

IEA HPT ANNEX 49: Design und Integration von Wärmepumpen für Niedrigstenergiegebäude (nZEB)

F. Ochs, M. Magni, E. Venturi,
G. Dermentzis, N. Franzoi,
A. Heinz, T. Selke, P. Horn

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

32/2020

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
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise 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/>

IEA HPT ANNEX 49: Design und Integration von Wärmepumpen für Niedrigstenergiegebäude (nZEB)

F. Ochs, M. Magni, E. Venturi, G. Dermentzis, N. Franzoi, S. Breuss
Universität Innsbruck

A. Heinz
Technische Universität Graz

T. Selke, P. Horn
AIT Austrian Institute Of Technology

Innsbruck, Juni 2020

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 Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract	9
3	Zusammenfassung	11
4	Ausgangslage	14
5	Projekthalt	16
5.1.	Ziel und Umfang des IEA HPT Annex 49	16
5.2.	Arbeitspakete des IEA HPT Annex 49	16
5.3.	Österreichische Beteiligung am IEA HPT Annex 49	19
5.4.	Österreichische Umsetzung der EPBD	20
5.4.1.	Europäischer Hintergrund	20
5.4.2.	Definition von nZEB und NZEB	21
5.4.3.	Österreichische Umsetzung der EPBD (Richtlinie OIB-6, Nationaler Plan)	21
5.4.4.	Die Österreichische Umsetzung im europäischen Vergleich	55
5.4.5.	Schlussfolgerungen	61
6	Ergebnisse	62
6.1.	Überblick	62
6.2.	Projekt NZEB Vögelebichl	63
6.2.1.	Einleitung	63
6.2.2.	NZEB Fallstudie	64
6.2.3.	Monitoring	72
6.2.4.	Optimierung und alternative Systemdesigns	74
6.3.	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	86
6.4.	Nationale nZEB Fallstudien	87
6.4.1.	Projekt Post am Rochus	87
6.4.2.	Projekt aspern seestadt D2	90
6.4.3.	Projekt COOLSKIN - Fassadenintegriertes Kühl- und Heizungssystem für Büroräume	93
6.4.4.	Projekt SolSPONGEhigh - Hoher Solarer Deckungsgrad durch thermisch aktivierte Bauteile	95
6.4.5.	Publikationen	97
7	Vernetzung und Ergebnistransfer	101
7.1.	Zielgruppen	101
7.2.	Internationale Partnertreffen	101
7.3.	Workshops	102
7.4.	Newletter	105
7.5.	Teilnahme an Konferenzen und Publikationen:	106

8	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	109
9	Anhang	124
9.1.	Anhang 1	124
9.2.	Anhang 2	129
9.2.1.	CTA® Optiheat Duo 1-44e OH	129
9.2.2.	CTA® Optiheat Economy 1-29e	130

1 Kurzfassung

Ende 2020 müssen alle neuen Gebäude in der Europäischen Union (EU) nahezu Nullenergiegebäude (nZEB: nearly-zero energy building nach EPBD) sein, um zur Erreichung der EU-CO₂-Neutralität bis 2050 beizutragen. Die technischen Möglichkeiten hocheffiziente Gebäudehüllen zu erreichen sind jedenfalls gut bekannt und es besteht kaum ein Zweifel daran, dass das vielversprechendste HLK-System Wärmepumpen (HP) und Photovoltaik- (PV) Paneele beinhaltet [Wemhoener (2009), Ochs et al. (2019)]. Jedoch gibt es noch Diskussion über das optimale Systemdesign zur Erreichung von nZEB [Wemhoener (2009)], dieser Aspekt stand im Fokus des IEA-HPT Annex 49. Im Rahmen des IEA HPT Annex 49 wurden Wärmepumpenkonzepte für nZEBs untersucht. Dies umfasste die Integration von Wärmepumpen in Kombination mit erneuerbaren Energien zur Anwendung in nZEB mit dem Schwerpunkt der Optimierung der Regelung. Zusätzlich wurden in ausgewählten Projekten Monitoring-Ergebnisse von Wärmepumpen in nZEBs analysiert.

Nach EPBD ist ein nZEB ein Niedrigstenergiegebäude, welches dadurch definiert ist, dass es einen durch Effizienzmaßnahmen sehr geringen Energiebedarf aufweist und dieser durch effiziente Haustechnik (z.B. Wärmepumpe) und zu einem erheblichen Anteil von erneuerbaren Energien gedeckt wird. Jeder Mitgliedsstaat hat eine nationale Definition mit teilweise signifikanten Unterschieden in Bezug auf den betrachteten Energieverbrauch (Heizung, Kühlung, Warmwasser, Nebenverbraucher, Haushaltsgeräte), Höchstgrenzen, Umrechnungsfaktoren usw. (siehe BPIE, 2016).

Die zugrunde liegende Idee der österreichischen Umsetzung der EPBD ist, dass ein Niedrigstenergiegebäude entweder durch Verbesserungen der thermischen Gebäudehülle über verschärfte Heizwärmebedarfsanforderungen ($HWB_{Ref,RK}$) oder über eine Verbesserung der energetischen Qualität des technischen Gebäudesystems mit verstärkter vor Ort oder in der Nähe erzeugter erneuerbarer Energie über eine Reduktion des Gesamtenergiefaktors (f_{GEE}) verwirklicht werden kann. Die Österreichische Umsetzung der EPBD in der aktuellen Form (2019), erscheint im Sinne der ambitionierten Klimaschutzziele Österreichs und der EU nicht ausreichend. Dieser sog. Duale Weg mit dem Verfahren über die Gesamtenergieeffizienz erlaubt weiterhin insbesondere bei Einfamilienhäusern eine nur mäßige Qualität der Gebäudehülle und verfehlt damit die Möglichkeit der für den Klimaschutz notwendigen Einsparungen im Gebäudebereich. Die Möglichkeit ein Gebäude nach der sog. 16er Line zu bauen widerspricht zudem dem Ergebnis der österreichischen Studie zur Kostenoptimalität. Sowohl der Weg über den Gesamtenergieeffizienzfaktor (f_{GEE}) als auch über den maximalen Endenergiebedarf (EEB_{max}) ist nicht eindeutig bezüglich der Primärenergieeinsparung und erlaubt damit keine ausreichende Richtungsweisung hin zu Energieeffizienz und alternativen / erneuerbaren Energien. Obwohl nach Annex I der EPBD gefordert ist, dass die Gesamtenergieeffizienz durch den Indikator (nicht erneuerbare) Primärenergie als Mindestanforderung angegeben wird, ist in der OIB-6:2019 nur der Verweis auf den Nationalen Plan (2018) gegeben, wodurch der Indikator Primärenergie keine Mindestanforderung sondern nur informativ zu sein scheint. Zudem stellt der Grenzwert im Nationalen Plan für nicht erneuerbare Primärenergie (von 41 kWh/(m² a) für Wohngebäude ohne Haushaltsstrom bzw. 84 kWh/(m² a) für Nicht-Wohngebäude mit Beleuchtungsstrom und 100 kWh/(m² a) wenn Kühlung berücksichtigt wird) bei den meisten Haustechnikvarianten keine Hürde dar, wenn Gesamtenergieeffizienz (f_{GEE} bzw. EEB_{max}) eingehalten wird. Im Europäischen Vergleich ist das österreichische nZEB wenig ambitioniert

und liegt ebenso wie z.B. Deutschland (EnEV) deutlich hinter den Vorgaben der EU und deutlich hinter ambitionierten Definitionen wie z.B. von Dänemark. Allerdings ist ein direkter Vergleich aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen und Annahmen schwierig und Experten vorbehalten. Eine bessere Vergleichbarkeit und mehr Transparenz wäre hier sicher notwendig.

Mehrere Fallstudien, welche die Integration von Wärmepumpen in nZEBs zeigen, wurden im Rahmen des IEA HPT Annex 49 untersucht und auf Basis von Monitoring und Simulationsergebnissen optimiert. Die österreichischen Fallstudien sind:

- NZEB Vögelebichl (Wohngebäude)
- Aspern (Wohngebäude)
- Post am Rochus (Bürogebäude)
- solSPONGEhigh (Wohngebäude)
- COOLSKIN (Bürogebäude)

Die Fallstudien belegen die guten Erfahrungen mit „echten“ nZEBs in Österreich. Sehr effiziente Gebäude mit hochwertigen Gebäudehüllen in Kombination mit Wärmepumpen und gebäudeintegrierten erneuerbaren Energien können - auch angesichts der Einschränkungen bezüglich leistbaren Wohnens - zu erheblichen Primärenergieeinsparungen beitragen. Um eine optimale Leistung und damit die maximale Primärenergieeinsparung zu erzielen, ist jedoch ein an die Gebäude angepasstes Systemdesign und eine entsprechende Dimensionierung zusammen mit einer gut abgestimmten Regelung und einer entsprechenden Qualitätskontrolle von der Planung bis zur Inbetriebnahme erforderlich. Im Rahmen einer erweiterten Kostenoptimalitätsstudie sollten verschiedene passive und aktive Technologien und der Einsatz von Erneuerbarer Energie im Gesamtsystem "Gebäude" und erweitert auf die "Stadt" bzw. "Region", etc. bewertet werden. Methoden und Tools müssen weiterentwickelt werden, um das Gesamtsystem ausgehend vom Status heute im Sinne des Klimaschutzes und der Bedürfnisse der Nutzer zu optimieren.

2 Abstract

At the end of 2020, all new buildings in the European Union (EU) must be nearly zero-energy buildings (nZEBs) in order to contribute to the achievement of the EU-CO₂ neutrality by 2050. As the technical options to achieve highly-efficient building envelopes are available and well-known, there is no doubt that the most promising HVAC systems must include heat pumps (HPs) and photovoltaic (PV) panels (Wemhoener, et al., 2019), (Ochs, et al., 2020). However, there exist ongoing discussions on the optimal system layout to achieve nZEB (Wemhoener, et al., 2019) and, thus, the IEA HPT Annex 49 focused on these aspects. Within the framework of the IEA HPT Annex 49, the various heat pump concepts for the realization of nZEBs were investigated. Herein, the investigation included the heat pump integration together with locally available renewable energy sources for application in nZEBs. In this context, a special focus was on the optimization of the heat pump control. Further, the monitoring results of different heat pumps were analysed for a selected number of projects.

According to EPBD, an nZEB is a nearly zero- energy building, which is attributed to the fact that such a building has a very low energy demand due to efficiency measures that include efficient HVAC technology (e.g. heat pump) and utilization of renewables to meet the very low demand to a considerable extent. Yet, in the EU member states nZEBs are defined following some national standards. In this regard, each member state provides its own national definition with sometimes significant differences in terms of energy consumption (heating, cooling, hot water, auxiliary consumers and appliances), maximum limits, conversion factors, etc. (see BPIE, 2016).

The Austrian implementation of the EPBD in the current version (2019) does not seem sufficient concerning Austria's and EU's ambitious climate protection goals. The so-called dual path with the method of the total energy efficiency still permits only a moderate quality of the building envelope, especially in single-family houses. Consequently, this leads to miss the possible savings required to fulfill the climate protection goals in the buildings sector. Besides, the potential to establish a building following the so-called 16-Line contradicts the results of the Austrian cost-optimality study. Both paths to meet the requirements of a nZEB, the one via the total energy efficiency factor (f_{GEE}) and the other via the maximum final energy demand (EEB_{max}) are not clear with regard to primary energy savings and, therefore, they do not permit sufficient guidance towards energy efficiency and alternative/renewable energy sources. Despite the fact that Annex I of the EPBD requires to specify the total energy efficiency by the indicator (non-renewable) primary energy as a minimum requirement, in OIB-6: 2019 only the reference to the National Plan (2018) is provided. Hence, the primary energy indicator does not seem to be the minimum requirement but only appears to be an informative indicator. In addition, the National Plan (2018) sets the limit for non-renewable primary energy (41 kWh/(m² a) for residential buildings without appliances, and 84 kWh/(m² a) for non-residential buildings including lighting and 100 kWh/(m² a) if cooling is considered) so high that it does not represent a limit for most of HVAC variants if the requirement of the maximum limit of the total energy efficiency (f_{GEE} or EEB_{max}) is met. In a European comparison, the Austrian nZEB does not seem very ambitious and similar to, for example, Germany (EnEV) as they both are clearly below the requirements of the EU and clearly behind the ambitious definitions from, for instance, Denmark. However, it is difficult to make a direct comparison due to the different boundary conditions and assumptions. Thus, a better comparison with more transparency would be necessary here.

Further, in the framework of IEA HPT Annex 49, several case studies showing the integration of heat pumps in nZEBs were investigated and, then, optimized by means of monitoring and simulation results. Herein, the Austrian case studies are:

- NZEB Vögelebichl (residential)
- Aspern (residential)
- Post am Rochus (non- residential)
- solSPONGEhigh (residential)
- COOLSKIN (non- residential)

The case studies demonstrate the good experience with "real" nZEBs in Austria. Very energy efficient buildings with high quality envelopes in combination with heat pumps and onsite renewables can - also given the constraint of affordable living - contribute to major primary energy savings. However, a customized system design and well-dimensioned components together with a well-commissioned control are required in order to obtain the optimal performance and, thus, maximum primary energy savings. As part of an expanded cost-optimality study, various passive and active building technologies should be assessed together concerning the use of renewable energy in the overall "energy building concepts" and extended to the "city" or "region", etc. Methods and tools must be further developed to optimize the overall system based on its status today with respect to climate protection and the user needs.

3 Zusammenfassung

Einleitung: Ende 2020 müssen alle neuen Gebäude in der Europäischen Union (EU) nahezu Nullenergiegebäude (nZEB: nearly-zero energy building nach EPBD) sein, um zur Erreichung der EU-CO₂-Neutralität bis 2050 beizutragen. Die technischen Möglichkeiten hocheffiziente Gebäudehüllen zu erreichen sind jedenfalls gut bekannt und es besteht kaum ein Zweifel daran, dass das vielversprechendste HLK-System Wärmepumpen (HP) und Photovoltaik- (PV) Paneele beinhaltet [Wemhoener (2009), Ochs et al. (2019)]. Jedoch gibt es noch Diskussion über das optimale Systemdesign zur Erreichung von nZEB [Wemhoener (2009)], dieser Aspekt stand im Fokus des IEA-HPT Annex 49.

Im Rahmen des IEA HPT Annex 49 wurden Wärmepumpenkonzepte für nZEBs untersucht. Dies umfasste die Integration von Wärmepumpen in Kombination mit erneuerbaren Energien zur Anwendung in nZEB mit dem Schwerpunkt der Optimierung der Regelung. Zusätzlich wurden in ausgewählten Projekten Monitoring-Ergebnisse von Wärmepumpen in nZEBs analysiert.

Definition nZEB und NZEB: Nach EPBD ist ein nZEB ein Niedrigstenergiegebäude, welches dadurch definiert ist, dass es einen durch Effizienzmaßnahmen sehr geringen Energiebedarf aufweist und dieser durch effiziente Haustechnik (z.B. Wärmepumpe) und zu einem erheblichen Anteil von erneuerbaren Energien gedeckt wird. Jeder Mitgliedsstaat hat eine nationale Definition mit teilweise signifikanten Unterschieden in Bezug auf den betrachteten Energieverbrauch (Heizung, Kühlung, Warmwasser, Nebenverbraucher, Haushaltsgeräte), Höchstgrenzen, Umrechnungsfaktoren usw. (siehe BPIE, 2016).

International bzw. außerhalb Europas ist das Nettonullenergiegebäude (NZEB: Net Zero Energy Building) bekannter. Unter einem NZEB wird i.d.R. ein "Netzgebundenes Gebäude, das die gleiche Menge an Energie vor Ort aus erneuerbaren Energiequellen produziert, wie es auf Jahresbasis verbraucht" (IEA SHC T40/ HPT A40) verstanden. In dieser Definition gibt es eine Unschärfe hinsichtlich der Interpretation der Systemgrenze, der Energieströme, der Gewichtung- bzw. Umrechnungsfaktoren, usw. Theoretisch könnte ein NZEB ein Gebäude mit relativ hohen U-Werten und damit hohem Heizwärmebedarf sein und dafür einer entsprechend großen PV-Anlage. Solch ein NZEB würde einen großen PV-Überschuss im Sommer generieren und im Winter einen hohen Netzbezug benötigen („Winterloch“). Für große Gebäude ist i.d.R. die verfügbare Fläche für PV im Vergleich zur Energiebezugsfläche auch bei sehr effizienten Gebäuden nicht ausreichend um eine Nettonullbilanz zu erreichen.

nZEB Umsetzung in Österreich: Die zugrunde liegende Idee der österreichischen Umsetzung der EPBD ist, dass ein Niedrigstenergiegebäude entweder durch Verbesserungen der thermischen Gebäudehülle über verschärfte Heizwärmebedarfsanforderungen ($HWB_{Ref,RK}$) oder über eine Verbesserung der energetischen Qualität des technischen Gebäudesystems mit verstärkter vor Ort oder in der Nähe erzeugter erneuerbarer Energie über eine Reduktion des Gesamtenergiefaktors (f_{GEE}) verwirklicht werden kann. Die Österreichische Umsetzung der EPBD in der aktuellen Form (2019), erscheint im Sinne der ambitionierten Klimaschutzziele Österreichs und der EU nicht ausreichend. Dieser sog. Duale Weg mit dem Verfahren über die Gesamtenergieeffizienz erlaubt weiterhin insbesondere bei Einfamilienhäusern eine nur mäßige Qualität der Gebäudehülle und verfehlt damit die Möglichkeit der für den Klimaschutz notwendigen Einsparungen im

Gebäudebereich. Die Möglichkeit ein Gebäude nach der sog. 16er Line zu bauen widerspricht zudem dem Ergebnis der österreichischen Studie zur Kostenoptimalität. Sowohl der Weg über den Gesamtenergieeffizienzfaktor (f_{GEE}) als auch über den maximalen Endenergiebedarf (EEB_{max}) ist nicht eindeutig bezüglich der Primärenergieeinsparung und erlaubt damit keine ausreichende Richtungsweisung hin zu Energieeffizienz und alternativen / erneuerbaren Energien. Obwohl nach Annex I der EPBD gefordert ist, dass die Gesamtenergieeffizienz durch den Indikator (nicht erneuerbare) Primärenergie als Mindestanforderung angegeben wird, ist in der OIB-6:2019 nur der Verweis auf den Nationalen Plan (2018) gegeben, wodurch der Indikator Primärenergie keine Mindestanforderung sondern nur informativ zu sein scheint. Zudem stellt der Grenzwert im Nationalen Plan für nicht erneuerbare Primärenergie (von $41 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ für Wohngebäude ohne Haushaltsstrom bzw. $84 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ für Nicht-Wohngebäude mit Beleuchtungsstrom und $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ wenn Kühlung berücksichtigt wird) bei den meisten Haustechnikvarianten keine Hürde dar, wenn Gesamtenergieeffizienz (f_{GEE} bzw. EEB_{max}) eingehalten wird. Im Europäischen Vergleich ist das österreichische nZEB wenig ambitioniert und liegt ebenso wie z.B. Deutschland (EnEV) deutlich hinter den Vorgaben der EU und deutlich hinter ambitionierten Definitionen wie z.B. von Dänemark. Allerdings ist ein direkter Vergleich aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen und Annahmen schwierig und Experten vorbehalten. Eine bessere Vergleichbarkeit und mehr Transparenz wäre hier sicher notwendig.

Es wurde im Rahmen des IEA HPT Annex 49 eine Methode entwickelt, die es erlaubt den sog. **Ambition Level** - d.h. die Abweichung in Bezug auf Lebenszykluskosten und Primärenergiebedarf zur Kostenoptimalen Lösung - verschiedener Mitgliedsländer unter Berücksichtigung unterschiedlicher Klimabedingungen und Randbedingungen zu vergleichen. Dafür wurden am Beispiel eines Einfamilienhauses mit einer Luft-Wasser Wärmepumpe Simulationsmodelle für verschiedene Plattformen entwickelt und kalibriert. Im Detail wurden die D-A-CH Länder und Italien verglichen.

Mehrere **Fallstudien**, welche die Integration von Wärmepumpen in nZEBs zeigen, wurden im Rahmen des IEA HPT Annex 49 untersucht und auf Basis von Monitoring und Simulationsergebnissen optimiert. Die österreichischen Fallstudien sind:

Das **NZEB Vögelebichl** in Innsbruck, zwei Mehrfamilienhäuser, die nach dem Passivhausstandard gebaut und als Passivhaus Plus zertifiziert wurden, und mit dem Ziel die Netto-Nullbilanz für die Gebäudetechnik einschließlich Hilfsenergien zu erreichen, wurde ein umfassendes Monitoring und detaillierte Simulationsstudien durchgeführt. Die Gebäude wurden über einen Zeitraum von vier Jahren vermessen und es wurden auf Basis von Simulationsergebnissen mehrere Korrekturen und Verbesserungen eingeführt und damit weitere Einsparungen erzielt. Die Nettonullbilanz konnte jedoch v.a. aufgrund des hohen Hilfsenergieverbrauchs während der ersten 4 Jahre messtechnische noch nicht nachgewiesen werden. Zusätzliche Optimierungsschritte sind möglich und Simulationsergebnisse zeigen, dass NZEB möglich wäre. Darüber hinaus wurden alternative Systemdesigns vorgeschlagen und mittels Simulation mit kalibrierten Komponentenmodellen und unter Berücksichtigung von monatlichen Primärenergiekonversionsfaktoren bewertet.

Die Wohnhausanlage am Bauplatz D12 in der Seestadt **Aspern** mit 204 geförderten Mietwohnungen, 8 Lokalen und nutzungsneutralen Räumlichkeiten ist als Holzriegelkonstruktion auf Stahlbeton mit einer Holzfassade ausgeführt. Wärmepumpen (WP) und Solarsysteme liefern Wärme, wobei drei unterschiedliche Wärmequellen für die WP genutzt werden: Garagenfortluft, Grundwasser und Erdreich. Das Konzept der „Mehrfach-Wärmequellen“ gewährleistet eine hohe Redundanz und

Verfügbarkeit des Gesamtsystems. Das energetische Betriebsverhalten der Wohnhausanlage wurde über eine messtechnische Langzeitbeobachtung analysiert und ausgewertet. Die Erdreich- und Grundwasser-gekoppelten Wärmepumpen liefern etwa vier Fünftel der nachgefragten Wärmemenge.

Ein Bestandsgebäude im dritten Wiener Gemeindebezirk, dessen Art-déco-Fassade unter Denkmalschutz steht, wurde saniert und mit einem modernen Neubau zu einem architektonisch ansprechenden Gebäudekomplex verbunden und zu einem NZE-Gebäude entwickelt. Das Bauvorhaben wurde während der Planungsphase über das Förderprojekt (PEAR) wissenschaftlich begleitet. Eine signifikante Verkürzung der Inbetriebnahme durch Voruntersuchungen und Optimierungen der Regelungsstrategien der HLK-Anlagen wurde erreicht. Wesentliche Erkenntnisse und Projektierungsgrundlagen wurden geliefert, inwiefern der Gebäudebetrieb energieoptimiert gestaltet werden kann. Einerseits wurde die Anwendbarkeit der entwickelten Konzepte am Testgebäude **Post am Rochus** demonstriert und andererseits ist durch den generischen Ansatz eine Übertragbarkeit auf andere Gebäude gegeben.

Im Projekt **solSPONGEhigh** wurden verschiedene Ansätze für Wärmeversorgungssysteme auf Basis einer Wärmepumpe in Kombination mit Sonnenenergie (Solarthermie oder Photovoltaik) unter Verwendung von Thermisch aktivierten Bauteilsystemen (TABS) für unterschiedliche Gebäudetypen anhand von detaillierten Systemsimulationen untersucht. Dabei wurden unter anderem Regelungsstrategien entwickelt, die eine effiziente Beladung der TABS bei Einhaltung von komfortablen Raumtemperaturen erlauben. Die einzelnen Systemvarianten wurden anhand von definierten energetischen Kennzahlen bewertet.

Das Ziel des Projekts **COOLSKIN** war die Konzeption von dezentralen fassadenintegrierten Systemen zur Kühlung und Beheizung von Büroräumen auf Basis einer Kombination von gebäudeintegrierter Photovoltaik und Wärmepumpe. Für unterschiedliche Konfigurationen des Systems hinsichtlich der eingesetzten Komponenten und der Auslegung wurden Simulationen durchgeführt und Regelungsstrategien entwickelt. Ein Prototyp einer PV-betriebenen fassadenintegrierten Wärmepumpe wurde im Projekt gebaut und an der TU Graz im Rahmen eines Monitorings über 1.5 Jahre erfolgreich getestet.

Schlussfolgerungen: Die Fallstudien belegen die guten Erfahrungen mit „echten“ nZEBs in Österreich. Sehr effiziente Gebäude mit hochwertigen Gebäudehüllen in Kombination mit Wärmepumpen und gebäudeintegrierten erneuerbaren Energien können - auch angesichts der Einschränkungen bezüglich leistbaren Wohnens - zu erheblichen Primärenergieeinsparungen beitragen. Um eine optimale Leistung und damit die maximale Primärenergieeinsparung zu erzielen, ist jedoch ein an die Gebäude angepasstes Systemdesign und eine entsprechende Dimensionierung zusammen mit einer gut abgestimmten Regelung und einer entsprechenden Qualitätskontrolle von der Planung bis zur Inbetriebnahme erforderlich.

Ausblick: Im Rahmen einer erweiterten Kostenoptimalitätsstudie sollten verschiedene passive und aktive Technologien und der Einsatz von Erneuerbarer Energie im Gesamtsystem "Gebäude" und erweitert auf die "Stadt" bzw. "Region", etc. bewertet werden. Methoden und Tools müssen weiterentwickelt werden, um das Gesamtsystem ausgehend vom Status heute im Sinne des Klimaschutzes und der Bedürfnisse der Nutzer zu optimieren.

4 Ausgangslage

Die Neufassung der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD, 2010/31/EU) verpflichtet die Mitgliedstaaten, Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden, Bauelementen und technischen Gebäudesystemen einzuführen. Erneuerbare Energie vor Ort (oder in der Nähe) soll dazu beitragen den verbleibenden geringen Energiebedarf zu decken und damit den CO₂-Fußabdruck bzw. den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf weiter deutlich zu reduzieren.

Ein dominierendes Konzept, Niedrigstenergiegebäude (nZEB) zu erreichen, ist die Kombination von PV-Anlagen und Wärmepumpensystemen. Entsprechend wird neben der Energieeffizienz der Einsatz von Wärmepumpen in Verbindung mit erneuerbarer Energie, insbesondere der Photovoltaik (PV) in Zukunft eine wichtige Rolle bei den sog. Niedrigstenergiegebäuden (nZEB - nearly zero energy building) einnehmen. Die Integration der Gebäudetechnik, inkl. thermischer und ggf. elektrischer Speicher in Verbindung mit (gebäudeintegrierter) erneuerbarer Energie (v.a. Photovoltaik) muss bereits in der Entwurfsphase erfolgen. Digitale Planungs- und Bauprozesse können diese Entwicklung unterstützen.

Die Anforderungen der EU-Richtlinie sollen auf der Grundlage einer kostenoptimalen Methodik festgelegt werden. Diese Methodik führt zum ersten Mal die Voraussetzung ein, statt wie bisher i.d.R. üblich nur die Investitionskosten, die globalen Lebenszykluskosten von Gebäuden zu berücksichtigen, um ihre zukünftigen Anforderungen an die Energieeffizienz zu bestimmen. Dabei müssen sowohl die betriebswirtschaftlichen als auch die volkswirtschaftlichen Auswirkungen berücksichtigt werden. Die Methodik zur Berechnung des kostenoptimalen Niveaus der Mindestenergieeffizienz für Gebäude und Gebäudeelemente wurde in der delegierten Verordnung der Kommission für Kostenoptimalität (2010/31 / EU) festgelegt. Die Umsetzung der Methodik auf nationaler Ebene lässt den Mitgliedstaaten jedoch ein hohes Maß an Flexibilität hinsichtlich der Auswahl der Eingabedaten (z.B. Trinkwarmwasser- (TWW) Bedarf, Haushaltsstrombedarf) für die Berechnung, der Auswahl der Referenzgebäude, der Energiekosten und Primärenergieumrechnungsfaktoren, etc. zu.

Es gibt bedeutende Fortschritte in der Definition und Implementierung von nZEB, jedoch wird eine transparente und international anwendbare Methodik benötigt, um die kostenoptimalen Anforderungen an nZE-Gebäude und die optimale Integration von Wärmepumpen in Kombination mit erneuerbarer Energie (insbesondere PV) bewerten zu können.

Dabei ist es notwendig die Energiebilanz von Einzelgebäuden auf Gebäudegruppe bzw. Siedlungen zu erweitern sowie Optionen der Integration sowie des Designs und der Regelung für Wärmepumpen in nZEB und deren Integration in die Energiesysteme zu untersuchen.

Es ergeben sich insbesondere Fragestellungen:

- Wie setzt Österreich die EU-Forderungen um; im Vergleich zu den anderen Mitgliedsstaaten sowie im Vergleich zu anderen Gebäudestandards, wie Passivhaus, Solaraktivhaus, Klimaaktiv, LEED, DGNB/ÖGNB, etc.?
- Welchen Primärenergiebedarf haben österreichische nZEBs und ist die Vorgabe der Kostenoptimalität erfüllt?
- Welche Technologien werden bevorzugt (z.B. WP), bzw. welche ggf. ausgeschlossen (z.B. Stromheizung, Gas) und welche besonderen Anforderungen ergeben sich für das Design und die Regelung von Wärmepumpensystemen, insbesondere in Verbindung mit erneuerbaren Energien vor Ort?

5 Projektinhalt

5.1. Ziel und Umfang des IEA HPT Annex 49

Der IEA HPT Annex 49 baute auf den Ergebnissen des IEA HPT Annex 40 auf und behandelte Wohngebäude und kleinere tertiäre Gebäude sowie Gruppen von Gebäuden (Siedlungen). Dabei wird die gesamte Heiz-, Kälte- und Klimatechnik, d.h. je nach Bedarf Raumheizung und -kühlung, inkl. Be- und Entfeuchtung, Trinkwarmwasserbereitung und Lüftung sowie Beleuchtung und Haushaltsstrom berücksichtigt. Zudem werden Technologien zur Verbindung und Integration von kleineren Fern- bzw. Nahwärmenetzen berücksichtigt sowie zentrale und dezentrale thermische als auch elektrische Speicher.

Das Ziel des IEA HPT Annex 49 ist es,

- Definitionen von nZEBs quer durch die teilnehmenden Länder in Bezug auf den Einfluss auf Wärmepumpentechnologien zu evaluieren und zu vergleichen;
- das Design von Wärmepumpen-Systemen für verschiedene Anwendungen in Wohngebäuden oder tertiären Gebäuden in Bezug auf Leistung und Effizienz, Kosten, Netzbelastung und Netzflexibilität zu evaluieren;
- Integrationsmöglichkeiten für die Gebäudetechnik mit Wärmepumpen bei multifunktionaler Betriebsweise unter Berücksichtigung der Erfordernisse des integrierten Systems zu verfeinern (z.B. Quellen-Regeneration, Zuluft-Nachheizung, Backup-Kühlung, temperaturabhängige Wärmeauskopplung, etc.);
- Erfahrungen beim Monitoring von nZEB mit verschiedenen Wärmepumpen-Konzepten und Technologien in den beteiligten Ländern mit unterschiedlichem Klima und verschiedenen Marktbedingungen zu sammeln;
- Empfehlungen abzuleiten für integrierte Wärmepumpensysteme sowie für Wärmepumpen Design und Regelung in einzelnen nZE Gebäuden und nZE Siedlungen;
- Ergebnisse zu disseminieren über die Annex-Webseite, Publikationen, Workshops und Berichte.

5.2. Arbeitspakete des IEA HPT Annex 49

Um die Ziele zu erreichen wurde der IEA HPT Annex 49 in 5 Arbeitspakete aufgeteilt:

AP 1: Stand der Technik, Definitionen und nZE Konzepte für Siedlungen

Da eine Harmonisierung der Definitionen zu Niedrigstenergiegebäuden (nZEBs) in den EU Mitgliedstaaten noch nicht vollzogen wurde, wurde von jedem teilnehmenden Land der aktuelle Stand der nationalen nZEB Definition und insbesondere die Auswirkungen der Definition auf die geeignete Gebäudetechnik erarbeitet. Dadurch konnten die Informationen, welche im IEA HPT Annex 40 bereits dokumentiert wurden, erweitert werden und die Definitionen untereinander verglichen werden. Darüber wurde die Übersicht um aktuelle Konzepte für Niedrigstenergiegebäude einschließlich der Dimensionierung der Gebäudetechnik und deren Regelung unter Berücksichtigung

von Speicherung und um Optionen für das Last Management ergänzt. Die Erhebung und Bewertung der aktuellen Definitionen und Technologien umfasste:

Charakterisierung von nZEBs auf Basis der nationalen nZEB Definition für Wohn- und Bürogebäude; Bewertung der Auswirkungen der nZEB-Definitionen auf für nZEB geeignete Technologien und Gebäudetechnik (Schwerpunkt Wärmepumpe und PV); Stand der Technik von nZEB abhängig von der Anwendung und Definition verschiedenen Energiebilanz Grenzen und Kriterien; Darstellung von Konzepten und Technologien für größere Gebäude und Gebäudegruppen (nZE Siedlungen)

AP 2: Optionen für die System-Integration von Wärmepumpen in einzelne nZE Gebäude und nZE Siedlungen

Die Mehrheit der bestehenden Konzepte für nZEBs beinhalten Wärmepumpen und Photovoltaik sowie Speicher-Systeme. In den meisten Fällen wird die Anlagentechnik jedoch „Seite-an-Seite“ installiert, obwohl integrierte Technologie bereits jetzt die Möglichkeiten bietet durch Wärmerückgewinnung, Wärmeauskopplung auf unterschiedlichen Temperaturniveaus, Kombination verschiedener Funktionen auf kleinstem Raum hohe Effizienz zu erreichen und das bei reduzierten Systemkosten. Integrationskonzepte können auch auf Gebäudegruppen und Siedlungen erweitert werden, welche erweiterte Wärmerückgewinnungsoptionen auf Grund der unterschiedlichen Lastprofile bieten können. Jedoch geht dies i.d.R. mit erhöhten Anschluss- und Investitionskosten einher. Die Aufgaben in AP 2 umfassen entsprechend folgende Aspekte:

Kategorisierung von Integrationsmöglichkeiten (z.B. Quelle (Erdreich, Lüftung, etc.), Gebäudehülle, System, Erneuerbare Energien, etc.). Die Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpe und PV-Anlage standen dabei im Fokus; Modellierung von integrierten Systemen mit Wärmepumpen für nZEB; Bewertung von Synergien und Kosten durch die Verbindung von Gebäudegruppen mit kleineren Netzen; Technologieoptionen für Gebäudegruppen und nZE Siedlungen; Bewertung des netzunterstützenden Betriebs von nZE Gebäuden und Gruppen von nZE Gebäuden (Netzreaktivität); Sanierungs-Optionen durch Verbindung von Gebäuden mit kleineren Netzen;

Beispiele für Integrationsansätze und Methoden, die für nZEBs geeignet sind umfassen:

- Low-Ex Design für Gebäude mit Wärmepumpen
- Einbindung unterschiedlicher Optionen von freier Kühlung mit gemeinsamer Quelle/Senke in nZEB-Gebäuden, welche mit Wärmepumpen ausgestattet sind
- Gebäudeintegration von Systemtechnik, Verwendung von fassadenintegrierten Komponenten
- Verwendung mehrere Wärmequellen zur Nutzung des am besten verfügbaren Temperaturniveaus
- Anwendung von Heißgasauskopplung zur gleichzeitigen Trinkwarmwassererwärmung

AP 3: Evaluierung und Entwicklung von Technologien und Evaluierung von Feldmessungen

Speziell für die Anwendung in Niedrigstenergiegebäuden erfolgte eine Technologiebewertung sowie die Entwicklung von Wärmepumpen und deren Komponenten (Projekt COOLSKIN).

Ergebnisse von Feldtests und Monitoring-Projekten wurden gesammelt und analysiert, um eine breitere Erfahrung zum Betrieb von neuen, marktfähigen Wärmepumpen-Systemen für nZEBs zu

erhalten und typische Optimierungspotenziale dieser Systeme abzuleiten. Darüber hinaus können die Ergebnisse von Labortests und Feldversuchen wichtige Informationen für die Optimierung liefern. Die Zusammenfassung und Analyse der Ergebnisse von Studien verschiedener Teilnehmerländer ermöglicht einen Quer-Vergleich unter verschiedenen Randbedingungen. Die einzelnen Aufgaben umfassten:

Die Bewertung der Effizienz von Wärmepumpen durch Monitoring im realen Betrieb; Vergleich der Monitoring-Ergebnisse mit Standard Berechnungsmethoden (PHPP, H5056); Bewertung der Leistungsregelung (Drehzahlregelung, etc.); Erarbeitung spezifischer Anforderungen an den Wärmepumpenbetrieb in nZEBs; Erfassung typischer Optimierungspotenziale des Wärmepumpenbetriebs in nZEBs; Konzeption und Realisierung von Funktionsmustern bzw. Prototypen; Labor- bzw. Feldtests von Funktionsmustern bzw. Prototypen

AP 4: Design und Regelung von nZEB Technologien

In bisher realisierten nZEBs unterscheidet sich das Design der Systemkomponenten teilweise deutlich. Obwohl die meisten nZEBs mit Wärmepumpen, PV und Speicher ausgestattet sind, werden bisher keine bzw. kaum standardisierte Systemlösungen und Konfigurationen für nZEBs angewendet. Während sich aktuelles Design hauptsächlich an den Lasten des Gebäudes orientiert, ist zu erwarten, dass die zukünftige Systemkonfiguration und Dimensionierung sog. „Demand-Response“ Fähigkeiten und Netzreaktivität berücksichtigen muss. Um flexiblere Betriebszeiten in Zusammenhang mit Netzreaktivität zu ermöglichen wäre zu erwarten, dass angepasste Komponenten erforderlich werden und ggf. größere Dimensionierung der Anlagen, wodurch andererseits auch die Systemkosten steigen würden. Entsprechend muss das System-Design von nZEBs für verschiedene Anwendungen und die damit verbundenen Lebenszykluskosten unter Beachtung der Regelungsmöglichkeiten und der thermischen und elektrischen Speicherintegration mit dem Ziel eines flexibleren Betriebs mittels Simulation untersucht werden. Folgende Punkte sind dabei zu berücksichtigen:

Definition der verschiedenen Ziele (max. Effizienz bzw. max. Flexibilität) und des entsprechenden System-Designs; Standardisierte Systemkonfigurationen und Designs für verschiedene Kategorien von nZE Gebäuden; Auswirkungen des Designs auf Leistung, Effizienz, Kosten und Netzreaktivität; Implikation der Definitionskriterien auf Design von nZEB Technologie; Assoziierte Regelstrategien einschließlich Potenziale der Modell-prädiktiven Regelung (MPC); Design-Implikationen der Leistungsregelung (Drehzahlregelung); Leistungs- und Effizienzverbesserung und Kostenimplikation der Integration von thermischen sowie elektrischen Speichern; Bewertung der Netzreaktivität und verwandter Regelungselemente (z.B. smart-Grid-ready, etc.)

Beispiele für Designmöglichkeiten und für nZEB geeignete Ansätze sind:

- Low-Ex-Design-Methoden für Gebäude mit Wärmepumpen
- Standardisierte System-Layouts und Designs
- Simulationsbasiertes Design und Regelungsoptimierung
- Design-Tools mit multidimensionaler Optimierung (z.B. CO₂-Emissionen, Kosten, Flexibilität)

AP 5: Dissemination

Die Verbreitung der Ergebnisse erfolgte durch die Teilnahme an nationalen und internationalen Konferenzen, an Workshops sowie durch die Annex-Projekt-Website mit Download-Option von Publikationen und Präsentationen.

Der IEA HPT Annex 49 wurde durch den Operating Agent Carsten Wemhoener (HSR, Rapperswil, CH) geleitet.

