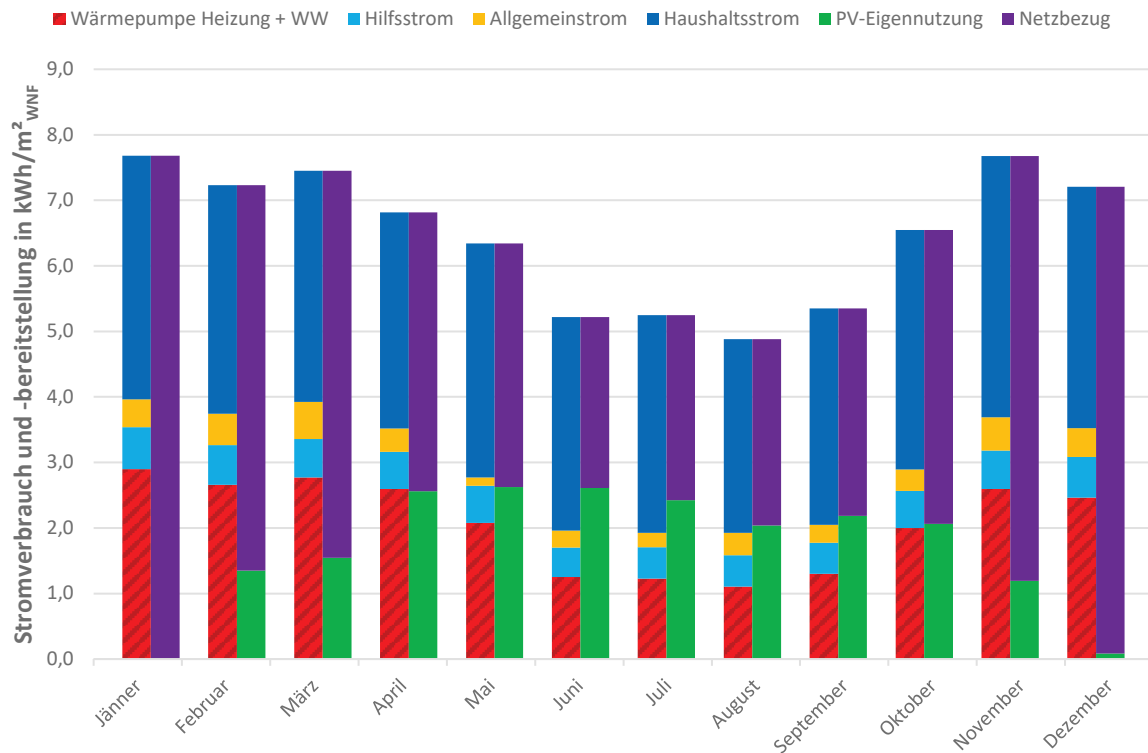
Abbildung 64: Monatlicher Stromverbrauch und -bereitstellung – Dafins Haus A



Wird der jährliche Netzbezug ($43,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$) mit dem Jahres-Konversionsfaktor für Strom nach OIB-Richtlinie 6 (2019) ($247 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$) bewertet, ergeben sich gesamte $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emissionen von $10,6 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Erfolgt die Bewertung jedoch auf Monatsbasis mit den monatlichen Konversionsfaktoren aus Abbildung 14 (Mittelwert 2014 – 2019) dann ergeben sich gesamte $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emissionen von $12,0 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Die $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Bewertung auf Monatsbasis ist selbst in dem sehr effizienten Gebäude mit niedrigem winterlichen Wärmeverbrauch um ca. 13% höher als die Bewertung auf Jahresbasis.

Die folgende Abbildung 65 zeigt den spezifischen, monatlichen Stromverbrauch von Haus B für das Jahr 2021 bezogen auf die Wohnnutzfläche. Ein Teil des Stromverbrauchs wird durch die PV-Anlage abgedeckt, der Rest wird aus dem Netz bezogen. Durch die Wärmepumpe und die PV-Eigennutzung ergibt sich ebenfalls eine eindeutige jahreszeitliche Schwankung des netzbezogenen Stromverbrauchs.

Abbildung 65: Monatlicher Stromverbrauch und -bereitstellung – Dafins Haus B



Wird der jährliche Netzbezug ($56,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNF}})$) mit dem Jahres-Konversionsfaktor für Strom nach OIB-Richtlinie 6 (2019) ($247 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$) bewertet ergeben sich gesamte $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emissionen von $14,1 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNF}})$. Erfolgt die Bewertung jedoch auf Monatsbasis mit den monatlichen Konversionsfaktoren aus Abbildung 14 (Mittelwert 2014 – 2019) dann ergeben sich gesamte $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emissionen von $15,7 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNF}})$. Die $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Bewertung auf Monatsbasis ist um ca. 11% höher als die Bewertung auf Jahresbasis.

5.6.6. Passivhaussanierung Am Sportplatz 4 (LZE100LT-ID 074)

Beim Projekt handelt es sich um eine Erweiterung und Sanierung eines Einfamilienhauses aus den Jahren 1964/1972 zu einem verdichteten Generationen-Passivhaus mit 5 Wohneinheiten (Drössler 2019). Das Gebäude erhielt 2019 die Auszeichnung „klimaaktiv Gold Plus“ des Österreichischen Umweltministeriums. Die Auszeichnung wurde vergeben, weil durch eine Verbrauchsdokumentation und Messung des Innen- und Außenklimas sowie eine Befragung der Nutzerinnen und Nutzer nachgewiesen werden konnte, dass die Behaglichkeit der Vorausberechnung entspricht, die Klimadaten im berechneten Rahmen liegen und der Energieverbrauch im Mittel über die ersten 6 Betriebsjahre sogar unter der Vorausberechnung lag. Nach Fertigstellung wurde das Gebäude im Jahr 2013 für die Qualität der Planung und Errichtung schon mit klimaaktiv Gold ausgezeichnet.

- Für Planung und Errichtung: klimaaktiv Gold mit 990 von 1.000 Punkten in 2013
- Für 6 Jahre dokumentierten Betrieb: klimaaktiv Gold Plus mit 1.000 von 1.000 Punkten in 2019.

Projektsteckbrief

Tabelle 8: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – Passivhaussanierung Am Sportplatz 4

| | | | |
|--|---|--|---------------------------|
| Ort/Seehöhe/Mitteltemperatur Okt.-März | 6912 Hörbranz | 408 m | 4,7 °C |
| Flächen | BGF: 699 m ² | WNF: 484 m ² | PHPP: 505 m ² |
| Anzahl Geschosse/Wohneinheiten | E + 2 | 5 | |
| Anzahl Personen/Pro-Kopf-Wohnfläche | 10 Personen | 48,4 m ² _{WNF} /Person | |
| Bauherrin/Bauherr | Errichtergemeinschaft AS4 | | |
| Planung | Architektur: Architekt Gerhard Zweier, Wolfurt HSL: Planungsteam E-Plus, Egg | | |
| Konstruktionsart | vorgefertigte, gedämmte Holzfassadenelemente | | |
| U-Werte Wand/Dach/Fenster | 0,106 W/(m ² K) | 0,088 W/(m ² K) | 0,72 W/(m ² K) |
| Lüftungssystem/Luftwechselrate | wohnungswise Komfortlüftung mit WRG | | 0,29 h ⁻¹ |
| Wärmeerzeuger | Grundwasser-WP | | |
| Wärmespeicher | 2.400 Liter | | |
| Wärmeverteilung | Vierleitersystem mit Zirkulation | | |
| Wärmeabgabesystem | Fußbodenheizung 35 °C / 28 °C | | |
| Solarthermie | 21 m ² | | |
| PV | keine PV | | |
| Heizlast PHPP (20 °C) | 11,6 W/m ² _{EBF} | | |
| Endenergiebedarf _{Heiz + WW} (Prognose) | 17,7 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| Endenergieverbrauch Heiz + WW | 14,1 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| Endenergieverbrauch _{gesamt} | 44,0 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| PV-Erzeugung | 0 kWh/(m ² _{ÜFLA}) | | |
| Netzbezug _{gesamt} | 44,0 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| Netzeinspeisung | 0 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |

Abbildung 66: Passivhaussanierung Am Sportplatz 4; Bauherrin/Bauherr: Errichtergemeinschaft AS4; Architektur: Gerhard Zweier; Foto: E. Drössler



Das Gebäude wurde digital aufgenommen, in CAD-Work wurden die Fassadenelemente am Gebäude geplant, die Fenster integriert. Aus dem Werkplan wurden die Ansteuerungsfiles für CNC-Maschinen generiert. Die Fassade wurde in Elementen mit bis zu 1,5 Tonnen angeliefert. Sie steht auf Stahlwinkeln, die auf der Kellerdecke aufliegen. An den Zwischendecken wurden die Elemente vertikal eingerichtet und befestigt.

Ausschlaggebend für die Dämmstärke der vorgestellten Fassade war die Angebotspalette von Konstruktionsvollholz mit maximal 28 cm Stärke. Dies bestimmte eine Kassettdicke von 28 cm, gefüllt mit Mineralwolle der Wärmeleitklasse 032. Zwischen Gebäude und Fassadenelemente wurde eine weiche, 4 cm starke Glaswolle eingelegt, bei der Montage auf 2 cm verpresst. Die Fundamentstreifen und Kelleraußenwände wurden so gedämmt, dass die Stahlwinkel an den Spitzen noch mit 4 cm XPS überdeckt sind.

Die Fenster wurden mit einem Passivhaus-Vollholzrahmen einem $U_f = 0,93 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und einer Dreifachverglasung mit $U_g = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und einem g-Wert von 0,49 ausgeführt. Die Fenster wurden innen lackiert, außen mit einer silbergrauen Lasur gestrichen, die das Umschlagen von frischem Holz in verwitterte Oberfläche sanfter gestalten soll. Sie dürfen oberflächlich verwittern. Der untere Stockrahmen und das untere Querholz des Flügelrahmens, die von Sonne und Regen am stärksten angegriffen werden, sind mit einem Alu-Profil abgedeckt.

Die Wärmeversorgung des Gebäudes für Heizung und Warmwasser erfolgt über eine Grundwasserwärmepumpe (Anschlusswert 3,5 kW elektrisch) und eine thermische Solaranlage mit 21 m² Aperturfläche. Als Puffer dient ein 2.400-Liter-Kombi-Speicher. Es wurden – aus komfort- und regelungstechnischen Gründen 5 Lüftungsgeräte eingebaut. Die Luftvorwärmung im Winter sowie Luftvorkühlung im Sommer erfolgt über einen Grundwasser-Luft-Wärmetauscher.

5.6.7. EFH Passivhausscheibe Salzkammergut (LZE100LT-ID 039)

Bei der Passivhausscheibe Salzkammergut in Roitham in Oberösterreich handelt es sich um das älteste zertifizierte Passivhaus Österreichs. Das 1999 errichtete Einfamilienhaus ist zudem als „Upcycling“-Gebäude aus der Tragkonstruktion eines ausgedienten Messepavillon errichtet worden und ist über die gesamte Grundfläche mit einem Gründach bedeckt, womit das Gebäude in Summe auch einen sehr geringen ökologischen Fußabdruck aufweist.

Das eingeschossige Gebäude hat eine kreisförmige Grundfläche mit einer Wohnfläche von 140 m². Für das zertifizierte Passivhaus wurde mit dem Passivhaus-Projektierungspaket ein Heizwärmebedarf von 13,3 kWh/(m²a) bestimmt. Die Dämmstärken betragen 40 cm für die Wände, 30 cm für die Bodenplatte und 50 cm für das Dach, deren Dämmlagen jeweils Wärmeleitfähigkeiten von 0,04 W/(mK) aufweisen. Beheizt wird das Gebäude mit einem Wärmepumpenkompaktgerät. Das Gebäude besteht aus einem Holzskelett und weist neben der sehr guten Dämmung, eine gute Luftdichtheit von n₅₀-Wert mit 0,4 h⁻¹ auf.

Projektsteckbrief

Tabelle 9: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – EFH Passivhausscheibe Salzkammergut

| | | | |
|--|--|--|---------------------------|
| Ort/Seehöhe/Mitteltemperatur Okt.-März | 4661 Roitham am Traunfall | 424 m | 3,3 °C |
| Flächen | BGF: 168 m ² | WNF: 140 m ² | PHPP: 140 m ² |
| Anzahl Geschosse/Wohneinheiten | EG, nicht unterkellert | 1 | |
| Anzahl Personen/Pro-Kopf-Wohnfläche | 3 | 46,7 m ² _{WNF} /Person | |
| Bauherrin/Bauherr | Christine und Günter Lang, Roitham | | |
| Planung | Architektur: Herman Kaufmann + Partner ZT GmbH HSL: Lüftung Schmid, Krems | | |
| Konstruktionsart | Holzbau | | |
| U-Werte Wand/Dach/Fenster | 0,100 W/(m ² K) | 0,08 W/(m ² K) | 0,89 W/(m ² K) |
| Lüftungssystem/Luftwechselrate | Komfortlüftung mit WRG, Kompaktgerät | | 0,40 h ⁻¹ |
| Wärmeerzeuger | Luft-WP | | |
| Wärmespeicher | 200 Liter | | |
| Wärmeverteilung | Komfortlüftung | | |
| Wärmeabgabesystem | Komfortlüftung | | |
| Zusatzwärmequelle | Dekorfeuer - Ethanolofen | | |
| Solarthermie | Keine Solarthermie | | |
| PV | Keine PV | | |
| Heizlast PHPP (20 °C) | 10 W/m ² _{EBF} | | |
| Endenergiebedarf _{Heiz + WW} (Prognose) | 16,8 kWh/(m ² _{WNF} a) | | |
| Endenergieverbrauch Heiz + WW | 11,6 kWh/(m ² _{WNF} a) | | |
| Endenergieverbrauch _{gesamt} | 18,5 kWh/(m ² _{WNF} a) | | |
| PV-Erzeugung | 0 kWh/(m ² _{ÜFLA}) | | |
| Netzbezug _{gesamt} | 18,5 kWh/(m ² _{WNF} a) | | |
| Netzeinspeisung | 0 kWh/(m ² _{WNF} a) | | |

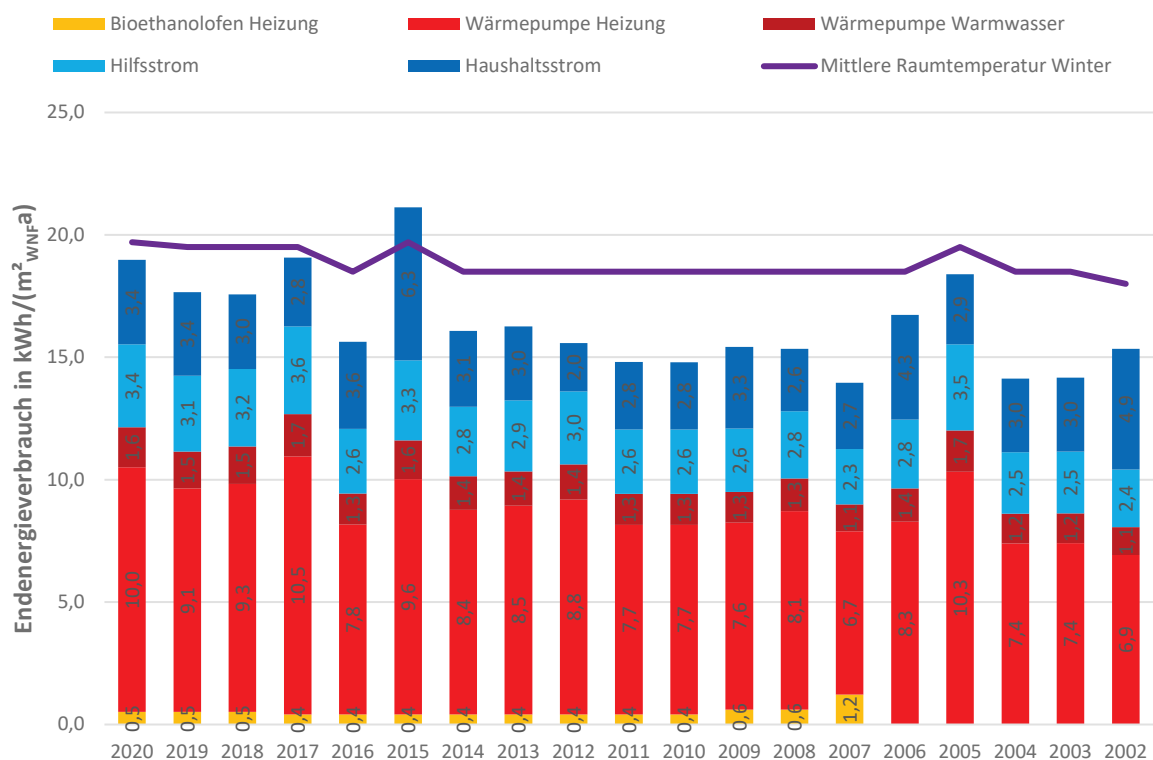
Abbildung 67: Einfamilienhaus in Roitham; Bauherrin/Bauherr: Christine und Günter Lang; Planung: HK Architekten Herman Kaufmann und Partner ZT GmbH; Foto: LANG consulting



Gemessene Endenergieverbräuche über 18 Betriebsjahre

Die folgende Abbildung 68 zeigt eine detaillierte Auswertung der einzelnen Energieträger und Art der „Energieutzung“ über 18 Betriebsjahre.

Abbildung 68: Jährliche, gemessene Endenergieverbräuche über 18 Jahre von der Passivhausscheibe Salzkammergut, dem ältesten zertifizierten Passivhaus Österreichs.