Folgende aktive Teilnehmergruppen waren beteiligt:

- Österreich (UIBK, TU Graz, AIT)
- Belgien/Region Brüssel: (ATM of ULB)
- Deutschland (Energiecampus Nürnberg/TH Nürnberg, TU Braunschweig)
- Estland (Tallinn Tech. University)
- Norwegen (NTNU, SINTEF, COWI)
- Schweden (RISE)
- Schweiz (HSR)
- USA (OAK, NIST, CEEE)

5.3. Österreichische Beteiligung am IEA HPT Annex 49

Die österreichische Beteiligung unter der Leitung der Universität Innsbruck und den Partnern IWT, TU Graz sowie AIT (Center for Energy) beinhaltete Beiträge zu allen Arbeitspaketen mit folgenden Schwerpunkten:

1. Teilnahme an transnationalen Annex 49-Workshops, an denen aufgrund des interdisziplinären Charakters dieses Forschungsvorhabens sowohl Partner aus der Bauphysik und der Gebäudetechnik aktiv mitwirken.
2. Forschungsaktivität zur ganzheitlichen Bewertung von Niedrigstenergiegebäuden mit Schwerpunkt auf Wärmepumpensystemen und deren Bewertung auf Gebäudeebene unter besonderer Berücksichtigung von Kriterien und Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung.
3. Nationale Vernetzung und Verbreitung der Ergebnisse durch die beteiligten Partner.

Österreichische Aktivitäten erfolgen in allen Subtasks, wobei jeder Partner schwerpunktmäßig zu je einem Subtask mit Inhalten aus folgenden Forschungsprojekten beigetragen hat.

UIBK: Projekt NZEB Vögelebichl (NHT)

AIT: Aspern: Gebäude D12; Post am Rochus

IWT: COOLSKIN; SolSPONGEhigh

5.4. Österreichische Umsetzung der EPBD

5.4.1. Europäischer Hintergrund

Die Europäische Union (EU) konzentriert sich darauf, die Umweltauswirkungen von Gebäuden durch spezifische politische Maßnahmen zu begrenzen. Ein deutliches Beispiel ist die Neufassung der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) (European Commission, Energy efficient buildings, 2020). Eine relevante regulatorische Verpflichtung der Neufassung der EPBD ist, dass alle neuen Gebäude bis Ende 2020 Niedrigstenergiegebäude (nZEB nearly zero energy buildings) sein müssen. Die Definition von nZEB ist jedem Mitgliedstaat freigestellt, aber der gemeinsame Aspekt ist eine sehr hohe Energieeffizienz und mit erneuerbarer Energie vor Ort (oder in der Nähe), um den verbleibenden geringen Energiebedarf in Gebäude zu einem erheblichen Anteil decken. Darüber hinaus sollten die Mitgliedstaaten eine Methodik zur Kostenoptimalität entwickeln. Ziel ist es, sowohl einen Energie- als auch einen Kostenkomfort im Gebäudesektor zu erreichen. Die Geschichte der Definition von nZEBs ist in Abbildung 5-1 dargestellt.

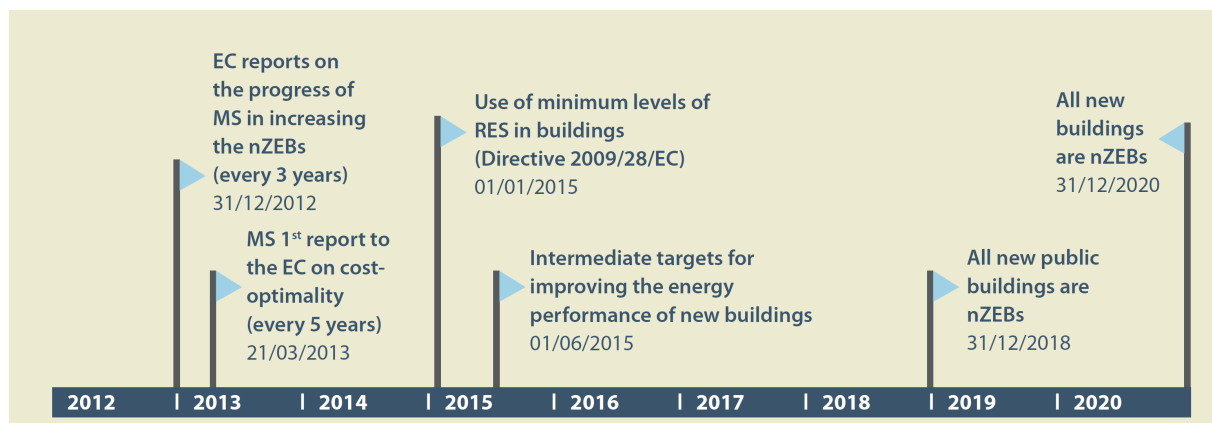


Abbildung 5-1: Geschichte der nahezu energiefreien Gebäude - nZEBs (Richtlinie 2010/31/EG) (BPIE, 2015)

5.4.2. Definition von nZEB und NZEB

Laut EPBD ist ein nZEB ein Niedrigstenergiegebäude, das sich dadurch auszeichnet, dass es durch Effizienzmaßnahmen und effiziente HLK-Technik (z.B. Wärmepumpe) sehr wenig Energie benötigt und der sehr geringe Bedarf zu einem erheblichen Teil durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Das Netto-Nullenergiehaus (NZEB: Net Zero Energy Building) ist jedoch international und außerhalb Europas besser bekannt. In der Regel ist ein NZEB ein "netzgekoppeltes Gebäude, das vor Ort die gleiche Menge an Energie aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt, wie es jährlich verbraucht". (IEA SHC T40 / HPT A40). Bei dieser Definition fehlt es an Klarheit bezüglich der Interpretation der Systemgrenze, der Energieströme, der Gewichtung-/Umwandlungsfaktoren usw. Theoretisch könnte ein NZEB ein Gebäude mit relativ hohen U-Werten und folglich hohem Heizwärmebedarf sein und dafür eine entsprechend große Photovoltaik (PV)-Anlage besitzen. Ein solches NZEB würde im Sommer einen großen PV-Überschuss erzeugen und in der Heizperiode eine hohe Netzlast darstellen ("Wintergap"). In der Regel reicht bei großen Gebäuden die verfügbare Fläche für PV im Vergleich zur Energiebezugsfläche auch bei sehr effizienten Gebäuden nicht aus, um eine Netto-Nullbilanz zu erreichen.

5.4.3. Österreichische Umsetzung der EPBD (Richtlinie OIB-6, Nationaler Plan)

Einführung

Die österreichische nZEB ist in der Richtlinie 6 des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019) bzw. im Nationalen Plan (2018) definiert. Die Geschichte der Umsetzung von nZEB in Österreich ist im Folgenden zusammengefasst:

2008-2013 Mitglied im IEA-Gemeinschaftsprojekt

2014 Veröffentlichung des Nationalen Plans, Definition der nZEBs, Bericht zur Kosten-Optimalitäts-Studie

2015: Veröffentlichung des OIB-Richtlinie 6:2015

2017: Ökostromnovelle

2018: Veröffentlichung der Revision des Nationalen Plans, Aktualisierung des Berichts über die Kostenoptimalität

2019 Überarbeitung OIB-6, H5050, H5056, B8110-5, usw.

Die früheren Versionen von OIB-6 wurden 2015, 2011 und 2007 veröffentlicht. Detaillierte Methoden und Randbedingungen, die in OIB-6 verwendet werden, sind in weiteren Normen und Dokumenten definiert, die ebenfalls 2018 und 2019 aktualisiert wurden. Hier sind die relevantesten offiziellen Dokumente mit dem Jahr ihrer Veröffentlichung (aktuelle und frühere Version) aufgeführt:

- OIB-6: 2019, 2015, 2011, 2007
- Nationaler Plan: 2018, 2014
- H5056: 2019, 2014
- H5050: 2019, 2014
- B8110-5: 2019, 2011
- B8110-6: 2019, 2014

Die Arbeiten im Rahmen des IEA HPT Annex 49 begannen 2017. Der Leitfaden OIB-6:2019 wurde in der zweiten Hälfte des Jahres 2019 veröffentlicht und die Umsetzung in die nationalen Berechnungstools (d.h. hier GEO) war erst im Frühjahr 2020 verfügbar. Daher gilt in diesem Bericht für die Berechnungen der Fallstudien (Kapitel 4.6) das OIB-6:2015, und über Änderungen, die mit der Version 2019 kamen, wird im allgemeinen Teil berichtet. Die allgemeinen Schlussfolgerungen sollten weiterhin Gültigkeit haben. Einige spezifische Ergebnisse können jedoch Änderungen unterworfen sein.

Bei der Planung eines Neubaus ist zu prüfen, ob der Einsatz eines alternativen Energiesystems (d.h. Wärmepumpen, Fernwärme und Biomasse) aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht machbar ist – die sog. "Alternativenprüfung".

Der vorliegende nationale Bericht konzentriert sich auf neue Wohn- und Nichtwohngebäude mit Elektroheizung und Wärmepumpen, daher werden nur die Anforderungen und Ergebnisse für diese Fälle dargestellt.

Österreichischer Energieausweis

Der österreichische Energieausweis (EA) unterscheidet zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden. Ein Beispiel für einen Ausweis für Wohngebäude ist in Abbildung 5-2 dargestellt.

Energieausweis für Wohngebäude

OIB Österreichischer Institut für BautechnikOIB Richtlinie 6
Ausgabe: Oktober 2011Logo

BEZEICHNUNG

Gebäude (-teil)	Baujahr
Nutzungsprofil	Letzte Veränderung
Straße	Katastralgemeinde
PLZ/Ort	KG-Nr.
Grundstücksnr.	Seehöhe

Spezifischer Heizwärmebedarf, Primärenergiebedarf, Kohlendioxidemissionen und Gesamteffizienz-Faktor (Standortklima)

	HWB _{SK}	PEB _{SK}	CO ₂ SK	f _{GE}
A ++				
A +				
A		A (Beispiel)		A+ (Beispiel)
B		B (Beispiel)		A (Beispiel)
C				
D				
E				
F				
G				

HWB: Der Heizwärmebedarf beschreibt jene Wärmemenge, welche den Räumen reichlich zur Behaltung zugeführt werden muss.

WWB: Der Warmwasserenergiebedarf ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht ca. einem Liter Wasser je Quadratmeter Brutto-Grundfläche, welcher um ca. 30 °C (also beispielsweise von 8 °C auf 38 °C) erwärmt wird.

HEB: Beim Heizenergiebedarf werden zusätzlich zum Nutzenenergiebedarf die Verluste der Haustechnik im Gebäude berücksichtigt. Dazu zählen beispielsweise die Verluste des Heizkessels, der Energiebedarf von Umwälzpumpen etc.

MHB: Der Haushaltsstrombedarf ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht ca. dem durchschnittlichen flächenbezogenen Stromverbrauch in einem durchschnittlichen österreichischen Haushalt.

EEB: Beim Endenergiebedarf wird zusätzlich zum Heizenergiebedarf der Haushaltsstrombedarf berücksichtigt. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss.

PEB: Der Primärenergiebedarf schließt die gesamte Energie für den Bedarf im Gebäude einschließlich aller Verlusten mit ein. Dieser weist einen erneuerbaren und einen nicht erneuerbaren Anteil auf. Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren ist 2004–2008.

CO₂: Gesamte den Endenergiebedarf zuzurechnenden Kohlendioxidemissionen, einschließlich jener für Transport und Erzeugung sowie aller Verluste. Zu deren Berechnung werden übliche Allokationsregeln unterstellt.

f_{GE}: Der Gesamteffizienz-Faktor ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG).

Abbildung 5-2: Beispiel eines österreichischen Energieausweises für Wohngebäude (OIB-6)

Die folgenden informativen Leistungsindikatoren sind auf dem EA für das Standortklima dargestellt

- Heizwärmebedarf (HWB)
- Primärenergiebedarf (PEB)
- CO₂
- Gesamtenergieeffizienzfaktor f_{GEE}

Das Standortklima (SK) ist in B 8110-5 spezifiziert, die 7 Klimazonen unterscheidet, und eine Temperaturkorrektur in Bezug auf die Höhe über dem Meeresspiegel berücksichtigt. Die Indikatoren werden in den folgenden Abschnitten detailliert beschrieben. Die Klassen für die Leistungsindikatoren sind in der folgenden Tabelle angegeben:

Tabelle 5-1: Klassen für die Leistungsindikatoren für den Energieausweis (OIB-6:2019)

Class	HWB _{Ref,SK} [kWh/m ² a]	PEB _{SK} [kWh/m ² a]	CO _{2eq,SK} [kg/m ² a]	f _{GEE,SK} [-]
A++	10	60	8	0,55
A+	15	70	10	0,70
A	25	80	15	0,85
B	50	160	30	1,00
C	100	220	40	1,75
D	150	280	50	2,50
E	200	340	60	3,25
F	250	400	70	4,00
G	> 250	> 400	> 70	> 4,00

Alle spezifischen Indikatoren beziehen sich auf die Bruttogeschossfläche (BGF). Jeder Indikator wird separat klassifiziert. Der Heizwärmebedarf HWB_{Ref,SK} ist der mit dem Standortklima berechnete Heizwärmebedarf für das Gebäude (SK) und Ref gibt den Heizwärmebedarf bei 0,4-fachem Luftwechsel, ohne mögliche mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG) und Referenznutzung (Wohnnutzung) an. Somit kann die Klasse A++ in der Realität nicht erreicht werden. Ein Gebäude der Klasse A++ mit Wärmerückgewinnung wäre ein Gebäude ohne Raumheizbedarf. Sowohl der Primärenergiebedarf als auch die CO₂-Emissionen beinhalten Haushaltstromenergie bzw. Betriebsenergie.

Ein einfaches Beispiel eines Wohngebäudes (EFH) zeigt, dass die Klassen - zumindest für die Anwendung von Wärmepumpen - nicht konsistent sind. Ab 2021 muss ein EFH mindestens die Anforderung eines Heizwärmebedarfs von weniger als 50 kWh/(m² a) für das Referenzklima erfüllen, so dass neue Gebäude mindestens der Klasse B entsprechen müssen. Wird nun von einem Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m² a) (A+), 25 kWh/(m² a) (A) oder 50 kWh/(m² a) (B) ausgegangen, und wird eine Luft/Wasser-Wärmepumpe mit einer System-Jahresarbeitszahl (einschließlich Nebenaggregate) von 2.5 eingesetzt (d.h. z.B. eine L/W-Wärmepumpe mit mäßiger

Effizienz). und den Standardannahmen für Brauchwasser und Haushaltsgeräte gemäß OIB-6:2019 erhält man die folgenden Leistungsindikatoren:

Tabelle 5-2: Vereinfachter Vergleich der Klassen für PEB und CO₂ für unterschiedliche Klassen des Heizwärmebedarfs (HWB) A+, A und B Einfamilienhaus mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe mit einer Systemarbeitszahl von $SPF_{sys} = 2.5$, Umrechnungsfaktoren für PEB und CO₂ für Strom nach OIB-6:2019

	$\frac{[kWh]}{[m^2_{BGF}a]}$	$\frac{[kWh]}{[m^2_{BGF}a]}$	$\frac{[kWh]}{[m^2_{BGF}a]}$	$\frac{[kWh]}{[m^2_{BGF}a]}$	$\frac{[kWh]}{[m^2_{BGF}a]}$	$\frac{[kWh]}{[m^2_{BGF}a]}$	$\frac{[kWh]}{[m^2_{BGF}a]}$	$\frac{[kWh]}{[m^2_{BGF}a]}$
	HWB	WWWB	HWB+WWWB	$W_{HP+HTEB}$	HHSB	$W_{el,tot}$	PEB _{tot}	CO ₂
A+	15	7.7	22.7	9.1	13.9	23.0	30.3	5.2
A	25	7.7	32.7	13.1	13.9	27.0	35.6	6.1
B	50	7.7	57.7	23.1	13.9	37.0	48.8	8.4

Alle Gebäude wären Gebäude der Klasse A++ in Bezug auf PEB, das HWB -Gebäude der Klasse A+ und das A-Gebäude wäre ein Gebäude der Klasse A+ in Bezug auf CO₂ und das B-Gebäude wäre ein Gebäude der Klasse A in Bezug auf CO₂. Ab 2021 müssten alle Gebäude der Klasse A+ in Bezug auf f_{GEE} entsprechen.

Österreichische Definition von nZEB

Die österreichische nZEB-Definition, die im OIB-6 (2019) und im sogenannten Nationalplan (2018) gegeben ist, berücksichtigt die österreichischen Referenzbedingungen (RK: Referenzklima) und basiert auf numerischen Indikatoren für Wärmebedarf, Endenergiebedarf und erneuerbare Energieträger.

Randbedingungen

Klima

Das Gebäude im Energieausweis wird immer mit zwei Klimabedingen bewertet, dem Referenzklima (RK) und dem Standortklima (SK). Die ÖNORM B 8110-5 gibt die monatliche Temperatur und Sonneneinstrahlung des Referenzklimas an und unterscheidet 7 Klimastandorte. Die Standortklimatemperatur wird mit der Höhe über dem Meeresspiegel korrigiert. Das Referenzklima stellt einen Mittelwert des österreichischen Klimas dar, während das Standortklima für jeden Standort charakteristisch ist. Als Beispiel zeigt Abbildung 5-3 den Vergleich zwischen der Außentemperatur nach dem Referenzklima und nach dem Standortklima für Innsbruck (570 m ü.d.M.) für die B8110-5:2015 und B8110-5:2019.

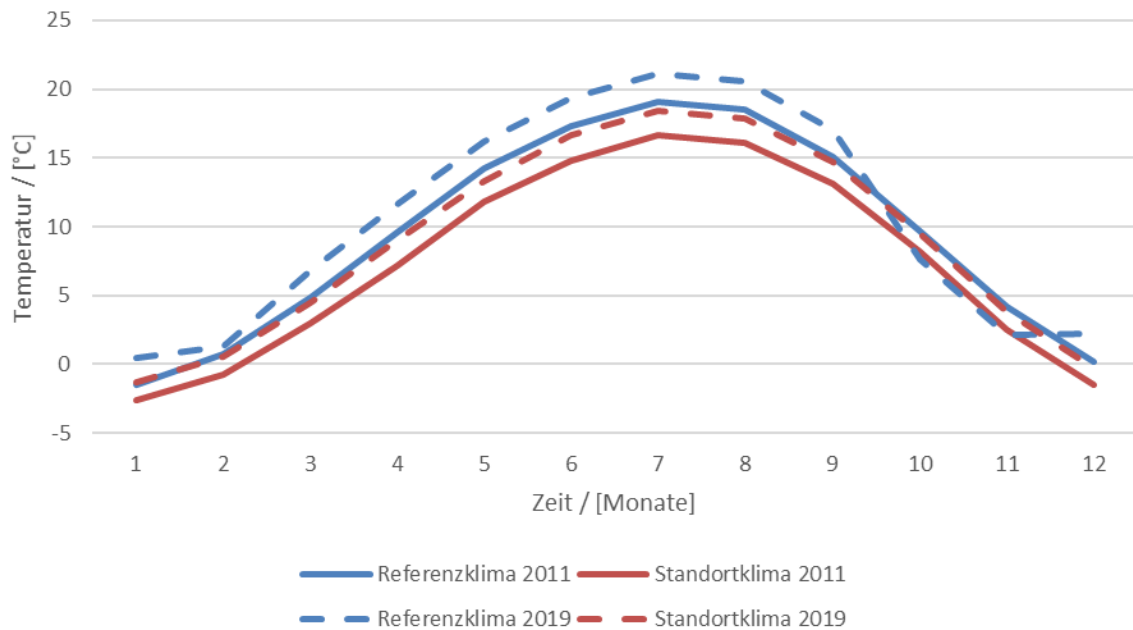


Abbildung 5-3: Monatliche Mittelwerte der Außentemperatur: Vergleich zwischen dem Referenzklima und dem Standortklima für Innsbruck (Höhe über Meer von 574 m ü.M.). Werte nach den Normen B8110-5:2011 und B8110-5:2019

Die Außentemperatur nach dem Referenzklima liegt im Durchschnitt um rund 2 K höher als das Standortklima für Innsbruck. Die Temperaturen des Referenzklimas nach B8110-5:2019 liegen um 2 K höher als in den früheren Versionen der Norm. Dies wurde geändert, u.a. um den erhöhten Temperaturen im letzten Jahrzehnt Rechnung zu tragen. Die Temperaturen des Standortklimas nach B8110-5:2019 sind im Durchschnitt 1,5 K höher als die Werte im Jahr 2011. Die Sonneneinstrahlung wurde nicht verändert. Die jährliche Sonneneinstrahlung auf die Horizontale beträgt 1102,2 kWh/m² für das Referenzklima und 1095,4 kWh/m² für das Standortklima.

Innentemperatur und interne Wärmegewinne

Die Innentemperatur und die inneren Gewinne sind in der ÖNORM B 8110-5:2019 definiert. Die Innentemperatur beträgt nun für alle Gebäudetypologien 22 °C. In den früheren Versionen (B 8110-5:2011) wurde für den Wohnbereich eine Temperatur von 20 °C berücksichtigt. Die internen Gewinne hängen vom Gebäudetyp ab und sind in Tabelle 4 bis Tabelle 8 von B8110-5:2019 angegeben.

nZEB-Anforderungen

Um die österreichischen nZEB-Anforderungen zu erreichen, müssen folgende Grenzwerte eingehalten werden:

- U-Werte (bauphysikalische Randbedingung)
- Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge und von
- entweder Gesamtenergieeffizienzfaktor oder Endenergiebedarf (sogenannter "dualer Weg", siehe unten)
- erneuerbare Energiequellen (vor Ort oder in der Nähe)

In den folgenden Abschnitten werden die Anforderungen im Detail beschrieben.

Gesamt-Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)

Aus bauphysikalischen Gründen sind die maximalen U-Werte von Wänden, Türen und Fenstern begrenzt. Der Wert hängt von der Typologie der Konstruktion ab. Detaillierte Werte gemäß OIB-6:2019 sind in Tabelle 9-3 in Anhang 1 aufgeführt.

„Dualer Weg“

Die österreichische nZEB-Definition erlaubt den sogenannten dualen Weg, d.h. es kann zwischen zwei verschiedenen Wegen gewählt werden:

- " f_{GEE}-Weg": Anforderungen an den Heizwärmebedarf (HWB [kWh/(m²a)]) und an den Gesamtenergieeffizienzfaktor (f_{GEE} [-]).
- "EEB-Weg": strengere Anforderungen an den Heizwärmebedarf (HWB [kWh/(m²a)]) und an den Endenergiebedarf (EEB [kWh/(m²a)]).

Die Grundidee des dualen Weges besteht darin, dass ein nahezu Nullenergiegebäude entweder durch eine Verbesserung der thermischen Gebäudehülle über strengere Anforderungen an den Heizwärmebedarf (HWB_{Ref,RK}) oder durch eine Verbesserung der energetischen Qualität des Heizungs- Lüftungs- und Kühlungssystems (HLK) mit erhöhter vor Ort oder in der Nähe erzeugter erneuerbarer Energie durch Reduzierung des Gesamtenergiefaktors (f_{GEE}) realisiert werden kann.

Die Grenzwerte hängen von der Endnutzung des Gebäudes ab. Die Anforderungen für neue Wohn- und Nichtwohngebäude sind in Kapitel 4.4 bzw. 4.5 aufgeführt.

Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf (HWB) ist die Energiemenge, die von der Heizungsanlage bereitgestellt werden muss, um das Gebäude auf eine bestimmte Temperatur, d.h. 20°C (bis 2019) bzw. 22°C (seit 2019), zu erwärmen. Der HWB wird als Differenz zwischen Wärmeverlusten (d.h. Transmission und Lüftung) und Wärmegewinnen (d.h. solare und interne Wärme) bewertet. Der Anteil des tatsächlich nutzbaren Gewinns wird mit Hilfe des Ausnutzungsfaktors ermittelt (η):

$$HWB = Q_T + Q_V - \eta \cdot (Q_S + Q_I)$$

Wo:

- Q_T = Transmissionsverluste
- Q_V = Lüftungsverluste
- η = Ausnutzungsgrad
- Q_S = solare Gewinne
- Q_I = interne Gewinne

Der Heizwärmebedarf wird sowohl für das Referenzklima (HWB_{RK}) als auch für das Standortklima (HWB_{SK}) berechnet, jeweils ggf. mit und ohne mechanische Lüftungswärmerückgewinnung (HWB bzw. HWB_{Ref}). Im Energieausweis gibt der HWB_{Ref,SK} den auf das Standortklima bezogenen Wärmebedarf exklusive einer möglichen Wärmerückgewinnung an.

HWB-Linien

Die so genannten HWB-Linien begrenzen den HWB in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge eines Gebäudes.

$$HWB = \text{HWB-Line} \cdot \left(1 + \frac{\text{HWB-Steigung}}{\ell_c}\right)$$

Die HWB-Linien sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 5-3: sogenannte HWB-Linien

HWB	HWB-Line	HWB-Steigung
HWB26	26	2
HWB19	19	2.5
HWB16	16	3
HWB14	14	3
HWB12	12	3
HWB10	10	3
HWB8	8	3

Die 26er-Linie stellt das Referenzgebäude von 2007 dar. Die 16er-Linie stellt die maximal zulässige HWB seit 2014 dar, und die 10er-Linie wurde als kostenoptimale Linie eingestuft, siehe Kapitel Kostenoptimierung. Insbesondere bei kompakten Gebäuden liegen die U-Werte der 10er-Linie zumindest für kompakte Gebäude der Größenordnung nach in der Nähe der Passivhausqualität.

Nationaler Plan

Der nationale Plan sieht eine schrittweise Verschärfung der Anforderungen bis 2020 vor. Die Einhaltung der Mindestanforderungen kann auf zwei Wegen erreicht werden:

- Durch eine Verschärfung der Anforderungen an den Heizwärmebedarf (HWB_{Ref}), d.h. eine bessere Gebäudehülle, um die benötigte Heiz-/Kühlenergie zu reduzieren. Dies spiegelt sich in der Formel für nZEB 2020 Gebäude $10 \times (1 + 3,0 / \ell_c)$ wider, wobei ℓ_c die charakteristische Länge ist (üblicherweise als "Formfaktor" des Gebäudes bezeichnet). Der maximal zulässige Endenergiebedarf wird mit dem Referenz-HLK-System von 2007 berechnet. Diese Möglichkeit wird später mit "EEB-Weg" bezeichnet.
- Durch Installation eines energieeffizienteren technischen Gebäude-Systems für Heizung und Warmwasser. Der Gesamtenergieeffizienzfaktor (f_{GEE}) spiegelt die Gebäudeleistung im Vergleich zu einem Referenzgebäude von 2007 wider. Diese Möglichkeit wird später mit dem "f_{GEE}-Weg" bezeichnet.

Die maximale Grenze des HWB zum Erreichen des nZEB-Niveaus bezieht sich auf das Referenzklima ohne Wärmerückgewinnung ($HWB_{\text{ref,RK}}$) und hängt von der charakteristischen Länge ab. Die charakteristische Länge ist das Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes und wird als Quotient aus dem konditionierten Bruttovolumen und der Oberfläche des konditionierten Bruttovolumens ausgedrückt:

$$\ell_c = \frac{V}{A}$$

Der maximal zulässige Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Der typische Bereich von ℓ_c für typische Ein- und Mehrfamilienhäuser ist für die so genannte 16er-Linie und 10er-Linie angegeben. Je kompakter das Gebäude, desto restriktiver ist der maximal zulässige Heizwärmebedarf.

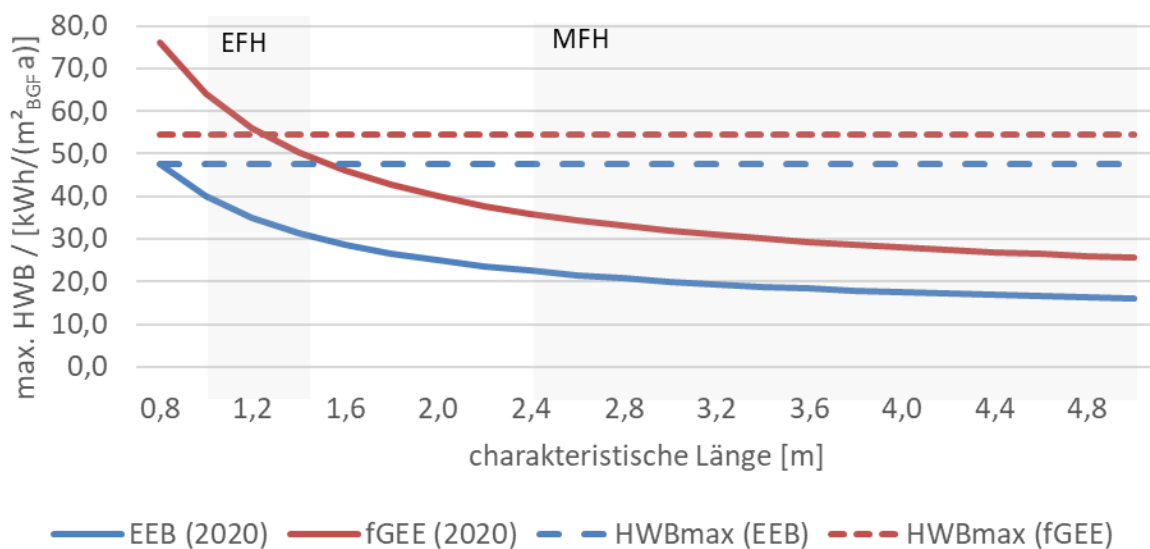


Abbildung 5-4: Maximal zulässiger Heizbedarf nach dem sogenannten 16er-Linien (f_{GEE}-Weg) und 10er-Linien (EEB-Weg) in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge (ℓ_c), Bereich der typischen EFH und MFH/Büro

Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf (EEB) entspricht der Energiemenge, die bezogen werden muss. Im Falle von Wohngebäuden wird dieser wie folgt berechnet:

$$EEB = HWB + WWWB + HTEB + HHSB = HEB + HHSB$$

der Warmwasserwärmebedarf (WWWB) und der Strombedarf (HHSB) sind Standardwerte, die sich auf die Energiebezugsfläche (EBF) des Gebäudes beziehen. Die geltenden Werte und die Werte gemäß OIB-6:2015 sind für die Wohngebäudebereiche in Abschnitt 4.4 angegeben.

Der Heiztechnik-Energiebedarf (HTEB) ist die Energiemenge, die für den Betrieb der Heizungsanlage verbraucht werden muss. Die detaillierten Berechnungsmethoden für verschiedene HLK-Systeme (Heizung, Lüftung und Klimaanlage) und Konfigurationen sind in der ÖNORM H 5056 zu finden.

Die EEB-Anforderungen zur Erreichung von nZEB beziehen sich auf das Referenzklima. In der ÖNORM H5050-1:2019 werden die folgenden Definitionen für den Wohnbereich gegeben:

- Der Grenzwert EEB (um das nZEB-Niveau nach dem "EEB-Weg" zu erreichen) wird bewertet als:

$$EEB_{RK} = HEB_{RK} + HHSB$$

- Der maximal mögliche EEB-Wert ist definiert als:

$$EEB_{zul,RK} = HEB_{zul,RK} + HHSB$$

- Und der EEB-Wert für das Referenzgebäude nach dem Standard von 2007 ist:

$$EEB_{26,RK} = HEB_{26,RK} + HHSB$$

Die EEB umfasst Hilfsenergien für Umwälzpumpen und mechanische Lüftung, falls zutreffend.

Im Nicht-Wohnbereich wird der EEB wie folgt bewertet:

$$EEB = HWB + WWWB + HTEB + BSB + BelEB + KEB = HEB + BSB + BelEB + KEB$$

Der Warmwasserwärmebedarf (WWWB), der elektrische Energiebedarf (BSB) und der Beleuchtungsenergiebedarf (BelEB) sind Standardwerte, die sich auf die EBF des Gebäudes beziehen. Die geltenden Werte und die Werte gemäß OIB-6:2015 sind für die Wohnbereiche in Abschnitt 4.5 angegeben. Der Kühlenergiebedarf (KEB) ist in der ÖNORM H 5050-1:2019 definiert.

Auch für den Nicht-Wohnbereich beziehen sich die EEB-Anforderungen zur Erreichung von nZEB auf das Referenzklima und die folgenden Definitionen sind in der ÖNORM H5050-1:2019 enthalten:

- Der Grenzwert EEB (um das nZEB-Niveau nach dem "EEB-Weg" zu erreichen) wird bewertet als:

$$EEB_{RK} = HEB_{RK} + KEB_{RK} + BelEB + BSB$$

- Der maximal mögliche EEB-Wert ist definiert als:

$$EEB_{zul,RK} = HEB_{zul,RK} + KEB_{zul,RK} + BelEB + BSB$$

- Und der EEB-Wert für das Referenzgebäude nach dem Standard von 2007 ist:

$$EEB_{26,RK} = HEB_{26,RK} + KEB_{26,RK} + BelEB + BSB$$

Gesamt-Energieeffizienz

Der Gesamtenergieeffizienzfaktor (f_{GEE}) ist ein relativer Wert und vergleicht die tatsächliche Effizienz des Gebäudes mit einem Referenzgebäude (definiert nach dem Gebäudestandard von 2007). Je höher der Wert, desto schlechter ist das Gebäude. Er wird wie folgt berechnet:

$$f_{GEE} = \frac{EEB_{RK}}{EEB_{26,RK}} = \frac{EEB \text{ des Gebäudes}}{EEB \text{ des Referenzgebäudes nach Baurecht 2007}}$$

Der Endenergiebedarf EEB, der für die Berechnung der f_{GEE} verwendet wird, bezieht sich auf das Referenzklima.

Wenn eine Wärmepumpe (WP) eingesetzt wird, muss die Energie aus der Umwelt zum Endenergiebedarf addiert werden. In diesem Fall wird die f_{GEE} nach ÖNORM H 5056-2019 mit der folgenden Gleichung bewertet:

$$f_{GEE,RK} = \frac{EEB_{RK} + Q_{Umw,WP,Bew}}{EEB_{26,RK} + Q_{Umw,WP,26}} \quad (2019)$$

$Q_{Umw,WP,Bew}$ ist die Umweltwärme, die für die geplante Gebäudekonstruktion (strukturell und technisch) benötigt wird, wenn ein Referenz-COP verwendet wird. Nach H5056-2019 wird der COP mit einem Carnot-Gütegrad von 0,30 ($f_{0,Bew}$) berechnet, unabhängig von der WP-Technologie, siehe Tabelle 5-4. Bei der vorherigen Version des H5056 (2014) wurde anstelle der Referenz-Umweltwärme $Q_{Umw,WP,Bew}$ die tatsächliche Umweltwärme $Q_{Umw,WP}$ je nach Wärmepumpentyp mit dem Carnot-Gütegrad f_0 bewertet.

$$f_{GEE,RK} = \frac{EEB_{RK} + Q_{Umw,WP}}{EEB_{26,RK} + Q_{Umw,WP,26}} \quad (2015)$$

$Q_{Umw,WP,26}$ ist die mit dem Carnot-Gütegrad f_0 ermittelte Umweltwärme der Wärmepumpe gemäß H5056-2014, siehe Tabelle 5-4, die die thermodynamischen Carnot-Gütegrade f_0 gemäß H5056:2019 und H5056-2014 vergleicht.

Tabelle 5-4: Thermodynamische/Carnot-Leistungszahl f_0 je nach Art der Wärmepumpe gemäß H5056-2014 und H5056-2019

			Thermodynamischer Carnot Gütegrad f_0		
			H5056-2019		H5056-2014
Energiequelle	Medium	Heizungsmedium	f_0 (ab 2017)	f_0 (ab 2005)	f_0 (ab 2005)
Außenluft, Abluft	Luft	Wasser	0,36	0,30*	0,34
Grundwasser, Oberflächenwasser	Wasser	Wasser	0,43	0,40	0,45
	Untergrund (Erdreich)	Sole	Wasser	0,50	0,44
Untergrund (Erdreich)	Kältemittel	Wasser	0,46	0,44	0,45
Außenluft, Abluft	Air	Warmwasser	0,37	0,26	0,30
Außenluft, Abluft	Luft	Warmwasser (Kompaktgerät)	0,37	0,26	0,26
Abluft	Luft	Zuluft (WRG mit integrierter WP)	0,26	0,24	0,24
			* thermodynamische Bewertungsnote $f_{0,Bew}$ für die Bewertung von $Q_{Umw,WP,Bew}$ bei der Bestimmung des Gesamtenergieeffizienzfaktors innerhalb der Norm H5050-1		

Erneuerbare Energiequellen

Gemäß dem OIB-6:2019 Abschnitt 5.2.3 ist die Anforderung an Energie aus erneuerbaren Quellen erfüllt, wenn mindestens einer der folgenden Punkte aus (a), (b) oder (c) angewandt wird:

- a) Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie ($PEB_{n.ern.}$ [kWh/(m²a)]) ohne den Strombedarf der Haushalte oder den betrieblichen Strombedarf erfüllt die im Nationalen Plan 2018 dargestellten Anforderungen ab 1.1.2021. Tabelle 5-5 zeigt die maximal zulässigen PEB-Werte und vergleicht die aktuellen Werte (Nationaler Plan 2018) mit den vorherigen (Nationaler Plan 2014).

Der PEB stellt den Energiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung (Brauchwasser) und Elektrizität einschließlich der Prozessketten für Erzeugung, Umwandlung und Transport der Energieträger dar. Der PEB wird im Energieausweis nur für das Standortklima dargestellt und ist das Ergebnis der Multiplikation des Endenergiebedarfs mit dem jeweiligen Primärenergiefaktor (beschrieben in Tabelle 9-5 in Anhang 1 f_{PE} = Gesamtprimärenergiefaktor; $f_{PE,n.ern.}$ = nicht erneuerbarer Primärenergiefaktor; und $f_{PE,ern.}$ = erneuerbarer Primärenergiefaktor).

Tabelle 5-5: Maximale Werte des Primärenergiebedarfs für Neubauten: Vergleich zwischen dem Nationalen Plan 2018 und 2014

	Nationaler Plan 2018	Nationaler Plan 2014
Wohngebäude	$PEB_{HEB,zul,n.ern.} = 41$ [kWh/(m ² a)]	PEB = 160 [kWh/(m ² a)]
Nicht-Wohngebäude	$PEB_{HEB+BeiEB,zul,n.ern.} = 84$ [kWh/(m ² a)]	PEB = 170 [kWh/(m ² a)]

Im Nichtwohnbereich kann der Grenzwert für den nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf um 16 kWh/m²a (bezogen auf eine Geschosshöhe von 3 m) erhöht werden, wenn Kühltechnik im Gebäude benötigt wird.

In Bezug auf den Grenzwert für die maximale Primärenergie (PEB) gab es zwei wesentliche Änderungen zwischen den beiden Versionen des Nationalen Plans. Er bezog sich auf die gesamte Primärenergie im Jahr 2014 und auf die nicht erneuerbare Energie im Jahr 2019. Der Endenergiebedarf (EEB) umfasste Haushaltsstrom (in Wohngebäuden) und elektrische Betriebsenergie in Nichtwohngebäuden in der Version 2014 und exkludiert Haushaltsstrom bzw. Betriebsenergien in der Version 2019. Beleuchtungsenergie ist in Nicht-Wohngebäuden eingeschlossen.

- b) Nutzung erneuerbarer Quellen außerhalb der Systemgrenzen "Gebäude":
Es wird gefordert, dass mindestens 80 % des Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasser durch erneuerbare Quellen gedeckt werden. Die genannten erneuerbaren Quellen können sein:
- dezentrale Energieversorgungssysteme auf der Basis von Energie aus erneuerbaren Quellen (Biomasse, erneuerbares Gas)
 - kombinierte Wärme- und Stromerzeugung

- Fernwärme oder Fernkühlung, insbesondere wenn sie ganz oder teilweise auf Energie aus erneuerbaren Quellen, Fernwärme aus hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung und/oder Abwärme basieren
- Wärmepumpen

c) Nutzung erneuerbarer Quellen vor Ort oder in der Nähe:

- Es sind durch aktive Maßnahmen, wie durch Solarthermie, Netto-Endenergieerträge am Standort oder in der Nähe von mindestens 20 % des Endenergiebedarfes für Warmwasser ohne diese aktiven Maßnahmen zu erwirtschaften;
- Es sind durch aktive Maßnahmen, wie durch Photovoltaik, Netto-Endenergieerträge am Standort oder in der Nähe von mindestens 20 % des Endenergiebedarfes für Haushaltsstrom bzw. Betriebsstrom ohne diese aktiven Maßnahmen zu erwirtschaften;
- Es sind durch aktive Maßnahmen, wie durch Wärmerückgewinnung, Netto-Endenergieerträge am Standort oder in der Nähe von mindestens 20 % des Endenergiebedarfes für Raumheizung ohne diese aktiven Maßnahmen zu erwirtschaften;
- Verringerung des maximal zulässigen Endenergiebedarfes EEB_{zul} um mindestens 5 % bzw. des maximal zulässigen Gesamtenergieeffizienz-Faktors f_{GEE} um mindestens 5 %-Punkte durch
 - beliebige Maßnahmen zur Effizienzsteigerung oder
 - allenfalls Kombinationen von Solarthermie oder Photovoltaik oder Wärmerückgewinnung

Photovoltaik

Sowohl im Wohn- als auch im Nichtwohnbereich kann nur ein Teil des Strombedarfs durch die Photovoltaikanlage gedeckt werden. Die maximalen Anteile hängen von der Anwendung ab und sind in Tabelle 9-1 in Anhang 1 zusammengefasst.

Primärenergie und CO₂-Emissionen

Trotz der Tatsache, dass Annex I der EPBD verlangt, die Gesamtenergieeffizienz durch den Indikator (nicht erneuerbare) Primärenergie als Mindestanforderung zu spezifizieren, wird in OIB-6: 2019 nur der Verweis auf den Nationalen Plan (2018) angegeben. Daher scheint der Primärenergieindikator nicht die Mindestanforderung, sondern nur ein informativer Indikator zu sein.

Das Erreichen von nZEB über den Nachweis der Erfüllung von $PEB_{n,em}$ (wie im Abschnitt Erneuerbare Energiequellen oben beschrieben, d.h. ohne Haushalt- bzw. Betriebsstrom) ist eine von 3 Möglichkeiten und PEB_{RK} wird im Energieausweis nicht angegeben. Die weiteren nur informativen Indikatoren sind PEB_{SK} , $PEB_{n,em,SK}$ und $PEB_{em,SK}$ und werden alle mit dem Standortklima bewertet (mit Gesamt-, nicht-erneuerbaren bzw. erneuerbaren Primärenergiefaktoren). Die Primärenergieumrechnungsfaktoren sind in Tabelle 9-5 in Anhang 1 zusammengefasst. Für Elektrizität wurden die Faktoren in den letzten Jahren reduziert, was die Tatsache berücksichtigt, dass der Anteil erneuerbarer Energien am Strommix gestiegen ist (siehe auch Abschnitt weiter unten für eine Bewertung dazu).

Auch die CO₂-Emissionen, die den gesamten Kohlendioxidausstoß (einschließlich Verkehr und Energieerzeugung) darstellen, sind nur ein informativer Indikator. Dieser Indikator wird nur für das Standortklima berechnet und hängt vom Endenergiebedarf (EEB) und dem Umrechnungsfaktor gemäß der folgenden Gleichung ab:

$$CO_2 = EEB \cdot f_{CO_2eq}$$

Primärenergie und CO₂-Umrechnungsfaktoren

Es ist zu beachten, dass sich die in OIB-6:2019 angegebenen Umrechnungsfaktoren im Vergleich zu den früheren Versionen erheblich geändert haben. Abbildung 5-5 zeigt die Entwicklung der Primärenergiefaktoren von 2011 bis 2019 gemäß OIB-6 für Strom (linke y-Achse) und den Anteil der erneuerbaren Energieträger (EE) am österreichischen Strom-Mix (rechte y-Achse) nach eigenen vereinfachten Berechnungen auf Basis der vom (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019). veröffentlichten Daten. Die gestrichelte Linie geht davon aus, dass der importierte Strom auf erneuerbaren Energieträgern basiert und die durchgezogene Linie geht von fossilen Energieträgern aus.

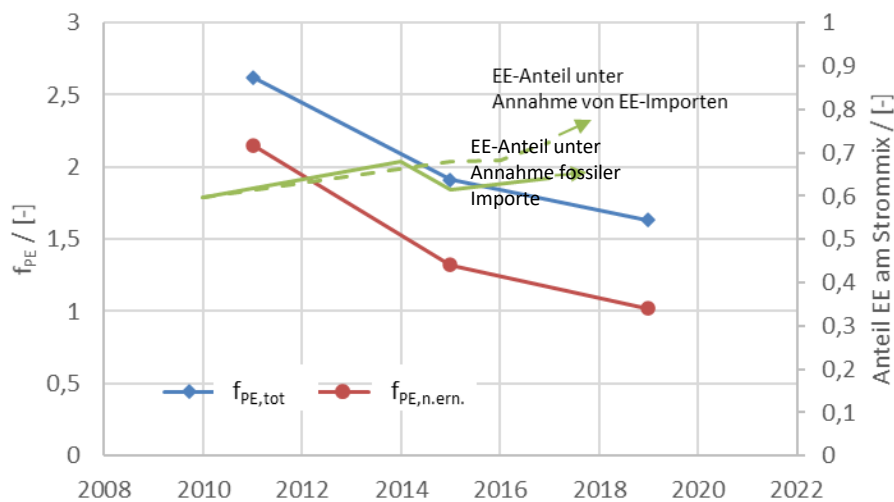


Abbildung 5-5: Entwicklung des Primärenergiefaktors f_{PE} für Strom nach OIB-6 und des Anteils erneuerbarer Energieträger am österreichischen Strom-Mix über die Jahre, nach eigenen Berechnungen auf Basis der veröffentlichten Daten des (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019).

Der rückläufige Trend der Primärenergieumrechnungsfaktoren (sowohl der gesamten als auch der nicht erneuerbaren) spiegelt den Trend des steigenden Anteils erneuerbarer Energien am österreichischen Strom-Mix wider. Bemerkenswert ist jedoch, dass der importierte Strom einen signifikanten Einfluss hat und eine genauere Untersuchung der PE-Umwandlungsfaktoren einschließlich des Einflusses saisonaler Effekte empfohlen wird.

Bemerkenswert ist außerdem, dass der österreichische nicht-erneuerbaren PE-Umrechnungsfaktor für Strom mit 1,02 im Vergleich zum europäischen Strom-Mix mit einem nicht-erneuerbaren Umrechnungsfaktor von 2,3 (gemäß (UNI EN ISO 52000-1:2018)) sehr niedrig ist.

Kostenoptimale Methodik

Die Berechnung der Kostenoptimalität, wie sie von der EU (European Commission, 2012) für die Definition von nZEBs 2020 gefordert wird, wurde vom OIB im März 2013 (OIB, Dokument zum Nachweis der Kostenoptimalität der Anforderungen der OIB-RL6 bzw. des Nationalen Plans gemäß 2010/31/EU, 2014) durchgeführt und 2018 aktualisiert (OIB, 2018). Das OIB kommt zum Schluss, dass die Ergebnisse von 2013 durch die Aktualisierung von 2018 bestätigt wurden. Zur Berechnung der Kostenoptimalität wurden virtuelle Gebäude ausgewählt, die vier verschiedene Gebäudekategorien repräsentieren.

Die Methode der Kostenoptimalität umfasste die Berechnung von vier Parametern:

- Heizwärmebedarf [kWh/(m²a)]
- Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]
- CO₂-Emissionen [kg/(m²a)] (entsprechend den Umrechnungsfaktoren in den OIB-Richtlinien)
- Gesamt-Energieeffizienz-Faktor (f_{GEE}) [-]

Die Berechnung der Kostenoptimalität bestand aus einem Vergleich zwischen dem Wert der mit den verschiedenen Verbesserungspaketen erzielten Energieeinsparungen und den Kosten, die direkt und indirekt mit den Energieeffizienzmaßnahmen zusammenhängen. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Kostenoptimalitätsmethodik wurden die Anforderungen für das Erreichen des nZEB-Niveaus - sowohl für Wohn- als auch für Nichtwohngebäude – definiert (Lebenszykluskostenberechnung). Detaillierte Beschreibung der Parameter und Randbedingungen können in (OIB, 2014) und (OIB, 2018) gefunden werden.

Wie aus Abbildung 5-6 am Beispiel für Wohngebäude ersichtlich ist, hängt die kostenoptimale Lösung von der Art des Gebäudes und der Technologie ab (hier sind nur sog. „Alternative“ Technologien dargestellt). Eine Kurve repräsentiert immer unterschiedliche Gebäudehüllqualitäten (ausgedrückt in den sogenannten HWB-Linien von der 8er-Linie bis zur 26er-Linie). Je nach Gebäudetyp und HLK-Technik sind unterschiedliche Gebäudehüllqualitäten kostenoptimal. Kostenoptimal ist z.B. die Kombination einer moderaten Hülle mit einem hocheffizienten System oder einer besseren Hülle mit einem mäßig effizienten System. (Bemerkung: Die Varianten mit sehr niedrigem Primärenergiebedarf sind solche mit Biomasse mit einem Umrechnungsfaktor von $f_{PE,n.ern.} = 0.1$ und werden hier nicht weiter betrachtet, da der Einsatz von Biomasse zur Beheizung von Gebäuden sehr begrenzt ist).

Das OIB kam zu dem Schluss, dass die 10er-Linie kostenoptimal ist. Es ist zu erkennen, dass zumindest in Kombination mit Wärmepumpen die 16er-Linie nicht kostenoptimal ist.

Es zeigt sich auch, dass der Grenzwert von 41 kWh/(m² a) so gewählt wurde, dass bis auf sehr wenige Ausnahmen keine der sog. alternativen Technologien ausgeschlossen wird. Mit anderen Worten, der Grenzwert von 41 kWh/(m² a) ist kein Grenzwert.

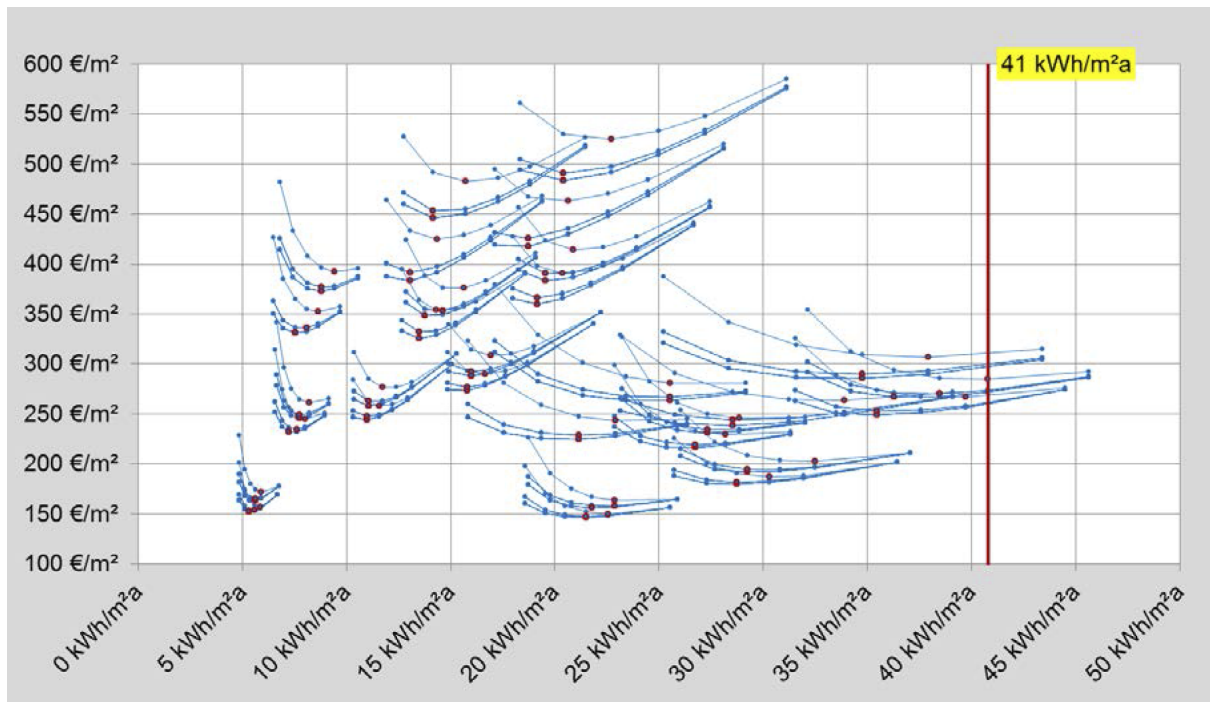


Abbildung 5-6: Ergebnis der Kostenoptimalitätsstudie ab 2018 (Quelle OIB) - nicht erneuerbare Primärenergie ohne Haushaltsstrom für neue Wohngebäude (Umrechnungsfaktor für Elektrizität war $f_{PE, n.erm.} = 1.32$ zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des Berichts), Beispiel Wohngebäude mit „Alternativen“ Technologien

Wohngebäude

Die nZEB-Anforderungen, die für Wohngebäude erfüllt werden müssen, sind in Tabelle 5-6 für den "EEB-Weg" und in Tabelle 5-7 für den " f_{GEE} -Weg" gemäß OIB-6:2019 bzw. Nationaler Plan (2018) dargestellt.

Tabelle 5-6: nZEB-Anforderungen für Wohngebäude nach dem "EEB-Weg" [OIB-6:2019]

Neubau	
$HWB_{Ref,RK,zul}$ in $[kWh/m^2a]$	$10 \times (1 + 3.0 / \ell_c)$
$EEB_{RK,zul}$ in $[kWh/m^2a]$	$EEB_{WG,RK,zul}$

Tabelle 5-7: nZEB-Anforderungen für Wohngebäude nach dem " f_{GEE} -Weg" [OIB-6:2019]

Neubau	
$HWB_{Ref,RK,zul}$ in $[kWh/m^2a]$	$16 \times (1 + 3.0 / \ell_c)$
$f_{GEE,RK,zul}$ [-]	0.75

Für ein Einfamilienhaus mit einer charakteristischen Länge von 1,4 m beträgt der maximal zulässige Heizwärmebedarf ca. 50 kWh/(m² a) für den "f_{GEE}-Weg" und ca. 30 kWh/(m² a) für den "EEB-Weg".

Die Standardwerte von WWWB und HHSB für den Wohnbereich sind in Tabelle 5-8 dargestellt.

Tabelle 5-8: Standardwerte für den Warmwasserwärmebedarf und Haushaltstrombedarf: Vergleich zwischen OIB-6:2019 und OIB-6:2015

	OIB-6:2019		OIB-6:2015
	Wohnen 1-2 WE	≥ 3 WE	EFH und MFH
WWWB [kWh/(m²_{EBF} a)]	7.665	10.220	12.775
HHSB [kWh/(m²_{EBF} a)]	13.890	22.776	16.425

Um zu zeigen, wie sich die Variation der Standardwerte für den Warmwasserbedarf, die Geräte und den Primärenergieumwandlungsfaktor f_{PE} zwischen OIB (OIB-6:2015 und OIB-6:2019) auf den Primärenergiebedarf auswirkt, sind die Ergebnisse einer vereinfachten Berechnung für ein Einfamilienhaus (EFH) in Tabelle 5-9 dargestellt. Ein Einfamilienhaus mit EBF = 140 m² und Außenluft-Wärmepumpe (mit Jahresarbeitszahl SPF = 2.5 (einschließlich Hilfsenergien) wird für diese Berechnung angenommen. Der Heizwärmebedarf (HWB) wird gemäß dem "f_{GEE}-Weg" auf den maximal zulässigen Wert gesetzt. Die gesamte Primärenergie (PEB) entsprechend dem Nationalen Plan 2014 und die nicht-erneuerbare Primärenergie (PEB_{n.em}) entsprechend dem Nationalen Plan 2018 werden verglichen.

Tabelle 5-9: Vereinfachte Bewertung der Primärenergie eines EFH. Vergleich zwischen den Werten nach OIB-6:2015 und OIB-6:2019 (Standardwerte sind unterstrichen). Maximale Werte des PEB gemäß Nationaler Plan 2014 und PEB_{n.ern} gemäß Nationaler Plan 2018

		OIB-6:2015	OIB-6:2019
ℓ_c	[m]	1.4	1.4
HWB	[kWh/(m ² a)]	50.3	50.3
WWWB	[kWh/(m ² a)]	<u>12.8</u>	<u>7.7</u>
HWB + WWWB	[kWh/(m ² a)]	63.1	58.0
SPF (einschließlich Hilfsenergie)	[-]	2.5	2.5
Strom (HWB+WWWB)	[kWh/(m ² a)]	25.2	23.2
HHSB	[kWh/(m ² a)]	<u>16.4</u>	<u>13.9</u>
EEB	[kWh/(m ² a)]	41.6	37.1
f_{PE}		tot	n.ern.
	[-]	1.91	1.32
PE _{tot}	[kWh/(m ² a)]	79.6	
PE _{n.ern.} einschließlich Haushaltstrombedarf	[kWh/(m ² a)]		55.0
PE _{n.ern.} ohne Haushaltstrombedarf	[kWh/(m ² a)]		33.3
PEB einschließlich Haushaltstrombedarf (Nationaler Plan 2014)	[kWh/(m ² a)]	160	-
PEB _{n.ern.,zul} ohne Haushaltstrombedarf (Nationaler Plan 2018)	[kWh/(m ² a)]		(41)*

* Übergangszustand für 2018: OIB-6:2015 und Nationaler Plan 2018

Der Endenergiebedarf nach OIB-6:2019 ist aufgrund der Senkung der Standardwerte (Warmwasser und Haushaltstromenergie) um 11% niedriger als der Wert nach OIB-6:2015. Die nicht erneuerbare Primärenergie für Elektrizität wird aufgrund des niedrigeren Primärenergieumwandlungsfaktors (1.02 statt 1.32) weiter reduziert. Infolgedessen wird die PEB-Anforderung im Jahr 2019 leichter erfüllt als der Grenzwert, der 2018 angegeben war (als OIB-6:2015 und der Nationale Plan 2018 in Kraft traten).

Eine ähnliche Analyse wird für ein Mehrfamilienhaus mit einer charakteristischen Länge von 2.4 m durchgeführt. Das Heizsystem besteht aus einer Außenluft-Wärmepumpe (mit Jahresarbeitszahl SPF

= 2.0 aufgrund der typischerweise höheren Verteilverluste und wiederum inklusive Hilfsenergien). Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5-10: Vereinfachte Bewertung der Primärenergie eines MFH. Vergleich zwischen den Werten nach OIB-6:2015 und OIB-6:2019 (Standardwerte sind unterstrichen). Maximale Werte des PEB gemäß Nationaler Plan 2014 und Nationaler Plan 2018

		OIB-6:2015	OIB-6:2019
ϱ_c	[m]	2.4	2.4
HWB	[kWh/(m ² a)]	36.0	36.0
WWWB	[kWh/(m ² a)]	<u>12.8</u>	<u>10.2</u>
HWB + WWWB	[kWh/(m ² a)]	48.8	46.2
SPF (einschließlich Hilfsenergie)	[-]	2.0	2.0
Strom (HWB+WWWB)	[kWh/(m ² a)]	24.4	23.1
HHSB	[kWh/(m ² a)]	<u>16.4</u>	<u>22.8</u>
EEB	[kWh/(m ² a)]	35.9	45.9
f_{PE}		Tot	n.ern.
	[-]	1.91	1.32
PE_{tot}	[kWh/(m ² a)]	78.0	
$PE_{n.ern.}$ einschließlich Haushaltstrombedarf	[kWh/(m ² a)]		53.9 / 46.8
$PE_{n.ern.}$ ohne Haushaltstrombedarf	[kWh/(m ² a)]		32.2 / 23.6
PEB einschließlich Haushaltstrombedarf (Nationaler Plan 2014)	[kWh/(m ² a)]	160	-
$PEB_{n.ern.,zul}$ ohne Haushaltstrombedarf (Nationaler Plan 2018)	[kWh/(m ² a)]		(41)* / 41

* Übergangszustand für 2018: OIB-6:2015 und Nationaler Plan 2018

Ein Mehrfamilienhaus mit einer thermischen Hülle, welche die f_{GEE} -Anforderung erfüllt und mit einer mäßig effizienten Luft-Wasser-Wärmepumpe ausgestattet ist, erfüllt die PE-Anforderung, ohne dass weitere Effizienzmaßnahmen wie WRG oder erneuerbare Energien wie ST oder PV angewendet werden müssen.

Bürogebäude

Die nZEB-Anforderungen, die im Bereich Nicht-Wohngebäude zu erfüllen sind, sind in Tabelle 5-11 und Tabelle 5-12 aufgeführt. Im Allgemeinen sind die Werte die gleichen wie bei Wohngebäuden, sowohl bei Neubauten als auch bei größeren Renovierungen. Bei Bürogebäuden bezieht sich $HWB_{Ref,RK,zul}$ jedoch auf eine Raumhöhe von 3 m. Für Gebäude mit anderen Raumhöhen kann der Grenzwert entsprechend angepasst werden. Das bedeutet, dass der zulässige Grenzwert für Gebäude mit höheren Räumen höher liegt. Auch wenn ein Kühlsystem vorhanden ist, muss die KB^* -Anforderung (außeninduzierter Kühlbedarf) erfüllt werden.

Tabelle 5-11: nZEB-Anforderungen für Bürogebäude gemäß "EEB-Weg" [OIB-6:2019]

Neubau	
$HWB_{Ref,RK,zul}$ in [kWh/m ² a]	$10 \times (1 + 3.0 / \ell c)$
$EEB_{RK,zul}$ in [kWh/m ² a]	$EEB_{NWG,RK,zul}$
$KB^*_{RK,zul}$ in [kWh/m ² a]	1.0

Tabelle 5-12: nZEB-Anforderungen für Bürogebäude gemäß " f_{GEE} -Weg" [OIB-6:2019]

Neubau	
$HWB_{Ref,RK,zul}$ in [kWh/m ² a]	$16 \times (1 + 3.0 / \ell c)$
$f_{GEE,RK,zul}$ [-]	0.75
$KB^*_{RK,zul}$ in [kWh/m ² a]	1.0

Die Standardwerte von WWWB, BeIEB und BSB für den Nicht-Wohnungssektor sind in Tabelle 5-13 aufgeführt.

Tabelle 5-13: Standardwerte für Warmwasserbedarf, Betriebsstrombedarf BSB und Beleuchtungsenergiebedarf BeIEB im Nichtwohnbereich: Vergleich zwischen OIB-6:2019 und OIB-6:2015

	OIB-6:2019	OIB-6:2015
WWWB [kWh/(m²_{EBF} a)]	2.42	4.71
BeIEB [kWh/(m²_{EBF} a)]	25.76	32.2
BSB [kWh/(m²_{EBF} a)]	16.96	24.64

Als Beispiel wird ein Bürogebäude mit Außenluft-Wasser-Wärmepumpe (SPF=2.0, unter Berücksichtigung von elektrischer Warmwasserbereitung und inkl. Hilfsenergie) betrachtet, um die PEB-Ergebnisse in Abhängigkeit von den Randbedingungen zu untersuchen. Es wird eine vereinfachte Auswertung durchgeführt und Tabelle 5-14 fasst die wichtigsten Größen zusammen.

Tabelle 5-14: Vereinfachte Bewertung des PEB eines Bürogebäudes. Vergleich zwischen den Werten nach OIB-6:2015 und OIB-6:2019 (Standardwerte sind unterstrichen). Maximale Werte des PEB gemäß Nationalplan 2014 und Nationalplan 2018

		OIB-6:2015	OIB-6:2019
ℓ_c	[m]	2.27	2.27
HWB	[kWh/(m ² a)]	37.1	37.1
WWWB	[kWh/(m ² a)]	<u>4.7</u>	<u>2.4</u>
HWB + WWWB	[kWh/(m ² a)]	41.9	39.6
SPF (einschließlich Hilfsenergie)	[-]	2.0	2.0
Strom (HWB+WWWB)	[kWh/(m ² a)]	20.9	19.8
Betriebsstrombedarf	[kWh/(m ² a)]	<u>24.6</u>	<u>17.0</u>
Beleuchtung	[kWh/(m ² a)]	<u>32.2</u>	<u>25.8</u>
Endenergiebedarf	[kWh/(m ² a)]	77.9	62.5
f_{PE}	[-]	tot	n.ern.
		1.91	1.32
PE_{tot}	[kWh/(m ² a)]	148.7	
$PE_{n.ern.}$ einschließlich Betriebsstrombedarf	[kWh/(m ² a)]		102.8 63.8
$PE_{n.ern.}$ ohne Betriebsstrombedarf	[kWh/(m ² a)]		70.3 46.5
PEB einschließlich Betriebsstrombedarf (Nationaler Plan 2014)	[kWh/(m ² a)]	170	-
$PE_{n.ern.,zul}$ ohne Betriebsstrombedarf (Nationaler Plan 2018)	[kWh/(m ² a)]		(84)* 84

* Übergangszustand für 2018: OIB-6:2015 und Nationaler Plan 2018

Es lassen sich ähnliche Schlussfolgerungen wie bei den Wohngebäuden ziehen. Der Endenergiebedarf nach OIB-6:2019 liegt um 21% unter dem Wert nach OIB-6:2015, was auf die Senkung der Standardwerte (Warmwasser, Betriebsstrom und Beleuchtung) zurückzuführen ist. Auch der nicht erneuerbare Primärenergiefaktor f_{PE} für Elektrizität wurde reduziert. Infolgedessen ist die PEB-Anforderung im Jahr 2019 leichter zu erfüllen als der 2018 zugrundeliegende Grenzwert (als OIB-6:2015 und der Nationale Plan 2018 in Kraft traten).

Fallstudie Wohngebäude

Ein Einfamilienhaus (EFH) und ein Mehrfamilienhaus (MFH) werden als Fallstudien betrachtet, um die nZEB Anforderungen im Detail zu untersuchen, wobei für jedes Gebäude mehrere Szenarien bezüglich der thermischen Hülle und des Systems betrachtet werden. Die Ergebnisse werden mit dem Tool GEO, Version 2020.4 (GEO Zehentmayer Energieausweis Software, 2020) berechnet, in dem das OIB-6:2015 implementiert ist. Der Nationale Plan 2018 wird berücksichtigt. Daher unterscheiden sich die U-Werte, die Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar, erneuerbar und gesamt), der Anteil der erneuerbaren Energien und der Prozentsatz der Anteile, die durch Photovoltaik gedeckt werden können, geringfügig von den in Abschnitt 4.3.2 dargestellten Werten (vgl. Tabellen in Anhang 1: Tabelle 9-1 und Tabelle 9-2 für den maximalen Anteil der durch Photovoltaik gedeckten Elektrizität, Tabelle 9-3 und Tabelle 9-4 für U-Werte, Tabelle 9-5 und Tabelle 9-6 für Primärenergieumrechnungsfaktoren).

Beschreibung des Einfamilienhauses

Das in Abbildung 5-7 dargestellte Einfamilienhaus wird als Fallstudie betrachtet (Reference Framework of IEA SHC Task44 / HPP Annex 38 (Dott, Haller, Ruschenburg, Ochs, & Bony, 2013)). Die geometrischen und energetischen Eigenschaften des Hauses sind in Tabelle 5-15 dargestellt.

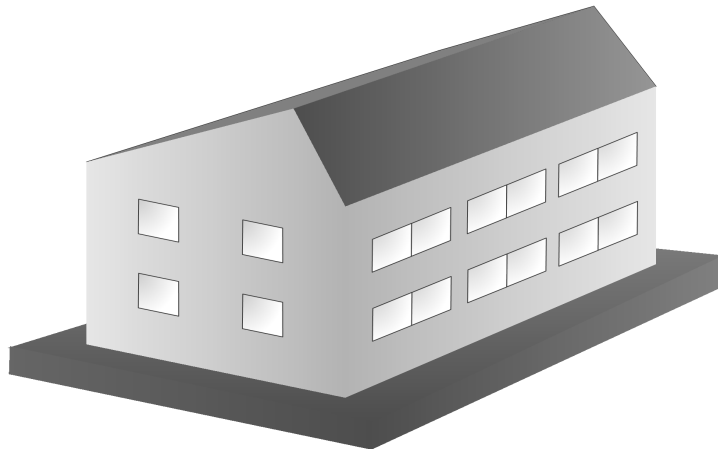


Abbildung 5-7: 3D Ansicht des EFH (Süd-West-Ansicht) (Dott, Haller, Ruschenburg, Ochs, & Bony, 2013)

Tabelle 5-15: Geometrische und energetische Eigenschaften des Einfamilienhauses (Dott, Haller, Ruschenburg, Ochs, & Bony, 2013)

		$U \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$	$d \text{ [cm]}$
Außenwand		0.182	42.8
Untergeschoss		0.135	50.5
Dach		0.162	25.5
Fenster		1.00	$g_{\text{Wert}} = 0.46$
Bruttogrundfläche	BGF [m²]	171	
Brutto-Rauminhalt	BRI [m³]	558	
Charakteristische Länge	ℓ_c [m]	1.35	

Es werden drei Varianten des EFH geschaffen, um die Mindestanforderung an die Gebäudehülle (U-Werte und $HWB_{\text{Ref,RK}}$) nach dem "f_{GEE}-Weg", dem "EEB-Weg" und dem Passivhausstandard zu erfüllen. Die Eigenschaften der Wände und Fenster der drei Varianten sind in Tabelle 5-16 dargestellt. Die geometrischen Eigenschaften des Gebäudes ändern sich bei den verschiedenen Varianten aufgrund der unterschiedlichen Dämmstoffdicke.

Tabelle 5-16: Geometrische und energetische Eigenschaften des EFH für die drei betrachteten Thermischen Gebäudehüllen ("f_{GEE}-Weg", "EEB-Weg" und Passivhaus)

		f_{GEE} Weg		EEB Weg		Passive House	
		$U \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$	$d \text{ [cm]}$	$U \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$	$d \text{ [cm]}$	$U \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$	$d \text{ [cm]}$
Außenwand		0.248	38.3	0.148	47.8	0.148	47.8
Untergeschoss		0.356	33.5	0.135	50.5	0.135	50.5
Dach		0.176	23.5	0.122	32.5	0.111	35.5
Fenster		1.00	$g_{\text{Wert}} = 0.46$	0.73	$g_{\text{Wert}} = 0.42$	0.73	$g_{\text{Wert}} = 0.42$
Bruttogrundfläche	BGF [m²]	167		175		175	
Brutto-Rauminhalt	BRI [m³]	546		572		572	
Charakteristische Länge	ℓ_c [m]	1.38		1.41		1.41	

Die in Tabelle 5-16 dargestellten U-Werte führen zu den in Tabelle 5-17 dargestellten Heizwärmebedarfen (HWB). Die Berechnungen werden mit GEO, eine österreichische Energieausweissoftware, und mit dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP), das den Nachweis des Passivhausstandards ermöglicht, durchgeführt. Im Falle von GEO wird der Heizwärmebedarf (HWB) sowohl für das Referenzklima (HWB_{REF,SK}) als auch für das Standortklima (HWB_{REF,RK}) ausgewiesen. Wie in Abschnitt 4.3.2 erläutert, bezieht sich die HWB-Anforderung auf das Referenzklima ohne Berücksichtigung einer etwaigen mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung (HWB_{REF,RK}). Die Mindestanforderungen sind die folgenden:

$$HWB_{max,2020,fGEE} = 16 \cdot \left(1 + \frac{3}{l_c}\right) = 50.78 \frac{kWh}{m_{GFA}^2 a}$$

$$HWB_{max,2020,EEB} = 10 \cdot \left(1 + \frac{3}{l_c}\right) = 31.28 \frac{kWh}{m_{GFA}^2 a}$$

$$HWB_{max,PHPP} = 15 \frac{kWh}{m_{AT}^2 a}$$

Tabelle 5-17: Heizwärmebedarf (HWB) für die drei betrachteten thermischen Gebäudehüllen des Einfamilienhauses. Vergleich zwischen GEO-Berechnungsergebnissen (Referenz- und Standortklima) und PHPP

		f _{GEE} Weg	EEB Weg	Passive House	
GEO	HWB _{REF,RK}	$\left[\frac{kWh}{m_{GFA}^2 a} \right]$	50.7	31.2	30.7
	HWB _{REF,SK}	$\left[\frac{kWh}{m_{GFA}^2 a} \right]$	59.2	36.8	36.2
PHPP	HWB	$\left[\frac{kWh}{m_{AT}^2 a} \right]$	53	36*	15*

* Trotz ähnlicher thermischer Hüllen des "EEB-Weges" und des Passivhauses haben diese unterschiedliche HWBs, weil WRG nur im Falle des Passivhauses erforderlich ist und HWB_{REF,RK} und HWB_{REF,SK} WRG nicht beinhalten

Beschreibung des Mehrfamilienhauses

In ähnlicher Weise wird ein Mehrfamilienhaus (entsprechend FG Projekt SaLÜH! (Ochs, et al., 2020)), siehe Abbildung 5-8 und Eigenschaften in Tabelle 5-18) mit drei verschiedenen Varianten betrachtet, um die minimale Qualität der thermischen Hülle zur Erfüllung der Anforderungen nach dem "f_{GEE}-Weg", dem "EEB-Weg" und dem Passivhausstandard zu untersuchen (siehe

Tabelle 5-19).

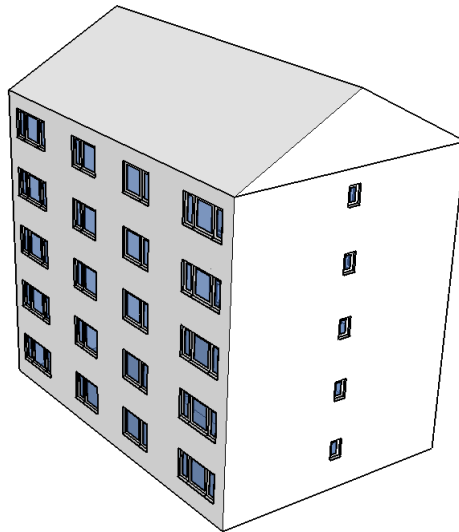


Abbildung 5-8: 3D-Skizze des Mehrfamilienhauses (Ochs, et al., 2020)

Tabelle 5-18: Geometrische und energetische Eigenschaften des MFH (Ochs, et al., 2020)

		$U \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$	$d [cm]$
Außenwand		0.143	45.0
Untergeschoss		0.342	30.0
Dach		0.111	55.0
Fenster	Ost, West	0.93	$g_{\text{Wert}} = 0.53$
	Norden, Süden (Typ1)	0.88	$g_{\text{Wert}} = 0.53$
	Norden, Süden (Typ2)	0.77	$g_{\text{Wert}} = 0.53$
Bruttogrundfläche	BGF [m ²]	1012	
Bruttorauminhalt	BRI [m ³]	2923	
charakteristische Länge	$\ell_c [m]$	2.37	

Tabelle 5-19: Geometrische und energetische Eigenschaften des EFH für die drei betrachteten thermischen Hülle ("f_{GEE}-Weg", "EEB-Weg" und Passivhaus)

		f _{GEE} Weg		EEB Weg		Passive House	
		U [$\frac{W}{m^2 K}$]	d [cm]	U [$\frac{W}{m^2 K}$]	d [cm]	U [$\frac{W}{m^2 K}$]	d [cm]
Außenwand		0.266	35.0	0.143	45.0	0.116	50.0
Untergeschoss		0.342	30.0	0.184	40.0	0.203	38.0
Dach		0.189	40.0	0.111	55.0	0.111	55.0
Fenster	Ost, West	1.39	g _{Wert} = 0,46	0.93	g _{Wert} = 0,53	0.93	g _{Wert} = 0,53
	Norden, Süden (Typ1)	1.27	g _{Wert} = 0,46	0.88	g _{Wert} = 0,53	0.88	g _{Wert} = 0,53
	Norden, Süden (Typ2)	1.04	g _{Wert} = 0,46	0.77	g _{Wert} = 0,53	0.77	g _{Wert} = 0,53
Bruttogrundfläche	BGF [m²]	983		1012		1026	
	Brutto-Rauminhalt	BRI [m³]	2811		3085		3129
Charakteristische Länge	ℓ_c [m]	2.34		2.42		2.43	

Der daraus resultierende Heizwärmebedarf (HWB) ist in Tabelle 5-20 dargestellt. Die Mindestanforderungen sind die folgenden:

$$HWB_{max,2020,fGEE} = 16 \cdot \left(1 + \frac{3}{l_c}\right) = 36.51 \frac{kWh}{m_{GFA}^2 a}$$

$$HWB_{max,2020,EEB} = 10 \cdot \left(1 + \frac{3}{l_c}\right) = 22.40 \frac{kWh}{m_{GFA}^2 a}$$

$$HWB_{max,PHPP} = 15 \frac{kWh}{m_{AT}^2 a}$$

Tabelle 5-20: Heizwärmebedarf für die drei betrachteten thermischen Hüllen des Mehrfamilienhauses. Vergleich zwischen den Ergebnissen von GEO (Referenz- und Standortklima) und PHPP

			f _{GEE} Weg	EEB Weg	Passive House
GEO	HWB _{REF,RK}	$\left[\frac{kWh}{m^2_{BGF} a} \right]$	36.4	22.3	20.8
	HWB _{REF,SK}	$\left[\frac{kWh}{m^2_{BGF} a} \right]$	43.0	26.8	25.1
PHPP	HWB	$\left[\frac{kWh}{m^2_{AT} a} \right]$	54	35*	15*

* Trotz ähnlicher thermischer Hüllen des "EEB-Weges" und des Passivhauses haben diese unterschiedliche HWB, weil WRG nur im Falle des Passivhauses erforderlich ist und HWB_{REF,RK} und HWB_{REF,SK} WRG nicht berücksichtigt

Ergebnisse für das EFH und MFH

Als Grundlage für die Untersuchungen dienen das oben beschriebene Einfamilienhaus und das Mehrfamilienhaus des SaLÜH!-Projekts. Sowohl beim Ein- als auch beim Mehrfamilienhaus weist die thermische Hülle nach dem "f_{GEE}-Weg" eine schlechtere Qualität auf als beim ursprünglichen Gebäude (Tabelle 5-15, Tabelle 5-18). Im Gegensatz dazu sind die Qualitäten der thermischen Hüll für den "EEB-Weg" und den Passivhausstandard nahezu gleich und weisen im Vergleich zum ursprünglichen Gebäude deutlich verbesserte U-Werte auf (bei MFH nur geringfügig verbesserte U-Werte). Der Hauptunterschied zwischen dem "EEB-Weg"-Gebäude und dem PH ist die Implementierung der mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG) im Falle des PH.

In allen Fallstudien wird ein System mit Luft/Wasser-WP und Warmwasserspeicher (außerhalb der thermischen Hülle) in Betracht gezogen. Verschiedene Modifikationen werden angewendet, um die nZEB-Mindestanforderungen zu erfüllen.

Im Falle einer "f_{GEE}-Weg"-Hülle in beiden Fällen, dem EFH und dem MFH, ist ein Photovoltaik (PV) System erforderlich, um die f_{GEE}-Anforderung zu erfüllen ($f_{GEE,RK,zul} \leq 0.75$). Darüber hinaus ist im EFH die Warmwasserspeicherung innerhalb der beheizten Hülle sowie ein verbesserter Verlustbeiwert von 1.2 kWh/d (anstelle des Standardwertes von 2,4 kWh/d) zu berücksichtigen.

Im Falle der "EEB-Weg"-Hülle sind keine weiteren Änderungen des Systems erforderlich, da die EEB-Anforderung bereits mehr als erfüllt ist. Der erreichte EEB und der maximale Grenzwert sind für beide Fälle in Tabelle 5-21 dargestellt:

Tabelle 5-21: Vergleich zwischen dem erreichten EEB (RK) und dem maximalen EEB-Grenzwert (zul,RK) für das EFH und MFH [GEO].

	EEB _{RK} [kWh/m ² a]	EEB _{zul,RK} [kWh/m ² a]
EFH	35.7	39.1
MFH	35.9	40.4

Tabelle 5-21 zeigt, dass zur Erfüllung der EEB-Mindestanforderung ein HLK-System mit noch geringerem Wirkungsgrad möglich wäre, insbesondere beim MFH oder anders ausgedrückt, mit einem Standard-HLK-System ist es einfach, die EEB-Anforderungen zu erfüllen.

In den Fällen, die dem "EEB-Weg" folgen, ist die Wahl der Heiztechnik dank hochwertiger Hülle von untergeordneter Bedeutung, um die nZEB-Anforderungen zu erfüllen. Der EEB und PEB werden in fast allen Fällen der untersuchten Systeme und Konfigurationen erfüllt. Wird jedoch der "f_{GEE}-Weg" gewählt, haben die Anforderungen an die Systemeffizienz (Heizung, Warmwasser, Lüftung und erneuerbare Energien) aufgrund der geringeren Hüllqualität eine größere Bedeutung. Allerdings ist nur eine mäßig verbesserte HLK-Effizienz, ein mittlerer Heizungs- und Wirkungsgrad der WRG oder ein relativ kleines PV- (oder ST-) System ausreichend, um die Anforderung der f_{GEE} zu erfüllen.