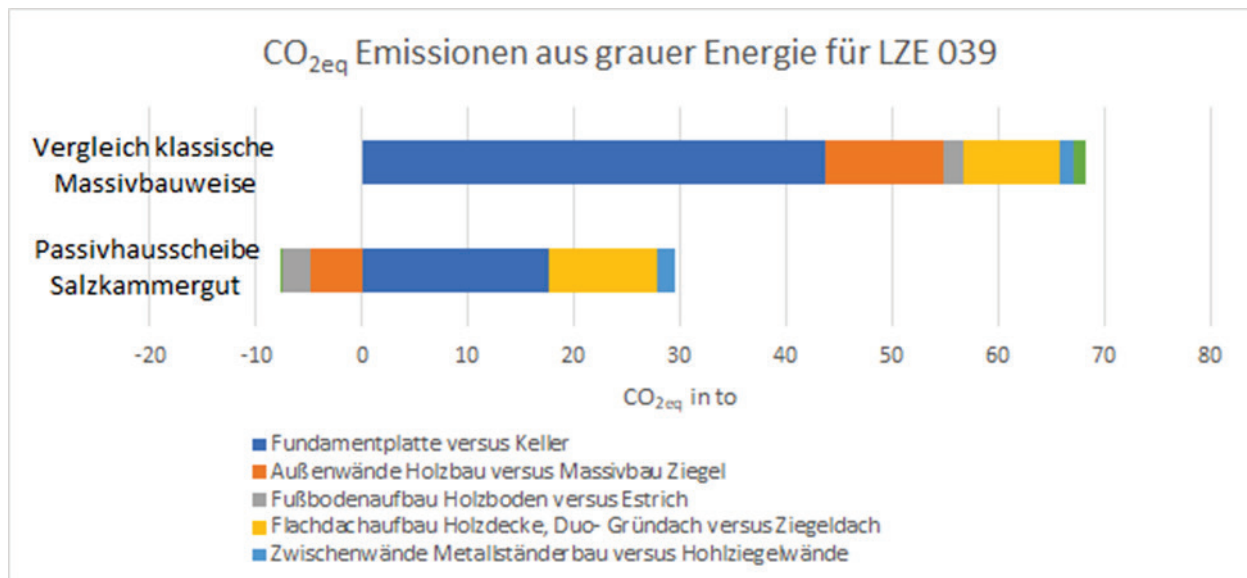


Die Auswertung zeigt mit Ausnahme einzelner Ausreißer einen relativ konstanten Endenergieverbrauch über alle 18 Betriebsjahre. Die Zunahme des Stromverbrauchs der Wärmepumpe für Heizung in den jüngsten Betriebsjahren lässt sich durch die höhere mittlere Raumtemperatur im Winter erklären.

Bewertung der CO_{2eq}-Emissionen aus grauer Energie

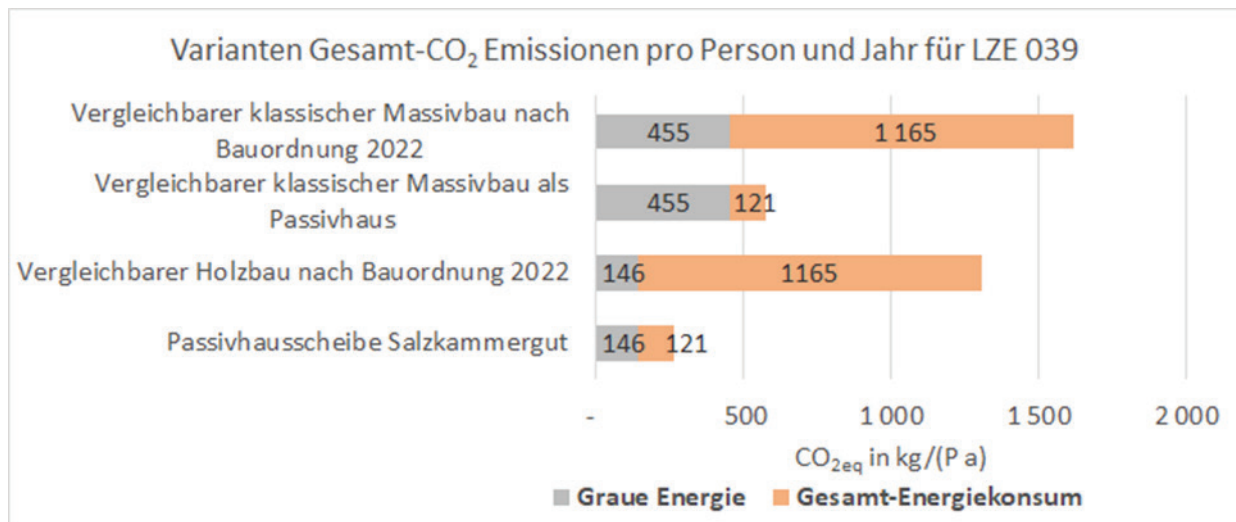
Für die Passivhausscheibe Salzkammergut wurde für die Herstellung und Errichtung des gesamten Gebäudes Treibhausgasemissionen an Grauer Energie von 21,92 t CO_{2eq} ermittelt, wie in Abbildung 69 ersichtlich. Umgerechnet auf 3 Personen und 50 Jahre Nutzungsdauer ergeben sich Treibhausgase von 146 kg CO_{2eq}/(P a).

Abbildung 69: Ermittlung der Treibhausgasemissionen an Grauer Energie anhand der Passivhausscheibe Salzkammergut für Leichtbau- und Massivbauweise (Lang 1999)



Wäre das gleiche Gebäude jedoch in der in Österreich vorherrschenden Massivbauweise samt Keller errichtet worden, würden die Treibhausgasemissionen für die Graue Energie zur Herstellung und Errichtung des gesamten Gebäudes ein Wert von 68,26 t CO_{2eq} ergeben, der umgerechnet auf 3 Personen und 50 Jahre Nutzungsdauer Treibhausgase mit 455 kg CO_{2eq}/(P a) die dreifachen Treibhausgasemissionen verursachen würde. In beiden Varianten ist die Graue Energie primär von der Fundierung bzw. dem Kellerbau dominiert.

Abbildung 70: Vergleich der CO_{2eq}-Emissionen der Passivhausscheibe Salzkammergut mit durchschnittlichen Gebäuden (Lang 1999)



Wie in der Abbildung 70 ersichtlich, sind die Treibgasemissionen für die Errichtung und den Betrieb bei der Passivhausscheibe Salzkammergut etwa gleich hoch. Würde das gleiche Haus 22 Jahre später nach den zulässigen Energiekennwerten gemäß Bauordnung des Jahres 2022 errichtet, könnten die Treibhausgasemissionen noch immer beim rund Zehnfachen liegen. Entscheidend für eine möglichst geringe Gesamt-Treibhausgasbilanz ist jedoch auch die Wahl der Baumaterialien und des Bauvolumens.

In Bezug auf die Definition der Nullenergiebilanz gemäß Kapitel 3.3.4 wird der minimale verbleibende Stromverbrauch mit Netzbezug einerseits durch den ausschließlichen Bezug von Ökostrom aus 100% Erneuerbaren Quellen gedeckt und zusätzlich nochmals durch den Kauf von Anteilen an regenerativen Energieerzeugungsanlagen - im konkreten Fall Windkraftanlagen - zweifach gedeckt.

Keine Investitionsmehrkosten für Passivhausstandard

Die Investitionskosten waren auf Grund des Low-Tech-Ansatzes in Passivhausstandard nicht höher als für ein Einfamilienhaus nach Bauordnung des Jahres 1999, welches einen neunfach höheren Heizwärmebedarf gehabt hätte. Die Brutto Bauwerkskosten betragen damals 1.280 €/m²_{EBF} (Kostengruppe 300-400). Das Gebäude wurde ohne Fördermittel errichtet und hat aufgrund des geringen Energieverbrauchs deutlich geringere Vollkosten als ein Einfamilienhaus nach Bauordnung 1999.

5.6.8. EFH Finkel (LZE100LT-ID 041)

Auf einem Südhang in der Nähe von Schneeberg und Hoher Wand wurde ein zweigeschossiges Einfamilienhaus mit Wohn- und Bürobereich in Leichtbauweise (vorgefertigt im Werk) errichtet. Der Zugang erfolgt über das Vorhaus, welches gleichzeitig Pufferraum zum Eingang ins Passivhaus und Abgang in den Keller ist. Der massive Keller liegt außerhalb der thermischen Hülle, wird nicht beheizt und dient als Lagerfläche und Werkstatt.

Abbildung 71: Einfamilienhaus Finkel in Willendorf; Bauherrin/Bauherr: Alexandra Frankel und Herbert Fink; Planung: aap.architekten; Foto: Außen aap.architekten, Innen Michael Krammer



Auf minimalen Energieverbrauch und die Verwendung von ökologischen Werkstoffen wurde großer Wert gelegt: Zellulosedämmung der Konstruktion, Flachsdämmstoff (ohne Polyesterstützfaser) für die Installationsebene, Lärchenholzfenster geölt, Vollholzböden geölt sowie extensiv begrünte Dachflächen mit einer aufgeständerten Photovoltaikanlage. Die kontrollierte Wohnraumlüftung und die entsprechende Dämmung ermöglichen ein behagliches Raumklima im Sommer und sparen ein konventionelles Heizsystem im Winter. Das Gebäude verfügt über eine eigenständige Regenwasseraufbereitungs- und Regenwassernutzungsanlage (3 Klärkammern) zur Bewässerung der Gartenanlage mit einem Überlauf in die Schwimmteichanlage.

Grundsätzlich verfolgte das Ehepaar bei der Planung das Ziel „Urlaub zu Hause“ machen zu können, ein gastliches Haus zu sein und im Sinne vom Club of Rome aus den 1970er Jahren – die Grenzen des Wachstums – mit dem Luxusverbrauch von Boden so sinnvoll wie möglich umzugehen. „Die letzte Chance für eine Zukunft ohne Not“ von Annie Harrar France` aus den 1950er Jahren hat starken Einfluss auf die Nutzung der ihnen zur Verfügung stehenden Ressourcen.

Neben der Ausführung als zertifiziertes Passivhaus war dem Ehepaar auch ebenso wichtig die Graue Energie durch den Materialeinsatz zu minimieren, das Aushubmaterial am eigenen Grundstück zur Gartengestaltung zu nutzen, das gesamte Dach als Gründach auszuführen, keine Grundflächen zu versiegeln, den Garten primär als Gemüsegarten samt 35 m² Hochbeete und Gewächshaus zu nutzen und ein ausgewogenes Verhältnis von Nutz- und Zierpflanzen herzustellen. Neben dem Ziel der Nullenergie, oder wenigstens in die Nähe davon zu kommen, bestand auch das Ziel der Optimierung des Wasserverbrauches.

Projektsteckbrief

Tabelle 10: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – EFH Finkel

| | | | |
|--|---|--|---------------------------|
| Ort/Seehöhe/Mitteltemperatur Okt.-März | 2732 Willendorf am Steinfeld | 389 m | 2,5 °C |
| Flächen | BGF: 198 m ² | WNF: 154 m ² | PHPP: 154 m ² |
| Anzahl Geschosse/Wohneinheiten | EG +1, unterkellert | 1 | |
| Anzahl Personen/Pro-Kopf-Wohnfläche | 2 | 77 m ² _{WNF} /Person | |
| Bauherrin/Bauherr | Alexandra Frankel und Herbert Fink, Willendorf | | |
| Planung | Architektur: aap.architekten HSL: Lüftung Schmid, Krems | | |
| Konstruktionsart | Holzbau | | |
| U-Werte Wand/Dach/Fenster | 0,100 W/(m ² K) | 0,09 W/(m ² K) | 0,77 W/(m ² K) |
| Lüftungssystem/Luftwechselrate | Komfortlüftung mit WRG, Kompaktgerät | | 0,50 h ⁻¹ |
| Wärmeerzeuger | Luft-WP | | |
| Wärmespeicher | 200 Liter | | |
| Wärmeverteilung | Komfortlüftung | | |
| Wärmeabgabesystem | Komfortlüftung | | |
| Zusatzwärmequelle | Infrarot-Heizpaneel | | |
| Solarthermie | Keine Solarthermie | | |
| PV | 8,5 kWp (13,0 kWp ab 2022) inkl. 24 kWh Batteriespeicher | | |
| Heizlast PHPP (20 °C) | 13 W/m ² _{EBF} | | |
| Endenergiebedarf _{Heiz + WW} (Prognose) | k.A. | | |
| Endenergieverbrauch Heiz + WW | 9,0 kWh/(m ² _{WNFa}) | | |
| Endenergieverbrauch _{gesamt} | 38,5 kWh/(m ² _{WNFa}) bzw. 53,1 kWh/(m ² _{WNFa}) inkl. E-Auto | | |
| PV-Erzeugung | 79,7 kWh/(m ² _{ÜFla}) | | |
| Netzbezug _{gesamt} | 17,6 kWh/(m ² _{WNFa}) inkl. E-Auto | | |
| Netzeinspeisung | 15,7 kWh/(m ² _{WNFa}) | | |

Abbildung 72: Detaillierte Aufteilung der Endenergieverbräuche für die Gruppen Mobilität, Wärme und Haushalt

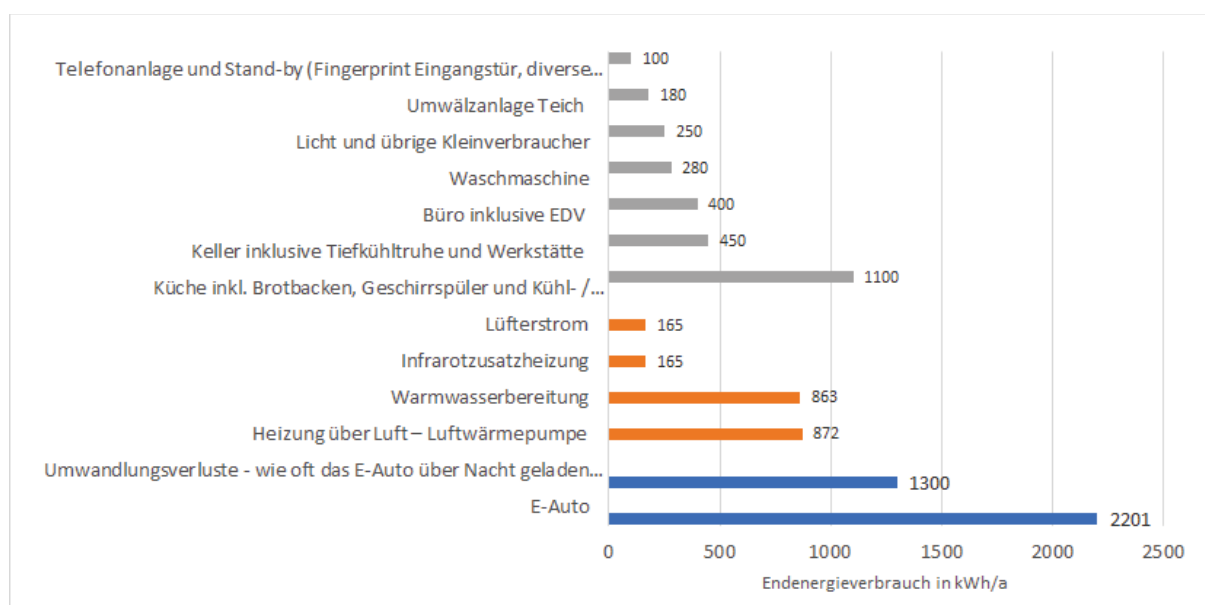
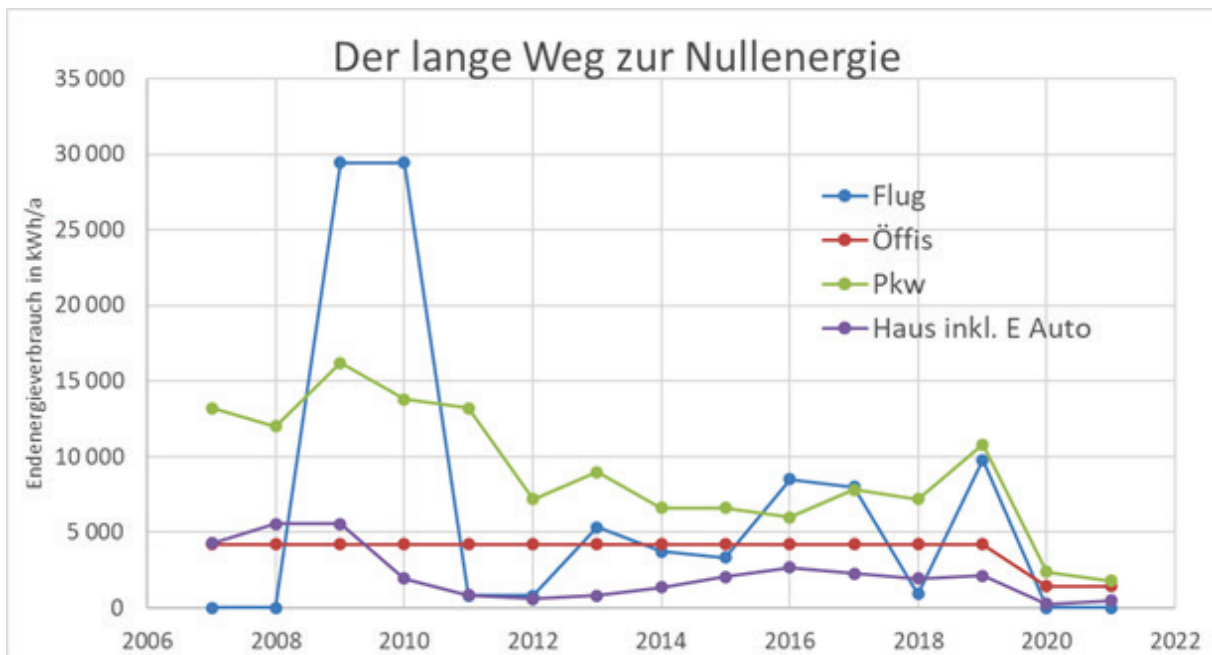


Abbildung 73: Darstellung sämtlicher Energieverbräuche inklusive Mobilität des Zweipersonenhaushalt Finkel



In Abbildung 73 hat die Bauherrin und der Bauherr sehr akribisch sämtliche Energieverbräuche inklusive Mobilität des Zweipersonen Haushaltes Finkel zusammengefasst. Das Ehepaar wird 2022 ihre PV - Anlage nochmals um weitere 4,5 kWp erweitern, womit dann ein Jahresüberschuss von 3.000 - 4.000 kWh/a für Haus und E-Auto erzielt werden sollte. Der Zweit-Pkw mit Diesel hat dann ebenfalls ausgedient, womit „nur“ noch das Problem bei Flugreisen bleibt.