Der Primärenergiebedarf (PEB) ist nach Annex I EPBD eine Voraussetzung, um das nZEB-Niveau zu erreichen, scheint aber mit OIB-6 (2019) nicht mehr verbindlich zu sein (da der Verweis nur in einer von drei Optionen, die gewählt werden kann, um den Bedarf an erneuerbaren Energiequellen zu decken, der Verweis auf den Nationalen Plan vorkommt, siehe oben). Laut Nationalem Plan (2018) bezieht sich der Grenzwert von 41 kWh/(m²a) auf die Bewertung ohne Haushaltstrombedarf und mit dem nicht erneuerbaren Primärenergieumrechnungsfaktor f_{PE,n.ern.} = 1,02 für Strom. Bemerkenswert ist, dass in der vorherigen Version des OIB-6 und des Nationalen Plans der Grenzwert für die Gesamtprimärenergie von 160 kWh/(m²a) unter Berücksichtigung der Haushaltstromenergie angegeben wurde. Der Umwandlungsfaktor für die gesamte Primärenergie für Elektrizität betrug f_{PE,n.ern.} = 1.91. Tabelle 5-22 zeigt die resultierende PE für die Fallstudien mit verschiedenen Primärenergiefaktoren und mit oder ohne Haushaltstrom.

Tabelle 5-22: Primärenergie für die drei betrachteten Fälle des EFH, bewertet mit und ohne Haushaltstrom und mit Gesamt- und nicht erneuerbaren Primärenergieumrechnungsfaktoren von 2014 und 2018

		Grenzwerte für PE	f _{GEE} Weg	EEB Weg	Passive House
PE kWh/(m ² a)	f _{PE,tot} (= 1.91) mit Haushaltstrombedarf	PE _{max} (2014) = 160 kWh/(m ² a)	68.7	75.3	65.9
	f _{PE,tot} (= 1.91) mit Haushaltstrombedarf		37.4	43.9	34.5
	f _{PE,n.ren.} (=1.32) ohne Haushaltstrombedarf	PE _{max} (2018) = 41 kWh/(m ² a)	25.8	30.4	23.8

Für jede der drei unterschiedlichen Hüllenqualitäten wurde eine Sensitivitätsstudie durchgeführt. Diese umfasst

- das HLK-System (direkte elektrische Heizung und Wärmepumpe, mit und ohne WRG)
- den Typ und die Leistungen der Wärmepumpen (WP),
- das Wärmeabgabesystem,
- das Trinkwarmwassersystem,
- und das PV-System.

Die Diskussion der Ergebnisse wird für das EFH-Gebäude präsentiert, der Trend der Ergebnisse trifft auch für das MFH zu.

Die Verwendung eines direkten elektrischen Systems erlaubt es nicht, die nZEB-Anforderungen über den "f_{GEE}-Weg" zu erreichen, da f_{GEE} = 1.96, während f_{GEE,RK,Zul} = 0.75 ist. Selbst die Implementierung von WRG und/oder eines photovoltaischen oder solarthermischen Systems reicht nicht aus, um die f_{GEE}-Anforderungen zu erfüllen (f_{GEE} mit WRG = 1.68, f_{GEE} mit 5kWp von PV-Paneelen = 1.65, f_{GEE} mit WRG und 5kWp von PV-Paneelen = 1.38). Eine direkte elektrische Heizung ist in Kombination mit der "EEB-Weg"-Hülle theoretisch möglich. Es bleibt jedoch unklar, wie die in OIB-6 erwähnte Beschränkung der Anlagenaufwandszahl (e_{AWZ} = 1/SPF_{sys}) von den lokalen Behörden umgesetzt wird. Hier ist eine weitere Klärung erforderlich.

In vielen Fällen liegt der f_{GEE} einer Wärmepumpe mit Standardeinstellung, nur geringfügig über der Höchstgrenze von 0.75 (z.B. 0.76). Für diese Fälle kann bei den meisten Varianten durch geringfügige Verbesserungen der Hülle oder Änderungen am System die nZEB-Anforderungen leicht erreicht werden. Dazu einige Beispiele:

- Wechsel von einer modulierenden Wärmepumpe zu einer Start/Stopp-Wärmepumpe [sic!]¹
- Hinzufügen von Photovoltaik-Modulen
- Erhöhung der Nennleistung der Wärmepumpe (während die Änderung des COP keinen Einfluss hat)
- Erhöhung der Dämmung der Gebäudehülle (wenige Zentimeter reichen aus)
- Einen WRG hinzufügen oder die Effizienz der bereits vorhandenen WRG erhöhen

Wird von einem System auf der Basis einer Luft/Wasser-Wärmepumpe oder einer Grundwasser-Wärmepumpe ausgegangen, so hat die Wahl zwischen monovalenter, bivalenter Alternativ- oder bivalenter Parallelbetriebsweise (unter Berücksichtigung eines zweiten elektrischen Systems im Falle einer Bivalenz) nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse im Hinblick auf die Erreichung der nZEB-Anforderungen. Dasselbe gilt für die Wahl der bivalenten Temperatur und der Nennleistung der Wärmepumpe. Über den "f_{GEE}-Weg" ergibt sich als Hauptparameter der modulierende oder Start/Stopp-Betrieb. In mehreren Fällen erlaubte der Start/Stopp-Betrieb die Erfüllung der f_{GEE}-Anforderung, während die modulierende Wärmepumpe zu f_{GEE} > 0,75 führte. Dieser Trend wird durch folgendes Beispiel bestätigt: Es werden zwei Luft/Wasser-Wärmepumpen aus der in GEO angegebenen Produktliste berücksichtigt. Ihre Eigenschaften sind:

1. Nennleistung = 20.6 kW; COP (A7/W35) = 3.4; nicht modulierend
2. Nennleistung = 8.7 kW; COP (A7/W35) = 5.5; modulierend

Wenn alle anderen Parameter gleich gehalten werden, führt die erste Wärmepumpe zu f_{GEE} = 0.75 (d.h. nZEB-Niveau erreicht), während die zweite (obwohl der COP höher und die WP modulierend ist) zu f_{GEE} = 0.76 (nZEB-Niveau nicht erreicht) führt.

¹ Durch die verbesserte Definition des f_{GEE} in der H5056:2019 sollte dieser Widerspruch behoben worden sein

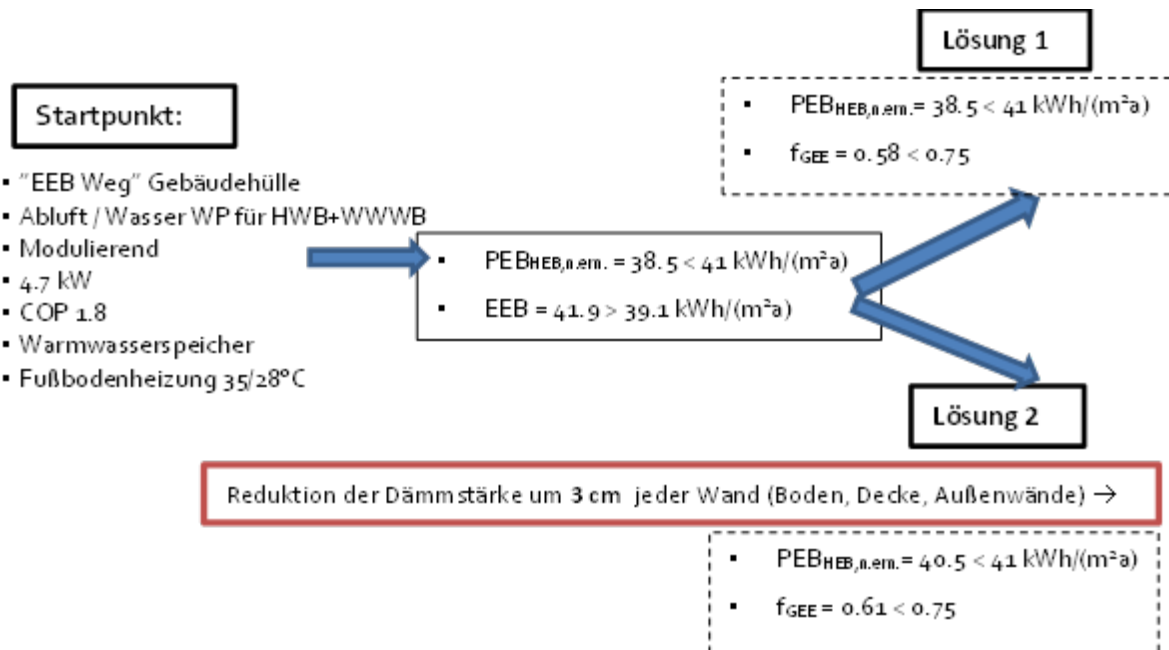


Abbildung 5-9: Darstellung des Erreichens von nZEB durch den "f_{GEE}-Weg" anstelle des "EEB-Weges" (nZEB nicht erreicht)

Beim "EEB-Weg" mit höherer Dämmstärke ist der Heizwärmebedarf bereits so gering, dass auch Systeme mit moderatem Wirkungsgrad das nZEB-Niveau erreichen können. Tatsächlich ist der kritische Punkt im "EEB-Weg" die HWB-Grenze. In einigen besonderen Fällen, wenn $EEB > EEB_{max}$, ist es theoretisch möglich, den Weg „umschalten“ und das nZEB-Niveau durch den "f_{GEE}-Weg" zu erreichen (d.h. der HWB-Grenzwert ist bereits erfüllt und das Erreichen von f_{GEE} niedriger als f_{GEE,RK,zul} ist relativ einfach zu erreichen). Ein Beispiel ist in Abbildung 5-9 für das EFH dargestellt, wo es sogar möglich ist, die Qualität der thermischen Hülle zu reduzieren, weil der HWB nach dem "EEB-Weg" bereits so niedrig ist, dass der Grenzwert von f_{GEE} unter 0.75 bereits erreicht ist.

Es wurde festgestellt, dass für jeden Fall, in dem nZEB durch den "EEB-Weg" erreicht wurde, auch der "f_{GEE}-Weg" erfüllt wurde. Das Gegenteil ist jedoch nicht der Fall, wie das Beispiel in Abbildung 5-9 beweist. Das bedeutet, dass der "EEB-Weg" sehr wahrscheinlich in der Praxis nie gewählt werden wird, weil er einen höheren Investitionsaufwand erfordert als der "f_{GEE}-Weg". Wenn die gleiche Systemtechnologie in Betracht gezogen wird, erlaubt der "f_{GEE}-Weg", nZEB mit qualitativ schlechteren thermischen Hüllen und ist somit mit geringeren Investitionskosten zu erreichen. Folglich weist das Gebäude mit den Mindestanforderungen nach dem "EEB-Weg" einen niedrigeren EEB-Wert auf als das Gebäude mit den Mindestanforderungen nach dem "f_{GEE}-Weg". Dennoch zeigen die Ergebnisse, dass der EEB nach den beiden Wegen in vielen Fällen in der gleichen Größenordnung liegt. Darüber hinaus ist es bemerkenswert, dass der "f_{GEE}-Weg" zu einem niedrigeren EEB führen kann, wenn verschiedene Systemtechnologien wie Wärmepumpen, WRG oder PV verglichen werden. Beispielsweise kann ein Gebäude nach der Mindestanforderung nach dem "EEB-Weg" einen höheren EEB-Wert aufweisen als ein Gebäude nach dem "f_{GEE}-Weg" mit einer weniger effizienten thermischen Hülle und einem PV-System.

Alternativ ermöglicht eine Reduzierung des HWB im "f_{GEE}-Weg"-Gebäude mit geringerer Qualität des HLK-Systems und/oder mit einer geringeren PV-Systemgröße. Tabelle 5-23 zeigt verschiedene

Möglichkeiten zur Erreichung des nZEB-Niveaus durch Reduzierung des HWB in Bezug auf das maximal mögliche Niveau von etwa 50 kWh/(m²a) um 5 kWh/(m²a) bzw. 10 kWh/(m²a). Die erforderliche HLK-Konfiguration und die erforderliche Größe der PV, um f_{GEE} 0.75 zu erreichen, ist ebenfalls in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 5-23: Beispiel für verschiedene Möglichkeiten zur Erreichung des nZEB-Niveaus durch die Verbesserung der Gebäudehülle und folglich mögliche Reduzierung der Qualität des HLK-Systems bzw. der Größe des PV-Systems

Name	HWB [kWh/(m ² a)]	Mögliche Reduzierung der Qualität des HLK-Systems/ PV Fläche		f_{GEE}	EEB [kWh/(m ² a)]
		WWWB System	PV		
f_{GEE} Weg (HWB ₄₅)	45	außen Warmwasserspeicher + $Q_{Verl,WWWB} = 2.4$ kWh/d	2 kWp	0.75	32.1
f_{GEE} Weg (HWB _{40 a})	40	außen Warmwasserspeicher + $Q_{Verl,WWWB} = 2.4$ kWh/d	1 kWp	0.72	33.0
f_{GEE} Weg (HWB _{40 b})	40	-	no PV	0.73	36.9

Der zweite Fall (f_{GEE} -Weg (HWB_{40 a})) zeigt den großen Einfluss der PV-Anlage auf den f_{GEE} : mit einer PV-Anlage von 1 kWp lässt sich der Gesamtenergieeffizienzfaktor von $f_{GEE} = 0.77$ (erreicht mit reduzierter Qualität der Warmwasseranlage ohne PV) auf 0.72 (reduzierte Qualität der Warmwasseranlage und 1 kWp PV) reduzieren. Es ist auch zu erkennen, dass es keine Korrelation zwischen f_{GEE} und EEB und damit PEB gibt.

Ähnliche, jedoch weniger ausgeprägte Ergebnisse spiegeln sich in der MFH-Fallstudie wider. In der MFH-Fallstudie ermöglichen es mehr Systeme (insbesondere die auf Wärmepumpen basierenden), die f_{GEE} -Anforderung zu erfüllen und das nZEB-Niveau zu erreichen. In diesen Fällen hat der Unterschied zwischen modulierenden und Start/Stopp-Wärmepumpen einen unbedeutenden Einfluss.

Der Grenzwert für die Primärenergie ohne Haushaltsstrom und unter Berücksichtigung des nicht erneuerbaren Primärenergiefaktors ($PEB_{n,ern,RK} = 41$ kWh/(m²a)) wurde in den verschiedenen betrachteten Fallstudien selten überschritten. Ausnahmen sind Fälle mit direkter elektrischer Heizung.

Aus den oben beschriebenen Studien geht hervor, dass der " f_{GEE} -Weg" in der Regel der einfachste Weg ist, um das nZEB-Niveau zu erreichen. Wenn der "EEB-Weg" erfüllt ist, ist auch der " f_{GEE} -Weg" erfüllt, während das Gegenteil nicht zutrifft.

Die Wahl der Systemtechnik (Heizsystem, Warmwasserspeicher, Lüftung, PV-Anlage) ist im Fall des " f_{GEE} -Weg" von Bedeutung. Umgekehrt erfordert der "EEB-Weg" eine qualitativ hochwertige Gebäudehülle, so dass das HLK-System von untergeordneter Bedeutung ist.

Bei gleicher Systemtechnik führt der "EEB-Weg" zu einem niedrigeren EEB als der " f_{GEE} -Weg", beide liegen jedoch in der gleichen Größenordnung und nicht da, wo „echte“ nZEBs liegen sollten. Interessanterweise kann ein gegenläufiger Trend verifiziert werden, wenn unterschiedliche Systemtechnik in Betracht gezogen wird (z.B. Implementierung eines PV-Systems im Gebäude nach dem " f_{GEE} -Weg").

Die beiden Wege zum Erreichen von nZEB (Dualer Weg) zusammen mit einer vereinfachten Gewichtung des Aufwands sind in Abbildung 5-10 dargestellt. Bemerkenswert ist, dass die HLK-Systemanforderungen des f_{GEE} -Weg zwar strikter gefasst sind, aber dennoch mäßig effiziente HLK-Systeme ausreichen, um die nZEB-Anforderung zu erreichen, und somit beide Wege im Hinblick auf die ehrgeizigen Klimaschutzziele nicht ausreichend sind.

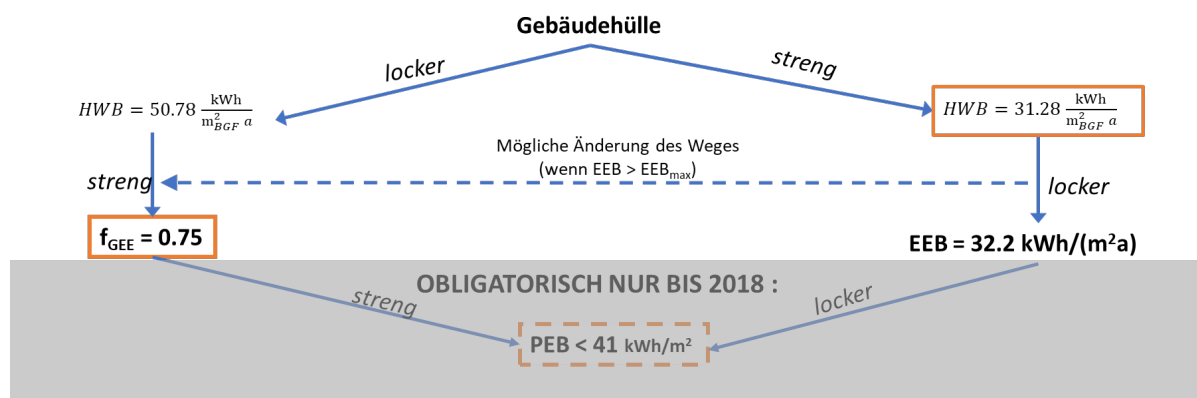


Abbildung 5-10: Schema von " f_{GEE} -Weg" und "EEB-Weg" mit dem erforderlichen Aufwand. Die Werte beziehen sich auf die EFH-Fallstudie (nach OIB-6:2019).

Die mögliche Änderung des Weges (ebenfalls in Abbildung 5-9 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschrieben) ist nur in eine Richtung möglich. Abbildung 5-11 zeigt eine vereinfachte Darstellung möglicher Wege zur Verbesserung entweder der thermischen Hülle, der Anwendung von mech. Lüftung mit WRG oder der Verwendung von PV, um die nZEB-Anforderungen entsprechend der beiden Wege zu erreichen. Um das nZEB-Niveau nach dem f_{GEE} -Weg mit dem maximal zulässigen Wärmebedarf von etwa $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ zu erreichen, ist entweder die WRG oder eine 1.4 kWp PV-Anlage erforderlich. Bei verbesserter Hüllqualität mit ca. $35 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ werden die f_{GEE} -Anforderungen ohne WRG oder PV erfüllt. Eine weiter verbesserte Hülle, die zu einem Wärmebedarf von $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ führt, erfüllt die Anforderungen beider Wege. Auch interessant: alles unter $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ für den Referenzwärmebedarf (HWB_{Ref} , d.h. ohne WRG) ist nur Theorie und wird in der Realität nicht auftreten (vgl. Diskussion zu HWB-Klassen weiter oben). Hinweis: Die Werte sind nur Näherungswerte, die sich auf die EFH-Fallstudie mit Standard-Luft/Wasser-HP beziehen.

Fallstudie Bürogebäude

Für Bürogebäude wurde eine Fallstudie auf der Grundlage eines virtuellen Gebäudes durchgeführt, das ursprünglich als Referenzgebäude in einem Forschungsprojekt verwendet (Heimrath, Lerch, Mach, Ramschak, & Fink, 2018). Das dreigeschossige Gebäude besteht aus 18 Büroräumen mit einer Nutzfläche von je 30 m² (siehe Abbildung 5-13). Die Bruttogeschosfläche beträgt 806 m² und das beheizte Bruttovolumen, das in der Abbildung durch einen roten Rahmen gekennzeichnet ist, 2880 m³.

Wie bei der Fallstudie für Wohngebäude wurde das Gebäude in das Softwaretool GEO (Zehentmayer Energieausweis Software, Version 2019.1) implementiert, und Berechnungen für verschiedene Varianten der Gebäudehülle und des HLK-Systems durchgeführt. Es ist zu beachten, dass die letzte Version des Standards, der in dieser Software implementiert wurde, die OIB-6:2015 ist. In der Zwischenzeit wurden die Primärenergiefaktoren (nicht-erneuerbare, erneuerbare und Gesamtenergie), der Anteil der erneuerbaren Energien und der prozentuale Anteil des Strombedarfs, der durch Photovoltaik gedeckt werden kann, in der letzten Version der OIB Richtlinie 6 (OIB-6:2019) geändert. Daher basieren die hier vorgestellten Ergebnisse nicht auf den neuesten Werten (siehe Erläuterungen, oben).

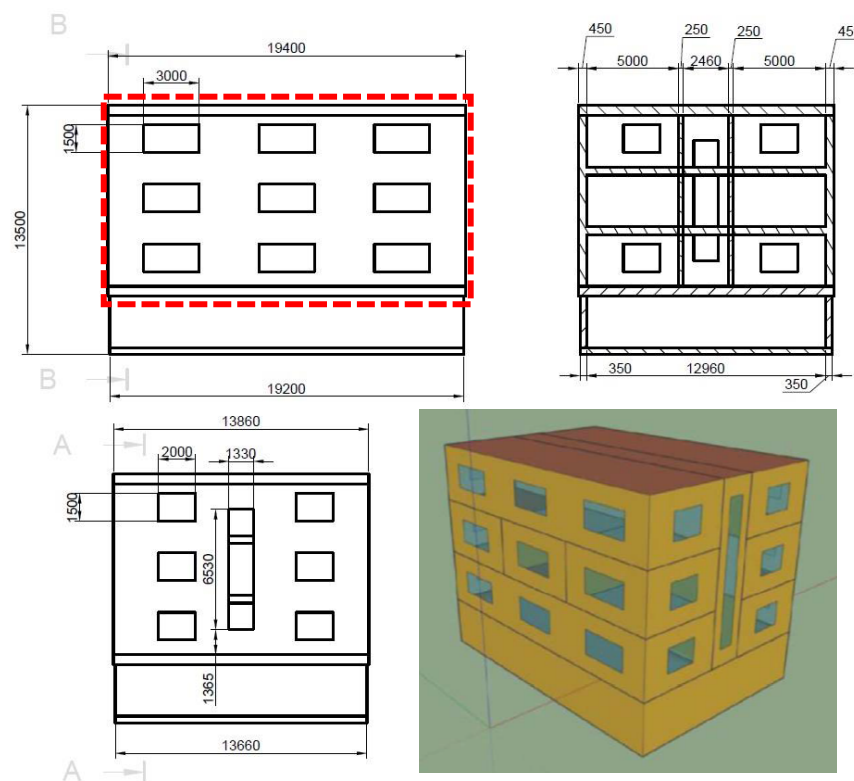


Abbildung 5-13: Für die Fallstudie genutztes Bürogebäude

In einem ersten Schritt wurde das Gebäude in seinem ursprünglichen Zustand bezüglich der Gebäudehülle, wie er aus dem Vorprojekt zur Verfügung stand, betrachtet. Mit diesen Annahmen hat das Gebäude eine charakteristische Länge von $l_c = 2.27$. Die durchschnittliche Raumhöhe (Bruttovolumen geteilt durch Bruttogeschosfläche) beträgt 3.45, daher kann die HWB-Grenze um den Faktor 1.15 korrigiert werden. Daraus ergeben sich die folgenden Grenzwerte für $HWB_{Ref,RK}$:






- i. EEB- path: $HWB_{Ref,RK,zul} = 26.67 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- ii. f_{GEE} - path: $HWB_{Ref,RK,zul} = 42.68 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Der errechnete $HWB_{Ref,RK}$ liegt bei $29,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, daher können die nZEB-Anforderungen nach dem "EEB-Weg" mit dieser Gebäudekonfiguration nicht erfüllt werden. Tabelle 5-24 zeigt die Ergebnisse verschiedener Varianten von HLK-Systemen, die berechnet wurden, um die Möglichkeit zur Erfüllung der Anforderungen des f_{GEE} - Wegs zu bewerten. Die Brauchwasserbereitung wurde mit dezentralen elektrischen Speichern (Untertischboiler) angenommen, wie bei Bürogebäuden üblich.

Bei der ersten Variante A wird das Gebäude mit einem Gaskessel beheizt, was zu einem $f_{GEE} = 0.72$ führt, der Grenzwert von 0.75 wird also eingehalten. Allerdings erfüllt das Gebäude den Grenzwert für nicht erneuerbare Primärenergie von $84 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ gerade noch nicht und ist somit laut Definition (Nationaler Plan 2018) kein nZEB. Es ist zu beachten, dass mit den neuen Werten der (nicht erneuerbaren) Primärenergieumrechnungsfaktoren, die mit der letzten OIB-6:2019 veröffentlicht wurden, auch die PEB-Anforderung für dieses System erfüllt wäre (der Primärenergiefaktor $f_{PE,n.ern}$ für Gas wurde von 1.16 auf 1.10 reduziert).

Ein interessanter Aspekt ist, dass der Gesamtenergieeffizienzfaktor f_{GEE} sich verbessert, wenn das Gebäude mit einem zusätzlichen Kühlsystem ausgestattet wird. Zum Beispiel ergibt von Variante A auf B - durch eine zusätzliche Kühlung - eine Reduktion des f_{GEE} von 0.72 auf 0.69 . Dies führt hier sogar zu einer Erfüllung der nZEB-Definition, da auch $PEB_{HEB+BelEB,n.ern}$ unter den Grenzwert fällt (der bei Einsatz von Kühltechnik lt. dem Nationalen Plan (2018) um $16 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ erhöht werden kann). Das betrachtete Gebäude hat einen berechneten Kühlbedarf von $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Tabelle 5-24: Auswahl Varianten für das Bürogebäude, ursprüngliche Gebäudehülle

Variante	Heizung	WWWB	Zusätzliches System	$HWB_{Ref,RK}$ [kWh/m ² a]	f_{GEE}	$PEB_{HEB+BelEB,n.ern}$ [kWh/m ² a]	nZEB?
A	Gas	El. dezentral		29.8	0.72	84.31	
B	Gas	El. dezentral	Kühlung	29.8	0.69	92.61 ⁽¹⁾	
C	Pellets	El. dezentral		29.8	0.72	53.61	
D	Luft/Wasser-WP	El. dezentral		29.8	0.72	61.51	
E	Luft/Wasser-WP	El. dezentral	Kühlung	29.8	0.70	69.7 ⁽¹⁾	

⁽¹⁾ Grenzwert kann bei Einsatz von Kühlung nach dem Nationalen Plan (2018) erhöht werden





Wenn das Gebäude mit einem Pellets-Kessel (Variante C) oder einer Luft/Wasser-Wärmepumpe (D) beheizt wird, können sowohl der f_{GEE} - als auch der PEB-Grenzwert eingehalten werden. Auch wenn eine Wärmepumpe verwendet wird, verbessert zusätzliche Kühlung den f_{GEE} (Variante E im Vergleich zu D).

Eine interessante Frage ist, wie die Erfüllung der nZEB-Anforderungen beeinflusst wird, wenn die HWB-Anforderung des "f_{GEE}-Wegs" nur knapp erfüllt wird. Zu diesem Zweck wurde die Gebäudehülle entsprechend verändert, was zu einem $l_c = 2.24$ und einem HWB_{Ref,RK} von 42.6 kWh/(m²a) führt, was genau dem Grenzwert nach dem "f_{GEE}-Weg" entspricht. Die Ergebnisse für diese Konfiguration sind in Tabelle 5-25 für verschiedene Systeme mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe, wiederum mit dezentralen Elektrospeichern für die Warmwasserbereitung, dargestellt.

In der Variante F zeigt sich, dass die nZEB-Anforderungen nicht allein durch den Einsatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe erfüllt werden können, da der f_{GEE}-Grenzwert von 0.75 überschritten wird. In der Variante G wird zusätzlich eine Photovoltaikanlage mit 7 kW_p eingesetzt, eine Größe, die ohne Weiteres auf der vorhandenen Dachfläche untergebracht werden kann. Das Berechnungsverfahren berücksichtigt den Einsatz von PV mit einem prozentualen Anteil des Strombedarfs, der durch PV gedeckt werden kann. Dadurch kann sowohl f_{GEE} als auch PEB reduziert werden, wodurch das Gebäude die Anforderungen an ein nZEB erfüllt.

Wie bereits gezeigt, wird auch hier bei zusätzlichem Einsatz von Kühlung f_{GEE} in Variante H im Vergleich zu F reduziert. Allerdings wird in diesem Fall die Grenze von 0.75 noch nicht erreicht, was z.B. durch eine zusätzliche PV-Anlage (Variante I) erreicht werden könnte.

Tabelle 5-25: Betrachtete Varianten für das Bürogebäude, Gebäudehülle erfüllt den Grenzwert nach dem "f_{GEE}-Weg".

Variante	Heizung	WWWB	Zusätzliches System	HWB _{Ref,RK} [kWh/m ² a]	f _{GEE}	PEB _{HEB+BelIEB,n.ern.} [kWh/m ² a]	nZEB?
F	Luft/Wasser-WP	El. dezentral		42.6	0.82	66.4	
G	Luft/Wasser-WP	El. dezentral	PV 7 kW _p	42.6	0.73	52.04	
H	Luft/Wasser-WP	El. dezentral	Kühlung	42.6	0.78	73.26 ⁽¹⁾	
I	Luft/Wasser-WP	El. dezentral	Kühlung, PV 7 kW _p	42.6	0.72	61.81 ⁽¹⁾	

⁽¹⁾ Grenzwert kann bei Einsatz von Kühlung nach dem Nationalen Plan (2018) erhöht werden

5.4.4. Die Österreichische Umsetzung im europäischen Vergleich

Der aktuelle Zustand des europäischen Gebäudebestands weist alte und recht ineffiziente Gebäude auf. In diesem Szenario kommt der Neufassung der EPBD eine wichtige Rolle zu. Ehrgeizige Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sind ein wirksames Mittel, um Innovationen zu fördern und eine deutliche Verringerung der Treibhausgasemissionen und des Energieverbrauchs zu erreichen, was zur Energieunabhängigkeit der EU beiträgt (BPIE, 2015).

In der Tat führt die geforderte nZEB-Umsetzung zu einem Rückgang des Energieverbrauchs und zu einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien. Bei tiefgreifenden Renovierungsfällen liegt der

Schwerpunkt im Allgemeinen auf der Verringerung des Energieverbrauchs. In Bezug auf die Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von nZEBs und auch im weiteren Sinne bezüglich der Berechnungsmethoden gibt es zwischen den europäischen Ländern eine große Variabilität (D'Agostino, Zangheri, & Castellazzi, 2017). Gemeinsame Punkte in den europäischen nZEB-Anforderungen sind jedenfalls die Definition von Energieleistungsindikatoren und ein Mindestanteil an erneuerbaren Energiequellen.

Als Beispiel zeigt Tabelle 5-26 einen Vergleich einiger der wichtigsten Parameter zwischen einigen europäischen Ländern. Die Werte beziehen sich auf den Wohnsektor.

Tabelle 5-26: Vergleich der Bedingungen sowie Flächendefinitionen verschiedener Länder

	Bedingungen (X = Bedingung)						zusätzliche Bedingungen	Definition
	U-Werte	H _T	Korrelation zwischen Afenster und Awände	HWB	PE	EE	fGEE < 0,75 or EEB < EEBmax	Grundfläche
AT	X			X	(X)*	X		Brutto
DK	X		X		PE _{tot} < 20 kWh/(m _{BFA} ² ·a)	X		Brutto
DE		X			< PE _{n.ren.} (Referenzgebäude)	X		AN = 0,32*V
IT		X	X		< PE _{n.ren.} (Referenzgebäude)	X	η _{systems} > η (Referenzgebäude)	Netto
CH	X			X		X		Brutto

* z.B. 41 kWh/(m² a) nichterneuerbare PE für Wohngebäude ohne HHHS laut Nationaler Plan (2018), nur indirekter Verweis in OIB-6 (2019) daher ist anzunehmen, dass nicht verpflichtend

Ambition Level – Österreichische Umsetzung im Vergleich zu Europa

Unterschiedliche Anspruchsniveaus sind eine der Ursachen für den uneinheitlichen Ländervergleich. Weitere Gründe sind klimatische Bedingungen, Energiebedarf, Primärenergiefaktoren und Berechnungsmethoden (Garcia & Kranzl, 2018). Ein Urteil über die Ambitionen ist aufgrund der unterschiedlichen nZEB-Definitionen und Methoden in den verschiedenen Mitgliedstaaten eigentlich kaum möglich. Außerdem können sich die nationalen Vorschriften ändern. In der von (Garcia & Kranzl, 2018) durchgeführten Studie hat sich gezeigt, dass die deutsche nZEB-Definition die strengste (und damit ambitionierteste) ist. Sie kamen auch zu dem Schluss, dass die österreichische nZEB-Definition zwar sehr flexibel, aber eine der detailliertesten nZEB-Definitionen ist. In dieser wird je nach Nutzung (Wohn- und Nichtwohnnutzung), der Art der Intervention (Neubau oder tiefgreifende Renovierung) unterschieden und klar definierte Zwischenziele (für 2014, 2016, 2018 und 2020) wurden formuliert. Im Gegensatz zu den Schlussfolgerungen dieser Studie wurde in Deutschland im Jahr 2019 anstelle des KfW55 -Standards der weniger ambitionierte EnEV-Standard als nZEB

definiert. Demzufolge sind in Deutschland keine Energieeinsparungen im Gebäudesektor im Vergleich zu den bereits bestehenden Regelungen zu erwarten.

Abbildung 5-14 zeigt den maximalen Primärenergiebedarf für europäische nZEB (ab 2020/2021) aus Daten einer Studie des BPIE im Jahr 2015 und aufbereitet von Passivhaus Austria im Jahr 2015. Die gesamte Primärenergie einschließlich Haushaltsstrom wird mit dem Passivhaus-Grenzwert verglichen. Es zeigt die sehr ambitionierte Umsetzung einiger Länder wie Dänemark und die vergleichsweise geringe Anforderung der österreichischen Umsetzung der EPBD. Deutschland hatte die Anforderungen bis zu diesem Zeitpunkt nicht veröffentlicht.

Obwohl bereits Studien zu den europäischen Anspruchsniveaus durchgeführt worden sind, z.B. (BPIE, 2015) und (Garcia & Kranzl, 2018), sind aktuelle Vergleiche notwendig, da die europäischen Länder ihre nZEB-Definitionen inzwischen weiterentwickelt haben.

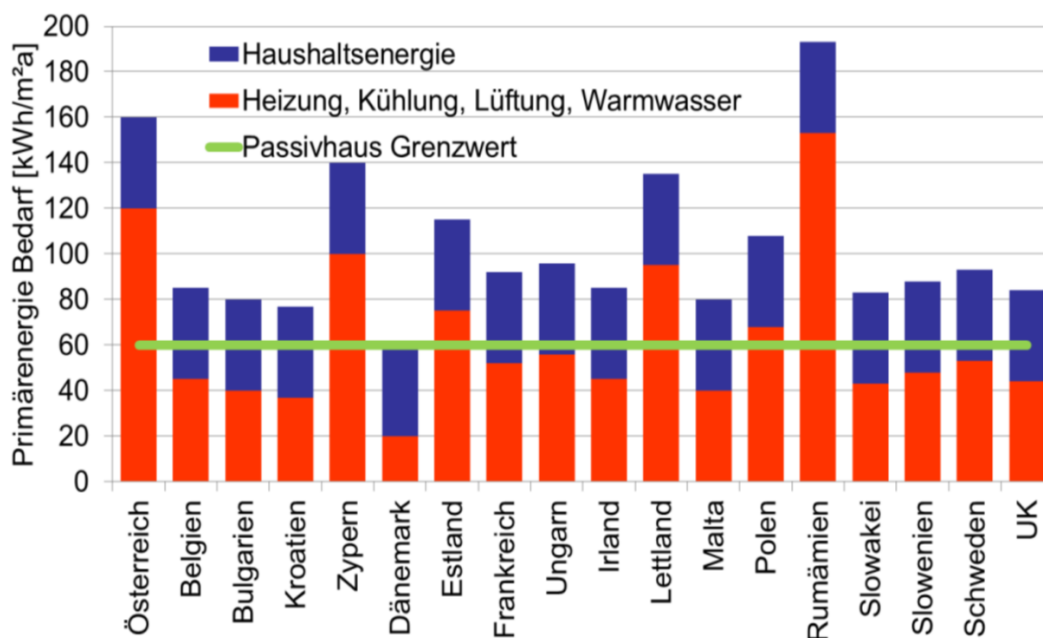


Abbildung 5-14: Vergleich des Primärenergiebedarfs zwischen europäischen Ländern. Der Maximalwert nach dem Passivhausstandard ist als Benchmark angegeben [(Passivhaus Austria, 2015) basierend auf der BPIE 4/2015 NZEB Definition].

Beispiel: Vergleich zwischen Dänemark, Italien und Österreich

Ein kritischer Punkt beim Vergleich der Umsetzung innerhalb der europäischen Länder sind die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen. Darüber hinaus wird in diesem Abschnitt am Beispiel Österreichs, Dänemarks und Italiens gezeigt, dass ein direkter Vergleich der nZEB-Anforderungen auch aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen, Definitionen und Annahmen kaum möglich ist und dass eine Methodik erforderlich ist, um die Ergebnisse auf einen gemeinsamen Satz von Randbedingungen und Definitionen zu normieren (siehe auch nächster Abschnitt).

In Dänemark und Österreich wird die Bruttofläche als Referenzfläche verwendet, während die italienische Gesetzgebung die Netto (d.h. "beheizte") Fläche verlangt.

Österreich hat eine Anforderung an die maximalen U-Werte und den Heizwärmebedarf (HWB), während Dänemark und Italien Parameter definieren, die die Fensterfläche mit der Wandfläche in Beziehung setzen. Dänemark legt Grenzwerte für die U-Werte der Hüllbauteile vor und Italien verwendet den mittleren globalen Transmissionswärmeaustauschkoeffizienten pro Einheit der Gebäudefläche ($H_T [W/(m^2K)]$) als nZEB-Anforderung.

Italien hat zusätzliche Anforderungen an die Systemeffizienz (Heizsystem, Warmwasserbereitung, Kühlung und Gesamt), während dies in Österreich nur für den "EEB-Pfad" gilt.

Bezüglich des Primärenergiebedarfs verwenden sowohl Dänemark als auch Italien den Gesamt-Primärenergieumrechnungsfaktor, während in Österreich ab 2019 die nicht erneuerbaren Umrechnungsfaktoren verwendet werden. Dänemark lässt einen Höchstwert von $20 \text{ kWh}/(m_{BGF}^2 \cdot a)$, während der Grenzwert in Österreich von $41 \text{ kWh}/(m_{BGF}^2 \cdot a)$ nur informativ (und nicht mehr verpflichtend) zu sein scheint. Im italienischen Fall hängt die maximale Primärenergie vom Referenzgebäude ab (d.h. einem Gebäude mit der gleichen Geometrie, aber mit Referenzwerten für den Transmissionsgrad und den Wirkungsgrad des Systems). Nicht erneuerbare Primärenergiefaktoren werden in der italienischen Gesetzgebung nur verwendet, um die Energieklassifizierung der Gebäude zu bestimmen.

Der Primärenergieumrechnungsfaktor für Strom ist in Österreich mit OIB-6:2019 für nicht erneuerbare Primärenergie 1.02 und für die gesamte Primärenergie 1.63. Laut Nationaler Plan (2018) ist die nicht-erneuerbare zu verwenden. In Dänemark ist der Faktor 1.9 (Bygningsreglementet.dk, 2020) und in Italien 2.42 für die gesamte Primärenergie und 1.95 für die nicht-erneuerbare (Decreto interministeriale 26 giugno 2015, 2015).

In allen Ländern bezieht sich eine nZEB-Anforderung im Allgemeinen auf erneuerbare Energiequellen, während es im Detail große Unterschiede gibt (z.B. ist in Österreich, wenn die f_{GEE} Anforderung erfüllt ist, ist keine zusätzliche EE am Standort erforderlich).

Vergleich der österreichischen nZEB-Implementierung mit Passivhausstandard

Das Passivhaus (PH) ist ein Gebäudestandard, der laut PHI wirklich energieeffizient, komfortabel und gleichzeitig erschwinglich ist. Die Schlüsselemente des Passivhauses sind: Gebäudelage und -ausrichtung auf dem Grundstück; Gebäudeanordnung; Fensterdesign; Wärmedämmung (einschließlich Fenster(rahmen)dämmung); Wärmebrückenfreies Design, thermische Masse; Verschattung; Belüftung mit Wärmerückgewinnung. Jedes dieser Elemente ermöglicht mit anderen zusammen, angenehme Temperaturen und eine gute Innenraumluftqualität zu erreichen. Der erste Schritt besteht darin, die richtige Menge an Solaren Gewinnen zu erreichen - genug, um in kühleren Monaten Wärme zu liefern, aber eine Überhitzung im Sommer zu verhindern. Dämmung und thermische Masse tragen dazu bei, gleichmäßige Temperaturen aufrechtzuerhalten, während die Belüftung für passive Kühlung sorgt und die Raumluftqualität verbessert. Der Passivhausstandard betrachtet als Referenzfläche die Energiebezugsfläche, d.h. die Fläche der nicht beheizten Räume wird neben den beheizten Räumen anteilig berücksichtigt (Passivhaus, 2019). Die Hauptkriterien zur Bestimmung des Passivhausstandards sind in Tabelle 5-27 zusammengefasst:

Tabelle 5-27: Anforderungen des Passivhaus-Standards

	Maximalwert
Heizwärmebedarf	15 kWh/(m²a)
Heizlast	10 W/m²
Erneuerbare Primärenergie (PER)	60 kWh/(m²a) (in Ermangelung einer erneuerbaren Energiequelle) 75 kWh/(m²a) (bei Vorhandensein einer erneuerbaren Energiequelle)

Der Bedarf an erneuerbarer Primärenergie (Renewable Primary Energy Demand, PER, (Passipedia, 2015)) ist die Gesamtenergie, die für alle häuslichen Anwendungen (Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom) verwendet werden soll, bewertet mit den PER-Faktoren. Die PER-Faktoren geben an, wie viel mehr erneuerbare Energie bereitgestellt werden muss, um die im Gebäude verbrauchte Endenergie zu decken, einschließlich aller auf dem Weg dahin entstandenen Verluste. Sie werden mit der folgenden Formel bewertet

$$PER = \frac{\text{Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen}}{\text{Endenergiebedarf am Gebäude}}$$

und unter Berücksichtigung eines stündlich aufgelösten Lastprofils des Energiebedarfs, das im Rahmen eines Zukunftsszenarios simuliert wurde (Passipedia, 2015). Als erneuerbare Quellen werden nur Photovoltaik, Windturbinen und Wasserkraft berücksichtigt. Biomasse und alle Systeme, die auf Sekundärenergie (z.B. Fernwärme) basieren, werden direkt im PHPP berücksichtigt, mit entsprechenden Parametern für das jeweilige System.

Ein Vergleich zwischen dem in OIB-6:2019 beschriebenen nZEB und dem Passivhausstandard wird durchgeführt, um den Unterschied in der geforderten Gebäudeleistung nach OIB-6 (nZEB) und Passivhaus hervorzuheben. Als Fallstudie wird das in Abschnitt o analysierte Einfamilienhaus betrachtet. Wie bereits in Abschnitt o beschrieben, sind der "EEB-Weg" und die Passivhaus-Gebäudehülle ähnlich. Der Hauptunterschied zwischen den beiden Gebäuden besteht in der Umsetzung der WRG im Fall des Passivhauses. Das "f_{GEE}-Weg"-Gebäude hat eine Hülle von geringerer Qualität, ein PV-System und einige geringfügige Änderungen der HLK-Einstellungen (d. h. Warmwasserspeicher).

Auf der Grundlage der PER-Bewertung können verschiedene Passivhausklassen erreicht werden. Die Klassen hängen sowohl von der PER-Anforderung als auch von der PER-Erzeugung ab. Eine grafische Darstellung der PH-Klassen ist in Abbildung 5-15 dargestellt. Darüber hinaus zeigt Abbildung 5-15 die SFH-Fallstudien (Kreuze), die Varianten des "f_{GEE}-Weg" mit reduzierter HWB (Dreiecke) und einen zusätzlichen PH-Fall, der dank der Implementierung eines 28 kWp PV-Systems (Quadrat) die Plus-Klasse erreicht. Darüber hinaus werden die Leistungen eines Gebäudes mit f_{GEE}-Hülle (wie in Abschnitt o beschrieben) und WRG (Wirkungsgrad von 75%) gezeigt (Plus).



Abbildung 5-15: Passivhausklassen und Qualifizierung einiger Fallstudiengebäude: drei Gebäude aus Abschnitt o (Kreuze), "fGEE-Weg" mit unterem HWB (Dreiecke) und Passivhaus mit PV (Quadrat) [PHPP]

Beim österreichischen Klima ist Passivhaus-Premium nur mit äußerst effizienten Geräten und HLK-Technik in Kombination mit einer "perfekten" Hülle und einer großen PV-Anlage zu erreichen. Es gibt einige realisierte Beispiele für Passivhaus Plus in Österreich (siehe z.B. Innsbruck Vögelebichl, unten beschrieben). Passivhaus Classic ist das Standard-Passivhaus ohne zusätzliche Anwendung von PV.

Die nZEBs gemäß OIB-6:2019 (mit Mindestanforderungen, wie in o erläutert) haben einen PER-Bedarf zwischen 76 kWh/(m²_{EBF} a) und 105 kWh/(m²_{TA} a). Während ein klassisches Passivhaus einen maximalen PER von 60 kWh/(m²_{EBF} a) hat. Hinsichtlich des PER-Bedarfs schneidet der EEB-Pfad nZEB besser ab als das Gebäude mit "fGEE-Weg", aber Abbildung 5-15 zeigt auch die bessere Effizienz eines Gebäudes mit WRG im "fGEE-Weg" im Vergleich zu einem Gebäude ohne WRG im "EEB-Pfad".

5.4.5. Schlussfolgerungen

Die Grundidee der österreichischen Umsetzung der EPBD ist, dass ein nahezu Nullenergiehaus entweder durch eine Verbesserung der thermischen Gebäudehülle über strengere Anforderungen an den Heizwärmebedarf ($HWB_{Ref,RK}$) oder durch eine Verbesserung der energetischen Qualität des HLK-Systems mit erhöhter vor Ort oder in der Nähe erzeugter erneuerbarer Energie durch Reduktion des Gesamtenergiefaktors (f_{GEE}) realisiert werden kann. Die österreichische Umsetzung der EPBD in der aktuellen Fassung (2019) erscheint im Hinblick auf die ambitionierten Klimaschutzziele Österreichs und der EU nicht ausreichend. Dies sogenannte „dual Weg“ mit der f_{GEE} -Methode lässt insbesondere bei Einfamilienhäusern nach wie vor nur eine mäßige Qualität der Gebäudehülle zu und führt in der Konsequenz dazu, dass die zur Erfüllung der Klimaschutzziele erforderlichen Einsparpotenziale im Gebäudesektor verfehlt werden. Zudem widerspricht das Potenzial, ein Gebäude nach der sogenannten 16er-Linie zu errichten, den Ergebnissen der österreichischen Kostenoptimalitätsstudie. Beide Wege, über den Gesamtenergieeffizienzfaktor (f_{GEE}) und über den maximalen Endenergiebedarf (EEB_{max}), sind im Hinblick auf Primärenergieeinsparungen nicht eindeutig und erlauben daher keine ausreichende Orientierung in Richtung Energieeffizienz und alternativer/erneuerbarer Energiequellen. Trotz der Tatsache, dass Anhang I der EPBD verlangt, die Gesamtenergieeffizienz durch den Indikator (nicht erneuerbare) Primärenergie als Mindestanforderung zu spezifizieren, wird in OIB-6: 2019 nur der Verweis auf den Nationalen Plan (2018) angegeben. Daher scheint der Primärenergieindikator nicht die Mindestanforderung, sondern nur ein informativer Indikator zu sein. Darüber hinaus legt der Nationale Plan (2018) den Grenzwert für nicht-erneuerbare Primärenergie so hoch fest (41 kWh/(m² a) für Wohngebäude ohne Betriebsstrombedarf und 84 kWh/(m² a) für Nichtwohngebäude einschließlich Beleuchtung und 100 kWh/(m² a) bei Berücksichtigung der Kühlung), dass es für die meisten HLK-Varianten keinen Grenzwert darstellt, wenn die Anforderung der Höchstgrenze der Gesamtenergieeffizienz (f_{GEE} oder EEB_{max}) erfüllt sind. Im europäischen Vergleich scheint die österreichische Umsetzung (nZEB) der EPBD, ähnlich der deutschen Umsetzung (EnEV) nicht sehr ambitioniert zu sein, da beide deutlich unter den Anforderungen der EU und ambitionierteren Definitionen wie beispielsweise jenen aus Dänemark liegen. Ein direkter Vergleich ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen und Annahmen schwierig. Daher wäre hier ein besserer Vergleich mit mehr Transparenz notwendig.

Mehrere Fallstudien belegen die guten Erfahrungen mit "echten" nZEBs in Österreich. Sehr effiziente Gebäude mit hochwertiger Gebäudehülle in Kombination mit Wärmepumpen und erneuerbaren Energien vor Ort können - auch unter dem Zwang des bezahlbaren Wohnens - zu großen Primärenergieeinsparungen beitragen. Allerdings sind ein maßgeschneidertes Systemdesign, gut dimensionierte Komponenten zusammen mit einer gut realisierten Regelung erforderlich, um die optimale Leistung und damit maximale Primärenergieeinsparungen zu erzielen.

6 Ergebnisse

6.1. Überblick

Mehrere **Fallstudien**, welche die Integration von Wärmepumpen in nZEBs zeigen, wurden im Rahmen des IEA HPT Annex 49 untersucht und auf Basis von Monitoring und Simulationsergebnissen optimiert. Die österreichischen Fallstudien sind:

Das **NZEB Vögelebichl** in Innsbruck, zwei Mehrfamilienhäuser, die nach dem Passivhausstandard gebaut und als Passivhaus Plus zertifiziert wurden, und mit dem Ziel die Netto-Nullbilanz für die Gebäudetechnik einschließlich Hilfsenergien zu erreichen, wurde ein umfassendes Monitoring und detaillierte Simulationsstudien durchgeführt. Die Gebäude wurden über einen Zeitraum von vier Jahren vermessen und es wurden auf Basis von Simulationsergebnissen mehrere Korrekturen und Verbesserungen eingeführt und damit weitere Einsparungen erzielt. Die Nettonullbilanz konnte jedoch v.a. aufgrund des hohen Hilfsenergieverbrauchs während der ersten 4 Jahre messtechnische noch nicht nachgewiesen werden. Zusätzliche Optimierungsschritte sind möglich und Simulationsergebnisse zeigen, dass NZEB möglich wäre. Darüber hinaus wurden alternative Systemdesigns vorgeschlagen und mittels Simulation mit kalibrierten Komponentenmodellen und unter Berücksichtigung von monatlichen Primärenergiekonversionsfaktoren bewertet.

Die Wohnhausanlage am Bauplatz D12 in der Seestadt **Aspern** mit 204 geförderten Mietwohnungen, 8 Lokalen und nutzungsneutralen Räumlichkeiten ist als Holzriegelkonstruktion auf Stahlbeton mit einer Holzfassade ausgeführt. Wärmepumpen (WP) und Solarsysteme liefern Wärme, wobei drei unterschiedliche Wärmequellen für die WP genutzt werden: Garagenfortluft, Grundwasser und Erdreich. Das Konzept der „Mehrfach-Wärmequellen“ gewährleistet eine hohe Redundanz und Verfügbarkeit des Gesamtsystems. Das energetische Betriebsverhalten der Wohnhausanlage wurde über eine messtechnische Langzeitbeobachtung analysiert und ausgewertet. Die Erdreich- und Grundwasser-gekoppelten Wärmepumpen liefern etwa vier Fünftel der nachgefragten Wärmemenge.

Ein Bestandsgebäude im dritten Wiener Gemeindebezirk, dessen Art-déco-Fassade unter Denkmalschutz steht, wurde saniert und mit einem modernen Neubau zu einem architektonisch ansprechenden Gebäudekomplex verbunden und zu einem NZE-Gebäude entwickelt. Das Bauvorhaben wurde während der Planungsphase über das Förderprojekt (PEAR) wissenschaftlich begleitet. Eine signifikante Verkürzung der Inbetriebnahme durch Voruntersuchungen und Optimierungen der Regelungsstrategien der HLK-Anlagen wurde erreicht. Wesentliche Erkenntnisse und Projektierungsgrundlagen wurden geliefert, inwiefern der Gebäudebetrieb energieoptimiert gestaltet werden kann. Einerseits wurde die Anwendbarkeit der entwickelten Konzepte am Testgebäude **Post am Rochus** demonstriert und andererseits ist durch den generischen Ansatz eine Übertragbarkeit auf andere Gebäude gegeben.

Im Projekt **soISPONGEhigh** wurden verschiedene Ansätze für Wärmeversorgungssysteme auf Basis einer Wärmepumpe in Kombination mit Sonnenenergie (Solarthermie oder Photovoltaik) unter Verwendung von Thermisch aktivierten Bauteilsystemen (TABS) für unterschiedliche Gebäudetypen anhand von detaillierten Systemsimulationen untersucht. Dabei wurden unter anderem

Regelungsstrategien entwickelt, die eine effiziente Beladung der TABS bei Einhaltung von komfortablen Raumtemperaturen erlauben. Die einzelnen Systemvarianten wurden anhand von definierten energetischen Kennzahlen bewertet.

Das Ziel des Projekts **COOLSKIN** war die Konzeption von dezentralen fassadenintegrierten Systemen zur Kühlung und Beheizung von Büroräumen auf Basis einer Kombination von gebäudeintegrierter Photovoltaik und Wärmepumpe. Für unterschiedliche Konfigurationen des Systems hinsichtlich der eingesetzten Komponenten und der Auslegung wurden Simulationen durchgeführt und Regelungsstrategien entwickelt. Ein Prototyp einer PV-betriebenen fassadenintegrierten Wärmepumpe wurde im Projekt gebaut und an der TU Graz im Rahmen eines Monitorings über 1.5 Jahre erfolgreich getestet.

6.2. Projekt NZEB Vögelebichl

6.2.1. Einleitung

Am Ende des Jahres 2020 müssen alle neuen Gebäude in der Europäischen Union (EU) nahezu Nullenergiegebäude (nZEBs) sein, um zur Erreichung der EU-Kohlenstoffneutralität bis 2050 beizutragen. Der Weg zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen von Gebäuden ist lange bekannt: Minimierung des Energiebedarfs des Gebäudes durch passive Strategien und Energieeffizienzmaßnahmen sowie effiziente Anlagentechnik und Deckung des Energiebedarfs (ganz oder teilweise) durch Nutzung der Energieerzeugung vor Ort aus erneuerbaren Quellen (Voss et al., 2009). Obwohl die Optionen zur Erreichung hocheffizienter Gebäudehüllen gut bekannt sind und es kaum Zweifel gibt, dass das vielversprechendste HLK-System Wärmepumpen (WP) und Photovoltaik-Paneele (PV) umfassen muss (Wemhoener, 2009), (Ochs et al., 2019), gibt es dennoch Diskussionen über die optimale Systemauslegung, um nZEB zu erreichen. Dies stand im Mittelpunkt des IEA WPT Annex 49.

Der vorliegende Bericht entstand in diesem Rahmen und präsentiert die Ergebnisse, die durch die das langjährige Monitoring der beiden Mehrfamilien-Passivhäuser im Innsbrucker Stadtteil Vögelebichl erzielt wurden. Die Gebäude wurden von der lokalen Wohnungsbaugesellschaft Neue Heimat Tirol gebaut und sind das erste Mehrfamilienhausprojekt, das dem Passivhaus Plus-Standard (NHT, 2015) entspricht. Die Gebäude bestehen aus zwei Wohnblöcken mit jeweils sechzehn bzw. zehn Wohnungen. Beide Gebäudedächer sind mit Photovoltaik-Paneele bedeckt, während solarthermische (ST) Kollektoren partiell am Dach des Nordgebäudes aufgestellt wurden. Die mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung (MVHR) wird eingesetzt, um den hygienischen Luftwechsel zu garantieren und die Lüftungswärmeverluste zu begrenzen. Während der Planung lag der Fokus auf einer Niedertemperaturverteilung mit max. 25 °C für die Fußbodenheizung und separater Niedertemperaturverteilung für Warmwasser auf 52 °C Vorlauftemperatur mit dezentralen Frischwasser-Wärmeübertragern (bekannt als 2+2 Leiter System). Zusätzlich wurden die Leitungen sehr gut gedämmt. Heizung und Warmwasserbereitung (WW) werden von einer zentralen zweistufigen Grundwasser-Wärmepumpe (GWWP) bereitgestellt, die mit einem Heizungswasser-Pufferspeicher (PS) gekoppelt ist. Insbesondere ist zu bemerken, dass die Wärmepumpe mit einem zusätzlichen Wärmetauscher ausgestattet, der sich zwischen dem Auslass des Verdichters und dem Einlass des Verflüssigers (KND) befindet und das überhitzte Kältemittelgas kühlt. Dies ist als sog.

Enthitzerschaltung bekannt (ENH). Die Gebäude und das Heizsystem werden seit Beginn des Betriebs messtechnisch überwacht und liefern einen wertvollen Datensatz.

Die Gebäude wurde nicht nur so konzipiert, dass diese die höchsten Anforderungen an die Energieeffizienz erfüllen, sondern auch, um die Einsparung nicht erneuerbarer Primärenergie zu maximieren, indem der Energiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung und Belüftung durch die Versorgung mit erneuerbaren Energien vor Ort ausgeglichen wird (Dermentzis und Ochs, 2018), (Ochs et al., 2014). Daher wurde das Gebäude als Netto-Nullenergiegebäude (NZEB) konzipiert (und nicht als nZEB). Der Unterschied zwischen den beiden Definitionen ist gering, aber dennoch relevant. Unter Bezug auf die (EPBD, 2018) wird ein nZEB als ein Gebäude mit sehr hoher Energieeffizienz definiert, dessen nahezu Null-Energiebedarf zu einem sehr bedeutenden Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden sollte, einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die vor Ort oder in der Nähe erzeugt wird. NZEBs werden allgemein als netzgekoppelte Gebäude verstanden, bei denen die Energiebilanz zwischen dem Energiebedarf und der Energieerzeugung vor Ort über ein definiertes Zeitintervall (z.B. ein Jahr) Null ergibt (Sartori et al., 2012). Einerseits ist die Definition des nZEB weniger verbindlich, was es den Mitgliedsländern erlaubt, die Definition an ihre nationalen Gegebenheiten anzupassen, was jedoch zu inhomogenen Anforderungen zwischen den Ländern und dem Risiko unzureichender Anforderungen für Neubauten führt, wie von (Kurnitski et al., 2012), (BPIE, 2011), (Sartori et al., 2012) erwartet und kürzlich von (Garcia und Kranzl, 2018) nachgewiesen wurde. Auf der anderen Seite wird trotz der eher energiebezogenen und weniger politisch abhängigen Beschreibung von NZEB immer noch diskutiert, welches die angemessene Bilanz ist (z.B. geliefert/exportiert oder Last/Erzeugung), was die aussagekräftigsten Kennzahlen sind, abgesehen von der reinen Energiebilanz (z.B. Primärenergiefaktoren, äquivalente CO₂-Emissionen), um die tatsächlichen Umweltauswirkungen des Gebäudes zu bewerten (Sartori et al., 2012), (Ochs et al., 2017), ob der Verbrauch der Haushalte in der Bilanz berücksichtigt werden sollte und welche Auswirkungen die NZEBs auf die Stabilität und Qualität des Stromnetzes haben könnten.

Die Gebäude wurden als erste Gebäude weltweit durch das PHI als Passivhaus Plus Gebäude zertifiziert (Quelle NHT). Passivhaus Plus-Zertifizierung verlangt neben der Begrenzung des jährlichen Heizwärmebedarfs (15 kWh/(m²a)) einen begrenzten Bedarf an erneuerbarer Primärenergie (45 kWh/(m²a)) und die Erzeugung einer Mindestmenge an erneuerbarer Energie am Standort (60 kWh/(m_{grund}²a)) vorschreibt (Passipedia, 2015).

Der Arbeitsbereich für Energieeffizientes Bauen der Universität Innsbruck war seit der Planungsphase an dem Projekt beteiligt und hat seither das Gebäude weiter untersucht, was zu mehreren Analysen und Berichten führte, die in diesem Bericht zusammengefasst werden. Nach der Beschreibung der Fallstudie folgen die Monitoring-Ergebnisse. Zur Bewertung des Verbesserungspotentials und der Bewertung von alternativen Systemdesigns wurden Simulationsmodelle erstellt und anhand der Messdaten parametrisiert. Einige dieser Ergebnisse werden beispielhaft am Ende des Berichts vorgestellt. Für die Darstellung der Analyse der Monitoring-Daten und der Entwicklung des Simulationsmodells wird auf den englischen Originalbericht verwiesen.

6.2.2. NZEB Fallstudie

Die beiden NZEB Gebäude (Abbildung 6-1 und Abbildung 6-2) wurde gegen Ende 2015 in Betrieb genommen. Diese bestehen aus zwei Gebäudeblöcken: Der Nord block hat vier Stockwerke und umfasst sechzehn Wohnungen; der Südblock ist nur drei Stockwerke hoch und beinhaltet zehn

Wohnungen. Das Dach beider Gebäude ist mit PV abgedeckt, und ein Teil der Fläche des Nordblocks wird für Solarkollektoren genutzt. Der Technikraum befindet sich im Nordblock und die Verteilungsleitungen zum Südblock verlaufen in der Tiefgarage (Ochs et al., 2014).

Tabelle 6-1 enthält die wichtigsten Daten der Gebäude, und Abbildung 6-1 zeigt eine Ansicht der Gebäude.

Tabelle 6-1 – Gebäude-Daten.

		Nord Gebäude	Süd Gebäude
Anzahl Wohnungen	-	16	10
Energiebezugsfläche	[m ²]	1295.6	853.2
Design HWB	[kWh/(m ² a)]	11	14
Design Heizlast	[W/m ²]	11	13
Blower Door Test (n₅₀)	[1/h]	0.28	0.26
PV peak power	[kW]	8.5	16
PV Fläche	[m ²]	52.5	99.8
ST Fläche ²	[m ²]	73.6	-



Abbildung 6-1 – Ansichten der Gebäude (linker Nordblock, rechter Südblock). Mit freundlicher Genehmigung von Neu Heimat Tirol (NHT).

² Es handelt sich um die Aperturfläche bezogen auf eine Kollektorfläche von 80 m². Zu beachten ist, dass sich die Kollektoreffizienz auf die Kollektorfläche bezieht.



Abbildung 6-2 – Ansicht der Gebäude (links Nordgebäude, rechts Südgebäude). Mit freundlicher Genehmigung von Neu Heimat Tirol (NHT).

Gebäude HLK-System

Ein vereinfachtes Schema der HLK-Anlage ist in Abbildung 6-3 dargestellt. Es besteht aus zwei Teilen: dem Heizungssystem und dem Lüftungssystem. Die Lüftungsgeräte - eines im südlichen und zwei im nördlichen Gebäude - sorgen für eine hygienische Lüfterneuerung, wohingegen das Heizungssystem für die Raumheizung (SH) und die Warmwasserbereitung sorgt. Während der Sommerperiode ist eine passive Kühlung möglich, indem die Wärme über einen Wärmetauscher an den Grundwasserkreislauf abgegeben wird.

Das Heizungssystem besteht aus sechs Hydraulikkreisläufen, die jeweils mit einer oder mehreren Hydraulikpumpen ausgestattet sind. Es handelt sich um ST-Kreislauf, KND-Kreislauf, ENH-Kreislauf, Verdampfer-Kreislauf (VDP-Kreislauf), Grundwasser-Kreislauf (GW-Kreislauf), Warmwasser-Kreislauf und SH-Kreislauf. Alle Kreisläufe außer dem VDP- und GW-Kreislauf verbinden den Pufferspeicher (PS) mit den anderen Elementen des Systems, d.h. den ST-Kollektoren und der WP.

Bei der Planung des Systems wurde besonders auf die Limitierung der Verteilungsverluste geachtet, daher ist das Heizsystem so ausgelegt, dass es mit sehr niedriger Vorlauftemperatur (unter 30°C) arbeitet und die Leitungen hochwertig gedämmt sind (die Dämmdicke entspricht dem Rohrdurchmesser, Anmerkung: geplant bzw. empfohlen war ursprünglich 2facher bzw. mindestens 1.5facher Rohrdurchmesser).

Lüftungsanlage

Die Lüftungseinheiten (eine für das Südgebäude und zwei für das Nordgebäude) sind mit einem Wärmerückgewinnungs-Wärmeübertrager mit einer Effektivität laut Datenblatt von 81% ausgestattet. Der Wärmetauscher ist durch einen Solekreis, der vom Heizkreislauf versorgt wird vor Vereisung geschützt. Der Energieverbrauch für die Abtauung beträgt im Durchschnitt 450 kWh/a, was weniger als 1% des durchschnittlichen jährlichen Gesamt-Heizenergiebedarfs entspricht. Anmerkung: Der Energiebedarf für Frostschutz ist aufgrund der relativen hohen Innenraumtemperaturen und moderaten Außentemperaturen deutlich geringer als geplant und der Aufwand für die Frostfreihaltung ist nicht gerechtfertigt.

Pufferspeicher

Der Pufferspeicher (PS) speichert das Systemwasser für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung und wird durch die Wärmepumpe und die Solarkollektoren gespeist. Diese Konfiguration wird als Kombispeicher bezeichnet (Haller et al., 2014), um die Kombination von Wasser mit unterschiedlichen Nutztemperaturniveaus hervorzuheben und die Kosten für eine

zusätzliche Speicherung zu sparen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Kombispeicher Systemwasser anstelle von Trinkwasser speichern. Dieses wird in den Wohnungen mit dezentralen Warmwasser-Wärmeübertragern (sog. Frischwasserstationen) aufbereitet, sodass niedrigere Temperaturniveaus ermöglicht werden, wodurch sich sowohl eine bessere Effizienz der Wärmepumpe sowie der Solaranlage ergibt und gleichzeitig hygienische Warmwasserbereitung garantiert wird (Legionellen können sich nicht bilden).

Das gesamte Speichervolumen beträgt 6 m³ bei einem Durchmesser von 1,6 m. Der Speicher ist mit 30 cm Mineralwolle mit einem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten von 0,15 W/(m²K) gedämmt. Im Idealfall kann der Speicher in drei Teilvolumina aufgeteilt werden: der obere Teil speichert das Wasser für die Warmwasserbereitung, der mittlere Teil ist für die Raumheizung reserviert und der untere Teil nimmt den kälteren Rücklauf auf und dient als zusätzliches Speichervolumen für die Zeit in der die Solarkollektoren einen großen Beitrag leisten. Die Anschlüsse befinden sich jeweils am oberen und unteren Ende dieser Volumina.

Außerdem sind am Pufferspeicher (PS) Hüllrohre für Temperatursensoren angebracht, die zur Steuerung der Wärmepumpe (WP) notwendig sind, wie im folgenden Abschnitt erklärt wird. Die Position der Sensoren lässt auf das Volumen jedes Teils schließen. Tabelle 6-2 gibt die Position in Prozent der Höhe der Sensoren und Anschlüsse sowie das Gesamt- und Teilvolumen an. Um die Komfortbedingungen während der Warmwasserentnahme zu gewährleisten, ist ein Reservevolumen berücksichtigt, das sich zwischen dem Auslassanschluss und dem obersten Sensor ergibt. Eine Übersicht der Sensor- und Anschlusspositionen ist in Abbildung 6-3 dargestellt.

Tabelle 6-2 – Pufferspeichersensoren und Anschlüsse Positionen und Volumen.

	Position	Höhe (%)		Volumen [m ³]	
		Sensor	Anschluss	Teil	Gesamt
TWW	TWW Auslass	-	100	1.9	6.0
	oben-aus	86	94		
	oben-ein	68	69		
Heizung	mittel-aus	59	63	1.1	
	mittel-ein	50	48		
-	unten-aus	32	42	3.0	
	unten-ein	24	6		

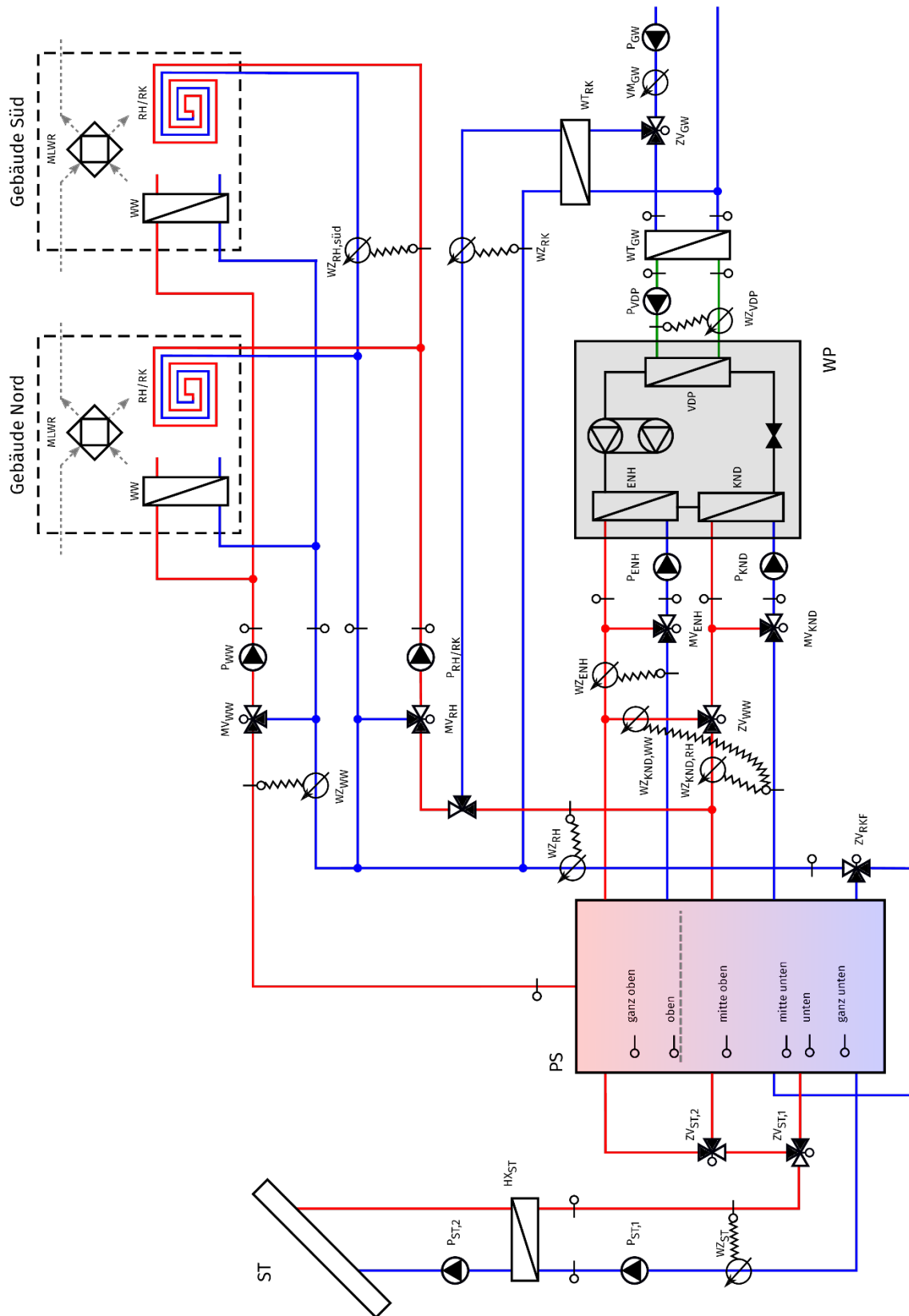


Abbildung 6-3 – Heizungs-System schematisch mit Sensoren. Es ist zu beachten, dass die dezentralen, Warmwasser-Wärmetauscher der Einfachheit halber durch einen einzigen Wärmetauscher dargestellt werden. Die Abkürzungen sind dem Abkürzungsverzeichnis zu entnehmen

Wärmepumpe

Wie bereits vorgestellt, wird eine zweistufige Wärmepumpe (WP) eingesetzt. Diese kann entsprechend auf zwei Leistungsstufen arbeiten, und ist mit einem zusätzlichen Wärmetauscher, dem Enthitzer (ENH), ausgestattet. Der Zweck des Enthitzers ist es, Wärme auf einem hohen Temperaturniveau zu liefern, ohne die Kondensationstemperatur zu erhöhen, und damit mit höherer Effizienz. Insbesondere liefert der Enthitzer gleichzeitig Warmwasser, während er im Heizungsbetrieb arbeitet. In dieser Konfiguration soll der Enthitzer parallel zum Verflüssiger (KND) arbeiten. Daher findet keine Vermischung zwischen den beiden Strömen statt. Eine Ausnahme bildet der Warmwasser-Vorrangbetrieb, wenn beide Ströme zum obersten Einlass des Speichers geleitet und dort vermischt werden.

Die Wärmepumpe ist im Hinblick auf die prognostizierte Heizleistung - 58 kW Spitzenheizleistung im zweistufigen Betrieb (W₁₀W₃₅) im Vergleich zu 36 kW Designheizleistung - deutlich überdimensioniert (Ochs et al., 2019). Bemerkenswert ist, dass die mit dem PHPP prognostizierte Heizleistung recht gut mit der durch die Messung ermittelte Spitzenlast übereinstimmt. Außerdem ist zu beachten, dass die vom Hersteller verkaufte Wärmepumpe keinen Enthitzer enthielt, dieser jedoch vom Auftragnehmer vor der Installation hinzugefügt wurde. Monitoring- und Simulationsergebnisse, die in diesem Bericht folgen, deuten darauf hin, dass der Enthitzer unterdimensioniert und die Kältemittelfüllung unzureichend sein könnte. Vor einer endgültigen Beanstandung sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig, z.B. eine Druckmessung im Kältemittelkreislauf.

Die Features der Wärmepumpe erlauben theoretisch mehrere Regelungsoptionen, wie das von (Monteleone, 2019) entwickelte Diagramm in Abbildung 6-4 zeigt. Die Regelungsstrategie unterscheidet zwischen zwei Arbeitsmodi (Heizung und Brauchwasser), die jeweils zu zwei Optionen führen: ein einzelner Verdichter (Stufe 1) oder beide Verdichter (Stufe 2) laufen. Für jeden Stufenbetrieb gibt es die Möglichkeit, ob erwärmtes Wasser aus dem Enthitzer durch Steuerung des Mischventils an den Pufferspeicher abgegeben werden soll. Abbildung 6-4 zeigt die optimale Wärmepumpen-Regelung, wie sie von (Monteleone, 2019) vorgeschlagen wird. Dies stellt nicht die tatsächliche Situation dar, bei der der Enthitzer nur im Warmwasser-Vorrangbetrieb eingeschaltet ist, obwohl der Zweck des Enthitzers darin besteht, Warmwasser zu liefern, während die Wärmepumpe im Heizbetrieb arbeitet. Es wurde daher empfohlen, die Regelungseinstellung mit der von (Monteleone, 2019) vorgeschlagenen zu aktualisieren. Darüber hinaus schlug (Monteleone, 2019) vor, dass im Warmwasserbetrieb Verflüssiger und Enthitzer hydraulisch in Reihe und nicht parallelgeschaltet werden sollten, was den Anstieg der Kondensationstemperatur begrenzt und somit die Leistung verbessern würde.

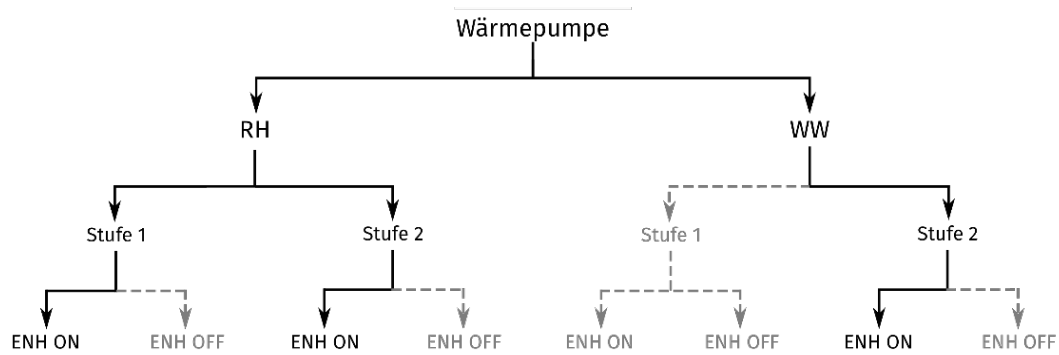


Abbildung 6-4 – Regelungsoptionen für Wärmepumpen (WP) (siehe (Monteleone, 2019); Grau gestrichelte Linien stellen theoretisch verfügbare, aber nicht implementierte Regelungsoptionen dar

Die Steuersignale werden auf der Grundlage der Temperaturanzeigen des Pufferspeichers berechnet: Immer wenn der oberste Fühler jedes Teilvolumens eine Temperatur unterhalb des Sollwerts anzeigt, sendet er das Signal zum Starten der Wärmepumpe. Diese schaltet sich wiederum, wenn das entsprechende Volumen beladen ist, d.h. wenn der untere Teil die Solltemperatur erreicht hat, aus. Das Warmwasser hat immer Vorrang vor der Heizung und die Wärmepumpe wird mit voller Leistung betrieben (d.h. beide Kompressoren arbeiten parallel). Die zweite Stufe wird gelegentlich auch im Heizmodus gestartet, um die Pufferspeicher-Ladung auf der Grundlage einer Proportional-Integral-Logik zu beschleunigen (Franzoi, 2020).

In der Studie von (Monteleone, 2019) wurde ein Simulationsmodell dieser Wärmepumpeneinheit realisiert und mit Monitoring-Daten parametrisiert. Es stellte sich heraus, dass es eine erhebliche Diskrepanz zwischen der vom Hersteller angegebenen Leistung und der vor Ort gemessenen Leistung gibt. Daher ist ein Monitoring des Kältemittelkreislaufs geplant, um die Ursache dieser Differenz zu identifizieren.

Die aus den Messungen ermittelten Kenndaten der Wärmepumpe sind in Abbildung 6-3 zusammengefasst, und eine vollständige Übersicht der Kennzahlen (Datenblatt und gemessene Werte) sind im Anhang 2 beigefügt.

Tabelle 6-3 – Daten der Wärmepumpe (WP) bei einer Quelltemperatur von 5°C (B5), einer Senktemperatur von 35°C 45°C und 55°C und einer konstanten Austrittstemperatur des Enthitzers (ENH) von 55°C für beide Stufen, gemessen (Monteleone, 2019).

Stage 1	B5W35	B5W45	B5W55
Elektrische Leistung [kW]	4.1	5.4	7.0
KND Leistung [kW]	19.2	16.3	13.0
ENH Leistung [kW]	1.1	2.9	4.8
COP [-]	5.0	3.5	2.6

Stage 2	B5W35	B5W45	B5W55
Elektrische Leistung [kW]	8.6	11.1	14.2
KND Leistung [kW]	35.7	30.1	24.1
ENH leistung [kW]	2.9	6.2	10.0
COP [-]	4.5	3.3	2.4

Heizungs- und Warmwasser Verteilungskreisläufe

Die Wohnungen werden mit Fußbodenheizungen beheizt. Das erwärmte Wasser wird den Wohnungen durch eine Pumpe mit variabler Geschwindigkeit zugeführt, die den Massenstrom regulieren soll, um einen konstanten Druckabfall aufrechtzuerhalten. Ein Mischventil steuert die Vorlauftemperatur auf der Grundlage einer Heizkurve, die zwischen 30°C für eine Umgebungstemperatur von weniger als -4°C und 22°C für eine Umgebungstemperatur von mehr als 13°C variiert. Die Versorgungsleitung für die Raumheizung geht vom Verflüssiger zum Pufferspeicher. Folglich kann die Raumheizung unter drei Bedingungen arbeiten:

- Direkt durch die Wärmepumpe aufgrund der ausgeglichenen Durchflussmengen,
- direkt durch die Wärmepumpe, die den Pufferspeicher lädt, wenn der Heizungs-Durchfluss geringer als der Verflüssiger-Durchfluss ist,
- oder vom Pufferspeicher, wenn die Wärmepumpe ausgeschaltet ist.

Wie bereits erwähnt, wird das Warmwasser in den Wohnungen durch Frischwasserstationen aufbereitet. Der Kreislauf wird durch eine zentrale Pumpe mit variabler Drehzahl angetrieben, die so gesteuert wird, dass der Druckabfall im Kreislauf konstant gehalten wird. Die Heizstation regelt die Durchflussmenge durch ein Thermostatventil auf der Grundlage der Entnahmesolltemperatur. Um ein schnelles Ansprechen der Station zu gewährleisten, wird eine Mindest-Durchflussmenge garantiert. Dies ist jedoch durch die Monitoring-Daten nicht nachvollziehbar.