5.6.9. EFH Sanierung Schwarz (LZE100LT-ID 054)

Das Einfamilienhaus war 2005 die erste Sanierung auf Passivhaus-Standard in Österreich. Neben der radikalen Reduktion des Energieverbrauchs des Bungalows aus dem Jahre 1960 um 95% und der CO₂-Emissionen für Raumwärme um 100% stand bei diesem Demonstrationsprojekt im Rahmen der Forschungsprogrammlinie "Haus der Zukunft" des BMVIT (Lang 2007) die innovative Sanierung mit hohem Vorfertigungsgrad durch vorgehängte Holzwandelemente im Vordergrund.

Die Ummantelung des Erdgeschosses bildet die Basis der Sanierung. Die Montage der Elemente samt Fassade mit 36 cm Dämmung erfolgte innerhalb eines Tages, die Aufstockung samt Dach dauerte nur weitere zwei Tage. Im Bodenaufbau konnte mit der Vakuumdämmung trotz begrenzter Aufbauhöhe der hohe Dämmstandard erzielt werden. Die Wärmebrücken des bestehenden aufgehenden Mauerwerks wurden mit Hilfe einer rundum laufenden Schirmdämmung entschärft. So wurde trotz Verdoppelung der Nutzfläche von 97 m² auf 217 m² der Heizwärmebedarf von 27.100 kWh/a Flüssiggas auf lediglich 3.170 kWh/a Strom aus Sonnenenergie reduziert.

Das optimierte Lüftungssystem mit einem hocheffizienten Kompaktgerät sichert permanent Frischluft im ganzen Haus und stellt den erforderlichen Restwärme- und Warmwasserbedarf zur Verfügung. Die fassadenintegrierten Photovoltaik-Paneele haben eine Leistung von 2,6 kWp, mit deren Stromerzeugung ein Teil des Stromverbrauchs gedeckt ist.

Der maximale Einsatz nachwachsender Rohstoffe und die Sanierung des Altbaus anstatt Abriss und Neubau reduzierte den Verbrauch an nicht nachwachsenden Rohstoffen und den Einsatz an grauer Energie um 80%.

Abbildung 74: EFH Schwarz - Erste Sanierung zum Passivhaus in Österreich; Foto: LANG consulting



Projektsteckbrief

Tabelle 11: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – EFH Sanierung Schwarz

| | | | |
|--|---|--|---------------------------|
| Ort/Seehöhe/Mitteltemperatur Okt.-März | 4643 Pettenbach | 486 m | 2,0 °C |
| Flächen | BGF: 303 m ² | WNF: 197 m ² | PHPP: 217 m ² |
| Anzahl Geschosse/Wohneinheiten | EG + 1, teilunterkellert | 1 | |
| Anzahl Personen/Pro-Kopf-Wohnfläche | 4 | 49,3 m ² _{WNF} /Person | |
| Bauherrin/Bauherr | Gabriele und Werner Schwarz, Pettenbach | | |
| Planung | Architektur: LANG consulting HSL: Planungsteam E-Plus, Egg | | |
| Konstruktionsart | Holzbau | | |
| U-Werte Wand/Dach/Fenster | 0,104 W/(m ² K) | 0,09 W/(m ² K) | 0,78 W/(m ² K) |
| Lüftungssystem/Luftwechselrate | Komfortlüftung mit WRG, Kompaktgerät | | 0,52 h ⁻¹ |
| Wärmeerzeuger | Luft-WP | | |
| Wärmespeicher | 200 Liter | | |
| Wärmeverteilung | Komfortlüftung | | |
| Wärmeabgabesystem | Komfortlüftung | | |
| Zusatzwärmequelle | E-Heizpaneel | | |
| Solarthermie | Keine Solarthermie | | |
| PV | 2,6 kWp | | |
| Heizlast PHPP (20 °C) | 11 W/m ² _{EBF} | | |
| Endenergiebedarf _{Heiz + WW} (Prognose) | 15,9 kWh/(m ² _{WNF} a) | | |
| Endenergieverbrauch Heiz + WW | 9,3 kWh/(m ² _{WNF} a) | | |
| Endenergieverbrauch _{gesamt} | 41,0 kWh/(m ² _{WNF} a) | | |
| PV-Erzeugung | 9,2 kWh/(m ² _{ÜFLA}) | | |
| Netzbezug _{gesamt} | 35,4 kWh/(m ² _{WNF} a) | | |
| Netzeinspeisung | 1,5 kWh/(m ² _{WNF} a) | | |

Der konsequente Umbau zum Passivhaus und der Einsatz ökologischer Maßnahmen verursachte gegenüber einer konventionellen Sanierung 16% bzw. 11% Mehrkosten. Die Bauherrin und der Bauherr erhielten damit allerdings auch die höchsten Förderungen und Zuschüsse. Das verbleibende höhere Bankdarlehen wird jedoch zur Gänze von den reduzierten Energiekosten abgedeckt, weshalb es zu keiner monatlichen Mehrbelastung kommt, wie in Abbildung 75 ersichtlich.

Der Jahresstromverbrauch für Heizung und Warmwasser betrug im Jahr 2013 9,3 kWh/(m²_{WNF} a). Der Hilfs- und Haushaltsstrombedarf liegt bei 31,8 kWh/(m²_{WNF} a). Ein Teil des Stromverbrauchs kann durch die kleine PV-Anlage gedeckt werden, ein Teil des Ertrags wird eingespeist. Als gesamter Netzbezug in Summe aller Energieanwendungen ergeben sich 35,4 kWh/m²_{WNF} a).

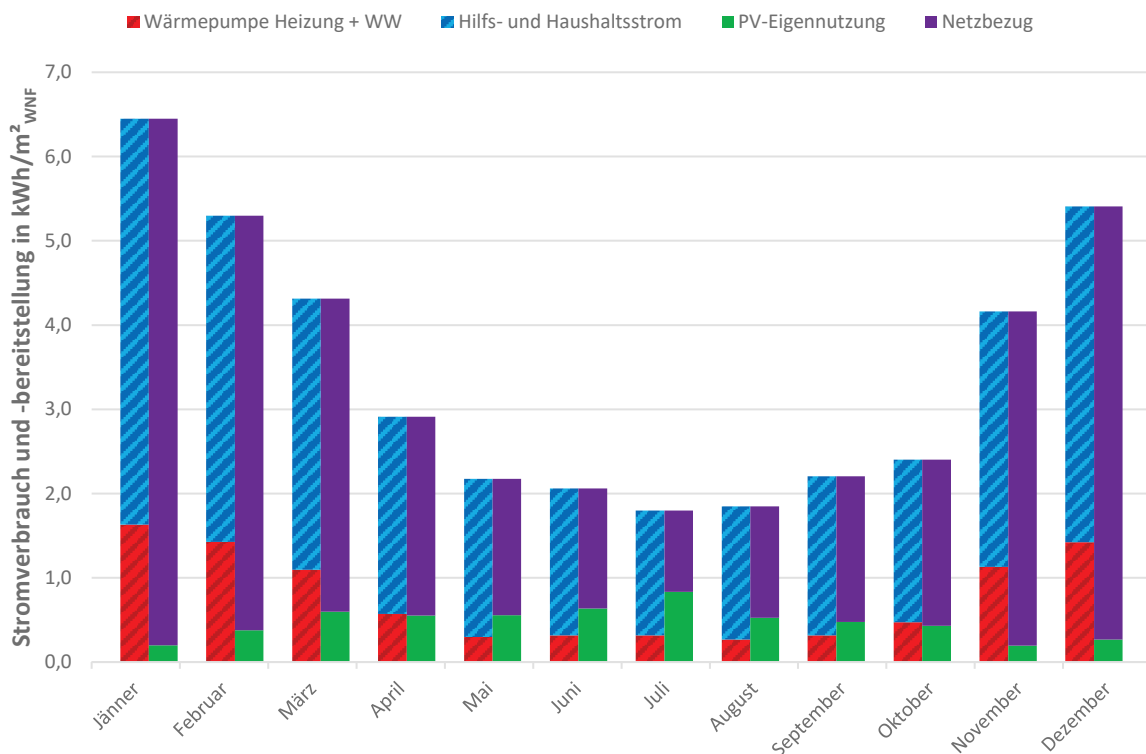
Abbildung 75: Wirtschaftlichkeitsdarstellung – EFH Sanierung Schwarz (Lang 2007)



Monatsbewertung

Die folgende Abbildung 76 zeigt den spezifischen, monatlichen Stromverbrauch für das Jahr 2013 bezogen auf die Wohnnutzfläche. Ein Teil des Stromverbrauchs wird durch die PV-Anlage abgedeckt, der Rest wird aus dem Netz bezogen. Der Hilfs- und Haushaltsstromverbrauch hat eine stärkere jahreszeitliche Schwankung als der Stromverbrauch der Wärmepumpe, da zusätzlich elektrische Heizpaneele zum Einsatz kommen, im Winter die Beleuchtung öfter gebraucht wird und sich die Bewohnerinnen und Bewohner in dieser Zeit mehr im Gebäude aufhalten.

Abbildung 76: Monatlicher Stromverbrauch und -bereitstellung – EFH Sanierung Schwarz



Wird der jährliche Netzbezug ($35,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNF}})$) mit dem Jahres-Konversionsfaktor für Strom nach OIB-Richtlinie 6 (2019) ($247 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$) bewertet ergeben sich gesamte $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emissionen von $8,7 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNF}})$. Erfolgt die Bewertung jedoch auf Monatsbasis mit den monatlichen Konversionsfaktoren aus Abbildung 14 (Mittelwert 2014 – 2019) dann ergeben sich gesamte $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Emissionen von $10,4 \text{ kg}/(\text{m}^2_{\text{WNF}})$. Die $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Bewertung auf Monatsbasis ist um ca. 20% höher als die Bewertung auf Jahresbasis. Hier zeigt sich ganz deutlich, dass die Abweichung zwischen Jahres- und Monatsbewertung mit stärkerer jahreszeitlicher Schwankung des netzbezogenen Stromverbrauchs größer wird.

5.6.10. EFH Fleischanderl (LZE100LT-ID 094)

Das 2 geschossige Wohnhaus in Hanglage rahmt gemeinsam mit dem Nebengebäude einen blick-, wind- und wettergeschützten Wohnhof mit Swimmingpool mit teilweise gedeckter Lattenrostterrasse ein. Energetisch nutzt das Passivhaus nicht nur die passiven Solargewinne der großzügigen Südverglasung, sondern ebenso die aktiven Solarerträge aus der 10 m^2 thermischen Solarkollektor für das Warmwasser und der $4,5 \text{ kWp}$ Photovoltaikanlage. Versorgt wird das Haus über das Komfortlüftungsgerät mit einer 2 kW Erdwärmepumpe. Die Bodenplatte mit einem U-Wert von $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ist mit einer 40 cm dicken lasttragenden Glasschaumschotterschicht gedämmt, die aus nicht wiederverwertbarem Altglas gewonnen wird. Durch die Hanglage ist der hochgedämmte Mischbau im Untergeschoss in Stahlbetonbauweise und im Obergeschoss in Holzriegelbauweise errichtet worden.

Projektsteckbrief

Tabelle 12: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – EFH Fleischanderl

| | | | |
|--|--|--|---------------------------|
| Ort/Seehöhe/Mitteltemperatur Okt.-März | 4631 Krenglbach | 310 m | 4,5 °C |
| Flächen | BGF: 191 m ² | WNF: 147 m ² | PHPP: 162 m ² |
| Anzahl Geschosse/Wohneinheiten | EG +1, unterkellert | 1 | |
| Anzahl Personen/Pro-Kopf-Wohnfläche | 4 | 36,8 m ² _{WNF} /Person | |
| Bauherrin/Bauherr | Thomas Fleischanderl, Krenglbach | | |
| Planung | Architektur: Plöderl.Architektur.Urbanismus. PAUAT Architekten, HSL: Renner | | |
| Konstruktionsart | Mischbau | | |
| U-Werte Wand/Dach/Fenster | 0,100 W/(m ² K) | 0,100 W/(m ² K) | 0,77 W/(m ² K) |
| Lüftungssystem/Luftwechselrate | Komfortlüftung mit WRG, Kompaktgerät | | 0,35 h ⁻¹ |
| Wärmeerzeuger | WP-Kollektor | | |
| Wärmespeicher | 300 Liter | | |
| Wärmeverteilung | Komfortlüftung | | |
| Wärmeabgabesystem | Komfortlüftung | | |
| Zusatzwärmequelle | E-Handtuchhalter | | |
| Solarthermie | 10 m ² | | |
| PV | 4,5 kWp | | |
| Heizlast PHPP (20 °C) | 16 W/m ² _{EBF} | | |
| Endenergiebedarf _{Heiz + WW} (Prognose) | k.A. | | |
| Endenergieverbrauch Heiz + WW | 10,3 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| Endenergieverbrauch _{gesamt} | 28,1 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| PV-Erzeugung | 53,9 kWh/(m ² _{ÜFLA}) | | |
| Netzbezug _{gesamt} | 15,3 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |
| Netzeinspeisung | 22,2 kWh/(m ² _{WNFA}) | | |

Abbildung 77: Einfamilienhaus Fleischanderl in Krenglbach; Bauherr: Thomas Fleischanderl; Planung: Plöderl.Architektur.Urbanismus. PAUAT Architekten; Foto: Thomas Fleischanderl



Das Projekt demonstriert, dass auch in Einfamilienhäusern sehr niedrige Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser erreicht werden können und dass bei derart niedrigen Verbräuchen die Netzeinspeisung den Netzbezug in Summe aller Energieanwendungen inkl. Haushaltsstrom sehr deutlich übersteigen kann. Bei heutigen PV-Kosten könnte die PV-Anlage deutlich größer ausgeführt werden. Trotzdem bewegt sich die gesamte Stromrechnung für das Haus inklusive Swimmingpool auf lediglich € 90,- pro Jahr exklusive Netzabgaben und Steuern, wie der Bauherr bei jedem Interview betont (Fleischanderl 2021).

6 Schlussfolgerungen

6.1. Projekterkenntnisse

6.1.1. Erkenntnis 1: Hocheffiziente Gebäude funktionieren in der Praxis

Wie zahlreiche der im gegenständlichen Projekt ausgewerteten Beispielgebäude demonstrieren, können hocheffiziente Gebäude unterschiedlicher Gebäudekategorien mit marktverfügbaren Komponenten und Konzepten in der Praxis weit niedrigere Energieverbräuche erreichen, als durch die gesetzlichen Mindestanforderungen der OIB-Richtlinie 6 (2019) bzw. die Bautechnikverordnungen der Länder gefordert. Dies gilt sowohl für Neubauten, als auch für Sanierungen. So liegt etwa der Endenergieverbrauch hocheffizienter, gas- oder fernwärmebeheizter Neubau-Mehrfamilienhäuser etwa 50% niedriger als bei Ausführung der Gebäude nach den gesetzlichen Mindestanforderungen und die Verbräuche umfassend sanierter Mehrfamilienhäuser können annähernd das gleiche Niveau wie hocheffiziente Neubauten erreichen.

6.1.2. Erkenntnis 2: Hohe Effizienz ist planbar

Der reale Verbrauch von Gebäuden kann mit validierten Rechenverfahren und realistischen Rechenrandbedingungen mit hoher Genauigkeit geplant werden. Dies gilt vor allem für Gebäudetypen wie Mehrfamilienhäuser, Büro- und Bildungsgebäude, für die das mittlere Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer gut abschätzbar ist.

6.1.3. Erkenntnis 3: Hohe Effizienz ist wirtschaftlich

Wie u.a. das Modellvorhaben KliNaWo zeigt, liegt das kostenoptimale Energieniveau, d.h. das Niveau, bei dem innerhalb eines vorab festgelegten Betrachtungszeitraums z.B. 30 Jahren die niedrigsten Gesamtkosten für Investition, Wartung und Instandhaltung sowie für Energie entstehen, bei weit besseren Qualitäten, als durch die derzeitigen Mindestanforderungen beschrieben. Dies gilt sowohl für die energetische Qualität der Gebäudehülle, als auch für die der Wärmeversorgungssysteme.

Die Wirtschaftlichkeit sehr hoher energetischer Qualitäten war schon zu dem Energiekostenniveau vor dem russischen Angriff auf die Ukraine gegeben, vor dem Hintergrund, der für die Zukunft zu erwartenden Energiepreissteigerungen wird sich die Wirtschaftlichkeit hocheffizienter Gebäude weiter verbessern.

Darüber hinaus zeigen aber auch mehrere der untersuchten Beispiele, dass die reinen Errichtungskosten von Neubauten durch einen optimalen Baustandard nicht zwangsläufig höher sein müssen.

6.1.4. Erkenntnis 4: Das derzeitige Mindestanforderungsniveau ist nicht kompatibel zum Paris-Ziel

Wie am Beispiel von Mehrfamilienhäusern gezeigt wurde, liegen die Treibhausgasemissionen von gasbeheizten Gebäuden, welche die gesetzlichen Mindestanforderungen an die Energieeffizienz gerade erreichen, bei einem Mehrfachen der Paris-kompatiblen Emissionen. Dies gilt sowohl für den Neubau, als auch für Sanierungen. Auch Gebäude, die die Mindestanforderungen an Hülle und Wärmeversorgungssystem gerade einhalten und mit Wärmepumpe, Fernwärme oder Biomasse beheizt werden, sind nicht Paris-kompatibel, da sie zu hohe Emissionen verursachen bzw. einen zu großen Anteil der begrenzten Ressource Biomasse in Anspruch nehmen.

6.1.5. Erkenntnis 5: Paris-kompatible Energieträger für den Neubau – Wärmepumpe oder Nah-/Fernwärme

Als Energieträger für Neubauten sollten ab sofort nur noch Strom (WP) und Fernwärme genutzt werden. Wie Beispiele aus allen Nutzungskategorien zeigen, sind fossile Energieträger nicht mehr notwendig, nicht Paris-kompatibel und führen zu sicherheitspolitischen Abhängigkeiten und zu einer Erpressbarkeit der rohstoffarmen EU-Staaten. Direktelektrisch beheizte Neubauten haben zu hohe winterliche Stromverbräuche und sind daher für das angestrebte rein erneuerbare Stromversorgungssystem für Neubauten ungeeignet.