Photovoltaik Paneele 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 von (Ochs et al., 2014), in der der optimale energetische Anteil von Photovoltaik Paneelen und Solarkollektoren für das Dach des Nordgebäudes ermittelt wurde. Das Diagramm in Abbildung 6-5 zeigt den Trend der Differenz zwischen dem elektrischen Energieertrags 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 et al., 2014), wobei die solarthermischen Kollektoren in der aktuellen Ausführung einen höheren Flächenanteil einnehmen.

In der Studie betonte (Ochs et al., 2014) 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, die Preise für Solarthermieanlagen haben jedoch eher stagniert.

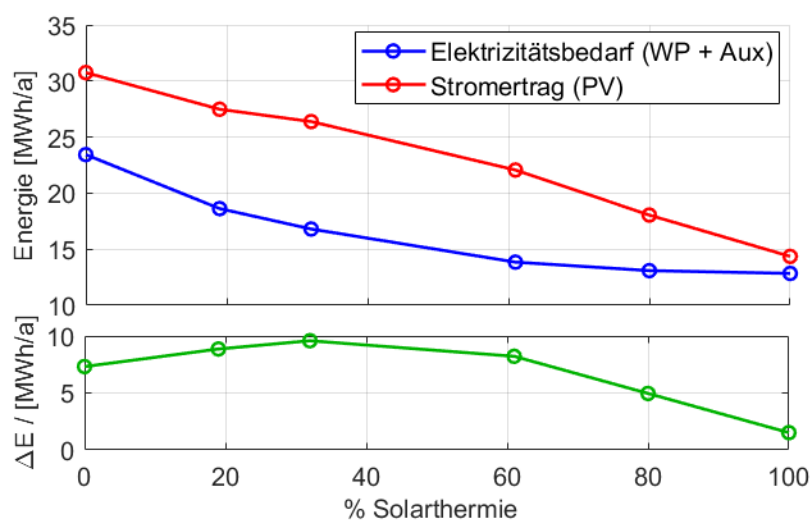


Abbildung 6-5 – Strombedarf für Wärmepumpe (WP) und Hilfsenergie (Aux) und PV-Energieerzeugung für beide Gebäude im Verhältnis zur solarthermischen Kollektorfläche auf dem Dach des Nordgebäudes. Die maximale Differenz zwischen Ertrag und Bedarf (ΔE) liegt bei etwa 30%, was 50 m² entspricht, im Gegensatz zu den tatsächlichen 80 m² (Ochs et al., 2014).

6.2.3. Monitoring

Es liegen umfangreiche Monitoringdaten für die Jahre 2016 bis 2019 vor. Der Schwerpunkt des Monitoring-Systems liegt auf der Messung der Effizienz der HLK-Systeme, aber auch der thermische Komfort im Südgebäude wird gemessen. Hier erfolgt eine Zusammenfassung, für Details wird auf den englischen Originalbericht für die IEA WPT A49 verwiesen.

Das erste Jahr des Monitorings scheint durch die Baufeuchte des Gebäudes beeinflusst worden zu sein, was zum bisher größten Heizwärmeverbrauch führte, obwohl 2016 nicht das kälteste Jahr war. Den Hauptanteil am Energieverbrauch in den Jahren 2017 und 2018 war der Warmwasserverbrauch während es im Jahr 2019 der Heizwärmeverbrauch war (Abbildung 6-6).

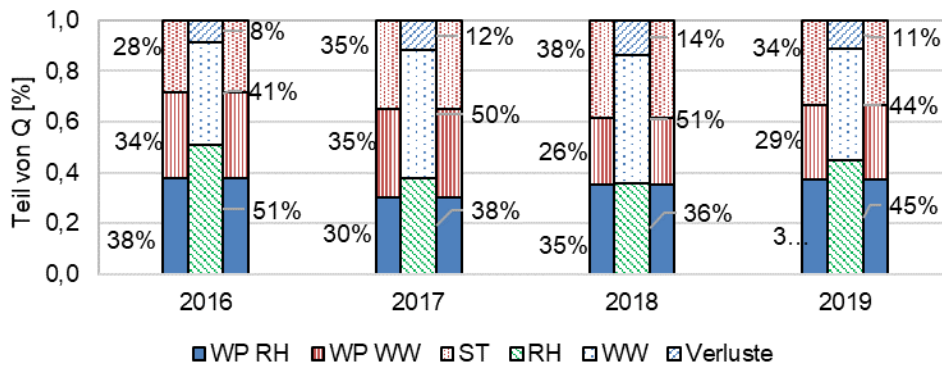


Abbildung 6-6 – Anteile der thermischen Energie (Raumheizung und Warmwasser) und Beiträge durch Wärmepumpe und Solarthermie in den Jahren 2016 bis 2019

Im Jahr 2018 lag die Innentemperatur über dem Standard Heizungs-Sollwert von 20°C, mit einem Mittelwert zwischen 22°C und 23°C. Der Medianwert der relativen Luftfeuchtigkeit lag über dem Grenzwert von 35% für zu trockene Räume.

In keinem der bisher untersuchten Jahre reichte die Stromerzeugung vor Ort aus, um den Energieverbrauch der HLK (Wärmepumpen inkl. Hilfsstrom) zu decken, d.h. die Netto-Null-Energiebilanz wurde bisher nie erreicht. Einer der Hauptgründe dafür ist der unerwartet hohe Energieverbrauch der Hilfsgeräte, vgl. Abbildung 6-7.

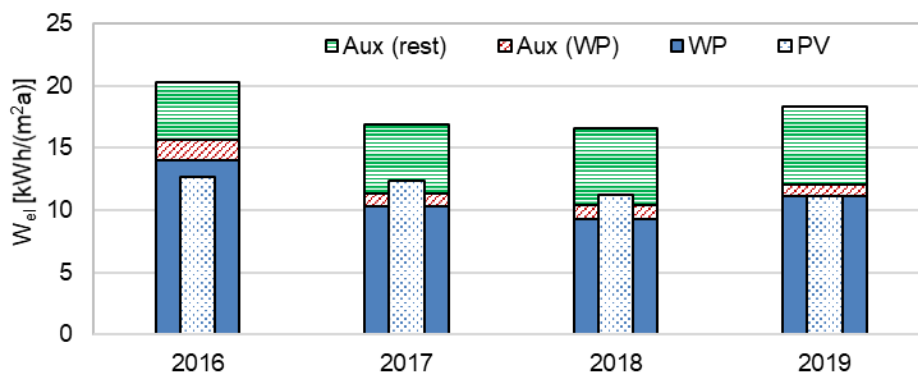


Abbildung 6-7 – Jahresbilanz der elektrischen Energie in den Jahren 2016 bis 2019

Das Monitoring der WP ermöglichte es, den Anteil der vom Kondensator (KND) und Enthitzer (ENH) gelieferten Wärme für die beiden Anwendungen (Raumwärme und Warmwasser) zu ermitteln. Beispielsweise befand sich im Jahr 2018 die Wärmepumpe im Raumheizmodus hauptsächlich in der "Stufe I" (34% bezogen auf die gelieferte Wärme), während in der "Stufe II" nur 8% der Wärme geliefert wurde. Darüber hinaus gab es 2018 trotz der Tatsache, dass der ENH die gleichzeitige Erzeugung von Warmwasser im RH-Betrieb ermöglicht, keinen Hinweis auf dieses Verhalten. Die Energiebilanzen des Pufferspeichers stellen den Anteil der Energie Zu- und Abflüsse dar. Bemerkenswert ist, dass die von der WP bei niedriger Temperatur (im RH-Modus) gelieferte Wärmeenergie niedriger ist als die für die Raumheizung erforderliche. Diese Differenz wird durch die Wärme gedeckt, die bei hoher Temperatur entweder von der WP im Warmwasserbetrieb oder von den ST-Solarkollektoren geliefert wird (Abbildung 6-8).

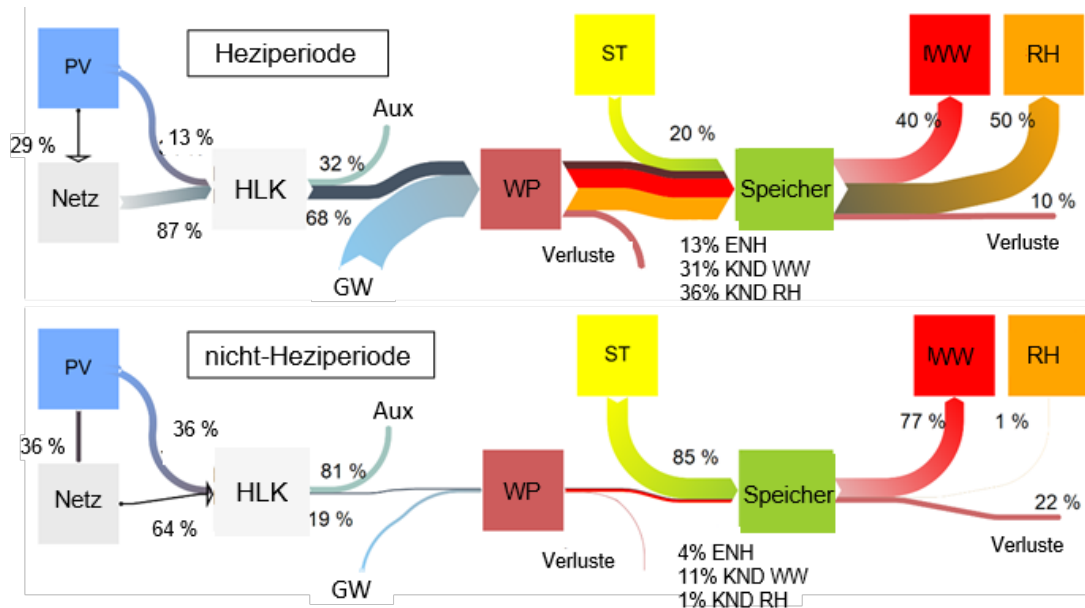


Abbildung 6-8 – Energieflussbild für das Jahr 2018

Die Photovoltaikanlage deckt rechnerisch unter der Annahme eines optimistischen Haushaltstrombedarfs von 1500 kWh/Wohnung und Jahr nur 13 % der für die HLK benötigten elektrischen Energie in der Heizperiode und 36 % außerhalb der Heizperiode.

6.2.4. Optimierung und alternative Systemdesigns

Die im Rahmen des Projekts entwickelten und parametrisierten Simulationsmodelle für die Komponenten (Wärmepumpe, Pufferspeicher, Gebäude) und das System, ermöglicht den Test verschiedener Regelstrategien und alternativer hydraulischer Systemkonfigurationen zur Minimierung des Energieverbrauchs (Details zu den Modellen und deren Parametrisierung sind im englischen Originalbericht für die IEA WPT A49 zu finden). Im Folgenden werden die Simulationsergebnisse einiger Variationen der Regelungsstrategie und einiger alternativer Systemdesigns vorgestellt. Zuerst wird die Regelungsstrategie getestet, die in Abschnitt 2.1.3 vorgeschlagen wurde. Das Heizsystem wird auch ohne den Beitrag von solarthermischen Kollektoren simuliert. Der Abschnitt endet mit der Vorstellung zweier alternativen Designs.

Simulation der Verbesserung der Kontrollstrategie

Es wurde eine leichte Änderung der Kontrollstrategie untersucht, die es ermöglicht, den Enthitzer immer eingeschaltet zu lassen. Als Ergebnis wird erwartet, dass sich der Enthitzer-Beitrag erhöht, was zu einer Energieeinsparung führen würde. Um dies zu testen, wird das Referenzmodell unter Anwendung der verbesserten Regelstrategie simuliert, um seinen Nutzen abzuschätzen.

Insbesondere ist der Enthitzer bei allen Wärmepumpen-Betriebsmodi eingeschaltet (d.h. Heizung in Stufe 1 und 2 und Warmwasserbetrieb) und der Massenstrom wird durch ein Mischventil gesteuert, das dafür sorgt, dass der Vorlauf die Pufferspeichertemperatur am Eingang erreicht. Diese wird um 1 K erhöht, um eine inverse Thermokline zu vermeiden.

Diese Änderung der Regelungsstrategie führt tatsächlich zu einer Einsparung an elektrischer Energie, wenn auch nur von 1 % aufgrund des hohen Anteils an Warmwasser bezogen auf den Heizwärmeverbrauch (d.h. im Jahr 2018 waren es 60 %).

Referenz ohne Solarkollektoren

Wie (Ochs et al., 2014) betonten, könnte die vollständige Abdeckung mit Photovoltaik Paneelen wirtschaftlich optimal und der energetische Unterschied vernachlässigbar sein.

Die energetischen Auswirkungen des Austauschs der solarthermischen Kollektoren durch zusätzliche Photovoltaik Paneele können durch Simulationen des Referenzmodells unter Vernachlässigung des solarthermischen Beitrags untersucht werden. Ohne die solarthermischen Kollektoren sollte auch das Speichervolumen und die Höhe der Verbindung geändert werden. Diese Analyse zielt jedoch darauf ab, eine Schätzung des Anstiegs des Energieverbrauchs unter besonderer Berücksichtigung der Heizperiode zu liefern, und nicht darauf, die optimale Konfiguration des Referenzsystems ohne Solarkollektoren zu bestimmen. Abbildung 6-9 zeigt den Vergleich des monatlichen Stromverbrauchs der Wärmepumpe. Der Stromverbrauch der Wärmepumpe ohne Solarkollektoren steigt beträchtlich an (38% mehr jährlicher Gesamtstromverbrauch), hauptsächlich weil der Warmwasserbedarf im Sommer durch die Wärmepumpe gedeckt werden muss. Auch in den kältesten Monaten ist ein leichter Anstieg des Energiebedarfs zu verzeichnen, mit einem maximalen Anstieg von 6% im Januar.

Wenn man bedenkt, dass die Konfiguration ohne Solarkollektoren nicht optimiert ist, gibt es weiteren Raum für Effizienzverbesserungen, um den Energieverbrauch weiter zu senken. Darüber hinaus könnte die durch die Kollektoren eingenommene Fläche durch zusätzliche Photovoltaik Paneele abgedeckt werden, um den zusätzlichen Verbrauch abzudecken.

Tabelle 6-4 zeigt die Jahreswerte des Verbrauchs, der Erzeugung und der Bilanz für die betrachteten Fälle. Die elektrische Bilanz aus dem Fall mit mehr Photovoltaik Paneelen ergibt etwas niedrigere Werte als die Referenz, was darauf hindeutet, dass in diesem Fall die solarthermischen Kollektoren möglicherweise nicht erforderlich sind. Es müsste jedoch für einen vollständigen Vergleich der Strombezug aus dem Netz mit den entsprechenden Primärenergiefaktoren berücksichtigt werden und (thermischer, elektrischer) Speicher vor Ort sollte berücksichtigt und optimiert werden.

Tabelle 6-4 – Jährlicher elektrischer Energieverbrauch, PV- Energieerzeugung und Bilanz für den Referenzfall, den Referenzfall ohne ST und den letzteren Fall mit einer größeren PV-Fläche.

	Referenz	Referenz ohne ST	Referenz ohne ST mit zusätzlicher PV
Jahresverbrauch [kWh/(m ² a)]	14.3	19.7	19.7
PV Jahresertrag [kWh/(m ² a)]	12.0	12.0	17.5
Jahresbilanz [kWh/(m ² a)]	2.3	7.7	2.2

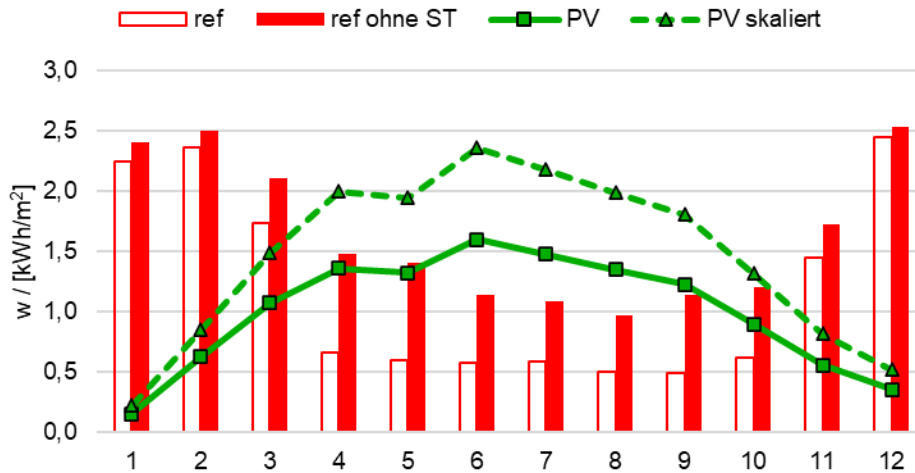


Abbildung 6-9 – Vergleich des monatlichen Gesamtverbrauchs an elektrischer Energie (WP+Aux) des Referenzmodells (ref) und der Referenz ohne den Beitrag der solarthermischen Kollektoren (ref w/o ST). Die Linien stellen den elektrischen Energieertrag durch Photovoltaik Paneele im Ist-Zustand und skaliert unter Berücksichtigung der Ausnutzung der von den Kollektoren eingenommenen Fläche dar.

Theoretisches Potential vom Enthitzer

Die theoretische elektrische Energieeinsparung durch den Einsatz eines Enthitzers wird von (Ochs et al., 2019) zwischen 1% und 9% geschätzt. Sie ergibt sich für verschiedene Verhältnisse von Warmwasser- zum Heizbedarf und einem Enthitzer-Beitragsfaktor f_{DSH} (typischerweise zwischen 5% und 15%), unter Berücksichtigung des Referenz-Elektrizitätsverbrauchs

$$W_{tot,ref} = \frac{Q_{DHW}}{SPF_{DHW}} + \frac{Q_H}{SPF_{SH}}$$

und dem Verbrauch mit Enthitzer

$$W_{tot,DSH} = \frac{Q_{DHW} - Q_{DHW,DSH}}{SPF_{DHW}} + \frac{Q_H + Q_{DHW,DSH}}{SPF_H}$$

Dabei wird der Beitrag des Enthitzers berechnet als

$$Q_{DHW,DSH} = f_{DSH} \cdot Q_H$$

Abbildung 6-10 (links) zeigt ein Schema einer vereinfachten typischen Dauerlastkurve mit Anteilen für Heizung und Warmwasser und hervorgehoben der mögliche Beitrag eines Enthitzers. Abbildung 6-10 (rechts) zeigt den Trend der elektrischen Energieeinsparung, wobei die typischen Werte des Verhältnisses von Heiz- zu Warmwasser-Energiebedarf für Niedrigenergiehäuser (NH), Passivhäuser (PH) für Einfamilienhäuser (EFH) oder Mehrfamilienhäuser (MFH) gezeigt werden. Wie aus Abbildung 6-10 hervorgeht, ist die Energieeinsparung durch den Enthitzers größer, wenn der Anteil an Warmwasser gering im Vergleich zur Heizenergie ist; daher kann ein größerer Nutzen für Gebäude erwartet werden, die weniger Energieeffizient sind als Passivhäuser.

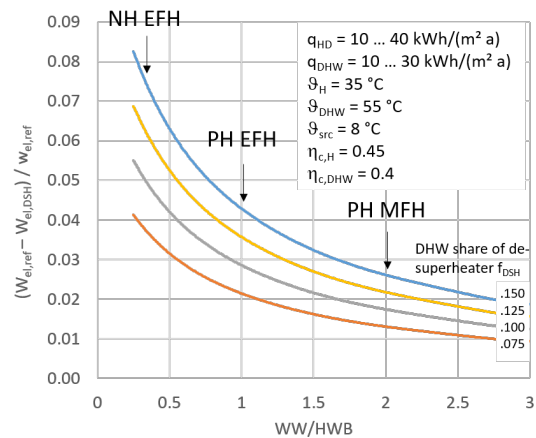
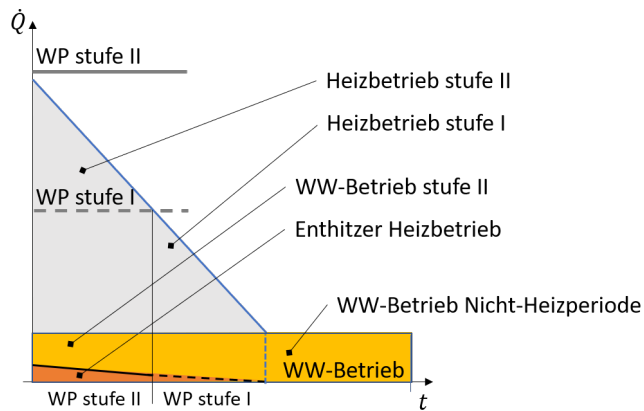


Abbildung 6-10 – **Links**: schematisch sortierte Lastdauerkurve (Grundlast Warmwasser und Spitzenlast Heizung) mit zweistufiger Wärmepumpe mit möglichem Anteil des Warmwasserbeitrags des Enthitzers im Heizbetrieb. **Rechts**: theoretische Reduktion des Stromverbrauchs durch den Einsatz eines Enthitzers in Abhängigkeit vom Verhältnis von Warmwasser- (WW) und Heizwärmebedarf (HWB), entsprechend Niedrigenergiehaus- (NH) und Passivhaus- (PH) Standard für Einfamilienhaus (EFH) oder Mehrfamilienhaus (MFH) mit dem Warmwasseranteil des Enthitzers f_{DSH} als Parameter (Ochs et al., 2019).

Alternative Systemkonzepte und Designs

In diesem Abschnitt werden mögliche Vereinfachungen des Hydraulikkonzepts vorgestellt. Ziel ist es, Systemdesigns zu entwickeln, die sowohl die thermischen Verluste reduzieren als auch den Hilfsenergieverbrauch und den Stromverbrauch der Wärmepumpe berücksichtigen. Auch wenn die thermischen Verluste in dieser Arbeit nicht genau modelliert werden, stehen sie nachvollziehbarerweise in Zusammenhang mit der hohen Anzahl der Anschlüsse an den Speicher und seinem großen Volumen. Wenn nun berücksichtigt wird, dass die Hälfte des Speichervolumens während des Sommers für den solarthermischen Beitrag reserviert ist, wäre eine mögliche Lösung zur Reduzierung der Verluste ein Konzept ohne solarthermische Kollektoren, mit dem Effekt, dass auch Wärmebrücken aufgrund von Anschlüssen reduziert werden. Weitere Gründe für ein Konzept ohne solarthermische Kollektoren sind ihr geringer Beitrag zur Heizung, wie im vorigen Abschnitt aufgezeigt wurde, und der Energieüberschuss durch große Photovoltaik-Paneele im Sommer, der effektiv für die Warmwasserbereitung genutzt werden könnte. Daher ist der gemeinsame Aspekt der Optimierungskonfigurationen ein Konzept ohne solarthermische Kollektoren zu Gunsten einer größeren Photovoltaik Fläche. Der erhöhte Photovoltaik Energieertrag kann proportional zum Flächenverhältnis der tatsächlichen monatlichen elektrischen Energieversorgung durch die Photovoltaik Paneele hochgerechnet werden. Jedoch müssen auch in diesem Fall ausreichend große Speicherkapazitäten vor Ort berücksichtigt werden, um zu starke Netzinteraktionen zu vermeiden. Es ist zudem anzumerken, dass die thermischen Kollektoren einen positiven Einfluss haben können, wenn die Wärmequelle für die Wärmepumpe limitiert ist (z.B. Entzugsenergie Erdreich, limitierte Grundwasserentzugsmenge).

Der übermäßige Verbrauch an Hilfsenergie könnte einfach durch eine Verringerung der Anzahl der Kreislauftpumpen und die Implementierung einer Temperaturregelung durch drehzahlregelte Pumpen, anstelle von Mischventilen, angegangen werden, die elektrische Energie sparen, wenn der erforderliche Massenstrom niedriger als die Nennbedingung ist.

Außerdem sind die Vorteile einer zweistufigen Wärmepumpe unklar, und trotz des theoretischen Potentials eines Enthitzers gibt es in den Messdatendaten keinen eindeutigen Nachweis. (Hengel et al., 2016) zeigten durch Tests verschiedener Wärmepumpen mit Enthitzer Konfigurationen, dass der Enthitzer zu einer Leistungsverbesserung führen könnte, aber wie oben gezeigt ist das Potential in Hocheffizienzgebäuden, wie z.B. in Passivhäusern limitiert. Jedenfalls ist es lehrreich, die Wärmepumpe in anderen Konfigurationen zu testen.

Unter Berücksichtigung der eben genannten Argumente scheinen folgende Konfigurationen am vielversprechendsten:

- a) direkte Raumheizung (RH);
- b) Kondensator-Enthitzer (KND-ENH) Reihenschaltung;

die in Abbildung 6-11 bzw. Abbildung 6-12 dargestellt und in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

Zu beachten ist, dass in diesen Fällen das Stromnetz als Tagesspeicher verwendet wird. Dies muss in einem nächsten Schritt im Vergleich zu thermischen (oder elektrischen) Speicherung vor Ort bewertet werden.

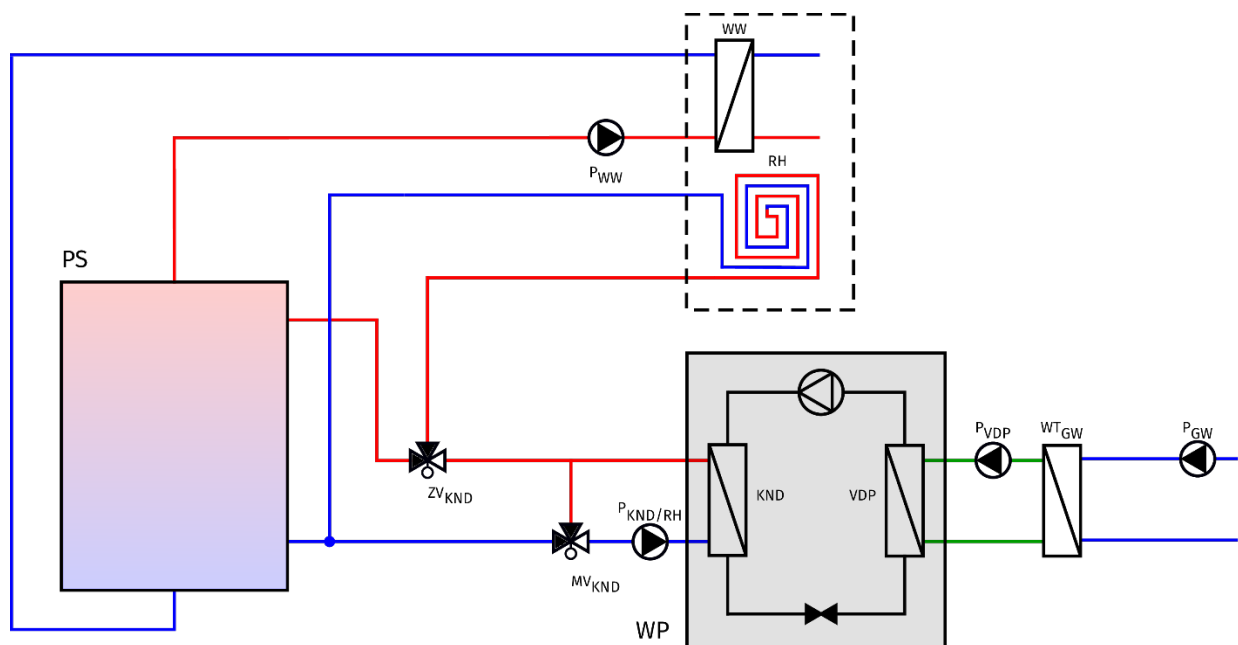


Abbildung 6-11 – Fall A: Wärmepumpe (WP), die direkt an die Raumheizung (RH) und den Pufferspeicher (PS) für Warmwasser angeschlossen ist, ohne Solarkollektoren (ST) ("direkte Raumheizung").

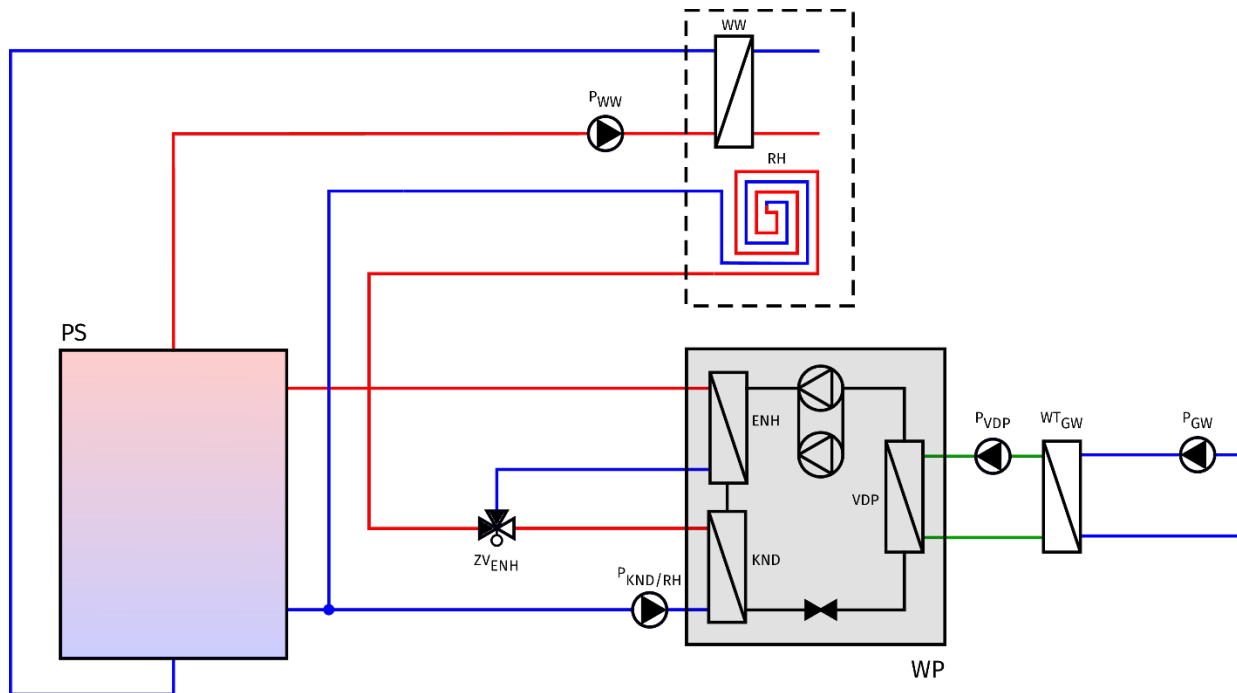


Abbildung 6-12 – Fall B: Wärmepumpe (WP) mit Reihenschaltung Kondensator (KND)-Enthitzer (ENH) und Pufferspeicher (PS) für Warmwasser, ohne Solarkollektoren (ST) ("KND-ENH Reihe").

Fall A: Direkte Raumheizung

In dieser Konfiguration ist die Wärmepumpe direkt mit der Raumheizung verbunden, und über ein Dreiwegeventil kann die Wärmepumpe den Pufferspeicher laden, der nur für Warmwasser verwendet wird und die Regelungsgrößen zum Auslösen des Warmwasser-Vorrangbetriebs liefert. Ein Mischventil regelt die Vorlauftemperatur des Kondensators, um den Sollwert für Warmwasser zu erreichen. Abbildung 6-11 zeigt schematisch dieses Anlagenkonzept.

Eine alternative Version dieser Konfiguration verwendet eine drehzahlregelte Pumpe anstelle eines Mischventils zur Regelung der Vorlauftemperatur im Warmwasserbetrieb. Die Pumpe fährt im Raumheizungsmodus mit maximaler Leistung, während sie beim Laden des Speichers moduliert, um den Vorlauftemperatur-Sollwert zu erreichen. Außerdem ermöglicht der Einsatz einer drehzahlregelten Pumpe die Anpassung der Durchflussmenge auf der Grundlage des Heizbedarfs des Gebäudes. Dieser Fall wird jedoch nicht berücksichtigt. Daher umfasst dieser Optimierungsfall zwei Varianten:

1. direkte Raumheizung mit Mischventil zur Temperaturregelung im Warmwasserbetrieb;
2. direkte Raumheizung mit einer drehzahlregelten Pumpe für die Temperaturregelung im Warmwasserbetrieb.

Die Wärmepumpe im Heizbetrieb wird in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur durch eine Hysterese-Regelung ($\pm 0,5$ K) geregelt, und es erfolgt keine Regelung der Vorlauftemperatur, die daher in Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur variiert. Es ist hervorzuheben, dass jedes simulierte Gebäude mit einer eigenen thermischen Zone modelliert wird, sich dadurch nur zwei zu regelnden Temperaturen ergeben, was in Wirklichkeit, wenn mehrere Wohnungen vorhanden sind, nicht der Fall ist. Dabei sollte auf die Wahl eines korrekten Regelparameters geachtet werden. Es

stehen mehrere Alternativen zur Verfügung, z.B. die Ablufttemperatur der Lüftung oder die Rücklauftemperatur der Fußbodenheizung, und es wäre interessant, diese Strategien weiter zu testen. Für diese Arbeit wird jedoch die Vereinfachung der Regelung auf der Grundlage der durchschnittlichen Lufttemperatur akzeptiert.

Die Regelung für das Warmwasser basiert auf der Speichertemperatur beim oberen Sensor, der die Wärmepumpe einschaltet, wenn die Temperatur unter den Sollwert fällt, und der Speichertemperatur beim unteren Sensor, der die Pufferspeicher Ladung stoppt. Sowohl der oberste Fühler als auch der Anschluss sind tiefer als die eigentliche Oberseite des Pufferspeichers angeordnet, um das für die Komfortbedingungen erforderliche Reservevolumen zu gewährleisten (siehe Tabelle 5.1). Der Warmwasser-Sollwert beträgt 52°C , was der aktuellen mittleren Warmwasser-Vorlauftemperatur des aktuellen Fallbeispiels entspricht. Entsprechend regelt das Mischventil die Vorlauftemperatur des Kondensators, um den Sollwert zu erreichen. Der Speicher wird so geladen, dass er unten 48°C erreicht. Es wird angenommen, dass der neue Speicher die gleichen thermischen Eigenschaften wie der ursprüngliche Speicher hat, bei einem Volumen von $1,5\text{ m}^3$ und einem Durchmesser, der so gewählt ist, dass die Seitenfläche minimiert sind.

Die Wärmepumpe wird durch eine einfachere ohne Erhitzer und mit einem einzigen Kompressor ersetzt. Ein weiterer Grund für die Wahl einer neuen Wärmepumpe ist, dass die ursprüngliche Wärmepumpe für die erforderliche Heizleistung überdimensioniert ist. Die neue Wärmepumpe wird wie in 4.2 dargestellt modelliert, wobei die angenommenen Leistungskennfelder vom Hersteller zur Verfügung gestellt und im Anhang 2 angegeben werden.

Fall B: Verflüssiger- Erhitzer-Reihe (KND-ENH Reihe)

Die Parallel-Verbindung für Kondensator- und Erhitzeranschluss ist im Warmwasserbetrieb nicht vorteilhaft. Da die Kreisläufe getrennt sind, muss die Kondensationstemperatur auf den Warmwasser-Sollwert (z.B. 55°C) angehoben werden, was zu einer Verringerung der Wärmepumpenleistung führt. Eine bessere Option wäre die Möglichkeit der Reihenschaltung zwischen Verflüssiger (KND) und Erhitzer auf der Sekundärseite, zumindest für die Warmwasserbereitung, was eine niedrigere Kondensationstemperatur garantieren würde (Monteleone, 2019), (Ochs et al.)

Die in Abbildung 6-12 dargestellte Reihenschaltung wird in Folge beschrieben. Um das Schema einfach zu halten, wird auf dem Kondensatorvorlaufzweig ein Umlenkventil installiert, das einen Teil des Kondensatorvolumenstroms in den Erhitzer umleitet und gleichzeitig für die Heizung und Warmwasser liefert. Der Anteil des Massenstroms, der im Erhitzer umgewälzt werden muss, hängt vom Erhitzer-Ausgangstemperatur-Sollwert ab. In diesem Fall wird dieser so geregelt, dass die um 1 K erhöhte Speichertemperatur in der Höhe des Einlasses erreicht wird, um eine Schichtung zu gewährleisten. Im Warmwasser-Vorrangbetrieb leitet das Ventil den Durchfluss vollständig zum Erhitzer um. Ohne Temperaturregelung würde zu Beginn des Warmwasser-Vorrangbetriebs der Speicher mit einer niedrigen Vorlauftemperatur geladen werden, was zu einer Vermischung führen würde und somit eine längere Ladezeit zur Folge hat. Folglich muss eine Temperaturregelung erfolgen, die in diesem Fall wie bei der zweiten Variante des Optimierungsfalls "direkte Raumheizung" durch Variation des Pumpenvolumenstroms erfolgt. Der Pufferspeicher hat die gleichen Eigenschaften wie der vorherige Fall.

Die für diesen Fall verwendete Wärmepumpe ist die gleiche wie des Referenzmodells, leicht modifiziert, um den Massenstromanteil als Kennfeld und nicht die Erhitzer-Eintrittstemperatur zu

verwenden. Die neuen Leistungskennlinien wurden mit Hilfe des von (Monteleone, 2019) entwickelten stationären Modells ermittelt und, wie in (Franzoi, 2020) vorgestellt, angepasst.

Simulationsergebnisse alternatives Systemdesigns

Abbildung 6-13 zeigt den monatlichen Wärmepumpen-, Hilfs- und Gesamtverbrauch an elektrischer Energie für den Referenzfall und die alternativen Designs.

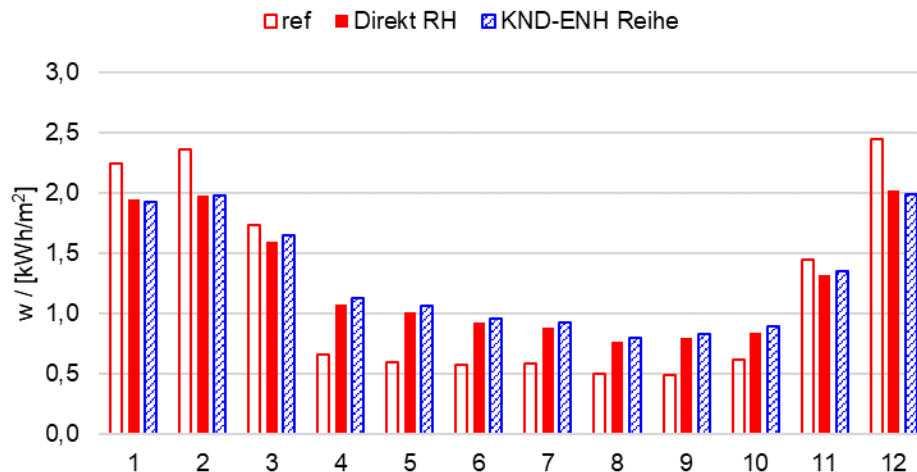


Abbildung 6-13 – Vergleich des gesamten elektrischen Energieverbrauchs (WP+Aux) für die alternativen Systemauslegungsfälle Referenzfall (ref), direkte Raumheizung (direkt RH) und der Verflüssiger- Enthitzer-Reihenschaltung (KND-ENH Reihe).

Bei der Variante "direkte Raumheizung", in der die Temperaturregelung durch das Mischventil erfolgt, ist der Energieverbrauch um 2% höher als im Fall der drehzahlregulierten Pumpe, daher wird erstere im Vergleich nicht berücksichtigt. Der Anstieg des Energieverbrauchs bezieht sich jedoch nur auf den höheren Hilfsenergiebedarf, während die Wärmepumpe gleich viel verbraucht. Daher hat in diesem Fall die Temperaturregelung mit Mischventil oder drehzahlregulierter Pumpe keinen Einfluss auf die Leistung der Wärmepumpe.

Es ist auch zu beachten, dass der Heizwärmebedarf (HWB) des Gebäudes bei den alternativen hydraulischen Ausführungen im Vergleich zum Referenzfall leicht abnimmt (um 3 %). Dies ist eine Folge der unterschiedlichen Verbindungen zwischen den Endgeräten und der Wärmepumpe. Der Unterschied des Heizbedarfs reduziert auch die benötigte elektrische Energie, wenn auch nur unwesentlich.

In beiden alternativen Fällen ist der Energieverbrauch im Sommer aufgrund des fehlenden solarthermischen Beitrags höher. Trotzdem ist der Verbrauch während der Heizperiode im Vergleich zum Referenzfall geringer. Die "KND-ENH-Reihe" schneidet dank des Enthitzers in den kältesten Monaten etwas besser ab als die Konfiguration "direkte Raumheizung". In der Tat ist bei hohem Heizwärmebedarf auch die gleichzeitige Vorbereitung des Warmwassers höher, wodurch die Zeit nur für den Vorrang des Warmwassers reduziert wird, was der Effizienz der WP schadet. In den übrigen Monaten ist die ursprüngliche Wärmepumpe weniger effizient als das in der Konfiguration "direkte Raumheizung" installierte Gerät (d.h. $SPF = 3,2$ anstelle von $SPF = 3,4$ außerhalb der Heizsaison). Die jährlichen Jahresarbeitszahlen (SPF) für die "direkte Raumheizung" und die "KND-ENH-Reihe" sind in beiden Fällen gleich ($SPF = 4,1$), während für den Referenzfall $SPF = 3,9$ ist. Der Anteil der Hilfsgeräte

am Gesamtverbrauch wird dank der reduzierten Anzahl von Umwälzpumpen für beide optimierten Designs verringert.

In Anbetracht der Tatsache, dass der jährliche elektrische Energieverbrauch für die "KND-ENH-Reihe" etwas größer ist (11,4 kWh/(m²a)) als für die Konfiguration "direkte Raumheizung" (10,9 kWh/(m²a)) und dass letztere in Bezug auf die hydraulische Verschaltung und die zu installierenden Komponenten einfacher ist, wird für den untersuchten Fall eine alternative Auslegung vorgeschlagen. Dennoch muss darauf hingewiesen werden, dass die Leistung von Heizungsanlagen in Gebäuden mit einem höheren Verhältnis zwischen Heiz- und Warmwasserbedarf von der Anwesenheit des Enthitzers profitieren könnte.

Dank der größeren Photovoltaik-Energieerzeugung und des reduzierten Anteils der Hilfsgeräte kann die jährliche Netto-Null-Energiebilanz in beiden optimierten Designs, wie in Abbildung 6-14 dargestellt, trotz des im Vergleich zum Referenzfall größeren Wärmepumpen-Energiebedarfs erreicht werden.

Abbildung 6-15 vergleicht die Jahresbilanz der Varianten. Die alternativen Fälle schneiden in allen Monaten besser ab als die Referenz. Allerdings ist die Netto-Null-Bilanz auch für die alternativen Fälle während der Wintermonate weit davon entfernt, erreicht zu werden, und die Jahresbilanz ist dank des großen Energieüberschusses im Sommer kleiner als Null.

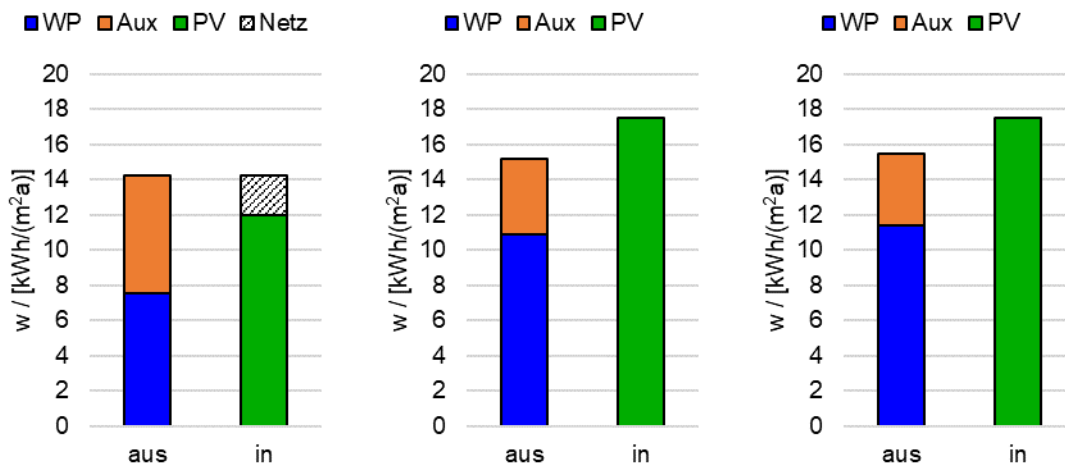


Abbildung 6-14 – Jährliche elektrische Energiebilanz für den Referenzfall (links), den Fall der direkten Raumheizung (Mitte) und den Fall der Verflüssiger-Enthitzer-Reihe (rechts).

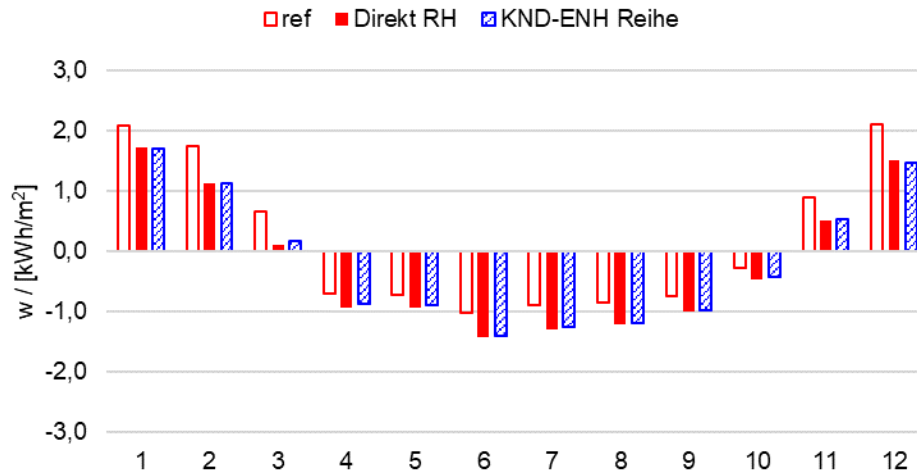


Abbildung 6-15 – Monatliche elektrische Energiebilanz für Referenzfall (ref), direkte Raumheizung (RH) und alternative Systemauslegungsfälle der Kondensator-Enthitzer-Reihe (KND-ENH Reihe).

Kritische Diskussion von Netto-Null-Energie-Gebäuden

Durch die Analyse der Simulationsergebnisse können einige Schlussfolgerungen über das Erreichen einer Netto-Null-Energiebilanz gezogen werden, insbesondere hinsichtlich der Wirksamkeit bei der Reduzierung der gebäudebezogenen CO₂-Emissionen und der Berechnungsgrenze für die Energieflüsse.

Wie bereits erwähnt, wird die Erreichung der Netto-Null-Energiebilanz in den alternativen Fällen hauptsächlich dank des großen PV Überschusses während der Sommermonate erreicht. Da der Anteil erneuerbarer Energien am Netz in den Wintermonaten gering ist, und in den Sommermonaten das Gegenteil zutrifft, ist das Erreichen der Netto-Null-Energiebilanz auf Jahresbasis irreführend und stellt kein geeignetes Mittel zur Gewährleistung geringerer CO₂-Emissionen dar. Ein alternatives Bewertungskriterium zur Quantifizierung des Dekarbonisierungseffekts eines Gebäudes könnte die jährliche Bilanz der nicht erneuerbaren Primärenergie sein, in der die an das Netz verkaufte überschüssige Energie vernachlässigt wird und die unter der Annahme monatlich abhängiger Umrechnungsfaktoren gemäß (Ochs und Dermentzis, 2018) (Tabelle 6-5

Tabelle 6-5) ermittelt wird. Dies unterstreicht, wie wichtig es ist, die Leistung des Gebäudes in den Wintermonaten zu maximieren, wenn die Erzeugung erneuerbarer Energie vor Ort am geringsten ist, anstatt den Energieüberschuss im Sommer als vorteilhaft zu betrachten.

Tabelle 6-5 – Monatlich variable, nicht erneuerbare Primärenergiefaktoren für zwei Erzeugungsszenarien unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Anteils von Wasser-, Wind- und photovoltaischer Energie gemäß (Ochs und Dermentzis, 2018). Die angenommenen nicht erneuerbaren Primärenergiefaktoren für Wasser-, Wind-, PV- und fossile Energie sind jeweils $f_{nren,hydro} = 0.01 \text{ kWh}_{PE}/\text{kWh}_{el}$, $f_{nren,wind} = 0.05 \text{ kWh}_{PE}/\text{kWh}_{el}$, $f_{nren,PV} = 0.1 \text{ kWh}_{PE}/\text{kWh}_{el}$ and $f_{nren,fossil} = 2.4 \text{ kWh}_{PE}/\text{kWh}_{el}$. Die Monatswerte werden berechnet als $f_{nren} = \sum_i f_{nren,i} W_{el,i} / W_{el,tot}$.

Szenarios	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
A (10-10-10)	2.01	1.96	1.89	1.60	1.33	1.20	1.18	1.28	1.53	1.78	1.92	2.01
B (10-30-30)	1.53	1.42	1.23	0.50	0.08	0.08	0.08	0.08	0.33	0.98	1.33	1.54

Tabelle 6-6 zeigt den jährlichen Primärenergieverbrauch für den Referenz- und Alternativfall unter Berücksichtigung des "Szenarios A" von Tabelle 6-5, zusammen mit dem gesamten jährlichen elektrischen Energieverbrauch, dem Photovoltaik-Erzeugungsertrag und der Bilanz. Sowohl der Fall A als auch der Fall B reduzieren den Primärenergieverbrauch des Referenzfalls um ein Drittel, aufgrund des geringeren Verbrauchs und des größeren Photovoltaik- Ertrags im Winter.

Tabelle 6-6 – Jährlicher Gesamtstrombedarf, Stromerzeugung der Photovoltaik Paneele (PV) (bezogen auf die Bodenfläche), Strombilanz und Bilanz der nicht erneuerbaren Primärenergie.

	W_{el} [kWh/(m ² a)]	W_{PV} [kWh/(m ² a)]	ΔW_{el} [kWh/(m ² a)]	PE_{nren} [kWh/(m ² a)]
Referenz	14.3	12.0	2.3	14.8
„Direct SH“	15.2	17.5	-2.3	9.9
„KND-ENH series“	15.5	17.5	-2.0	9.9

Abbildung 6-16 zeigt den monatlichen Bedarf an elektrischer Energie, wenn der Haushaltsverbrauch in der Energiebilanz berücksichtigt wird. Für die Schätzung des Verbrauchs von Haushaltsgeräten und Beleuchtung wird ein recht optimistischer Wert von 1500 kWh/a pro Wohnung - im Gegensatz zu einem geschätzten Verbrauch in der Europäischen Union (EU) von 3.200 kWh/a pro Wohnung - wie in Ochs et al. (2017) gewählt (Allgemeinstrom für Aufzüge, etc. wird vernachlässigt). In diesem Fall reicht der Photovoltaik - Erzeugungsertrag kaum aus, um den monatlichen Strombedarf, insbesondere für die Monate in der Heizperiode, zu decken. Dies unterstreicht einmal mehr, wie wichtig es ist, die Anstrengungen auf die Reduzierung des Verbrauchs und die Maximierung der Effizienz des Heizsystems im Winter zu konzentrieren, um seine Abhängigkeit vom Netz zu begrenzen. Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob der Aufwand zur Optimierung der Regelung für den Photovoltaik-Selbstverbrauch relevant wäre, wenn man berücksichtigt, dass er direkt für den Energiebedarf der Haushaltsgeräte verwendet werden könnte. Daher sollte für eine korrekte Analyse eine vernünftige Annahme zu Nutzungsprofilen des Haushaltsstromverbrauchs einbezogen werden.

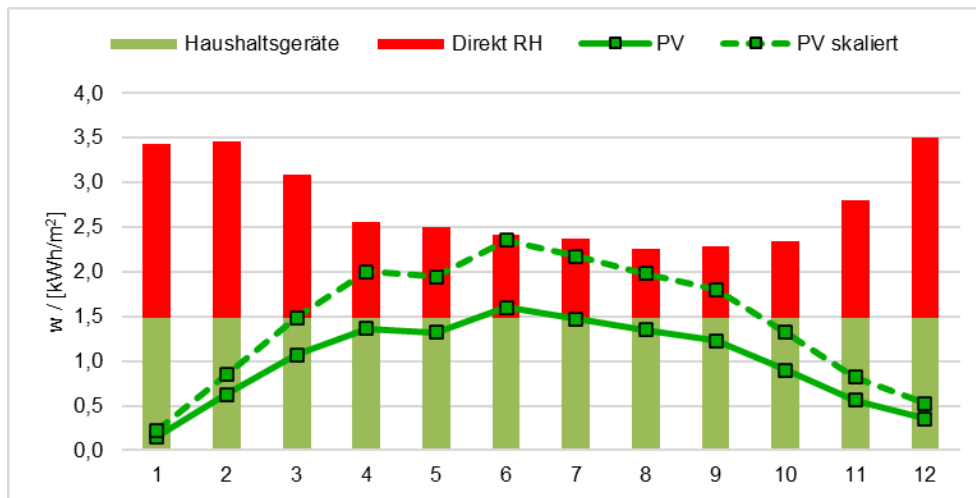


Abbildung 6-16 – Monatlicher Gesamtverbrauch an elektrischer Energie mit Geräten zur direkten Raumheizung (RH).

6.3. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Der vorliegende Bericht teilt die Erfahrungen, die der Arbeitsbereich für Energieeffizientes Bauen der Universität Innsbruck während des jahrelangen Monitorings und der Analyse des Mehrfamilien-Passivhauses "Vögelebichl", das zur Erreichung des ehrgeizigen Ziels des Netto-Nullenergiehauses gebaut wurde, bisher gesammelt hat.

Die Monitoring-Daten gaben einen Einblick in die wichtigsten Fragen der Konstruktion und Inbetriebnahme, wie sie in der englischen Originalversion dieses Berichts (für die IEA WPT Annex 49) dargestellt sind. Ein parametrisiertes Simulationsmodell zunächst der Wärmepumpe und des Pufferspeichers, dann des Gebäudes und des Heizsystems ermöglichte es, vorläufige Tests zur Optimierung durchzuführen. Daraus abgeleitet wurden Vorschläge für alternativer Systemkonfigurationen und Designs sowie Regelungsstrategien. Die korrekte an die Gebäude angepasste Dimensionierung lässt sich zudem aus den Modellen ableiten.

Die Arbeit wird fortgesetzt, um die kritischen Aspekte, die sich aus der Analyse des Monitorings ergeben haben, weiter zu analysieren. Das Simulationsmodell wird zur Untersuchung optimaler Regelungsstrategien des tatsächlichen Heizsystems eingesetzt, insbesondere im Hinblick auf die Regelung der zweistufigen Wärmepumpe. Die Studie über den Zielkonflikt zwischen Solarthermie und Photovoltaik wird unter Berücksichtigung der Kosten und der verschiedenen Wärmeerzeugungseinheiten, z.B. Luftquelle Wärmepumpen, und unter Berücksichtigung der Netzinteraktion erweitert werden.

Die in dieser und den folgenden Arbeiten vorgestellten Ergebnisse sind eine wertvolle Quelle für die Anleitung zur richtigen Integration von Wärmepumpen in nZEBs, um eine maximale Ausnutzung der Technologie zur Erzielung der höchsten Leistung und Minimierung der Umweltbelastung durch das Gebäude unter der Vorgabe der Kostenoptimalität zu gewährleisten.

Danksagung: Das Projekt Vögelebichl wurde durch die Neue Heimat Tirol und die Tiroler Landesförderung finanziell unterstützt.

6.4. Nationale nZEB Fallstudien

6.4.1. Projekt Post am Rochus

Hintergrund und Forschungsprojekt PEAR

Aktuelle Wetter- und Klimaveränderungen machen Diskussionen um zukünftige Baustandards wie Netto- oder Nahezu-Nullenergie (Nearly Zero Energy Buildings NZEB) Gebäude wieder an. Einerseits führen Wetterkapriolen zu einem erhöhten Klimabewusstsein und festgelegte nationale und andererseits führen vereinbarte und beschlossene Klima- und Energieziele zu politischen und regulatorischen Vorgaben hinsichtlich Energieeffizienz und der Nutzung von erneuerbaren Energiequellen. Mit den Änderungen der Klimabedingungen wird erwartet, dass moderne Bürogebäude hinsichtlich ihrer thermischen Behaglichkeit darauf angemessen reagieren können. Um diese Herausforderungen mit technischen Mitteln zu meistern, spielen die Prozesse der Planung, des Baus, der Inbetriebnahme und des Betriebs eine entscheidende Rolle und erfordern somit Ihrerseits selbst eine hohe Qualität.

Ziel dieser Kurzfassung ist es, wesentliche Erkenntnisse aus dem österreichischen Forschungsprojekt PEAR³ zu berichten und Empfehlungen und Verbesserungen für zukünftige Bauprojekte zu geben. Der Schwerpunkt liegt auf der erweiterten Nutzung von Simulationsmodellen/-ergebnissen insbesondere in den ersten Betriebsjahren eines Gebäudes, um komplexe, haustechnische Systeme frühzeitig energieeffizient zu betreiben und den Nutzerkomfort sicher zu stellen. Die Auswertung von erfassten Monitoring-Daten sowie die Beschreibung der innovativen Methode "*Controller in the Loop*" sind nicht Bestandteil dieser Kurzfassung. Der publizierte Endbericht zum Forschungsprojekt ist auf der Online Plattform Nachhaltig Wirtschaften zu finden (Hauer, et al., 2019).

Das Ziel des Bauherrn war es, ein modernes, komfortables Gebäude mit sehr hohen Standards hinsichtlich Nachhaltigkeit und Energieeffizienz nicht nur in der Betriebsphase, sondern auch während der Ausführungsphase und der Inbetriebnahme zu erhalten. Daher wurde die Möglichkeit, das Hochbauprojekt mit einem Forschungsprojekt zu umrahmen, sehr geschätzt und auch unterstützt. Ziel war die Verkürzung der Inbetriebnahme Phase durch eine sehr detaillierte Untersuchung und Optimierung der Regelungsstrategien der HLK-Anlagen zusammen mit dem beteiligten Planungs-, Bau- und Betriebsprojektteam des Projektes "Post am Rochus" (PEAR). Die Ergebnisse sollten nicht nur übersichtlich dokumentiert werden, sondern die entwickelten Strategien sollten auch schon im Vorfeld mit der realen Hardware getestet werden und so zeit- und kostenintensive Fehlerbehebungen vermieden bzw. reduziert werden. Der Auftragnehmer war ebenfalls aktiv an dem Forschungsprojekt beteiligt und trug hauptsächlich zur Umsetzung der Kontrollstrategie bei. Das folgende Kapitel beschreibt kurz den Prozess der Regelstrategieentwicklung.

³ PEAR "Prüfstand für energieeffiziente Automation und Regelung von Gebäuden" (FFG-Projektnummer 850122)



Abbildung 6-17: Rendering des Gebäudes Post am Rochus (Quelle: Post AG).

Tabelle 1 listet die wesentliche Gebäudedaten der Post am Rochus auf. In Bezug auf das Energie- und HLK-System sind folgende Highlights des Projektes hervorzuheben:

- Drei hocheffiziente Kompressionskältemaschinen mit je 1 MW Leistung,
- Möglichkeit der Wärmerückgewinnung während der Kühlperiode (Nachheizregister bei der Entfeuchtung),
- Nutzung eines 320 m³ großen Sprinklerwasserbeckens als Kältespeicher zur freien Kühlung (über Rückkühler)
- Betonkernaktivierung zur Kühlung
- Lüftungszentralen sind mit einer latenten und sensiblen Rückgewinnung (Enthalpie Rotor mit Bypass) ausgestattet.

Die Heizenergie für die Betonkernaktivierung und die Gebläse Konvektoren wird aus dem örtlichen Fernwärmenetz geliefert. Die Warmwasserbereitung erfolgt dezentral durch Elektrodurchlauferhitzer.

Tabelle 1: Gebäudedaten Post am Rochus [AIT]

Art des Gebäudes	Büro & Verkaufsflächen
Ort	Wien
Baubeginn	2015
Bauherr	Post AG
Architekt	Schenker Salvi Weber Architekten ZT GmbH (feld72 architekten zt gmbh)
Nutzfläche	40,000 m ²
Heizwärmebedarf (Energieausweis)	4,88 kWh/m ² a (Büro), 6,15 kWh/m ² a Verkaufsflächen
Kühlenergiebedarf (Energieausweis) demand	16,51 kWh/m ² a (Büro), 12,75 kWh/m ² a Verkaufsflächen
Kälteübertragungssystem	Thermische Aktivierung von Bauelementen für die Büros, einige Sonderflächen sind mit Kühldecken ausgestattet
Kaltwasserproduktion	Drei Hocheffiziente Kompressionskältemaschinen (jede 1 MW Heizleistung)
Heizsystem	Anschluss an das lokale Fernwärmenetz Warmwasserbereitung über dezentrale elektrische Durchflusserhitzer
Raumlufttechnische Anlage	Zentrale Luftaufbereitung. Nutzung von latenter und sensibler Wärmerückgewinnung (Enthalpyrotor mit bypass)
Innovation	Wissenschaftliche Begleitung durch Forschungsprojekt PEAR Thema: Zeitliche Verkürzung der Inbetriebnahmen und Einregulierung
Auszeichnungen	Staatspreis Architektur in der Kategorie "Verwaltung".

Wesentliche Erkenntnisse

Eines der Hauptziele war die drastische Verkürzung der Phase der Inbetriebnahme. Der Probetrieb konnte aufgrund von Verzögerungen im Bauprozess nicht wie geplant stattfinden, da das Gebäude schnell bezogen wurde. Basierend auf den Erfahrungen des Projektes wird eine erfolgreiche Inbetriebnahme durch folgende Faktoren unterstützt:

- Funktionales Qualitätsmanagement auf Komponentenebene
- Korrekte Funktion des gesamten Hydrauliksystems einschließlich eines umfangreichen hydraulischen Abgleichs
- Bereitstellung einer übersichtlichen Dokumentation für die Inbetriebnahme Phase aller wesentlichen Komponenten (Gebäudeautomation, Energieeffizienz-/Leistungsziele, Sollwerte, etc.)

- Definition geeigneter Gesamtregelungsstrategien und Betriebsarten für das Gesamtsystem.

Um einen effizienten Betrieb des Systems zu gewährleisten, wird außerdem empfohlen, ein Qualitätsmanagementsystem für die Phase des Probetriebs zu installieren. Daher müssen die wesentlichen zu prüfenden Betriebsarten und Verfahrensschritte gemeinsam mit den Regelungstechnikern klar definiert werden.

Danksagung: Das Forschungsprojekt „PEAR“ wurde im Rahmen der 2ten Ausschreibung des Programmes ‚Stadt der Zukunft‘ 2015 vom Ministerium für Verkehr, Innovation und Transport gefördert.

6.4.2. Projekt aspern seestadt D2

ASCR

Die Aspern Smart City Research GmbH & Co KG (ASCR) ist ein Joint Venture zwischen einem Netzbetreiber, einem internationalen Technologieunternehmen, einem Energieerzeugungs- und -versorgungsunternehmen und der Stadt Wien. Das Testbed Aspern Smart City Research, das im Stadtentwicklungsgebiet "Seestadt Aspern" vor den Toren Wiens angesiedelt ist, konzentriert sich auf Energiemanagement, intelligente Gebäude, intelligente Netze, intelligente IKT und intelligente Nutzer.



Abbildung 6-18: Fotografien des Wohngebäudekomplexes D12 in aspern/ Wien (© Hertha Hurnaus).

Das Wohngebäude - Aspern Seestadt EBG D12

Das Wohngebäude " Aspern Seestadt EBG D12" ist ein Block von 7 Gebäuden mit jeweils 4-6 Stockwerken, mit kommerzieller Nutzung im Erdgeschoss mit 8 Geschäften und 213 Wohnungen vom Erdgeschoss bis zu den oberen Stockwerken. Die Bruttogeschossfläche beträgt ca. 20.600 m², wobei 900 m² als Nichtwohnbereich vorgesehen sind. Unterhalb des Erdgeschosses wurden zwei Tiefgaragenebenen errichtet, wobei die Abluft dieser Parkplätze als Quelle für eine der 7 Wärmepumpen genutzt wird. Die Wohnungen sind mit einer Fußbodenheizung ausgestattet, d.h. geringe Heizleistungen und Vorlauftemperaturen sind möglich. Das Brauchwasser wird durch Frischwassermodul auf 60°C erwärmt, die durch den Hochtemperaturring (HT), der von HT-Wärmepumpen mit Heißwasser bis 70°C gespeist wird. Tabelle 2 listet die wesentlichen Gebäudedaten auf.

Das Heizungs- und Brauchwassersystem der Gebäude wurde speziell zur Unterstützung der Bedarfsbefriedigung mit einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen konzipiert, nämlich mit thermischen, photovoltaischen und hybriden Sonnenkollektoren sowie sieben Wärmepumpen, die Grundwasser, Abluft und oberflächennahe geothermische Wärmespeicher nutzen. Warmwasserspeicher sind die Kurzzeit-Wärmespeicher, während der langfristige Erdspeicher durch überschüssige Solarwärmeenergie belastet wird. Eine dynamisch thermische Simulationsstudie wurde mit Hilfe von TRNSYS⁴ durchgeführt, um eine Abschätzung für das Bedarfsreaktionspotential des Gebäudes zu erhalten. Das Modell wurde weiterverwendet, um tatsächliche Regelungsstrategien zu entwickeln und zu testen und auch, um das Bedarfsreaktionspotenzial zu verifizieren, sobald es mit überwachten Daten validiert wurde. Die Gebäude sind seit März 2016 in Betrieb.

Tabelle 2: Faktenbox der Aspern Seestadt EBG D12 [Quelle -klimaaktiv]

Gebäudenutzung	Wohngebäude – Verkaufsflächen
Ort	Wien – Seestadt aspern
Fertigstellung	2016
Bauherrenschaft	EBG Gemeinnützige Ein- und Mehrfamilienhäuser
Architekten	querkraft architekten zt GmbH gemeinsam mit Berger+Parkkinen
Geschosse	6
Konditionierte Bruttogeschossfläche	19,080 m ²
Nutzfläche	15,689 m ²
Heizwärmebedarf (Energieausweis)	15,6 kWh/m ² BGF a
Primärenergiebedarf	87,4 kWh/m ² BGF a
CO₂-Emissionen (Energieausweis)	13,9 kgCO ₂ /m ² BGF a
Solartechnik	Solarthermie (90 kWth) and Solarhybrid thermisch (60kWth)
	PV (20 kWp) + Solarhybrid elektrisch (16 kWpel),
Storages	Erdspeicher (40 MWhth), Heißwasserspeicher als thermische
Heizsysteme und	Solarkollektorsystem; Wärmepumpe, Fernwärmeanschluss
Raumluftechnische Anlage	Zentrale Luftbehandlung mit Wärmerückgewinnung
Innovationen	Demand-Response-fähig durch multiple Energiequellen
Zertifikate	ÖGNB

⁴ <http://www.trnsys.com/support/index.html>

Berechneter Energiebedarf

Die thermische Gebäudehülle ist hochwertig ausgeführt, kombiniert mit einer raumlufthechnischen Anlage mit Wärmerückgewinnung (Wirkungsgrad von 80%). Durch die technischen passiven Maßnahmen und die Anwendung der Regeln des österreichischen Energieausweises wurde der flächenspezifische Heizwärmebedarf mit einem Wert von 15,29 kWh pro m² BGF und Jahr berechnet (Angenommene 20°C Raumtemperatur). In der Planungsphase wurde der Zielwert von 23,4 kWh/m² a angestrebt.

Messtechnische Langzeitbeobachtung

Eine umfangreiche messtechnische Langzeitbeobachtung wurde zur Überprüfung des energetischen Betriebsverhaltens auf der Ebene der Energiesysteme und der Räume durchgeführt. Insbesondere wurde einerseits das thermische Lastverschiebepotenzial und andererseits das Verhalten der Bewohner untersucht. Aufgezeichnete und visualisierte Messdaten wurden zur Validierung und Kalibrierung von Simulationsmodellen (Gebäude und System) verwendet.

Die gemessene Wärme, die an die Wohnräume übertragen wurde (ohne Verteilungsverluste), wurde mit einem spezifischen Wert von **26,7 kWh/m²** (konditionierte Fläche) bestimmt. Dieser Wert übersteigt den Zielwert aus der Planungsphase. Eine häufige Fensterlüftung (anstelle der Nutzung der maschinellen Zwangslüftung mit Wärmerückgewinnung) führt zu einem höheren Heizwärmebedarf oberhalb der Heizgrenztemperatur ($T_{\text{Außenluft}} < 12^{\circ}\text{C}$) und weiters kam es zu mehr Aufenthaltsstunden durch die Nutzer als geplant.

Abbildung 6-19 zeigt die Aufteilung der gelieferten Wärme durch die verschiedenen Wärmeliefersysteme für das erste Betriebsjahr. Die grundwassergekoppelten Wärmepumpen lieferten rund 52% der nachgefragten Wärme, die Solarthermieanlage lieferte Wärme zur Regeneration des Erdwärmespeichers.

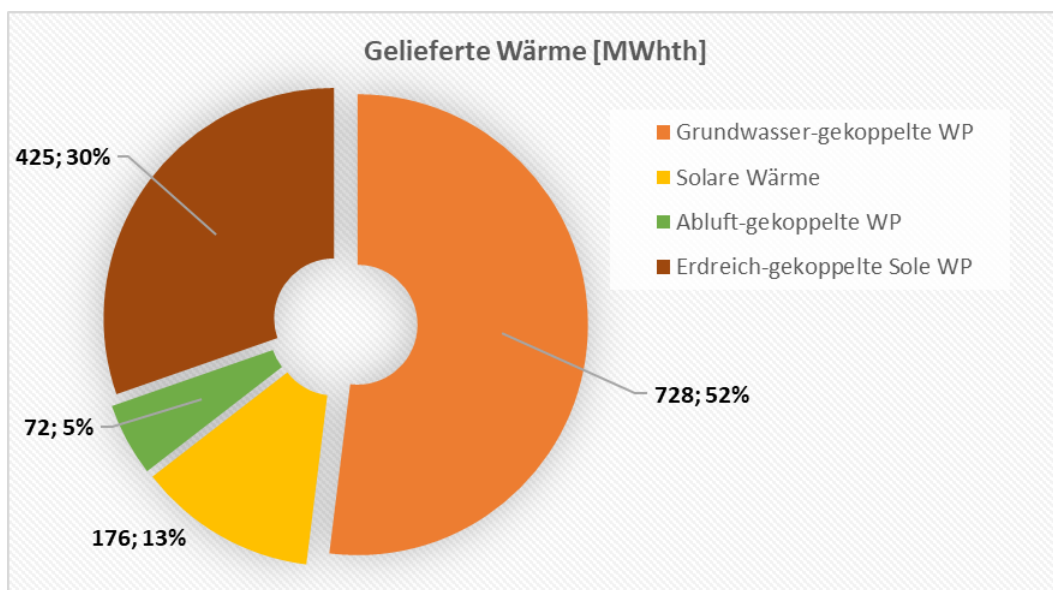


Abbildung 6-19: Zuteilung der gelieferten Wärme durch die unterschiedlichen Energietechnologien (Quelle: ASCR)

Danksagung: Das Project "Smart Cities Demo Aspern" (SCDA) wurde vom österreichischen Klima- und Energiefonds im Zeitraum April 2014 bis März 2017 gefördert.

6.4.3. Projekt COOLSKIN - Fassadenintegriertes Kühl- und Heizungssystem für Büroräume

Der Kühlbedarf von Gebäuden ist stetig im Steigen begriffen. Der vorherrschende Architekturstil mit großflächigen Verglasungen, gestiegene Nutzungsanforderungen sowie sich verändernde klimatische Bedingungen sind dabei die treibenden Kräfte. Derzeit übliche Kühlsysteme verbrauchen große Mengen an zum Großteil fossiler Energie und sind in ihrer technischen Planung und Umsetzung sowie der architektonischen Einbindung oftmals unbefriedigend. Dies ist einerseits durch die von Fall zu Fall individuell zu entwickelnden Systemkonfiguration begründet und ist andererseits bedingt durch die eingeschränkten baustellenseitigen Fertigungsmöglichkeiten. Im Gegensatz dazu bieten dezentrale Systeme die Möglichkeit eines hohen Vorfertigungsgrads und einer schnellen und einfachen Montage bzw. einer geringen Fehleranfälligkeit.

Das Ziel des Projekts COOLSKIN war die Konzeption von dezentralen fassadenintegrierten Systemen zur Kühlung von Innenräumen. Aufgrund der sehr guten zeitlichen Übereinstimmung des Strahlungsangebots der Sonne und der im Gebäude auftretenden Kühllasten, sowie der in den letzten zehn Jahren stark gesunkenen Kosten für Photovoltaikmodule, ist die Nutzung von Sonnenenergie für derartige Systeme naheliegend. Die auf die Fassadenfläche auftreffende Solarstrahlung wird direkt oder zeitversetzt in Kühlenergie umgewandelt und an den dahinterliegenden Raum abgegeben. Das System soll energietechnisch möglichst autark sein und somit möglichst wenig Energiezufuhr aus externen Quellen benötigen. Im Gegensatz zu konventionellen Kühlsystemen können nicht nur die Systemkomponenten, sondern das gesamte System zur Gänze industriell konfiguriert und vorgefertigt werden.

In der ersten Projektphase von COOLSKIN wurden verschiedene Systemkonfigurationen eines fassadenintegrierten Systems für den Ganzjahresbetrieb (Kühlen und Heizen) anhand detaillierter Systemsimulationen für einen beispielhaften 25 m² großen Büroraum in Graz, Österreich, analysiert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6-20 dargestellt, wobei unterschiedliche Systemvarianten betrachtet wurden, die netzunabhängige (oN) und netzgekoppelte (mN) Systeme, sowohl mit (mB) als auch ohne Batterie (oB), unterschiedliche Regelstrategien, PV-Flächengrößen und Batteriekapazitäten (C) umfassen. Die Bewertung erfolgte unter anderem anhand des Selbstversorgungsgrads (engl. Self Sufficiency Ratio) SSR und des Bezugs an elektr. Energie aus dem Netz $W_{el,sys,grid}$.

Die Ergebnisse zeigen, dass die betrachteten netzunabhängigen Systeme in der Lage sind, den angenommenen Büroraum ausreichend zu kühlen, auch wenn keine Batterie installiert ist und ≥ 6 m² PV-Fläche an der Fassade vorhanden ist. Im Heizbetrieb zeigen sich ohne Netzkopplung deutliche Vorteile durch den Einsatz einer Batterie, da im Heizbetrieb wesentlich höhere Raumtemperaturen gehalten werden können, als dies ohne Batterie möglich ist. Auch bei den netzgekoppelten Systemen führt der Einsatz einer Batterie zu einer deutlichen Verbesserung des Selbstversorgungsgrades SSR, sowohl im Kühl- als auch im Heizbetrieb. Eine Abhängigkeit der Ergebnisse von der Batteriekapazität zeigte sich dabei im betrachteten Bereich (C=500 bis 2000 Wh) vor allem im Heizbetrieb.

Zur Steigerung des Selbstversorgungsgrads bzw. Reduktion des Strombezugs aus dem Netz wurde eine angepasste Regelungsstrategie (ctr) untersucht, bei der abhängig von der Verfügbarkeit von PV-Ertrag die Soll-Raumlufttemperatur variiert wird. Dies führt sowohl beim System mit als auch ohne Batterie zu einer deutlichen Erhöhung des PV-Stromanteils. SSR kann für den Kühlbetrieb beim System ohne Batterie mit 6 m² PV von 69 auf 94% und beim Heizen von 15 auf 36 % erhöht werden.

Beim System mit Batterie und gleicher PV-Fläche ergibt sich ebenfalls eine Steigerung. Hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit ergeben sich durch diese Regelungsstrategie zwar kleine Nachteile, insgesamt bleiben die Raumtemperaturen aber in einem annehmbaren Bereich.

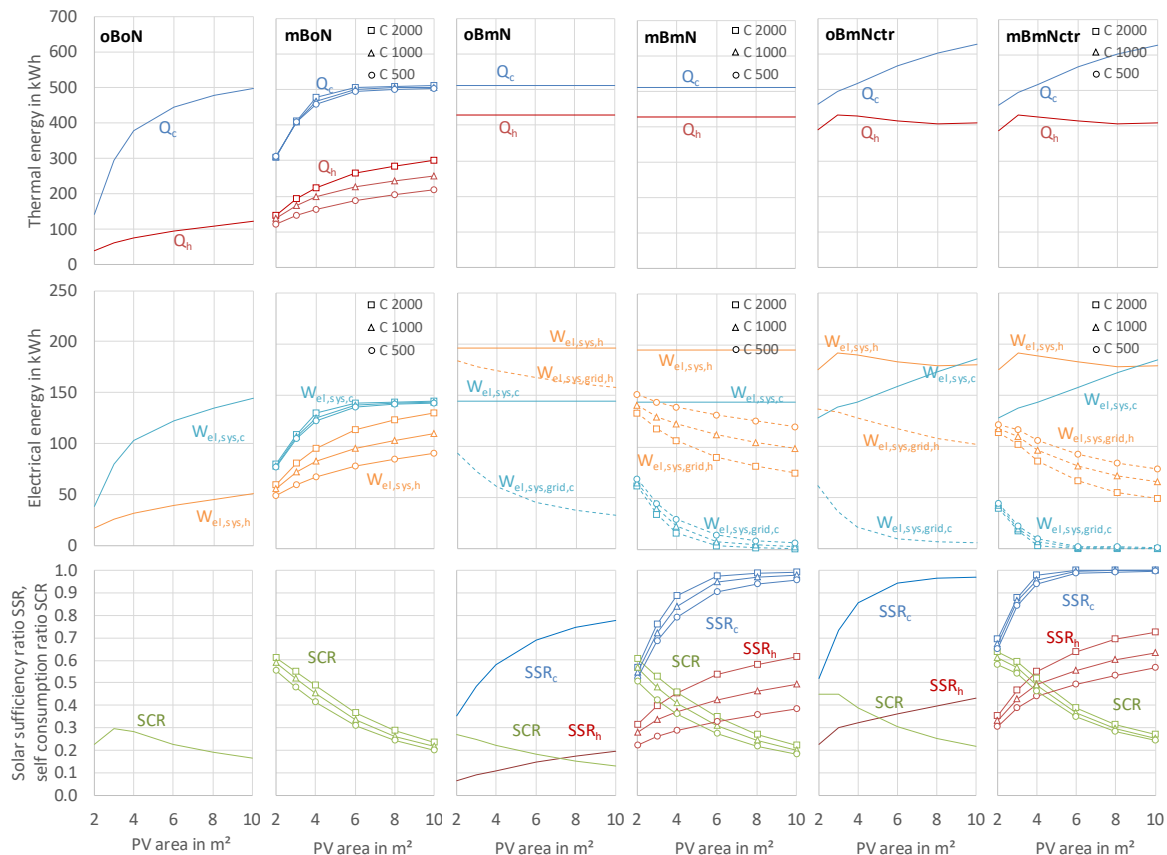


Abbildung 6-20: Simulationsergebnisse der berechneten Varianten, getrennt nach Heiz- (h) und Kühlbetrieb (c)

Die Simulationen zeigen, ebenso wie der im Projekt durchgeführte Feldtest (hier nicht beschrieben), dass eine vollständig netzunabhängige Betriebsweise erwartungsgemäß auch deutliche Nachteile im Betrieb mit sich bringt. Einerseits bleiben in Zeiten hoher solarer Einstrahlung potentielle Erträge ungenutzt. Andererseits fehlen in strahlungsarmen Perioden oftmals nur geringe Mengen an elektrischer Energie, um die Behaglichkeit im Raum aufrecht erhalten zu können, die auch vom Netz bezogen werden könnten. Der Einsatz einer Batterie hat sich besonders im Heizbetrieb als vorteilhaft erwiesen, da hier naturgemäß die Heizlast und der Solarertrag zeitlich nicht gut zusammenfallen. Die Systemsimulationen haben aber gezeigt, dass das System auch ohne den Einsatz einer Batterie gut funktionieren könnte. Dies ist insbesondere darum von Interesse, da sich eine Batterie bei den durch diese erzielbaren energetischen Einsparungen und den aktuellen Investitionskosten (ca. 600 bis 1000 €/kWh) und Strompreisen wirtschaftlich nicht rechnet. Auch der Platzbedarf für eine Batterie in der Fassade und sicherheitstechnische Aspekte sprechen gegen die Integration eines elektrischen Speichers.

Danksagung: Das Projekt COOLSKIN (FFG-Projekt-Nr. 848871) wurde vom Österreichischen Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Energieforschungsprogramms 2014 durchgeführt.