Die Potenziale der Biomassenutzung sind begrenzt. Der für den Gebäudesektor zur Verfügung stehende Anteil ist aufgrund des zu erwartenden hohen Bedarfs der Industrie für die Bereitstellung von Hoch- und Mitteltemperaturwärme nicht beliebig steigerbar. Die für den Gebäudesektor genutzte Biomasse sollte daher gezielt dort eingesetzt werden, wo sie mit möglichst hoher Effizienz genutzt werden kann (KWK in Nah- und Fernwärmenetzen) oder wo andere emissionsarme Energieträger nicht zur Verfügung stehen bzw. aus technischen Gründen nicht nutzbar sind. Wird Biomasse in Einzelgebäuden als Energieträger eingesetzt, so sollte dies tendenziell in schlecht sanierbaren Bestandsgebäuden geschehen und nur in Ausnahmefällen in Neubauten.

6.1.6. Erkenntnis 6: Große PV-Systeme sind nah an der Wirtschaftlichkeit

Da viele der im Projekt LZE100LT berücksichtigten Gebäude bereits vor dem Jahr 2017 errichtet wurden, sind große PV-Anlagen noch selten. Angesichts der rapide gesunkenen PV-Kosten sind auch groß dimensionierte PV-Anlagen inzwischen oft wirtschaftlich oder sehr nah an der Wirtschaftlichkeit. Die Wirtschaftlichkeit hat sich auch durch veränderte rechtliche Randbedingungen (gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen § 16 ElWOG) verbessert. Sollen die Ausbauziele des aktuellen Regierungsprogramms erreicht werden, so sollte eine PV-Pflicht schnellstmöglich eingeführt werden, wie es in einigen Bundesländern Österreichs und Deutschlands schon der Fall ist.

6.1.7. Erkenntnis 7: Analyse der realen Energieverbräuche von Gebäuden steckt noch in den Kinderschuhen

Wie das Projekt zeigt, ist die detaillierte und nach Energieanwendungen differenzierte Analyse der realen Energieverbräuche von Gebäuden noch kein Standard. Gerade als Grundlage für die

strategische Planung von energetischen Sanierungen großer Gebäudebestände ist die Analyse von hoher Bedeutung.

6.2. Zielgruppe

Die Projektergebnisse sind sowohl für politische Entscheidungsträgerinnen und -träger, als auch für den Bankensektor und alle Akteurinnen und Akteure der Bauwirtschaft sowie für Haus- und Wohnungsbesitzerinnen und -besitzer und Bauleute von Bedeutung:

Für Politikerinnen und Politiker bedeuten sie, dass die Mindestanforderungen an die Effizienz der Gebäudehülle und der Wärmeversorgungssysteme deutlich gesteigert werden müssen und dass diese Erhöhung des Anforderungsniveaus nicht zu zusätzlichen finanziellen Belastungen der Bewohnerinnen und Bewohnern führt, sondern wirtschaftlich ist. Förderprogramme haben demnach hauptsächlich die Funktion, die Finanzierbarkeit an sich wirtschaftlicher Maßnahmen zu ermöglichen. Bei deutlich gesteigerten Mindestanforderungen können Fördergelder weit stärker auf die Sanierung (auch die thermische Sanierung und nicht nur den Kesseltausch) sowie auf neue Beratungsprogramme zur energetisch-wirtschaftlichen Optimierung hocheffizienter, emissionsarmer Gebäude konzentriert werden.

Da das Projekt LZE100LT auch zeigt, dass nicht alle als hocheffizient geplanten Gebäude in der Praxis niedrigste Energieverbräuche erreichen, sollte die Politik Anreize setzen, um einen durchgängigen Qualitätssicherungsprozess bis hin zur Optimierung der Gebäude im Betrieb einzuführen. Eine Möglichkeit ist die Gewährung von Fördermitteln in Abhängigkeit vom realen Energieverbrauch statt wie bisher in Abhängigkeit von den eingesetzten Komponenten oder von berechneten Energiekennwerten.

Für den Bankensektor bedeuten die Ergebnisse, dass fossil beheizte Neubauten ab sofort nicht mehr finanziert werden sollten. Auch für Gebäudesanierungen sollte die Finanzierung fossiler Energieträger in jedem Fall geprüft werden. Dies ist aus Klimaschutzgründen notwendig, ebenso jedoch in der Logik der Finanzwelt, um unvorhergesehene Kostenrisiken bei schnellen Steigerungen der Energiekosten zu reduzieren. Die Wärmeversorgung von Gebäuden mit fossilen Energien sollte zukünftig generell als Finanzierungsrisiko bewertet werden.

Aus der Sicht aller Akteurinnen und Akteure der Bauwirtschaft sowie für Hausbesitzerinnen und -besitzer und Bauinteressentinnen und -interessenten zeigt die vorliegende Studie, dass Gebäude große Effizienzpotenziale haben und diese Potenziale mit marktverfügbaren Komponenten sofort und wirtschaftlich umsetzbar sind. Bau- und Kaufinteressenten sollten verstärkt auf Effizienz und die eingesetzten Energieträger achten und fossil beheizte Gebäude meiden.

6.3. Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten

Die Projektpartner werden die Erkenntnisse u.a. bei der Beratung der Politik (Novellierung Bautechnikverordnung und Förderrichtlinien, Einführung neuer Beratungsangebote...), als auch bei der allgemeinen Öffentlichkeitsarbeit zum Thema des energieeffizienten und klimagerechten Bauens sowie für neue Beratungsprogramme zur energetisch-wirtschaftlichen Optimierung von Gebäuden

nutzen. Darüber hinaus werden die im Projekt entwickelten Methoden zur Analyse der Verbräuche wertvoll bei der Beratung zur strategischen Entwicklung größerer Gebäudebestände sein.

Darüber hinaus sind nach der Freigabe des Berichtes Pressemitteilungen zu den Ergebnissen der Studie geplant und sollen diese über die verschiedenen medialen Kanäle publiziert werden.

7 Ausblick und Empfehlungen

Das Projekt zeigt, dass schon mit zum Großteil seit 20 Jahren marktverfügbaren Komponenten und Konzepten Paris-kompatible Niveaus erreicht werden können. Angesichts des notwendigen Zeitplans zur Reduktion der Emissionen im Gebäudesektor werden daher zunächst Empfehlungen für Umsetzungsmaßnahmen und erst im Anschluss solche für weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten skizziert. Die Reduktion des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors hat primär ein Umsetzungsproblem – die notwendigen Technologien sind bekannt und verfügbar.

7.1. Empfehlungen für Umsetzungsmaßnahmen

7.1.1. Empfehlung 1: Sofortiges Verbot von fossilen Energieträgern im Neubau

Wie die Ergebnisse des Projekts zeigen, können Gebäude mit fossilen Heizsystemen den Bereich Paris-kompatibler Treibhausgasemissionen nicht erreichen. Da das Projekt auch zeigt, dass mit Nah/Fernwärme und Wärmepumpen Versorgungssysteme zur Verfügung stehen, mit denen Paris-kompatible Emissionen schon heute wirtschaftlich erreicht werden können, sollten fossile Energieträger im Neubau für alle Gebäudetypen ab sofort verboten werden. Der russische Angriffskrieg in der Ukraine verdeutlicht darüber hinaus, dass die in den vergangenen Jahren gestiegene Energieimportabhängigkeit Österreichs und der EU zu politischen Abhängigkeiten von autokratischen Regimen führt und erpressbar macht.

7.1.2. Empfehlung 2: Verbindlicher Zeitplan für den Ausstieg aus fossilen Energieträgern im Bestand

Wie zahlreiche im Projekt untersuchte Gebäude demonstrieren, sind Lösungen für fossilfreie Wärmeversorgungssysteme auch für viele Bestandsprojekte vorhanden. Zur Umsetzung der internationalen und nationalen Klimaschutzziele sowie zur Reduktion der Energieimportabhängigkeit sollte daher innerhalb eines Jahres ein verbindlicher Zeitplan für den Ausstieg aus fossilen Energieträgern im Gebäudebestand rechtsverbindlich festgelegt werden. Soll das Ziel der Klimaneutralität Österreichs bis 2040 erreicht werden, so bedeutet dies, dass die letzten fossilen Kessel spätestens 2040, besser deutlich früher ausgetauscht werden müssen. Ein begrenzender Faktor sind die Kapazitäten im Handwerk, die bislang eine deutliche Erhöhung der Kesseltauschrate verhindern.

Als Anreiz zum schnellen Ausstieg aus Fossilen könnten etwa die Förderungen zeitlich degressiv gestaltet werden – wer einen fossilen Kessel schnell tauscht, würde höhere Zuschüsse erhalten, als derjenige, der den Kesseltausch erst später durchführt. Die Förderungen für den Kesseltausch sollten darüber hinaus stärkere Anreize für eine Kopplung an thermische Sanierungsmaßnahmen enthalten. Der Ausstiegsplan muss auch Wärmeerzeuger in Fernwärmenetzen umfassen.

7.1.3. Empfehlung 3: Erhöhung des Anforderungsniveaus für die Gebäudehülle in Neubau und Sanierung

Die Ergebnisse des Projekts LZE100LT zeigen, dass hochwertige Gebäudehüllen, die etwa der Hüllqualität des Passivhausniveaus entsprechen, wirtschaftlich sind. Eine Erhöhung des Anforderungsniveaus für Neubau und umfassende Sanierungen ist besonders für kleinvolumige Gebäude notwendig, für die bislang durch die Ic-Abhängigkeit deutlich höhere Heizwärmebedarfe zulässig sind. Auch die Anforderungswerte für die Sanierung von Einzelbauteilen sind nicht kompatibel zu den Klimaschutzziele und entsprechen weder dem Stand der Technik noch dem kostenoptimalen Niveau.

Allein die Neubauten in Österreich, die seit 2010 errichtet wurden (130 Mio. m²_{WNF}) verursachen durch ihren nicht dem Stand der Technik entsprechenden Energiestandard einem jährlichen zusätzlichen Energieverbrauch von ca. 3,5 TWh/a, was dem gesamten Gasverbrauch der Bundesländer Vorarlberg und Burgenland zusammen (inkl. Industrie, etc.) entspricht, wie in Kapitel 9.2 im Anhang ersichtlich.

7.1.4. Empfehlung 4: Verlagerung von Fördermitteln vom Neubau auf die Sanierung und Konzentration auf Paris-kompatible Qualitäten

Werden die energetischen Mindestanforderungen im Neubau deutlich erhöht, so können Fördermittel im Neubau auf wenige Pilotprojekte konzentriert werden. Ein möglichst großer Teil der im Neubau freiwerdenden Fördermittel sollten auf die thermische Sanierung verlagert werden.

7.2. Potenzial für Demonstrationsvorhaben

7.2.1. Anschubfinanzierung für serielle Sanierungen hoher energetischer Qualität

Um die notwendige Anzahl thermisch hochwertiger Sanierungen mit den begrenzten Personalkapazitäten in der Baubranche durchführen zu können, verfolgen Staaten wie die Niederlande, Frankreich, Großbritannien und Deutschland Konzepte, die auf eine Industrialisierung der Gebäudesanierung bzw. auf die serielle Fertigung setzen. Das mit bedeutenden staatlichen Mitteln in den Niederlanden entwickelte Konzept „energiesprong“ versucht, potentielle Anbieterinnen und Anbieter serieller Sanierungen - etwa Holzbaubetriebe in Kombination mit Anbieterinnen und Anbietern innovativer Haustechniklösungen - mit potentiellen Kundinnen und Kunden mit großen Gebäudebeständen – etwa gemeinnützigen Wohnbaugesellschaften – zusammenzubringen. Ziel ist es, Rahmenverträge über die Sanierung hoher Anzahlen an Gebäuden anzuregen, in denen hohe energetische Qualitäten zu Kosten angeboten werden, die aufgrund der seriellen Fertigung merklich gesenkt werden können. Die staatliche Anschubfinanzierung dient dazu, einen Markt so schnell zu entwickeln, dass sich der Aufbau neuer stärker industrialisierter Fertigungsstätten lohnt.

Für Österreich mit seinen innovativen Holzbaubetrieben bietet der Ansatz eine große Chance – sowohl für den Heimatmarkt, als auch für den Export. Um gegenüber den Staaten, die das „energiesprong“-Konzept schon länger verfolgen, nicht ins Hintertreffen zu geraten, bedarf es eines schnellen, finanziell gut ausgestatteten Markteinführungsprojekts.

Während die notwendigen energetischen Qualitäten von Sanierungen schon in vielen Projekten erreicht wurden, ist die Reduktion der Investitionskosten mit den bisherigen, handwerklich geprägten Ansätzen nicht gelungen.

7.2.2. Entwicklung von Methoden zur Analyse der energetischen Gebäudequalität großer Gebäudebestände auf Basis von Verbrauchsauswertungen

Neben seinen inhaltlichen Ergebnissen zeigt das Projekt vor allem, wie aufwändig es auch im Jahr 2022 noch ist, nachvollziehbar aufbereitete, nach Energieanwendungen differenzierte Energieverbrauchsdaten von Gebäuden zu erlangen und zu analysieren.

Selbst in vielen Forschungsprojekten zum Thema Energieeffizienz von Gebäuden wird das Hauptergebnis – der Energieverbrauch im realen Betrieb und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen – überhaupt nicht, nicht vollständig oder nur bedingt nachvollziehbar veröffentlicht.

Um die notwendigen Sanierungsraten und -qualitäten volkswirtschaftlich optimiert, d.h. mit den geringsten möglichen Investitionen pro Tonne eingesparter Treibhausgasemissionen zu erreichen, sollten Methoden weiterentwickelt werden, mit denen Portfolioanalysen für große Gebäudebestände mit geringem Aufwand durchgeführt werden können.

7.2.3. Entwicklung und Test von Fördermodellen auf Basis des realen Energieverbrauchs

Wie in Kapitel 5.6.3 dargestellt, wurde im Rahmen eines kleinen Modellvorhabens in Vorarlberg ein Fördermodell entwickelt und an einem Projekt erprobt, mit dem die Höhe der Förderung überwiegend vom realen Energieverbrauch und nicht mehr (nur) von den eingesetzten Komponenten und/oder vom rechnerischen Energiebedarf abhängt. Obwohl der Test des Fördermodells sehr erfolgreich war und eines der effizientesten Mehrfamilienhäuser Österreichs entstand, wurde das Modell bislang nicht weiterverfolgt.

Da durch die Bemessung der Förderhöhe in Abhängigkeit vom realen Verbrauch ein Anreiz entsteht, eine durchgängige Qualitätssicherung von der Planungsphase über die Bauphase und Inbetriebnahme bis zur Optimierung im Betrieb durchzuführen, erscheint das Fördermodell sehr geeignet, um die rechnerischen Einsparpotenziale auch in der Praxis zu erreichen.

Entsprechende Fördermodelle sollten weiterentwickelt und in der Praxis getestet werden. Als Grundlage bieten sich etwa der klimaaktiv Kriterienkatalog in seiner Deklarationsstufe „Gebäudenutzung“ an, in der die energetische Qualität anhand des realen Verbrauchs bewertet wird.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser von 110.000 Mehrfamilienhäusern in Deutschland nach dem Gebäudebaujahr (rote Punkte), schwarze Linie: Mediane; grüne Linie: 10% Quantile; violette Linie: 90% Quantile; braune Linie: 98% Quantile (Greller 2010)..... | 16 |
| Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung des spezifischen, nicht witterungsbereinigten Endenergieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser von Mehrfamilienhäusern in Deutschland (Techem 2017)..... | 17 |
| Abbildung 3: Endenergieverbrauch _{Heiz+WW} von 359 Wohnanlagen der VOGEWOSI (Baujahre 1956 bis 2019)..... | 18 |
| Abbildung 4: Mittlerer Endenergieverbrauch der Jahre 2018-2020 für die zentrale Bereitstellung von Heizung und Warmwasser des Vogewosi-Gebäudebestandes..... | 19 |
| Abbildung 5: Mittelwerte des spezifischen Endenergieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser von Mehrfamilienhäusern aller Baualter in Deutschland (Techem 2017), (ista 2020) und Vorarlberg (Peter 2021) im Vergleich zu den Mittelwerten von Neubauten in Deutschland und Österreich sowie zu den Werten von 32 gemeinnützigen Neubauten der Baujahre 2009-2014 in Vorarlberg (Mittelwerte des Verbrauchs 2018-2020) | 20 |
| Abbildung 6: Spezifische Treibhausgasemissionen fossil beheizter Mehrfamilienhäuser nach Anwendung (Ploß 2022). Die zur Berechnung verwendeten Emissionsfaktoren aus wissenschaftlichen Studien weichen geringfügig von denen der OIB-Richtlinie 6 ab. Verwendet wurden die folgenden Werte: Öl: 302 g/kWh, Gas 227 g/kWh (Stolz 2016), Verbraucherstrommix Deutschland: 440 g/kWh, Verbraucherstrommix Österreich: 244 g/kWh (Jahresmittelwerte nach (Roßkopf-Nachbaur 2021)) . | 21 |
| Abbildung 7: CO _{2eq} -Emissionen _{Heiz+WW} von 359 Wohnanlagen der VOGEWOSI (Baujahre 1956 bis 2019) | 22 |
| Abbildung 8: maximale flächenspezifische Treibhausgasemissionen gasbeheizter Gebäudevarianten bei Erfüllung der nationalen (regionalen) Mindestanforderungen im Vergleich zum Paris-kompatiblen Bereich (EIV 2022). Die Varianten AT Weg 1 und AT Weg 2 bezeichnen die beiden Nachweismöglichkeiten des so genannten dualen Weges nach OIB-Richtlinie 6 (2019), wobei Weg 2 den meist gewählten Nachweisweg (HWB nach 16er Linie + fGEE) beschreibt. | 23 |
| Abbildung 9: Plusenergiesiedlung Am Schlierberg, Freiburg, Arch. Rolf Disch, 59 Wohneinheiten, Baujahr 1999 bis 2006; höchste Hüllqualität, Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Fernwärme, große PV; Foto Energieinstitut Vorarlberg | 25 |
| Abbildung 10: Vergleich möglicher Bilanzierungsgrenzen für „Nullenergiegebäude“; Darstellung Energieinstitut Vorarlberg in Anlehnung an (Hall 2014a) | 26 |
| Abbildung 11: Abhängigkeit des PV-Eigendeckungsrate vom Bilanzierungsintervall (Hall 2014b) | 27 |
| Abbildung 12: Darstellung möglicher räumlicher Bilanzgrenzen, Darstellung Energieinstitut Vorarlberg in Anlehnung an (Voss 2010) und (Hall 2014b) | 28 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 13: Mögliche Bilanzierungsarten; Darstellung Energieinstitut Vorarlberg in Anlehnung an (Sartori 2012) und (Hall 2014a)..... | 29 |
| Abbildung 14: Spezifische CO _{2eq} -Emissionen Verbraucherstrom Österreich 2030 – Bandbreite, Szenariengruppe 5 und Mittelwert 2014 – 2019 (Roßkopf-Nachbaur 2021) | 30 |
| Abbildung 15: Jahreslastgänge Strom verschiedener EU-Staaten im Jahr 2018 (Büchle 2022) | 30 |
| Abbildung 16: Flussschema der Energieströme von der Erzeugung erneuerbaren Primärstroms bis zur Versorgung am Gebäude inklusive der Verluste für Kurzzeit- und Saisonal-Speicherung (Grove-Smith 2014)..... | 33 |
| Abbildung 17: Ausschnitt Passivhaussiedlung Heidelberg (links) - Foto: Energieinstitut Vorarlberg; PH Langenegg mit balkonintegrierter Solarthermie und Dach-PV (Arch. H. Kaufmann; HLS: Planungsteam E-Plus); Foto: C. Begle..... | 34 |
| Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der Markteinführung Passivhäuser (Lang 2012)..... | 35 |
| Abbildung 19: Dokumentierte Energiebezugsfläche an Objekten in Passivhaus Datenbank nach Baujahr/Nation untergliedert 1991 – 2019 per 12.07.2019 (Lang 2019) | 36 |
| Abbildung 20: Aktiv Stadthaus in Frankfurt; HHS Architekten und Planer AG; EGS-plan; Fotos: Constantin Meyer..... | 37 |
| Abbildung 21: Energieautarkes Einfamilienhaus Freiburg (links), (Planerwerkstatt Hölken + Berghof) Erstes energieautarkes Mehrfamilienhaus in Brütten/CH (René Schmid Architekten); Fotos: Energieinstitut Vorarlberg..... | 40 |
| Abbildung 22: (Wohn-)Nutzfläche (Wohngebäude, wohnähnliche Gebäude) bzw. Nettogrundfläche (Nichtwohngebäude) pro Objekt in logarithmischer Skalierung..... | 45 |
| Abbildung 23: Flächenvergleich am Beispiel eines Mehrwohnungsgebäudes | 46 |
| Abbildung 24: Baujahr bzw. Jahr der Sanierung pro Objekt | 46 |
| Abbildung 25: Bundesländerverteilung der untersuchten Objekte | 47 |
| Abbildung 26: Bilanzgrenze der Verbrauchsdatenerfassung | 49 |
| Abbildung 27: Erfassungszeitraum der Verbrauchsdaten..... | 50 |
| Abbildung 28: Medianbildung Verbrauch für Wärmeanwendungen | 51 |
| Abbildung 29: Medianbildung Stromverbrauch..... | 51 |
| Abbildung 30: Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser pro Wohnnutzfläche nach Energieträger – Mehrwohnungsgebäude | 54 |
| Abbildung 31: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro Wohnnutzfläche nach Energieträger – Mehrwohnungsgebäude | 56 |
| Abbildung 32: CO _{2eq} -Emissionen für Heizung und Warmwasser pro Wohnnutzfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Mehrwohnungsgebäude | 57 |
| Abbildung 33: CO _{2eq} -Emissionen für alle Anwendungen pro Wohnnutzfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Mehrwohnungsgebäude | 58 |
| Abbildung 34: CO _{2eq} -Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Mehrwohnungsgebäude | 59 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 35: Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser pro Wohnnutzfläche nach Energieträger – Einfamilienhäuser | 60 |
| Abbildung 36: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro Wohnnutzfläche nach Energieträger – Einfamilienhäuser | 61 |
| Abbildung 37: CO _{2eq} -Emissionen für Heizung und Warmwasser pro Wohnnutzfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Einfamilienhäuser | 62 |
| Abbildung 38: CO _{2eq} -Emissionen für alle Anwendungen pro Wohnnutzfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Einfamilienhäuser ... | 63 |
| Abbildung 39: CO _{2eq} -Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Einfamilienhäuser..... | 64 |
| Abbildung 40: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro Nutzfläche nach Energieträger – wohnähnliche Gebäude..... | 65 |
| Abbildung 41: CO _{2eq} -Emissionen für alle Anwendungen pro Nutzfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – wohnähnliche Gebäude | 66 |
| Abbildung 42: CO _{2eq} -Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – wohnähnliche Gebäude | 67 |
| Abbildung 43: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro Nettogrundfläche nach Energieträger – Nichtwohngebäude | 68 |
| Abbildung 44: CO _{2eq} -Emissionen für alle Anwendungen pro Nettogrundfläche nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Nichtwohngebäude | 71 |
| Abbildung 45: CO _{2eq} -Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Energieträger bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – Nichtwohngebäude | 72 |
| Abbildung 46: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro (Wohn-)Nutzfläche bzw. Nettogrundfläche nach Energieträger – ohne Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur | 73 |
| Abbildung 47: CO _{2eq} -Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Nutzungsart bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – ohne Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur | 73 |
| Abbildung 48: Netzbezogener Endenergieverbrauch für alle Anwendungen pro (Wohn-)Nutzfläche bzw. Nettogrundfläche nach Energieträger – mit Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur..... | 74 |
| Abbildung 49: CO _{2eq} -Emissionen für alle Anwendungen pro Person nach Nutzungsart bei Bewertung mit den Jahres-Konversionsfaktoren nach OIB-Richtlinie 6 (2019) – mit Klima- und Innenraumtemperaturkorrektur | 74 |
| Abbildung 50: Modellvorhaben KliNaWo in Feldkirch; Bauherrin/Bauherr: VOGEWOSI; Architektur: Walser + Werle; Foto: C. Begle..... | 76 |
| Abbildung 51: Energieflussdiagramm (Sankey) – KliNaWo, Monitoringdaten 2018 | 78 |
| Abbildung 52: Monatlicher Stromverbrauch und -bereitstellung – KliNaWo | 79 |
| Abbildung 53: Lebenszykluskosten (Kapitalwerte der Investitions,- Wartungs- und Energiekosten) der 60.000 untersuchten Varianten in Abhängigkeit vom Primärenergiebedarf bei Berechnung nach OIB | |

| | |
|--|-----|
| Richtlinie 6 (2011); Betrachtungsdauer: 50 Jahre, mit Berücksichtigung von Restwerten und Ersatzinvestitionen; ohne Förderungen (Ploß und Hatt 2017) | 80 |
| Abbildung 54: Mehrfamilienhäuser Vögelebichl; Bauherrin/Bauherr: Neue Heimat Tirol; Architektur: vogl-fernheim; Foto: Neue Heimat Tirol / Vandory | 82 |
| Abbildung 55: Energieflussdiagramm (Sankey) – Vögelebichl, Monitoringergebnisse 2018..... | 84 |
| Abbildung 56: Strombedarf für Wärmepumpe (WP) und Hilfsenergie (Aux) und PV-Energieerzeugung für beide Gebäude im Verhältnis zur solarthermischen Kollektorfläche auf dem Dach des Nordgebäudes. Die maximale Differenz zwischen Ertrag und Bedarf (ΔE) liegt bei etwa 30%, was 50 m ² entspricht, im Gegensatz zu den tatsächlichen 80 m ² (Ochs 2014)..... | 85 |
| Abbildung 57: Mehrfamilienhaus in Feldkirch; Bauherrin/Bauherr: ACK Immobilien; Planung: Architekturbüro Haller und Partner; Foto: C. Begle..... | 87 |
| Abbildung 58: Monatlicher Stromverbrauch und -bereitstellung – Haller Feldkirch..... | 87 |
| Abbildung 59: Mehrfamilienhaus in Langenegg; Bauherrin/Bauherr: Morscher Bau- und Projektmanagement GmbH; Architektur: HK Architekten Herman Kaufmann und Partner ZT GmbH; Foto: R. Fessler/G. Morscher..... | 89 |
| Abbildung 60: Gemessene Energieflüsse im Jahr 2015 – spezifische Werte mit Bezug auf Wohnnutzfläche von 399,3 m ² | 91 |
| Abbildung 61: Mehrfamilienhäuser in Dafins; Bauherrin/Bauherr: Alpenländischen Heimstätte-gemeinnützige Wohnungsbau- und SiedlungsgesmbH; Architektur: drexel architekten ZT OG, Hohenems; Foto: Energieinstitut Vorarlberg..... | 92 |
| Abbildung 62: Energieflussdiagramm (Sankey) – Dafins Haus A, Monitoringergebnisse 2021 | 94 |
| Abbildung 63: Energieflussdiagramm (Sankey) – Dafins Haus B, Monitoringergebnisse 2021 | 95 |
| Abbildung 64: Monatlicher Stromverbrauch und -bereitstellung – Dafins Haus A..... | 96 |
| Abbildung 65: Monatlicher Stromverbrauch und -bereitstellung – Dafins Haus B..... | 97 |
| Abbildung 66: Passivhaussanierung Am Sportplatz 4; Bauherrin/Bauherr: Errichtergemeinschaft AS4; Architektur: Gerhard Zweier; Foto: E. Drössler..... | 99 |
| Abbildung 67: Einfamilienhaus in Roitham; Bauherrin/Bauherr: Christine und Günter Lang; Planung: HK Architekten Herman Kaufmann und Partner ZT GmbH; Foto: LANG consulting | 101 |
| Abbildung 68: Jährliche, gemessene Endenergieverbräuche über 18 Jahre von der Passivhausscheibe Salzkammergut, dem ältesten zertifizierten Passivhaus Österreichs. | 101 |
| Abbildung 69: Ermittlung der Treibhausgasemissionen an Grauer Energie anhand der Passivhausscheibe Salzkammergut für Leichtbau- und Massivbauweise (Lang 1999)..... | 102 |
| Abbildung 70: Vergleich der CO _{2eq} -Emissionen der Passivhausscheibe Salzkammergut mit durchschnittlichen Gebäuden (Lang 1999) | 103 |
| Abbildung 71: Einfamilienhaus Finkel in Willendorf; Bauherrin/Bauherr: Alexandra Frankel und Herbert Fink; Planung: aap.architekten; Foto: Außen aap.architekten, Innen Michael Krammer..... | 104 |
| Abbildung 72: Detaillierte Aufteilung der Endenergieverbräuche für die Gruppen Mobilität, Wärme und Haushalt..... | 105 |
| Abbildung 73: Darstellung sämtlicher Energieverbräuche inklusive Mobilität des Zweipersonenhaushalt Finkel..... | 106 |
| Abbildung 74: EFH Schwarz - Erste Sanierung zum Passivhaus in Österreich; Foto: LANG consulting | 107 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 75: Wirtschaftlichkeitsdarstellung – EFH Sanierung Schwarz (Lang 2007) | 109 |
| Abbildung 76: Monatlicher Stromverbrauch und -bereitstellung – EFH Sanierung Schwarz | 110 |
| Abbildung 77: Einfamilienhaus Fleischanderl in Krenglbach; Bauherr: Thomas Fleischanderl; Planung: Plöderl.Architektur.Urbanismus. PAUAT Architekten; Foto: Thomas Fleischanderl | 111 |
| Abbildung 78: Auswertung Passivhaus-Datenbank über jährlich dokumentierte Energiebezugsfläche nach Bundesländern per 12.07.2019 (Lang 2019) | 133 |
| Abbildung 79: Dokumentierte Energiebezugsfläche an Objekten in Passivhaus Datenbank nach Baujahr/Nation untergliedert 1991 – 2018 per 12.07.2019 (Lang 2019) | 134 |
| Abbildung 80: Auswertung des Gemeinde-Rankings nach Quadratmeter Energiebezugsfläche je Einwohner (Lang 2022)..... | 135 |
| Abbildung 81: Bruttogasverbrauch der Bundesländer (Dolna-Gruber 2022) | 136 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Tabelle 1: Arbeits- und Zeitplan | 42 |
| Tabelle 2: Mittlerer Endenergiebedarf der untersuchten Bildungsgebäude für Heizung und Warmwasser sowie für Strom (Maas 2012)..... | 69 |
| Tabelle 3: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – KliNaWo | 77 |
| Tabelle 4: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – Vögelebichl | 83 |
| Tabelle 5: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – Haller Feldkirch | 86 |
| Tabelle 6: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – Langenegg..... | 90 |
| Tabelle 7: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – Dafins Haus A und B..... | 93 |
| Tabelle 8: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – Passivhaussanierung Am Sportplatz 4 ... | 98 |
| Tabelle 9: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – EFH Passivhausscheibe Salzkammergut | 100 |
| Tabelle 10: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – EFH Finkel | 105 |
| Tabelle 11: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – EFH Sanierung Schwarz..... | 108 |
| Tabelle 12: Projektsteckbrief und energetische Kennwerte – EFH Fleischanderl..... | 111 |

Literaturverzeichnis

- (AktivPlus 2016) AktivPlus e.V.: Aktiv-Plus Gebäude – Anwenderhandbuch zu den Merkmalen, 2. Auflage; Braunschweig, 2016
- (ASI 2019) Austrian Standards International: ÖNORM B 8110-5 Wärmeschutz im Hochbau Teil 5 Klimamodell und Nutzungsprofile, Ausgabe 2019-03-15; Wien, 2019
- (Büchele 2022) R. Büchele: Jahreslastgänge Strom Europäischer Staaten; Datenaufbereitung auf Basis Entso-E; Energieinstitut Vorarlberg; Dornbirn, 2022
- (Dermentzis 2018) G. Dermentzis, F. Ochs, F et al.: Detailed Monitoring Analysis of two Residential NZEBs with a Ground-Water Heat Pump with Desuperheater; 2018
- (Dermentzis 2021) G. Dermentzis et al.: Four years monitoring of heat pump, solar thermal and PV system in two net-zero energy multi-family buildings; 2021
- (Dolna-Gruber 2022) C. Dolna-Gruber: Bruttoverbrauch von Gas in den Bundesländern; 2022; Verfügbar unter: https://twitter.com/chri_gru/status/1509492972504637445 (2022.04.29)

- (Drössler 2019) E. Drössler: Gelebt wie geplant – wie geht das? Vollsanierung einer Kleinwohnanlage nach 6 Betriebsjahren im Rückblick; in: economicum – leistbares und energieeffizientes Wohnen, Themenband 8; Energieinstitut Vorarlberg; Dornbirn, 2019; Verfügbar unter: <http://www.energieinstitut.at/pdfviewer/economicum-themenband-8/> (2022.04.28)
- (EIV 2016): Auswertung Energieverbrauch Wärme von Schulgebäuden ohne Turnhallen 2016 gemäß Energiebuchhaltung online; Energieinstitut Vorarlberg, 2016
- (EIV 2022) M. Ploss et al.: Low-Cost nZEB – Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser; Energieinstitut Vorarlberg, Universität Innsbruck, Technische Hochschule Rosenheim; Dornbirn, 2022; Verfügbar unter: <https://www.energieinstitut.at/forschungsprojekte/low-cost-nzeb-interreg-oesterreich-bayern/> (2022.04.29)
- (Feist 2001) W. Feist et al.: Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg: Bau und Messung; Passivhaus Institut; Darmstadt, 2001
- (Fleischanderl 2021) T. Fleischanderl: Fernsehinterview beim passathon 2021 – RACE FOR FUTURE; HT1 TELEVISION & XMEDIA; Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=1WKGcYe8oc0> (2022.04.29)
- (Global 2022) GLOBAL 2000: Global 2000 Klimareport – So heizen die Landeshauptstädte; Umweltschutzorganisation GLOBAL 2000; Wien, 2022; Verfügbar unter: https://www.global2000.at/sites/global/files/GLOBAL%202000-Klimareport_So%20heizen%20die%20Landeshauptstaedte.pdf (2022.04.27)
- (Greller 2010) Greller, M. et al.: Universelle Energiekennzahlen für Deutschland – Teil 2: Verbrauchskennzahlentwicklung nach Baualtersklassen; in: Bauphysik 32(2010) Heft 1
- (Grove-Smith 2014) J. Grove Smith: Nachhaltigkeitsbewertung mit PER; Verfügbar unter: <https://passipedia.de/zertifizierung/passivhaus-klassen/per> (2022.04.19)
- (Hall 2014a) M. Hall: Nullenergiegebäude – die nächste Generation energieeffizienter Gebäude; Bundesamt für Energie; Bern, 2014
- (Hall 2014b) M. Hall et al.: Optimierung des Eigenverbrauchs, der Eigendeckungsrate und der Netzbelastung von einem Mehrfamilienhaus; in: Bauphysik 36 (2014), Heft 3, S. 117 - 129
- (ista 2020) J. Stede et al.: Wärmemonitor 2019 - Klimaziele bei Wohngebäuden trotz sinkender CO₂-Emissionen derzeit außer Reichweite; in: DIW Wochenbericht 40/2020; Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.; Berlin, 30.09.2020; Verfügbar unter: https://www.diw.de/de/diw_01.c.799802.de/publikationen/wochenberichte/2020_40_1/waermemonitor_2019_klimaziele_bei_wohngebaeuden_trotz_sinkender_co2-emissionen_derzeit_ausser_reichweite.html (2022.04.19)
- (Kirchengast 2019) Kirchengast, G., Kromp-Kolb, H., Steininger, K., Stagl, S., Kirchner, M., Ambach, Ch., Grohs, J., Gut-sohn, A., Peisker, J., Strunk, B.: Referenzplan als Grundlage für einen wissenschaftlich fundierten und mit den Pariser Klimazielen in Einklang stehenden Nationalen Energie- und Klimaplan für Österreich (Ref-NEKP); Gesamtband, November 2019, 204 S., CCCA Wien-Graz.; Verlag der ÖAW, Wien, Österreich
- (klimaaktiv 2017) klimaaktiv Kriterienkatalog „In der Gebäudenutzung“; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie; Wien; Verfügbar unter: <https://www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren/gebaeudedeklaration/gebaeude-in-der-nutzung.html> (2022.04.19)
- (klimaaktiv 2020) Der klimaaktiv Kriterienkatalog 2020; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie; Wien, 2020; Verfügbar unter:

<https://www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren/gebaeuedeklaration/kriterienkatalog-2020.html>
(2022.04.19)

- (Kluttig 2002): H. Kluttig et al.: Energieverbräuche von Bildungsgebäuden in Deutschland; Fraunhofer Institut für Bauphysik; Stuttgart, 2002
- (Lang 1999) G. Lang: Analyse treibhausrelevanter Emissionen am Bau anhand des Projektes „PASSIVHAUSSCHEIBE im Salzkammergut“, 3. Passivhaus-Tagung, 1. Auflage; Energieinstitut Vorarlberg, Passivhaus Institut; Dornbirn, 1999
- (Lang 2007) G. Lang et al.: Erstes Einfamilien-Passivhaus im Altbau, Umsetzung des Passivhausstandards und -komforts in der Altbausanierung von Einfamilienhäusern am Beispiel EFH Pettenbach, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften Haus der Zukunft; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie; Wien, 2007; Verfügbar unter: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_0738_passivhaus_altbau.pdf?m=1646386483& (2022.04.21)
- (Lang 2010) G. Lang: 1000 Passivhäuser in Österreich, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften Haus der Zukunft; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie; Wien, 2010; Verfügbar unter: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_1085_1000_passivhaeuser_oesterreich.pdf (2022.04.28)
- (Lang 2012) G. Lang: Geschichte des Passivhaus; LANG consulting; Wien, 2012; Verfügbar unter: <https://www.langconsulting.at/index.php/de/das-passivhaus/geschichte-des-passivhaus> (2022.04.27)
- (Lang 2019) G. Lang: Auswertung Passivhaus-Datenbank über jährlich dokumentierte Energiebezugsfläche nach Bundesländern (1996 – 2019) und nach Baujahr/Nation (1991 – 2018) per 12.07.2019; LANG consulting; Wien, 2019
- (Lang 2022) G. Lang: Auswertung des Gemeinde-Rankings nach Quadratmeter Energiebezugsfläche je Einwohner per Stand 2022-03-31 unter 5.303 weltweiten Objekten aus der Internationale Passivhaus-Datenbank; LANG consulting; Wien, 2022
- (Lechner 2022) R. Lechner: Bautechnologien für den Klimaschutz, Vortrag im Rahmen der „Stadt der Zukunft“ Themenworkshops „Innovatives Bauen in Österreich – tatsächlich nachweislich“ am 19.01.2022; Verfügbar unter: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz-pdf/events/20220124_sdz-tws/3_Lechner_Bautechnologien_fuer_den_Klimaschutz.pdf (2022.04.29)
- (Maas, 2012) S. Maas et al.: Wie viel Energie verbrauchen neue Unterrichts- und Bürogebäude in Luxemburg?; Cahier scientifiques - Revue Technique Luxembourgeoise 1; Luxemburg, 2012
- (Morscher 2016) G. Morscher, T. Roßkopf: Mehrfamilienhaus Langenegg-Unterstein – regionale Lösung für europäische Energieziele; in: economicum – leistbares und energieeffizientes Wohnen, Themenband 4; Energieinstitut Vorarlberg; Dornbirn, 2016; Verfügbar unter: http://www.energieinstitut.at/pdfviewer/economicum_themenband-4/ (2022.04.27)
- (Ochs 2014) F. Ochs et al.: Minimization of the Residual Energy Demand of Multi-storey Passive Houses – Energetic and Economic Analysis of Solar Thermal and PV in Combination with a Heat Pump; Energy Procedia, 2014
- (OIB 2019) Österreichisches Institut für Bautechnik: OIB-Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz, Ausgabe April 2019; Wien, 2019; Verfügbar unter: https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_12.04.19_1.pdf (2022.04.19)

- (Passipedia 2015) Passipedia - Die Passivhaus-Wissensdatenbank; Verfügbar unter: <https://passipedia.de> (2022.04.22)
- (Perch-Nielsen 2019) S. Perch-Nielsen: „Energie-Performance Gap in Neubauten – Grundlagen aus der Forschung für die Praxis – Grundlagenbericht November 2019; EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE; Bern, 2019
- (Peter 2021) A. Peter et al: Verbrauchsauswertung der zentralbeheizten Mehrfamilienhäuser der VOGEWOSI für die Jahre 2016 bis 2018; Energieinstitut Vorarlberg; Dornbirn, 2021
- (PHI 2017) Passivhaus Institut: Passivhaus-Projektierungspaket, Version 9.7; Darmstadt, 2017
- (PHI 2021) Passivhausinstitut: Kriterien für den Passivhaus-, EnerPhit- und PHI-Energiesparhaus-Standard, Version 10a, Stand Dezember 2021; Passivhausinstitut; Darmstadt, 2021
- (PHI 2022) Passivhaus Institut: Passivhaus-Projektierungspaket, Version 10.1; Darmstadt, 2022
- (Ploß 2017) M. Ploß, T. Hatt: Modellvorhaben „KliNaWo“ Klimagerechter Nachhaltiger Wohnbau, in: Themenband Session 5; Energieinstitut Vorarlberg; Dornbirn, 2017; Verfügbar unter: www.energieinstitut.at/pdfviewer/economicum_themenband-5/ (2022.04.27)
- (Ploß 2022) M. Ploß et al.: Definition der Anforderungen an „Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser“, in: Low-Cost nZEB – Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser; Energieinstitut Vorarlberg / Universität Innsbruck / Technische Hochschule; Dornbirn, 2022; Verfügbar unter: <https://www.energieinstitut.at/forschungsprojekte/low-cost-nzeb-interreg-oesterreich-bayern/> (2022.04.29)
- (Ploß 2019a) M. Ploß, T. Hatt et al.: Modellvorhaben „KliNaWo“ Klimagerechter Nachhaltiger Wohnbau, Monitoringbericht Juli 2019; Dornbirn, 2019; Verfügbar unter: <https://www.energieinstitut.at/unternehmen/bauen-und-sanieren-fuer-profis/kosten-und-wirtschaftlichkeit/forschungsprojekte-energieeffizienz-und-wirtschaftlichkeit/alps-klinawo/> (2022.04.27)
- (Ploß 2019b) M. Ploß, C. Schneider: Endbericht Beratung Mehrfamilienhaus Haller; Dornbirn, 2019
- (Prognos 2021) Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut: Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann - Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität; Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, 2021
- (Reiß 2017): J. Reiß et al.: EnEff:Schule Wissenschaftliche Begleitforschung zum Forschungsvorhaben „Energieeffiziente Schulen“ - Abschlussbericht Phase 2 - (Fraunhofer IBP Bericht WB 201/2017); Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart, 2017
- (Roßkopf-Nachbaur 2021) T. Roßkopf-Nachbaur, M. Ploß: Ermittlung monatlicher Primärenergiefaktoren und CO_{2eq}-Konversionsfaktoren für den aktuellen österreichischen und deutschen Verbraucherstrommix sowie Szenarien zur Entwicklung in Österreich bis 2030; Low-Cost nearly Zero Energy Buildings, Dokumentation Nr. 2; Energieinstitut Vorarlberg; Dornbirn, 2021
- (RTE 2022) Réseau de transport électrique (RTE): Futurs énergétiques 2050 – Rapport Complet; Février, 2022; Verfügbar unter: <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques> (2022.04.19)
- (Sartori 2012) I. Sartori et al.: Net zero energy buildings: A consistent definition framework; energy and buildings; Vol. 48, 2012

- (Savvidou 2020) M. Savvidou et al.: Heat demand in the Swedish residential building stock - pathways on demand reduction potential based on socio-technical analysis; Energy Policy 144, 2020
- (Steiner 2022) C. Steiner: Greenpeace, Fridays For Future und WissenschaftlerInnen fordern "Sofortpaket Gas-Exit" und Maßnahmen gegen fossile Abhängigkeit; Presseaussendung, 2022; Verfügbar unter: https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20220303_OTS0057/greenpeace-fridays-for-future-und-wissenschaftlerinnen-fordern-sofortpaket-gas-exit-und-massnahmen-gegen-fossile-abhaengigkeit (2022.04.29)
- (Stolz 2016) P. Stolz, R. Frischknecht: Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen; treeze Ltd.; Uster, 2016; Verfügbar unter: http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/563-Energiesysteme-v1.0.pdf (2022.04.19)
- (Techem 2017) techem Energiekennwerte 2017 – Transparenz zum Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser in deutschen Mehrfamilienhäusern; Techem Energy Services GmbH; Eschborn, 2017; Verfügbar unter: <http://www.wohnungswirtschaft-heute.de/dokumente/energie-transparenz-techem.pdf> (2022.04.19)
- (Techem 2020) techem Energiekennwerte 2019 - WÄRME – Erhebungen und Analysen zum Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser in deutschen Mehrfamilienhäusern; Techem Energy Services GmbH; Frankfurt, 2020
- (Vallentin 2022) R. Vallentin: Vom Global-Budget zum Treibhausgasbudget für Wohngebäude; in: Low-Cost nZEB – Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser; Energieinstitut Vorarlberg / Universität Innsbruck / Technische Hochschule; Dornbirn, 2022; Verfügbar unter: <https://www.energieinstitut.at/forschungsprojekte/low-cost-nzeb-interreg-oesterreich-bayern/> (2022.04.29)
- (Voss 2010) K. Voss et al.: Vom Niedrigenergie- zum Nullenergiehaus: Standortbestimmung und Entwicklungsperspektiven; in: Bauphysik 32 (2010), Heft 6, S. 424–434
- (Zamg 2022) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Jahrbuch der klimatologischen Tages-, Monats- und Jahresauswertungen der wichtigsten ZAMG Beobachtungs- und Messstationen sowie phänologische Aufzeichnungen; Wien, 2022; Verfügbar unter: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimauebersichten/jahrbuch> (2022.04.19)

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----|--------------------------------|
| AT | Österreich |
| BGF | Bruttogrundfläche |
| CAD | computer-aided design |
| CNC | computerized numerical control |
| DE | Deutschland |
| EBF | Energiebezugsfläche |
| EBO | Energiebuchhaltung online |
| EFH | Einfamilienhaus |

| | |
|-----------|---|
| EIWOG | Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz |
| EnEV | Energieeinsparverordnung |
| EPBD | energy performance of buildings directive/Europäische Gebäuderichtlinie |
| EPS | Expandiertes Polystyrol |
| f_{GEE} | Gesamtenergieeffizienzfaktor |
| GEG | Gebäudeenergiegesetz |
| HLS | Heizung-Lüftung-Sanitär |
| HWB | Heizwärmebedarf |
| KWK | Kraft-Wärme-Kopplung |
| LZE100LT | Langzeitevaluierung 100 Leuchtturmobjekte |
| NB | Neubau |
| NEH | Niedrigenergiehaus |
| NF | Nutzfläche |
| NGF | Nettogrundfläche |
| nZEB | nearly zero energy building/Niedrigstenergiegebäude |
| NZEB | net zero energy building/Nettonullenergiegebäude |
| OIB | Österreichisches Institut für Bautechnik |
| P | Person |
| PER | primary energy renewable |
| PH | Passivhaus |
| PHPP | Passivhaus-Projektierungspaket |
| PV | Photovoltaik |
| SAN | Sanierung |
| ST | Solarthermie |
| STB | Stahlbeton |
| THG | Treibhausgase |
| ÜFL | Überbaute Fläche |
| VOGEWOSI | Vorarlberger gemeinnützige Wohnungsbau- und Siedlungsbaugesellschaft |
| WE | Wohneinheit |
| WDVS | Wärmedämmverbundsystem |
| WNF | Wohnnutzfläche |

| | |
|------|--|
| WP | Wärmepumpe |
| WRG | Wärmerückgewinnung |
| WW | Warmwasser |
| ZAMG | Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik |

9 Anhang

9.1. Geschichtliche Entwicklung des hochenergieeffizienten Bauens

9.1.1. Internationale Entwicklung

Geschichtliche Entwicklung von traditionellen Gebäude bis hin zum Passivhaus-Standard (Passipedia 2015) (Lang 2012).

- Traditionelle Gebäude in Südchina
- Torfrashäuser in Island
- Die „Fram“, das Polarschiff von Fritjof Nansen, war ein Passivhaus (1883)
- Das DTH-Nullenergiehaus auf dem Campus in Kopenhagen
- Das Philips-Experimentierhaus
- Beispiel eines „superinsulated home“ in den USA
- Das Rocky Mountains Institute von Amory & Hunter Lovins in 2164 m Höhe
- Super-Niedrigenergiehäuser von Hans Eek
- Das energieautarke Solarhaus in Freiburg
- Das Passivhaus Darmstadt Kranichstein

Unter der wissenschaftlichen Leitung von Dr. Wolfgang Feist wurden 1990/91 nach Plänen von Prof. Bott/Ridder/Westermeyer von einer privaten Bauherrinnen- bzw. Bauherrengemeinschaft vier Reiheneinheiten in Darmstadt - Kranichstein errichtet. Damit wurde erstmals in Europa ein regulär bewohntes Mehrfamilienhaus mit einem dokumentierten Heizenergieverbrauch unter 12 kWh/(m²a) geplant, gebaut und messtechnisch begleitet.

1996 wurde das Passivhaus Institut (PHI) als ein unabhängiges Forschungsinstitut unter der Leitung von Prof. Dr. Wolfgang Feist gegründet. Es befasst sich mit der Forschung und Entwicklung im Bereich der hocheffizienten Energienutzung bei Gebäuden. Das PHI hat die Entwicklung des Passivhaus-Konzeptes in Deutschland und weltweit maßgeblich gestaltet.

Seit 1996 veranstaltet das Passivhaus Institut die jährlich stattfindende Internationale Passivhaustagung, die sich zu einer weltweiten zentralen Plattform für Wissenschaft, Architektur, Technik und Produktentwicklung im Bereich des hochenergieeffizienten Bauens und Sanierens entwickelt hat. Seit 2004 bieten die jährlich stattfindenden Internationalen Tage des Passivhauses Anfang November allen Interessenten weltweit die Gelegenheit selbst einen Eindruck von den Qualitäten eines Passivhauses zu gewinnen.

9.1.2. Geschichtliche Entwicklung des Passivhauses in Österreich

Nachfolgend findet sich eine Analyse von Günter Lang zur geschichtlichen Entwicklung des Passivhauses in Österreich (Lang 2012). 1993 erfuhr Arch. Helmut Krapmeier vom Energieinstitut Vorarlberg erstmals bei einem Vortrag von Dr. Wolfgang Feist in Darmstadt über das beeindruckende Konzept des Passivhauses und präsentierte bei der ersten Sommerakademie 1994 in Vorarlberg vor staunenden Architekten aus Österreich diesen revolutionären Baustandard.

Die ersten Wohnbauten in Passivhaus-Standard in Österreich

1996 wurde Österreichs erstes Einfamilienhaus als Passivhaus fertiggestellt. Das Einfamilienhaus von Martin Caldonazzi in Amerlügen/Vorarlberg geplant und errichtet von seinem Bruder Bmst. Richard Caldonazzi auf über 900 Metern Seehöhe.

Kurze Zeit darauf wurde 1997 Österreichs erste Reihenanlage in Batschuns/Vorarlberg vom Atelier Unterrainer, sowie im gleichen Jahr das erste Mehrfamilienhaus als Passivhaus mit 13 Wohnungen - die Wohnanlage Ölzbündt in Dornbirn/Vorarlberg vom Architekturbüro DI Hermann Kaufmann - errichtet und beide als „Haus der Zukunft“ ausgezeichnet.

Zehn Jahre später – 2007 - waren es bereits 4.000 Wohneinheiten und in Vorarlberg im sozialen Wohnbau der Mindeststandard. Im Oktober 2009 wurde mit 354 Wohnungen vom Bauträger Neue Heimat Tirol in Innsbruck am Lodenareal die damals größte Passivhaus-Wohnanlage ihrer Bestimmung übergeben. In Wien starteten am „Eurogate“ Ende 2009 die Bauarbeiten für die erste großvolumige Passivhaus-Siedlung in Österreich mit 800 Wohnungen für mehr Wohnkomfort und Behaglichkeit.

Mit Ende 2011 waren bereits knapp 21.000 Wohnungen in Passivhaus-Standard in Österreich bewohnt, wovon die Mehrheit sich in Mehrfamilienhäusern befanden. Österreichs erste Altbausanierung wurde 2004 mit dem Einfamilienhaus Schwarz in Pettenbach durch LANG consulting umgesetzt. Dabei konnte der Heizwärmeverbrauch von 280 auf 12,9 kWh/(m²a) um über 95% gesenkt werden. Gemäß dem Motto von Prof. Dr. Wolfgang Feist "Wenn schon denn schon" war dieses Pilotprojekt der Startschuss zu einer rasanten Entwicklung des Passivhaus-Standards auch im Sektor der Altbausanierung in Österreich.

Entwicklung des Nicht-Wohnbaus in Passivhaus-Standard

Wie rasant die Entwicklung voranschritt, konnte man am Beispiel der Kindergärten sehen. In Ziersdorf wurde 2002 Österreichs erster Passivhaus Kindergarten im Rahmen „Haus der Zukunft“ von ah3 architekten zt gmbh errichtet. Existierten bis 2006 in ganz Österreich erst fünf Kindergärten, so gewährleisteten seit Sommer 2009 in der Stadt Baden allein 5 Kindergärten als Passivhaus den Kindern immer frische Luft, allesamt von Jordan [architektur&energie] geplant.

Dass das Passivhaus Schule macht, sah man auch im Schulbau. Das erste Schulgebäude in Passivhaus-Standard war die Hauptschule Klaus-Weiler-Fraxern in Vorarlberg von Dietrich / Untertrifaller Architekten, die zwischen 2002 und 2003 errichtet wurde. Waren es 2006 Österreichweit vier Schulen, waren 2010 bereits 23 Schulen in Passivhaus-Standard in der Datenbank dokumentiert, 13 davon als Altbausanierung.

Das erste Gebäude mit Büronutzung in Passivhaus-Standard wurde 1998 in Schwarzach vom Architekturbüro DI Hermann Kaufmann geplant. Bei den Dienstleistungsgebäuden ist besonders das Forschungsprojekt Christophorus Haus in Stadl Paura/Oberösterreich von Dipl. Ing. Albert P. Böhm + Mag. Helmut Frohnwieser hervorzuheben. Seit 2003 zur höchsten Zufriedenheit der Büromitarbeiter in Betrieb, benötigt es für Heizung und Kühlung lediglich 26 Cent pro m² und Jahr – im Vergleich zu konventionellen Bürobauten bei ansonst üblichen 20 bis 30 Euro pro m² und Jahr. Mit Stand 25.04.2010 waren alleine in der Datenbank insgesamt 57 Büro- und Gewerbebauten sowie 25 sonstige Bauten in Passivhaus-Standard dokumentiert.

Zwischen 2005 und 2006 wurde Österreichs erste Altbausanierung eines öffentlichen Gebäudes auf Passivhaus-Standard erfolgreich umgesetzt. In der im Rahmen von „Haus der Zukunft“ sanierten

Polytechn. u. Hauptschule II in Schwanenstadt/Oberösterreich von Plöderl.Architektur.Urbanismus. PAUAT Architekten werden so statt 55.000 Kubikmeter Erdgas nur noch 47 Kubikmeter Pellets jährlich verheizt – bei 6.240 m² Nutzfläche weniger als in einem Einfamilienhaus. Selbst ohne Förderung würde den Gemeinden diese nachhaltige Sanierung binnen 20 Jahren Finanzierungslaufzeit inklusive der höheren Baukosten um 20 Prozent billiger kommen als eine konventionelle Sanierung. Daher verwundert es nicht weiter, dass bereits vier Jahre später 13 Altbausanierungen von Schulen in Passivhaus-Standard in der Datenbank dokumentiert waren, und eine Vielzahl weiterer Projekte in Umsetzung befanden.

2006 setzte Ludesch in Vorarlberg mit dem ersten Gemeindezentrum in Passivhaus-Standard, geplant wiederum vom Architekturbüro DI Hermann Kaufmann, einen Meilenstein nachhaltiger Gemeindepolitik. 2010 waren in ganz Österreich bereits rund ein Dutzend Gemeindezentren in Bau, die helfen, künftig das Gemeindebudget kräftig zu entlasten und beste Vorbildwirkung in ihrer Gemeinde zu beweisen.

Und in Niederösterreich werden per Landtagsbeschluss alle Landesbauten seit 2008 nur noch in Passivhaus-Standard vorbildlich geplant. Auch die Stadt Wels hat sich als Energiehauptstadt Europas selbst verpflichtet, alle ihre Gemeindееigenen Gebäude als Passivhäuser zu errichten, und Sanierungen zumindest mit Passivhaus-Komponenten umzusetzen. 2011 haben zudem bereits über ein Dutzend Vorarlberger Gemeinden den Passivhaus-Standard in ihren Deklarationen verankert.

Programmlinie „Haus der Zukunft“

Maßgebenden Anteil an dieser rasanten Entwicklung des Passivhaus-Standards in Österreich hatte die Programmlinie „Haus der Zukunft“ im Rahmen des Forschungs- und Technologieprogramms des Bundesministeriums, bei der speziell in der Periode 2000 – 2007 dem Thema Passivhaus ein ausführlicher Schwerpunkt gewidmet wurde.

Im Regierungsübereinkommen der Regierung Faymann/Pröll im Jahr 2008 wurde unter anderem vereinbart, dass ab 1.1.2015 in der Bauordnung Österreichweit als Mindeststandard der Passivhaus-Standard festgelegt sein soll.

Diese in Summe sehr erfolgreiche Entwicklung energieeffizienten Bauens und Sanierens schaffte ein umfangreiches Know-how und Innovationsschub in Österreichs Bauwirtschaft und war weltweit Vorbild für viele Länder, wie auch den EU-Institutionen. Die ursprünglichen Ansätze für das NZEB beinhalteten ebenfalls den Passivhaus-Standard als Mindeststandard.

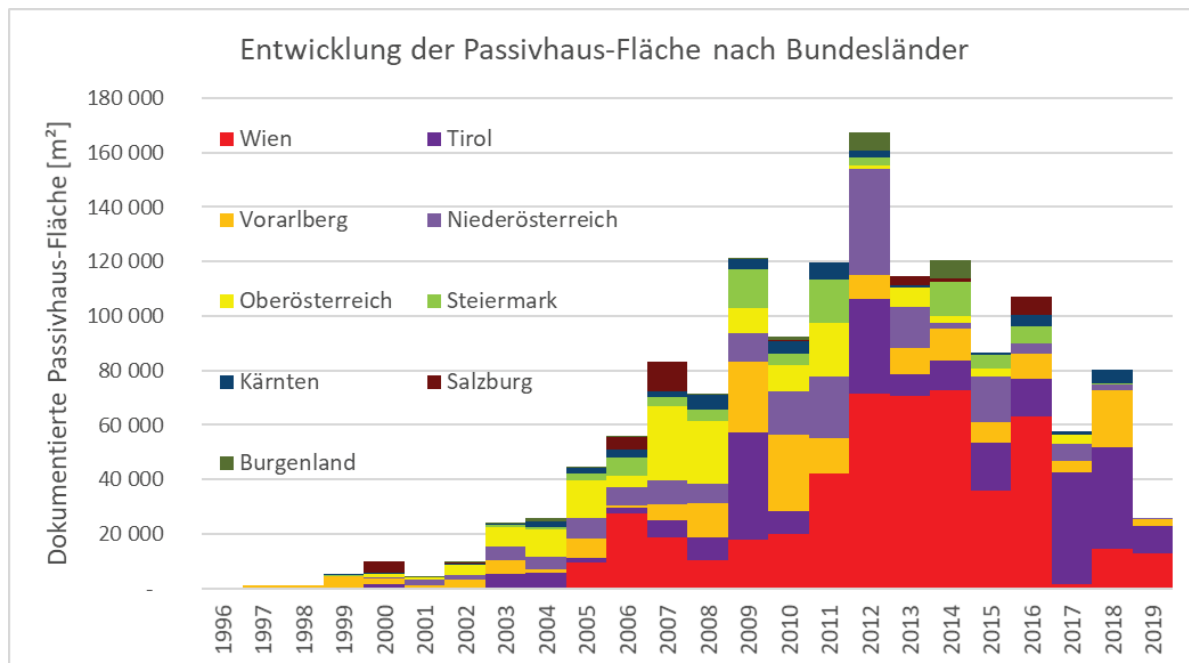
All diese raschen Entwicklungen im Bausektor hin zu einer drastischen Senkung des Energieverbrauches sind allerdings nicht überall auf Begeisterung gestoßen. Dementsprechend massiv haben diverse gut etablierte Interessensvertretungen und Lobbying Gruppen gegen die Speerspitze des energieeffizienten Bauens mobilgemacht, und so schrittweise diesen Best-Practice-Standard in seiner Verbreitung stark eingebremst.

Passivhaus-Datenbank

Durch den Aufbau einer zunächst österreichischen Passivhaus-Datenbank „1000 Passivhäuser in Österreich – Interaktives Dokumentations-Netzwerk Passivhaus“ im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ zwischen 2002 und 2009 (Lang 2010) konnten 11% aller bis 2009 errichteten Passivhäuser in Österreich als gelungene Beispiele für nachhaltiges Bauen dokumentiert werden. Mit Ende 2009 konnten so insgesamt 801 Passivhausobjekte primär aus Österreich, davon 42 internationale

dokumentiert werden, was zu dem damaligen Zeitpunkt 30% aller in Europa dokumentierten Passivhäuser entsprochen hat.

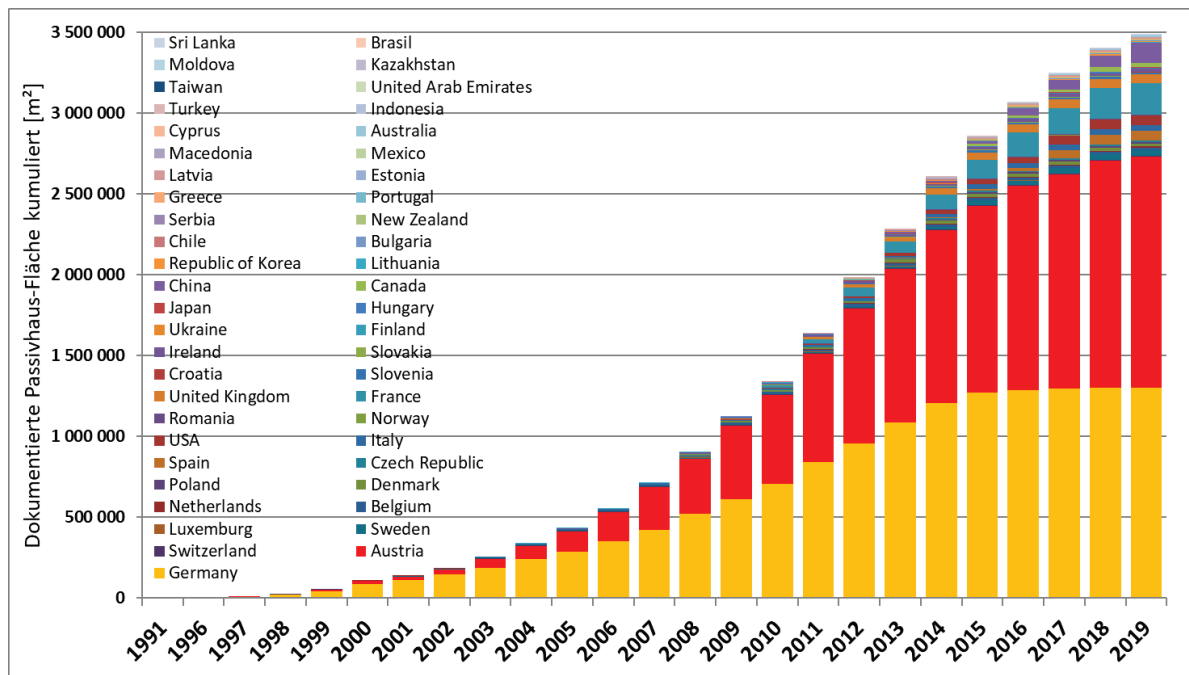
Abbildung 78: Auswertung Passivhaus-Datenbank über jährlich dokumentierte Energiebezugsfläche nach Bundesländern per 12.07.2019 (Lang 2019)



Mit Stand 02.02.2022 konnten auf diese Weise 1.071 Objekte aus Österreich dokumentiert werden. Dies entspricht 20,4 Prozent aller weltweit 5.262 dokumentierten Passivhäuser aus 52 Nationen. Aus Deutschland sind 2.387 Objekte, aus Frankreich 399, Spanien 263 Objekte, UK 203 Objekte und USA 133 Objekte dokumentiert. Bei der letzten Gesamtauswertung der Datenbank per Juli 2019 waren insgesamt 4.547 Objekte auf vier Kontinenten von 49 Nationen mit 3.485.646 m² Energiebezugsflächen in der Passivhaus Datenbank dokumentiert.

In der Nationenwertung hat Österreich per Juli 2019 mit 1.429.294 m² dokumentierter Energiebezugsfläche die Führung vor Deutschland mit 1.301.372 m² übernommen. An dritter Stelle mit 190.697 m² liegt wieder Frankreich. Sehr gut entwickelt hat sich das Passivhaus in China, wo sich binnen eines Jahres die Fläche auf 123.048 m² verdoppelt hat. Die USA, Spanien und UK lagen 2019 mit rund 60.000 m² etwa gleich auf.

Abbildung 79: Dokumentierte Energiebezugsfläche an Objekten in Passivhaus Datenbank nach Baujahr/Nation untergliedert 1991 – 2018 per 12.07.2019 (Lang 2019)



Unter weltweit 5.303 dokumentierten Projekten in der internationalen Passivhaus Datenbank weist die Gemeinde Krumbach im Bregenzerwald mit 8,35 m² Energiebezugsfläche neben Eberstalzell in Oberösterreich die mit großem Abstand höchste Dichte an Passivhausobjekten auf. Die ersten 11 Platzierungen belegen mit mehr als 2,0 m²_{EBF}/EW nur österreichische Gemeinden, davon 6 Gemeinden aus Vorarlberg. Unter den ersten 53 Platzierungen belegen mit mehr als 0,25 m²_{EBF}/EW nur 15 Gemeinden außerhalb Österreichs einen Platz. Dies ist zunächst eine Bestätigung der Breitenwirksamkeit der österreichischen Forschungsförderungs-Programmlinie „Haus der Zukunft“, die nicht nur die Entwicklung des Passivhauses in Österreich maßgeblich mitgeprägt hat, sondern auch den Aufbau der zunächst österreichischen Passivhaus Datenbank ermöglicht hat, die dann in weiterer Folge zur Internationalen Datenbank übergeführt und vereint wurde.

Vor allem ist dies aber auch ein Beleg dafür, dass bei konsequenter Umsetzung des bewährten Passivhaus-Standards, wie dies in Krumbach im Bregenzerwald geschehen ist, heute bereits 20 Prozent des gesamten Gebäudebestandes einen minimierten Energieverbrauch, wie er für die Klimaneutralität erforderlich ist, aufweisen könnten.

Abbildung 80: Auswertung des Gemeinde-Rankings nach Quadratmeter Energiebezugsfläche je Einwohner (Lang 2022)

| Rang | Gemeinde | Land | m ² Energiebezugsfläche/Einwohner |
|------|---------------------------|------|--|
| 1 | Krumbach | AT | 8,35 |
| 2 | Eberstalzell | AT | 7,48 |
| 3 | Doren | AT | 3,71 |
| 4 | Korneuburg | AT | 3,07 |
| 5 | Langenegg | AT | 2,73 |
| 6 | Großschönau | AT | 2,60 |
| 7 | Greifenburg | AT | 2,49 |
| 8 | Schwanestadt | AT | 2,46 |
| 9 | Wolfurt | AT | 2,23 |
| 10 | Mellau | AT | 2,18 |
| 11 | Bürs | AT | 2,02 |
| 12 | Urduliz | ES | 1,92 |
| 13 | Hard | AT | 1,62 |
| 14 | Egg | AT | 1,45 |
| 15 | Innsbruck | AT | 1,31 |
| 16 | Lauterach | AT | 1,20 |
| 17 | Ludesch | AT | 1,14 |
| 18 | Carquefou | FR | 1,05 |
| 19 | Walding | AT | 1,04 |
| 20 | Moosbrunn | AT | 1,03 |
| 21 | Weissensee | AT | 1,02 |
| 22 | Lohfelden | DE | 1,00 |
| 23 | Königsfeld im Schwarzwald | DE | 0,91 |
| 24 | Eisenstadt | AT | 0,86 |
| 25 | Schwarzach | AT | 0,85 |
| 26 | Nidderau | DE | 0,83 |
| 27 | Jenbach | AT | 0,77 |
| 28 | Klosteneuburg | AT | 0,74 |
| 29 | Böheimkirchen | AT | 0,72 |
| 30 | Deutsch Wagram | AT | 0,71 |
| 31 | Zwingenberg | DE | 0,70 |
| 32 | Andelsbuch | AT | 0,64 |
| 33 | Wels | AT | 0,60 |
| 34 | Erolzheim | DE | 0,55 |
| 35 | Bregenz | AT | 0,53 |
| 36 | Wimbish | UK | 0,51 |
| 37 | Dornbirn | AT | 0,48 |
| 38 | Krems | AT | 0,48 |
| 39 | Schiefeling | AT | 0,43 |
| 40 | Velden | AT | 0,41 |
| 41 | Mödling | AT | 0,40 |
| 42 | Heppenheim | DE | 0,39 |
| 43 | Winterbach | DE | 0,38 |
| 44 | Wörgl | AT | 0,37 |
| 45 | Bodnegg | DE | 0,35 |
| 46 | Dossenheim | DE | 0,34 |
| 47 | Siemniki | PL | 0,32 |
| 48 | Gänsemdorf | AT | 0,30 |
| 49 | Weiz | AT | 0,27 |
| 50 | Rankweil | AT | 0,27 |
| 51 | Walldorf | DE | 0,27 |
| 52 | Frankfurt | DE | 0,26 |
| 53 | Wien | AT | 0,25 |
| 71 | St. Pölten | AT | 0,14 |
| 77 | Klagenfurt | AT | 0,13 |
| 78 | Graz | AT | 0,12 |
| 85 | Salzburg | AT | 0,11 |
| 94 | Linz | AT | 0,10 |
| 99 | Darmstadt | DE | 0,09 |
| 129 | München | DE | 0,04 |

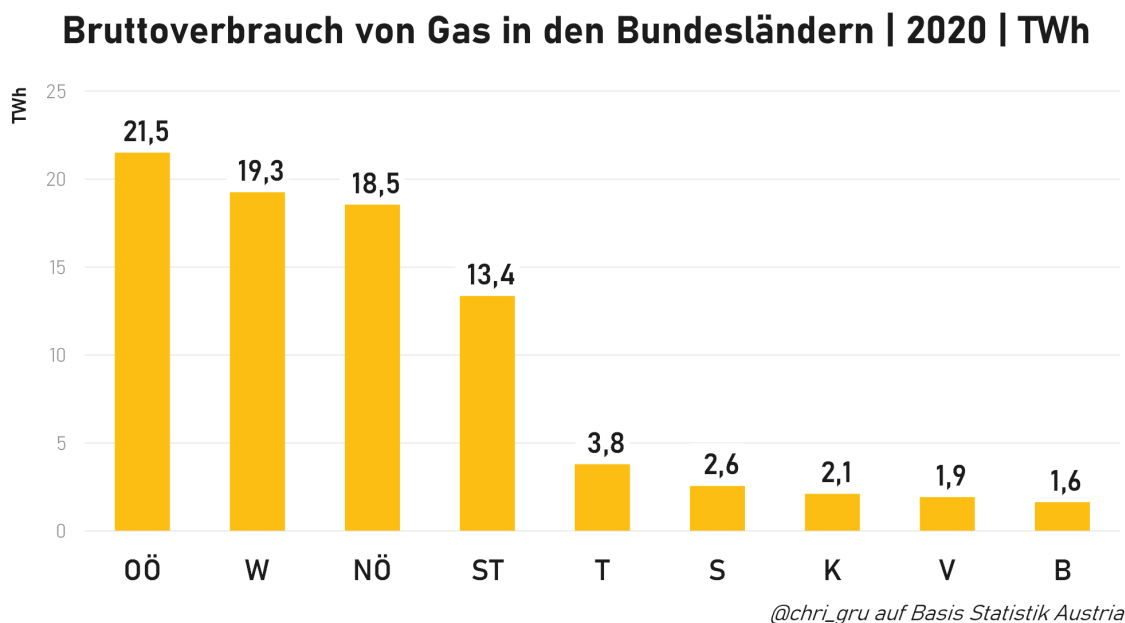
9.2. Endenergieeinsparung durch hocheffiziente Gebäude

Laut aktueller Studie „Technologiemonitoring innovatives Bauen in Österreich“ (Lechner 2022) im Auftrag des BMK sind seit 2010 in Österreich 311.000 Gebäude mit einer Wohnnutzfläche von 130 Millionen Quadratmeter neu errichtet worden. Davon allein 200.000 Einfamilienhäuser.

Auf Grund der nicht ausreichend genug ambitionierten OIB-Richtlinie 6 und den Bauordnungen der Bundesländer verursachen diese seit 2010 in Summe rund 3,25 TWh an zusätzlichem Energieverbrauch pro Jahr gegenüber dem Stand der Technik in Passivhaus-Qualität: $130.000.000 \text{ m}^2_{\text{WNF}} \times 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNF}})$ Endenergieeinsparung (Vergleich mit mittlerem Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser von typischen Neubauten in Kapitel 3.2.1 und mittlerem Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser der untersuchten Mehrwohnungsgebäude in Kapitel 5.1.1). Allein die 200.000 Einfamilienhäuser verursachen rund 0,75 TWh an zusätzlichem Energieverbrauch pro Jahr gegenüber dem Stand der Technik: $200.000 \text{ EFH} \times 150 \text{ m}^2_{\text{WNF}}/\text{EFH} \times 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNF}})$.

Der rund 3,25 TWh zusätzliche Energieverbrauch pro Jahr gegenüber dem Stand der Technik in Passivhaus-Qualität würde somit dem Bruttoverbrauch von Gas der Bundesländer Vorarlberg und Burgenland entsprechen.


Abbildung 81: Bruttogasverbrauch der Bundesländer (Dolna-Gruber 2022)



„Laut Auswertung der Statistik Austria werden 22 Prozent des Energieverbrauchs in Österreich mit Gas gedeckt. Das sind fast 90 Terawattstunden oder 8 Milliarden Kubikmeter Erdgas. Etwa ein Drittel davon wird umgewandelt, etwa zu Fernwärme oder Strom. Rund 60 Prozent werden direkt als Wärmeenergie genutzt. Die größten Abnehmer sind in der Industrie: Papierindustrie, die Chemie- und Petrochemieindustrie und die Eisen- und Stahlerzeugung. Etwa 20 Prozent des Gases wird zum Heizen in Haushalten genutzt. 23 Prozent der Heizungen in Österreich sind Gasheizungen - der Anteil ist vor allem in Wien, Niederösterreich und dem Burgenland hoch. Über 80 Prozent der benötigten Menge an fossilem Gas wird aus Russland importiert, 10 Prozent stammt aus dem Inland“ Christian Steiner, Pressesprecher Greenpeace (Steiner 2022).

9.3. Beispiel Excel-Formular zur Verbrauchsdatenerfassung

039 / Passivhausscheibe Salzkammergut
 Verbrauchsdatenerfassung LZE 100 - Grundeingaben und Systemauswahl
 Bitte vervollständigen Sie Ihre Eingaben. Achten Sie auf das X!



| | | Eingabefelder | Auswahlfelder |
|--|--|---|---------------|
| Adresse | | | |
| Objektname | | Passivhausscheibe Salzkammergut | ✓ |
| Bundesland | | Oberösterreich | ✓ |
| PLZ | | 4661 | ✓ |
| Ort | | Roitham | ✓ |
| Adresse | | Mitterbuch 9 | ✓ |
| Gebäudedaten | | | |
| Nutzungsart | | Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten | ✓ |
| Gebäudetyp | | Neubau | ✓ |
| Baujahr | | 2000 | ✓ |
| Beheizte Wohnnutzfläche in m ² | | 140 | ✓ |
| Anzahl Wohneinheiten | | 1 | ✓ |
| Anzahl Bewohner | | 3 | ✓ |
| Oberflächen/Volumen-Verhältnis A/V in 1/m | | 0.9 | ✓ |
| Luftdichtheitsresultat n ₅₀ in 1/h | | 0.41 | ✓ |
| Kontaktdaten | | | |
| Kontakt/Bauherr | | Günter Lang | |
| Telefon (z. B. +43 5572 31202 0) | | +43 650 900 2040 | |
| Mail | | g.lang@langconsulting.at | |
| Weiterer Kontakt | | Markus Lang | |
| Telefon | | +43 660 4581791 | |
| Mail | | m.lang@langconsulting.at | |
| Verweise | | | |
| Link | | https://passivehouse-database.org/index.php?lang=de#d_23 | |
| Link | | https://www.langconsulting.at/index.php/de/das-passivhaus/mein-passivhaus | |
| Energiekennwerte | | | |
| PHPP vorhanden? | | ja | ✓ |
| Energieausweis vorhanden? | | ja | ✓ |
| PHPP | | | |
| Energiebezugsfläche in m ² | | 140 | ✓ |
| Heizwärmebedarf in kWh/(m ² a) | | 13 | ✓ |
| Primärenergie/PE-Bedarf in kWh/(m ² a) | | 114 | ✓ |
| PER-Bedarf in kWh/(m ² a) | | | ✓ |
| Energieausweis | | | |
| Brutto-Grundfläche in m ² | | 168 | ✓ |
| Referenz-Heizwärmebedarf HWB Ref,SK in kWh/(m ² a) | | 11.0 | ✓ |
| Primärenergiebedarf PEB SK in kWh/(m ² a) | | 0.0 | ✓ |
| Äquiv. Kohlendioxidemissionen CO ₂ eq,SK in kg/(m ² a) | | 0.0 | ✓ |
| Wärmeerzeugung | | | |
| Wärmeerzeugung Heizung und Warmwasser | | kombiniert | ✓ |
| zusätzlicher Wärmeerzeuger Heizung vorhanden? | | ja | ✓ |
| zusätzlicher Wärmeerzeuger Warmwasser vorhanden? | | ja | ✓ |
| Wärmeerzeuger Heizung und Warmwasser | | Wärmepumpen-Kompaktgerät | ✓ |
| zusätzlicher Wärmeerzeuger Heizung | | Ethanolofen | ✓ |
| zusätzlicher Wärmeerzeuger Warmwasser | | Heizstab | ✓ |
| Solarthermische Anlage | | | |
| Solarthermische Anlage vorhanden? | | nein | ✓ |
| PV-Anlage | | | |
| PV-Anlage vorhanden? | | nein | ✓ |
| Art der Verbrauchserfassung | | | |
| Unterbrechung Verbrauchserfassung? | | nein | ✓ |
| Erfassungszeitraum von | | 2000 | ✓ |
| Erfassungszeitraum bis | | 2020 | ✓ |
| Anzahl Stromzähler | | 3 | ✓ |
| Mittlere Raumtemperatur im Winterhalbjahr bekannt? | | Messwert pro Erfassungsjahr | ✓ |
| Wärmepumpen-Kompaktgerät | | | |
| Gesamter Stromverbrauch erfasst? | | ja | ✓ |
| Verbrauch erfasst? | | ja | ✓ |
| Für Warmwasser getrennt erfasst? | | ja | ✓ |
| Ethanolofen | | | |
| Verbrauch erfasst? | | ja | ✓ |
| Heizstab | | | |
| Verbrauch erfasst? | | nein | ✓ |
| Hilfsstrom | | | |
| Lüftungsanlage vorhanden? | | ja | ✓ |
| Verbrauch erfasst? | | Hilfsstrom für Heizung, Warmwasser und Lüftung zusammen | ✓ |
| Zusätzliche hohe Verbraucher vorhanden? | | nein | ✓ |
| Haben Sie noch detailliertere Verbrauchsdaten, die Sie uns zur Verfügung stellen wollen? | | ja | ✓ |

039 / Passivhauscheibe Saizkammergut

Verbrauchsdatenerfassung LZE 100 - Eingabe Energieverbrauch

Ihre Eingaben sind vollständig. Vielen Dank!



| Einheiten | 2020 | 2019 | 2018 | 2017 | 2016 | 2015 | 2014 | 2013 | 2012 | 2011 | 2010 | 2009 | 2008 | 2007 | 2006 | 2005 | 2004 | 2003 | 2002 | 2001 | 2000 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| in °C | 19,7 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 19,5 | 18,5 | 18,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 |
| mittlere Raumtemperatur im Winterhalbjahr | 2,585 | 2,401 | 2,388 | 2,613 | 2,131 | 2,900 | 2,194 | 2,220 | 2,124 | 2,016 | 2,073 | 2,063 | 2,063 | 1,783 | 2,342 | 2,574 | 1,978 | 2,149 | 2,073 | 2,142 | 2,142 |
| Gesamter Stromverbrauch | 1,628 | 1,489 | 1,518 | 1,718 | 1,264 | 1,567 | 1,362 | 1,390 | 1,430 | 1,262 | 1,243 | 1,320 | 1,086 | 1,349 | 1,682 | 1,205 | 1,205 | 1,708 | 1,129 | 242 | 271 |
| Wärmepumpen- | 1,398 | 1,279 | 1,305 | 1,476 | 1,086 | 1,346 | 1,170 | 1,194 | 1,228 | 1,084 | 1,068 | 1,134 | 933 | 1,159 | 1,445 | 1,035 | 1,038 | 970 | 208 | 233 | 233 |
| Kompaktgerät | 229 | 210 | 214 | 242 | 178 | 221 | 192 | 196 | 201 | 178 | 178 | 175 | 186 | 153 | 237 | 170 | 170 | 159 | 34 | 38 | 38 |
| davon für Heizung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| davon für Warmwasser | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| in kWh pro Jahr | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 12 | 12 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| in l pro Jahr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Einheiten | 2020 | 2019 | 2018 | 2017 | 2016 | 2015 | 2014 | 2013 | 2012 | 2011 | 2010 | 2009 | 2008 | 2007 | 2006 | 2005 | 2004 | 2003 | 2002 | 2001 | 2000 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| in kWh pro Jahr | 475 | 435 | 443 | 502 | 369 | 457 | 398 | 406 | 417 | 368 | 368 | 363 | 385 | 317 | 354 | 491 | 352 | 330 | 330 | 71 | 79 |

| Einheiten | 2020 | 2019 | 2018 | 2017 | 2016 | 2015 | 2014 | 2013 | 2012 | 2011 | 2010 | 2009 | 2008 | 2007 | 2006 | 2005 | 2004 | 2003 | 2002 | 2001 | 2000 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| in kWh pro Jahr | 475 | 435 | 443 | 502 | 369 | 457 | 398 | 406 | 417 | 368 | 368 | 363 | 385 | 317 | 354 | 491 | 352 | 330 | 330 | 71 | 79 |

Feedback, sonstige Anmerkungen

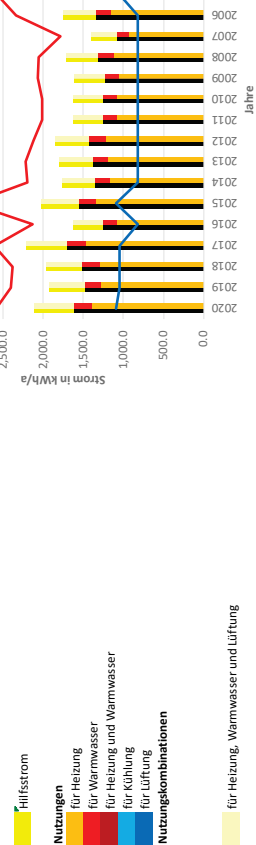
Wenn Sie uns gerne ein Feedback zur Verbrauchsdatenerfassung geben würden oder noch sonstige Anmerkungen haben, können Sie diese gerne hier ergänzen. Vielen Dank!

Endenergie Heizung, Endenergie Warmwasser, Haushaltsstrom, Hilfsstrom

Graphische Darstellung

Art der Darstellung

Absolutwerte

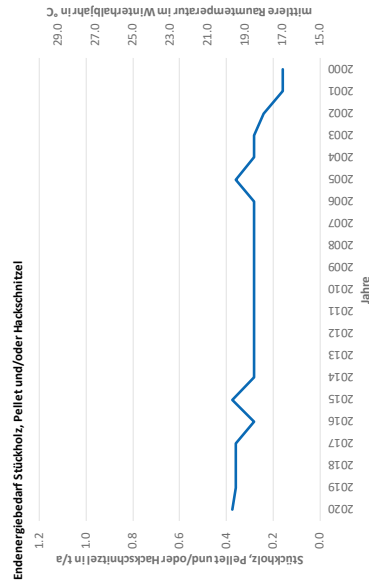
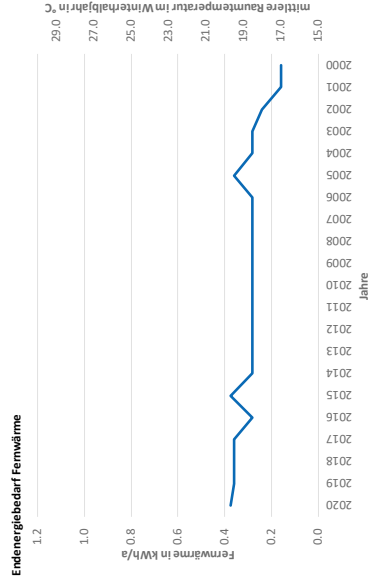
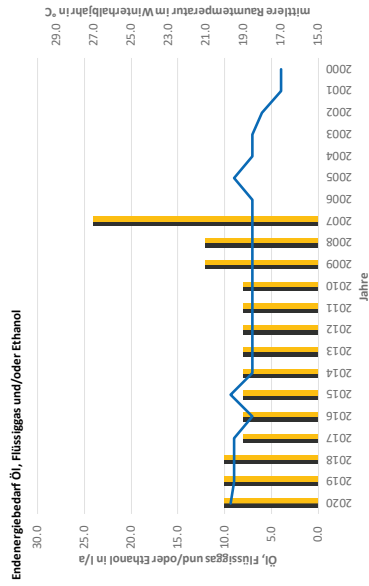
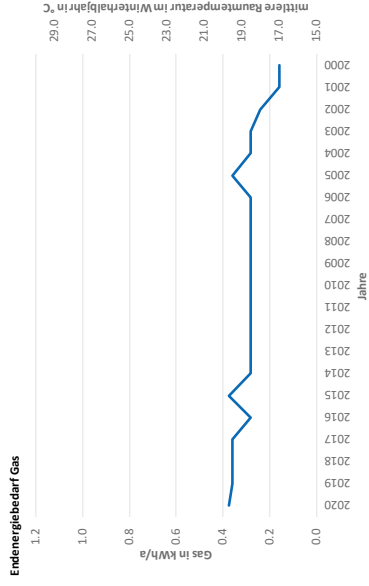
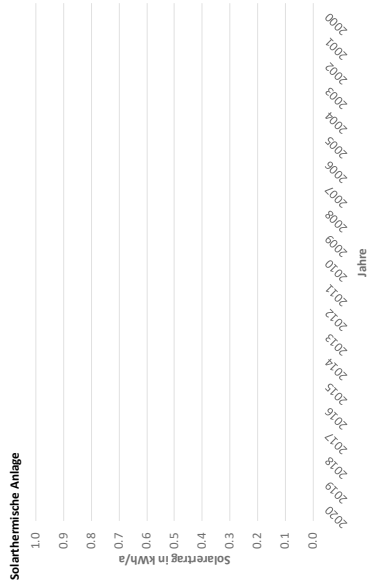


Wärmepumpen-Kompaktgerät
Ethanol Ofen
Hilfsstrom
Nutzungen
für Heizung
für Warmwasser
für Heizung und Warmwasser
für Kühlung
für Lüftung
Nutzungskombinationen
für Heizung, Warmwasser und Lüftung

Sonstiges

mittlere Raumtemperatur im Winterhalbjahr

Gesamter Stromverbrauch



9.4. Data Management Plan (DMP)

1: Datenerstellung und Dokumentation

Die ausgewerteten Verbrauchsdaten wurden mithilfe des Excel-Formulars zur Verbrauchsdatenerfassung direkt bei Bauherrinnen und Bauherren, Bewohnerinnen und Bewohnern und Nutzerinnen und Nutzern angefragt und aus veröffentlichten Monitoringergebnissen von Forschungsobjekte der Programmlinie Haus/Stadt der Zukunft, sowie Projekte, die im Rahmen von regionalen Landesforschungen durchgeführt wurden, erfasst.

2: Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Die Verbrauchsdaten, welche direkt bei Bauherrinnen und Bauherren, Bewohnerinnen und Bewohnern und Nutzerinnen und Nutzern angefragt wurden, sind nur anonymisiert veröffentlicht. Die Verbrauchsdaten von veröffentlichten Forschungsobjekte (Detailauswertung in Kapitel 5.6) sind nicht anonymisiert.

3: Datenspeicherung und –erhalt

Die Rohdaten, in Form der 105 Excel-Formulare zur Verbrauchsdatenerfassung, und die Excel-Datei, mit welcher die Daten zusammengeführt und ausgewertet wurden (Ergebnisabbildungen in Kapitel 5), befinden sich auf einem Cloud-Speicher zu welchem beide Projektpartner Zugang haben.

4: Wiederverwendbarkeit der Daten

Ein öffentlicher Zugang zur Datenspeicherung ist nicht angedacht. Die Rohdaten und die Auswertung können bei Bedarf in anonymisierter Form zur Verfügung gestellt werden.

A large, light blue geometric shape, resembling a right-angled triangle or a trapezoid, is positioned on the right side of the page. It has a vertical right edge and a horizontal top edge, with a diagonal line connecting the top-left corner to the bottom-right corner.

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)