6.4.4. Projekt solSPONGEhigh - Hoher Solarer Deckungsgrad durch thermisch aktivierte Bauteile

Die im folgenden dokumentierten Arbeiten beschreiben die Beiträge aus dem Projekt solSPONGEhigh „Hohe solare Deckungsgrade durch thermisch aktivierte Bauteile im urbanen Umfeld“ für den Annex 49 durch das Institut für Wärmetechnik der TU Graz. Der Endbericht zum genannten Projekt (Heimrath et al., 2018) enthält detaillierte Informationen zu allen Randbedingungen und Annahmen und den durchgeführten Simulationsvarianten.

Der Vorgang der Wärmespeicherung in massiven Bauteilen der Gebäudekonstruktion wird als thermische Aktivierung bezeichnet. Diese stellt eine gute Möglichkeit zur zusätzlichen Wärmespeicherung dar. In Kombination mit solarthermischen bzw. solarelektrischen Anlagen kann ein hoher solarer Deckungsgrad des im Gebäude anfallenden Wärmebedarfs erreicht werden, womit eine weitgehende Versorgung mit erneuerbarer Energie bzw. im Falle der Nutzung einer Wärmepumpe ein niedriger Bezug an elektr. Energie aus dem Netz möglich ist.

Das Ziel des Forschungsprojektes solSPONGEhigh war die gezielte Untersuchung dieses Ansatzes mittels detaillierter dynamischer Simulationen. Für drei verschiedene Gebäudetypen wurden unterschiedliche Systemkonzepte zur Heizung und Brauchwarmwasserbereitung definiert. Diese Systemkonzepte beinhalten neben klein dimensionierten thermischen Pufferspeichern, im Wesentlichen thermisch aktivierte Bauteile (Geschoßdecken) als Wärmespeicher und Wärmeabgabesystem. Als Energiequelle dienen gebäudeintegrierte solarthermische bzw. solarelektrische Anlagen, kombiniert mit Wärmepumpen. Die Systemkonzepte wurden in unterschiedlichen Konfigurationen numerisch modelliert, mit Regelungskonzepten ergänzt und die Wärmeversorgung unterschiedlicher Referenzgebäude simuliert.

Im vorliegenden Projekt im Rahmen der österreichischen Beteiligung am IEA Annex 49 wurden zusätzliche Simulationen für die Koppelung der Wärmepumpe mit einer Photovoltaikanlage durchgeführt, die hier mit den wesentlichen Annahmen dokumentiert sind.

Für die durchgeführten Simulationen wurde das im Projekt solSPONGEhigh definierte Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 120 m² in der Variante „Nearly Zero Energy“ mit einem Heizwärmebedarf von ca. 16 kWh/(m².a) verwendet. Als Standort wurde Graz angenommen ($T_{AL,Mittel}=10.7$ °C; Heizgradtage 3102 Kd; Globalstrahlung auf die Horizontale 1206 kWh/m²a), der Wärmebedarf für Warmwasser beträgt 2966 kWh/a.

Die betrachteten Systemvarianten sind gemeinsam mit den Ergebnissen der Simulationen in Abbildung 6-21 dargestellt. Es handelt sich dabei um ein System mit einer Außenluft/Wasser-Wärmepumpe (AWP) (System A), ein System mit einer zusätzlichen solarthermischen Anlage (System B) und ein System mit einer zusätzlichen PV-Anlage (System C). Hinsichtlich der Beladung der thermisch aktivierten Bauteile (Betondecken) wird unterschieden in konventionelle Beladung (cl) und solare Beladung (sl). Bei letzterer erfolgt bei ausreichender Solarstrahlung eine zusätzliche Nutzung der Gebäudespeichermasse, indem das Bauteil auf eine höhere Temperatur als bei konventioneller Beladung gebracht wird.

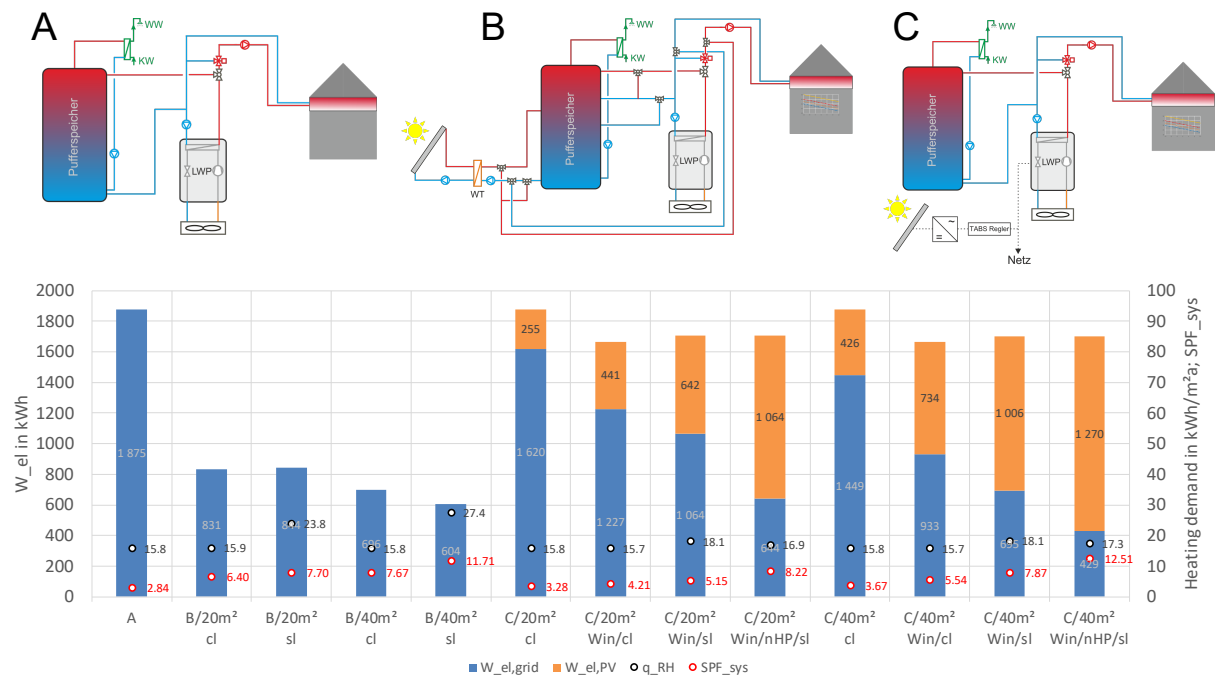


Abbildung 6-21: Oben: betrachtete Systemvarianten:

A: Außenluft/Wasser Wärmepumpe (AWP)

B: solarthermische Wärmeversorgung mit AWP und solarer Nachheizung des Betonkerns

C: solarelektrische Anlage mit AWP und solarer Nachheizung des Betonkerns

Unten: Simulationsergebnisse für die Systeme A, B und C, für 20 und 40 m² Kollektorfläche, konventionelle Beladung (cl) und solare Beladung (sl)

Für das System mit solarthermischer Anlage (System B) zeigt sich, dass bei konventioneller Beladung (cl) mit 20 m² Kollektorfläche der Strombezug aus dem Netz $W_{el,grid}$ im Vergleich zu System A um 56% von 1875 auf 830 kWh reduziert werden kann. Wird bei System B die Kollektorfläche auf 40 m² erhöht, sinkt der Strombezug aus dem Netz weiter auf ca. 696 (cl) und 604 (sl) kWh. Diese zusätzlichen Einsparungen entsprechen zwar 16 und 28%. Diese zusätzlichen Einsparungen entsprechen zwar 16 und 28%, in kWh erscheint die Ersparnis angesichts der Verdopplung der Kollektorfläche aber relativ niedrig.

Beim System C ergibt sich bei konventioneller Beladung (cl) bei 20 m² PV ein $W_{el,sys}$ von 1620 kWh und bei 40 m² von 1449 kWh. Hier nutzt die Wärmepumpe nur dann PV-Strom, wenn sie zufällig dann betrieben wird, wenn PV-Ertrag vorhanden ist. Wird nun ein Zeitfenster für die Warmwasser-Ladung in der Mittagszeit verwendet (Win), kann der Strombezug aus dem Netz auf 1227 (-24%) bei 20 m² und 933 kWh (-36%) bei 40 m² gesenkt werden, weil die Warmwasserbeladung nur noch zu Zeiten stattfindet, in denen potentiell PV-Ertrag verfügbar ist.

Wie bei System B sinkt $W_{el,sys}$ bei zusätzlicher solarer Beladung der TABS (sl) weiter auf 1064 (20 m²) und 695 (40 m²) kWh. Wird als letzte zusätzliche Maßnahme ein drehzahlregelbarer Kompressor eingesetzt und so geregelt, dass die aufgenommene Leistung dem PV-Ertrag entspricht (nHP), kann $W_{el,sys}$ auf 644 bei 20 m² und 429 kWh bei 40 m² PV gesenkt werden. Das entspricht einer Einsparung von 66 bzw. 77% gegenüber dem System ohne PV-Anlage (System A).

Danksagung: Das Projekt solSPONGEhigh (FFG Projekt-Nr. 845182) wurde vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) gefördert.

6.4.5. Publikationen

Im Rahmen des IEA HPT Annex 49 wurden Beiträge für folgende internationale Konferenzen und Journals erarbeitet und publiziert:

SWC 2017, Abu Dhabi, VAE

Ochs, Fabian; Dermentzis, Georgios; Ksiezyk Aleksandra (2017): Simulation and Monitoring Results of two MFHs in PH Standard with Heat Pump, Solar Thermal and PV. In: Proceedings of SWC 2017: ISES Solar World Congress. 29 October - 02 November, 2017, Abu Dhabi, UAE. Freiburg i. Br.: International Solar Energy Society, elektronisch. (DOI) ([Weblink](#))

Synopsis: In dem Papier werden die Ergebnisse der Überwachung der Gebäude (Heiz- und Warmwasserbedarf) und des Systems (Verteilungsverluste) dargestellt, Leistungsfaktoren, Solarthermie und PV-Ertrag) berichtet und Verbesserungen nach dem ersten Betriebsjahr diskutiert und Design-Empfehlungen auf der Grundlage von Überwachungsdaten und Simulationsergebnissen gegeben.

T. Selke, T. Schlager, M. Rennhofer, A. Heinz, D. Brandl, T. Mach (2017): „MULTI-FUNCTIONAL FAÇADE WITH PV FOR SOLAR AUTONOMOUS COOLING APPLICATIONS“, ISES Solar World Congress 2017, IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry © 2017, Published - July 2018 on ISES Solar World Congress 2017 - Abu Dhabi, United Arab Emirates, 29th Oct - 2nd Nov 2017

Synopsis: Das Energiekonzept COOLSKIN konzentriert sich auf technische Lösungen zur Erreichung einer hohen Energieautarkie in der Betriebsphase, d.h. ohne Anschluss an das öffentliche Netz. Das COOLSKIN-Konzept adressiert auch einen hohen Vorfertigungsgrad der technischen Fassadenlösung.

Zukunft der Gebäude, digital-dezentral-ökologisch, Pinkafeld, 2017, At

F. Judex, S. Hauer, K. Eder, "Post am Rochus" as case study for accelerated testing of building automation systems, in: Zukunft der Gebäude, digital-dezentral-ökologisch, Pinkafeld, 2017, S. 47–52.

Synopsis: Diese Veröffentlichung dokumentiert die Forschungsarbeiten zu einer durchgeführten Integration einer realen Gebäudeautomatisierungseinheit in eine computergestützte Umgebung, die das energetische Gebäude- und Anlagenverhalten abbildet und simuliert. Dazu wurde dieses innovative Verfahren als beschleunigte Funktionsüberprüfung der implementierten Regelungsstrategien des Luftbehandlungssystems im Bauvorhaben "Post am Rochus" in Wien getestet.

Sustainable Systems: Buildings and Energy Day 2018, Graz, At

A. Heinz, T. Mach, D. Brandl, F. Eckschlager, M. Rennhofer, T. Selke, T. Schlager (2018). Dezentrale Gebäudekühlung über fassadenintegrierte Photovoltaik: COOLSKIN. Poster session presented at Sustainable Systems: Buildings and Energy Day, Graz, Austria.

Synopsis: Das COOLSKIN-Systemkonzept adressiert die Dezentralisierung der Energieversorgung durch eine Fassadenintegrierte Wärmepumpe gekoppelt mit der Nutzung von Solarstrom für die Kühlung.

PV Symposium 2018, Bad Staffelstein, D

Fabian Ochs, Georgios Dermentzis, Dietmar Siegele, Aleksandra Ksiezyc, Neuer Ansatz für die primärenergetische Bewertung von NZEBs – Demoprojekt Innsbruck Vögelebichl, PV Symposium 2018, Bad Staffelstein, D (Paper und Poster)

Synopsis: Für das NZEB Projekt NHT Innsbruck Vögelebichl (zwei Mehrfamilienhäusern im Passivhausstandard mit zusammen 26 Wohnungen der Wohnungsbaugesellschaft NHT siehe Bild 1) wurde der optimale Anteil der Photovoltaik (PV) und von thermischen Solarkollektoren (ST) für die gegebenen Randbedingungen ermittelt. Auf dem Dach des Südgebäudes wurde eine 16 kWp PV Anlage vorgesehen. Der Schwerpunkt des Beitrags liegt auf der primärenergetischen Bewertung verschiedener Technologien und Optimierungsmaßnahmen, wie die Reduzierung der Verluste und Hilfsenergien, die Verwendung einer effizienteren Wärmepumpe oder die Verwendung von größeren PV-Flächen, z.B. in der Fassade.

EuroSun 2018, Rapperswil, CH

T. Ramschak, W. Becke, C. Fink, W. Lerch, R. Heimrath, T. Mach (2018): High solar fraction by thermally activated components; Proceedings of the ISES EuroSun 2018 Conference: 12th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry. International Solar Energy Society, p. 133-139

Synopsis: Die Nutzung thermisch aktivierter Bauelemente wird untersucht. Die Gebäudemasse wird als Wärmespeicher in verschiedenen Gebäude bewertet, mit dem Schwerpunkt auf der Kombination mit Solartechnologien (thermisch, photovoltaisch).

Bausim 2018, Karlsruhe, D

F. Ochs, G. Dermentzis, T. Calabrese, Evaluation von Effizienz- und Erneuerbare Energien Maßnahmen unter Berücksichtigung des zukünftigen Energiemixes, Bausim 2018, Karlsruhe, D (Paper und Präsentation, präsentiert durch Dietmar Siegele, UIBK)

Synopsis: In diesem Beitrag wird am Beispiel eines realisierten Null-Energie-Mehrfamilienhauses eine PE-Bewertungsmethode diskutiert, die es ermöglicht, die zukünftige Entwicklung der Last (d.h. des Gebäudebestands) und des Strom-Mix (Anteil der EE) mit saisonalen Schwankungen zu erfassen und die Auswirkungen aufzuzeigen und damit ein Ranking verschiedener passiver und aktiver Technologien ermöglichen.

Purdue Conference 2018, Purdue, USA

Dermentzis, Georgios; Ochs, Fabian (2018): Detailed Monitoring Analysis of two Residential NZEBs with a Ground-Water Heat Pump with Desuperheater. In: 5th International High Performance Buildings Conference at Purdue. July 9-12, 2018, Purdue University. West Lafayette: Purdue University., No. 291. ([Weblink](#))

Synopsis: In der vorliegenden Studie wird eine Monitoring-Analyse von zwei NZE Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpe, PV und Solarthermie vorgestellt.

IBPC 2018, Syracuse, USA

Ochs, Fabian; Dermentzis, Georgios (2018): Evaluation of Efficiency and Renewable Energy Measures Considering the Future Energy Mix. In: 7th International Building Physics Conference (IBPC 2018). Proceedings. Syracuse, NY, USA, September 23 - 26. 2018. Syracuse: Syracuse University., S. 1271 - 1276. (DOI) (Weblink)

Synopsis: In diesem Beitrag wird - am Beispiel eines realisierten NZE-Mehrfamilienhauses - eine PE-Bewertungsmethode diskutiert, die es erlaubt, die zukünftige Entwicklung von Last (d.h. Gebäudebestand) und Strommix (Anteil der REs) mit saisonalen Schwankungen einzubeziehen und die Auswirkungen auf die Rangfolge verschiedener passiver und aktiver Technologien aufzuzeigen.

ISEC 2018, Graz, At

Brandl, D., Heinz, A., Mach, T., Schmiedbauer, O., Zimmerberger, S., Rennhofer, M., Schlager, T. & Selke, T. (2018): Facade-integrated Decentralized Cooling System - Evaluation in an Outdoor Test Facility. ISEC International Sustainable Energy Conference 2018, Graz, p. 199-207

Synopsis: Das Ziel dieser Arbeit ist die Bewertung eines fassadenintegrierten dezentralen Kühlsystems in einer Außen-Testanlage.

A. Heinz, T. Mach, D. Brandl, F. Eckschlager, M. Rennhofer, T. Selke, T. Schlager (2018). Dezentrale Gebäudekühlung über fassadenintegrierte Photovoltaik: COOLSKIN. Poster session presented at Sustainable Systems: Buildings and Energy Day, Graz, Austria.

Synopsis: Fassadenintegrierte Photovoltaikmodule wandeln die auftreffende Sonneneinstrahlung in elektrische Energie um, die zum Antrieb des Kompressors einer Kältemaschine verwendet wird. Die gewonnene Kühlleistung wird zur Konditionierung der Innentemperatur des angrenzenden Raumes genutzt.

T. Ramschak, W. Becke, C. Fink, W. Lerch, R. Heimrath, T. Mach (2018): High Solar Fraction by Thermally Activated Components; ISEC International Sustainable Energy Conference 2018: Renewable Heating and Cooling in Integrated Urban and Industrial Energy Systems. Graz, p. 251-257

Synopsis: Das Ziel des Forschungsprojektes solSPONGEhigh ist die detaillierte Analyse der Anwendung von thermisch aktivierten Gebäudesystemen (TABs). Auf der Grundlage von numerischen Modellen und mehreren Fallstudien tragen das Projekt und seine Ergebnisse zu einem besseren Verständnis der energietechnischen Prozesse in solchen Systemen und deren Auslegung bei.

International Passive House Conference, 2019, Gaobeidian, China

Dermentzis, Georgios; Ochs, Fabian (2019): Three years of monitoring analysis of two multi-story net zero energy buildings. In: Feist, Wolfgang; Passive House Institute: 23rd international Passive House Conference 2019. 9-11 October 2019, Gaobeidian, China. Darmstadt: Passivhaus Institut Darmstadt., ISBN 978-3-9820986-0-9, S. 497 - 502.

Synopsis: Der Beitrag fasst die Ergebnisse einer Monitoring-Analyse von zwei NZE Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpe, PV und Solarthermie zusammen. Ergebnisse von 3 Jahren zeigen den Einfluss der Baufeuchte im ersten Jahr und das Verbesserungspotential.

ICR, 2019, Montreal

Fabian OCHS, Toni CALABRESE, Dietmar SIEGELE, Georgios DERMENTZIS, Compact Exhaust Air/Supply Air Heat Pump with Recirculation and Energy Recovery I Renovated Multi-storey Buildings, ICR 2019, Montreal, Canada

Synopsis: Es wurde ein komplettes Renovierungspaket entwickelt, das aus einer in der Küche installierten dezentralen Abluftwärmepumpe (Wohnungsgröße) für Belüftung und Heizung und einer im Badezimmer installierten Luft-Wasser-WP für die Warmwasserbereitung besteht. Mit Labormessungen und Kältemittelkreislaufsimulationen wurden Kennfelder für verschiedene Kompressordrehzahlen und Volumenströme (Zufuhr, Umwälzung und zusätzliche Umgebungsluft) und abhängig von der Quelle sowie von der Ablufttemperatur und -feuchtigkeit erstellt. Kontrollstrategien wurden mittels dynamischer Gebäudesimulationen optimiert. Ein Modell wurde installiert und getestet.

IBPSA, 2019, Rome, It

Ochs, Fabian; Dermentzis, Georgios; Monteleone, William (2019): Simulation-assisted Optimization of the HVAC system of NZE Multi-family Buildings. In: Corrado, V.; Gasparella, A.: Building Simulation 2019. Proceedings of the 16th Conference of IBPSA. 2-4 Sept, Rome. International Building Performance Simulation Association (IBPSA) (= Proceedings of the International Building Performance Simulation Association, 16)., ISBN 978-1-7750520-1-2, S. 4961 - 4968. (DOI) (Weblink)

Synopsis: In diesem Artikel wird eine Fallstudie von zwei nZE-Mehrfamilienhäusern im Passivhausstandard mit einer innovativen Wärmeversorgung vorgestellt. Es wird dargestellt, wie mittels Simulation mit Modellen, die anhand detaillierter Monitoringdaten (Kältemittelkreislauf sowie Gebäude- und HLK-Simulationen) parametrisiert wurden, Fehler erkannt und die Effizienz verbessert werden konnte. Die Ergebnisse können zur Ableitung von Richtlinien für die Auslegung von WP-Systemen sowie für die Fehlererkennung und Qualitätskontrolle verwendet werden.

Wemhoener, Carsten; Rominger, Lukas; Buesser, Simon; Magni, Mara; Ochs, Fabian; Betzold, Christina; Dippel, Thomas (2019): Simulation-based Methodology For Comparison Of nZEB Requirements In Different Countries Including Results Of Model Calibration Tests. In: Corrado, V.; Gasparella, A.: Building Simulation 2019. Proceedings of the 16th Conference of IBPSA. 2-4 Sept, Rome. International Building Performance Simulation Association (IBPSA) (= Proceedings of the International Building Performance Simulation Association, 16)., ISBN 978-1-7750520-1-2, S. 5060 - 5067. (DOI) (Weblink)

Synopsis: Auf der Basis der State-of-the-Art-Analyse in Annex 49 wird eine Methodik zur Bewertung und zum Vergleich des Anspruchsniveaus in den teilnehmenden Ländern entwickelt.

Bausim 2020, Graz, At

Fabian Ochs, Samuel Breuss, Elisa Venturi, Mara Magni, Georgios Dermentzis, Stefano Fisco, MODELLING AND SIMULATION OF INNOVATIVE DECENTRAL DOMESTIC HOT WATER SYSTEMS WITH HEAT PUMPS FOR MULTI-FAMILY BUILDINGS, Bausim, 2020, Graz

Synopsis: In diesem Beitrag werden mehrere Modellierungsansätze für dezentrale Warmwasserversorgung diskutiert und die Ergebnisse einer Fallstudie mit dezentralen Warmwasser-Wärmetauscher in Kombination mit einem Nachheizsystem vorgestellt.

7 Vernetzung und Ergebnistransfer

7.1. Zielgruppen

Mit 2021 müssen alle Gebäude als Niedrigenergiegebäude (nZE) ausgeführt werden. Entsprechend sind die Ergebnisse des Annex 49 für die Gesamte Hochbau- und TGA-Branche relevant. Insbesondere für TGA-Planer, Energieberater und Betreiber von Wohngebäuden (Wohnbaugesellschaften) sind die neuen Anforderungen und insbesondere die Möglichkeiten und Herausforderungen der Integration von Wärmepumpen in nZE Gebäude interessant. Auch für die Hersteller von Wärmepumpen können wichtige Impulse für neue Entwicklungen und Komponenten und Regelungsoptimierung abgeleitet werden.

Der Vergleich der Anforderungsniveaus verschiedener Europäischer Länder ist zudem für die Politik, insbesondere für das OIB, die Energieinsstitute und für die Wohnbauförderung relevant.

Die Ergebnisse wurden auf der Website www.annex49.net zur Verfügung gestellt. Zudem wurden nationale und internationale Workshops mit Stakeholdern abgehalten (s.u.).

7.2. Internationale Partnertreffen

Folgende internationale Partnertreffen wurden während der Laufzeit abgehalten:

Kick-off Meeting Nuernberg Oct. 16-17, 2016

Teilnehmer UIBK (Fabian Ochs)

- Annex 49 -HP4nZEB, Activities UIBK

2tes Treffen Rapperswil, Feb. 1-2, 2017

Teilnehmer UIBK (Fabian Ochs)

- Präsentation: Nearly Zero Energy Buildings (nZEB), Implementation of the EPBD in Austria

3tes Treffen Rotterdam, May 16, 2017

Teilnehmer UIBK (Fabian Ochs)

- Präsentation: Introduction to PER concept of PHI

4tes Treffen Nürnberg, Oct. 23-24, 2017

Teilnehmer UIBK (Fabian Ochs)

- Präsentation: Austrian Contribution to A49 (FFG project)

5tes Treffen Trondheim June 7-8, 2018

- Präsentation: IEA HPT ANNEX 49– NZEB project Innsbruck Vögelebichl (NHT)

6tes Treffen Gaithersburg Nov. 7-8, 2018

Teilnehmer UIBK (Fabian Ochs)

- Präsentation: NZEB Vögelebichl, Model Calibration and System and Control Optimization
- Präsentation: Activities related to IEA HPT Annex 49
- Kurzpräsentation möglicher nationaler Demogebäude

7tes Treffen Obergurgl, Feb. 24-26, 2019

Teilnehmer UIBK (Fabian Ochs), IWT (Andreas Heinz), AIT (Philip Horn)

- Präsentation: AUSTRIAN DEMO CASES- Lessons learned and recommendations from an office and a dormitory
- Präsentation: Activities related to IEA HPT Annex 49
- Präsentation: Simulation of a double-stage heat pump with desuperheater– PM from dynamic measurements

8tes Treffen Tallinn, Sept.12-13, 2019

Teilnehmer UIBK (Fabian Ochs), IWT (Andreas Heinz)

- Präsentation: nZEB-requirements for non-residential buildings in Austria
- Präsentation : IEA HPT A49 – „ambition level“ and cost-optimality (nZEB)

9tes Treffen Brüssel, Feb. 27-28, 2020

Teilnehmer UIBK (Fabian Ochs)

- Präsentation: NZEB Vögelebichl Building and HVAC Simulation for Optimization

7.3. Workshops

Nationaler österreichischer Vernetzungs-Workshop im Rahmen des IEA HPT Annex 49 am 16.01.2020 in Wien:

Am Donnerstag, den 16. Januar, fand im Austrian Institute of Technology (AIT) in Wien ein 4-stündiger Vernetzungs-Workshop statt, der vom österreichischen Team (UIBK, TU Graz, AIT) im Rahmen des IEA HPT Annex 49 organisiert wurde. An dem Workshop nahmen rund 25 Stakeholder aus der österreichischen Industrie und Baubranche teil. Ziel des Workshops war es, die nationalen Ergebnisse des österreichischen Annex 49 Projekts vorzustellen und die Ergebnisse mit den Teilnehmern zu diskutieren.

C. Köflinger (AIT) und F. Ochs (UIBK) begrüßten alle Teilnehmer, stellten das AIT und das Programm des Workshops sowie das österreichische FFG-Projekt IEA HPT Annex 49 vor.

Anschließend präsentierte C. Wemhoener (Operating Agent (OA) des IEA HPT Annex 49) als Einführung einen Überblick über die internationale Zusammenarbeit im Rahmen des IEA HPT Annex 49 und diskutierte die unterschiedliche Implementierung des nZEB Standards in den EU-Mitgliedstaaten sowie Zwischenergebnisse zu einer Methodik zum Vergleich des sog. Ambition Levels. Darüber hinaus wurden ein Projektbeispiel für die Integration von Wärmepumpen in ein Mitteltemperaturnetz in Deutschland und Monitoringergebnisse eines nZEB in der Schweiz vorgestellt.

Vorgestellt durch F. Ochs (UIBK) und A. Heinz (TU Graz), folgte eine detaillierte Analyse der nationalen Implementierung der EPBD (nZEB) in Österreich für Wohn- und Bürogebäude. Es gibt zwei Wege, um die Anforderungen in Österreich zu erfüllen, und verschiedene systemtechnische Lösungen sind möglich. Als Fazit lässt sich festhalten, dass sowohl für Wohn- als auch für Bürogebäude die Anforderungen relativ einfach zu erfüllen sind, sodass die in der EU-EPBD-Richtlinie

vorgesehenen ehrgeizigen Ziele für das nZEB nicht angemessen berücksichtigt werden und eine Verschärfung der österreichischen Anforderungen empfohlen wird.

R. Hammerling von Wien Energie kooperiert mit dem AIT bei der Integration von Wärmepumpen mit den vielfältigen Wärmequellen Grundwasser, Boden, Wärmerückgewinnung aus Garagenluft sowie Solarthermie- und Solar-PV/T-Kollektoren für ein neu gebautes Quartier Aspern. Die Erfahrung aus dem Monitoring zeigt, dass im Detail viele Probleme bei der Verbindung der Systeme auftreten. Zusammenfassend lässt sich jedoch feststellen, dass die Integration der verschiedenen Wärmequellen hinsichtlich der Regeneration von Wärmequellen und günstiger Betriebsbedingungen auch Vorteile bringt.

P. Horn vom AIT präsentierte den Abschluss einer Fallstudie für Nicht-Wohngebäude, welche zur Unterstützung der Inbetriebnahmephase modelliert wurden. Obwohl die Modellierung des Systems einen hohen anfänglichen Aufwand darstellt, können die Reglereinstellungen und -strategien im Vorfeld mit dem Modell getestet werden. Dies ist ein großer zeitlicher Vorteil für die Inbetriebnahme und hilft, Fehlfunktionen des Systems im Nachhinein zu analysieren. Darüber hinaus sind ein weiteres Monitoringprojekt (Hauptquartier Post) Teil des österreichischen Beitrags zum IEA HPT Annex 49.

F. Ochs zeigte Ergebnisse der Wärmepumpenintegration und -optimierung in zwei nZEB-Mehrfamilien-Passivhäusern, in denen ein mehrjähriges Monitoring und begleitende Modellierung und Simulationen durchgeführt werden. Eine sukzessive Verbesserung des Wärmepumpensystems durch die durch Simulationsstudien gestützte Optimierung wird durch die Monitoringdaten belegt. Es zeigt sich jedoch auch, dass das Erreichen der Netto-Nullenergie Bilanz (NZEB) in größeren Wohngebäuden schwierig ist. Eine sehr effiziente Gebäudehülle und eine gute Systemeffizienz sind daher Voraussetzung, um die NZE-Bilanz zu erreichen.

A. Heinz präsentierte Ergebnisse aus dem Projekt COOLSKIN, in dem ein Prototyp einer PV-betriebenen fassadenintegrierten Wärmepumpe entwickelt wurde, der an der TU Graz in zwei Testräumen im Rahmen eines Monitorings auf dem Universitätsgelände getestet wurde. Die Messungen und begleitende Simulationen bestätigen, dass das System geeignet ist, den Kühlbedarf des betrachteten Raums bei guten Komfortbedingungen fast vollständig über PV-Strom zu decken. Der Heizwärmebedarf kann aber im Grazer Klima wie erwartet aufgrund der niedrigen Sonneneinstrahlung im Winter nur teilweise über PV gedeckt werden.

Zum Abschluss stellte C. Wemhoener verschiedene Aspekte zur Auslegung und Dimensionierung drehzahl geregelter Luft / Wasser-Wärmepumpen vor, die in Simulationen als Schweizer Beitrag untersucht wurden. Sowohl bei der Raumheizung als auch bei der Trinkwassererwärmung ist mit der Drehzahlregelung eine Leistungssteigerung möglich, aber bestehende Auslegungsregeln können basierend auf den Simulationsergebnissen weiterhin für drehzahl geregelte Wärmepumpen angewendet werden. Es wurden auch Aspekte der Energieflexibilität untersucht, die abhängig von den Marktbedingungen die Kosten senken jedoch gleichzeitig den Energieverbrauch erhöhen können.

Begleitet wurde der Workshop von einem Laborbesuch der Wärmepumpenprüflabore des AIT. Nach dem Workshop wurde die Diskussion in einer Get-together-Veranstaltung mit heißer Wurst und kaltem Bier, bereitgestellt durch gleichzeitigen Wärmepumpenbetrieb, fortgesetzt.

Die Vorträge befinden sich im Anhang bzw. sind unter folgendem Link zu finden:

<https://www.uibk.ac.at/bauphysik/aktuell/news/annex49-workshop-waermepumpen-in-nzeb.html.de>

Im Rahmen der Heat Pump Conference in Rotterdam, 2017 wurde ein Workshop zum IEA HPT Annex 49 mit folgenden Beiträgen abgehalten.

Carsten Wemhoener

Institute of Energy Technologies, University of Applied Sciences Rapperswil

Overview IEA HPT Annex 49

Franziska Bockelmann

Institute of Building and Solar Technologies, University of Braunschweig

Long-term monitoring of heat pump in nZEB

Christina Betzold, Dr. Arno Dentel

Energy Campus Nürnberg Building, Energy efficient systems, TH Nürnberg Georg Simon Ohm

Smart heat pumps for nZEB

Dr. Fabian Ochs, Gregorios Dermentzis, Alexandra Ksiezyc

Unit of Energy Efficient Building, University of Innsbruck

Vögelebichl Innsbruck – Monitoring and simulation of two multi-family houses with heat pump, PV and collectors

Dr. Marek Miara

Fraunhofer Institute of Solar Energy Systems, Freiburg i. Brsg.

Overview of IEA HPT Annex 50

Fabrice Rognon

CSD Ingenieurs

Retrofitting fossil fuel heating systems with A/W heat pumps in multi-family houses

John Clauß

Norwegian University of Science and Technologies NTNU

Overview of IEA EBC Annex 67

Thibault Péan

Institut de Recerca en Energia de Catalunya, Universitat Polytechnica de Catalunya BarcelonaTech

Energy flexible smart grid/energy-ready buildings

Christian Finck

Building Physics and Service, Eindhoven University of Technology

Energy flexibility of thermal energy storage in the control of building energy systems

Die Beiträge können unter folgendem Link abgerufen werden:

<https://heatpumpingtechnologies.org/annex49/publications/workshop-rotterdam/>

Während der Tagung **Energieaktive Fassaden**, Wien 13.12.2018, wurden Aktivitäten des IEA HPT Annex 49 präsentiert:

- Fabian Ochs (UIBK), Fassadenintegrierte, kompakte und kostengünstige Fortluft/Zuluft-Wärmepumpen, Entwicklungen aus den Projekten iNSPiRe und SaLÜH!
- Frank Salg (Vaillant), Fabian Ochs (UIBK), Erfahrungen aus dem iNSPiRe Demo Gebäude –Sanierung eines Mehrfamilienhauses zum nZEB

Zusätzlich wurde das Projekt Vögelebichl und die Aktivitäten des IEA HPT A49 auf einem Workshop an der Concordia Universität, Centre for Zero Energy Building Studies, welcher im Rahmen der IIR, ICR 2019 Konferenz abgehalten wurde präsentiert:

Fabian Ochs, Universität Innsbruck: Simulation based optimization of two multi-family nZEBs with heat pump with desuperheater & Compact facade integrated heat pumps for deep renovated residential dwellings

7.4. Newsletter

Zu den Aktivitäten des IEA HPT A49 wurden regelmäßig in Newslettern im Rahmen von Beiträgen des IEA HPT Magazins berichtet:

Annex 49 DESIGN AND INTEGRATION OF HEAT PUMPS FOR nZEB, Status Report, September 2018

Annex 49 DESIGN AND INTEGRATION OF HEAT PUMPS FOR nZEB, Status Report, April 2019
Heat Pumping Technologies, MAGAZINE, 2017, Summary reports from the Workshops of the 12th IEA Heat Pump Conference 2017 in Rotterdam

HPT Annual Report, 2018, Annex 49 DESIGN AND INTEGRATION OF HEAT PUMPS FOR nZEB

Heat Pumping Technologies, MAGAZINE, 2019, Vol.37 1/2019, Annex 49 DESIGN AND INTEGRATION OF HEAT PUMPS FOR nZEB

Heat Pumping Technologies, MAGAZINE, 2019, Vol.37 2/2019, Annex 49 DESIGN AND INTEGRATION OF HEAT PUMPS FOR nZEB

Heat Pumping Technologies, MAGAZINE, 2019, Vol.38 1/2020, Annex 49 DESIGN AND INTEGRATION OF HEAT PUMPS FOR nZEB

7.5. Teilnahme an Konferenzen und Publikationen:

Im Rahmen des IEA HPT Annex 49 wurden Beiträge für folgende internationale Konferenzen und Journals erarbeitet und publiziert:

12th IEA Heat Pump Conference May 2017, Rotterdam

Fabian Ochs, Vögelebichl Innsbruck - Monitoring and simulation of two multi-family houses with heat pump, PV and collectors, Joint Workshop IEA HPT Annex 49&50 and EBC Annex 67, 12th IEA Heat Pump Conference, Rotterdam, May 15, 2017; (Workshop, Vortrag)

SWC 2017, Abu Dhabi, VAE

Ochs, Fabian; Dermentzis, Georgios; Ksiezyc Aleksandra (2017): Simulation and Monitoring Results of two MFHs in PH Standard with Heat Pump, Solar Thermal and PV. In: Proceedings of SWC 2017: ISES Solar World Congress. 29 October - 02 November, 2017, Abu Dhabi, UAE. Freiburg i. Br.: International Solar Energy Society, elektronisch. (DOI) ([Weblink](#))

T. Selke, T. Schlager, M. Rennhofer, A. Heinz, D. Brandl, T. Mach (2017): „MULTI-FUNCTIONAL FAÇADE WITH PV FOR SOLAR AUTONOMOUS COOLING APPLICATIONS“, ISES Solar World Congress 2017, IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry © 2017, Published - July 2018 on ISES Solar World Congress 2017 - Abu Dhabi, United Arab Emirates, 29th Oct - 2nd Nov 2017

Zukunft der Gebäude, digital-dezentral-ökologisch, Pinkafeld, 2017, At

F. Judex, S. Hauer, K. Eder, "Post am Rochus" as case study for accelerated testing of building automation systems, in: Zukunft der Gebäude, digital-dezentral-ökologisch, Pinkafeld, 2017, S. 47–52.

Sustainable Systems: Buildings and Energy Day 2018, Graz, At

A. Heinz, T. Mach, D. Brandl, F. Eckschlager, M. Rennhofer, T. Selke, T. Schlager (2018). Dezentrale Gebäudekühlung über fassadenintegrierte Photovoltaik: COOLSKIN. Poster session presented at Sustainable Systems: Buildings and Energy Day, Graz, Austria.

PV Symposium 2018, Bad Staffelstein, D

Fabian Ochs, Georgios Dermentzis, Dietmar Siegele, Aleksandra Ksiezyc, Neuer Ansatz für die primärenergetische Bewertung von NZEBs – Demoprojekt Innsbruck Vögelebichl, PV Symposium 2018, Bad Staffelstein, D (Paper und Poster)

EuroSun 2018, Rapperswil, CH

T. Ramschak, W. Becke, C. Fink, W. Lerch, R. Heimrath, T. Mach (2018): High solar fraction by thermally activated components; Proceedings of the ISES EuroSun 2018 Conference: 12th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry. International Solar Energy Society, p. 133-139

Bausim 2018, Karlsruhe, D

F. Ochs, G. Dermentzis, T. Calabrese, Evaluation von Effizienz- und Erneuerbare Energien Maßnahmen unter Berücksichtigung des zukünftigen Energiemixes, Bausim 2018, Karlsruhe, D (Paper und Präsentation, präsentiert durch Dietmar Siegele, UIBK)

Purdue Conference 2018, Purdue, USA

Dermentzis, Georgios; Ochs, Fabian (2018): Detailed Monitoring Analysis of two Residential NZEBs with a Ground-Water Heat Pump with Desuperheater. In: 5th International High Performance Buildings Conference at Purdue. July 9-12, 2018, Purdue University. West Lafayette: Purdue University., No. 291. ([Weblink](#))

IBPC 2018, Syracuse, USA

Ochs, Fabian; Dermentzis, Georgios (2018): Evaluation of Efficiency and Renewable Energy Measures Considering the Future Energy Mix. In: 7th International Building Physics Conference (IBPC 2018). Proceedings. Syracuse, NY, USA, September 23 - 26. 2018. Syracuse: Syracuse University., S. 1271 - 1276. ([DOI](#)) ([Weblink](#))

ISEC 2018, Graz, At

Brandl, D., Heinz, A., Mach, T., Schmiedbauer, O., Zimmerberger, S., Rennhofer, M., Schlager, T. & Selke, T. (2018): Facade-integrated Decentralized Cooling System - Evaluation in an Outdoor Test Facility. ISEC International Sustainable Energy Conference 2018, Graz, p. 199-207

A. Heinz, T. Mach, D. Brandl, F. Eckschlager, M. Rennhofer, T. Selke, T. Schlager (2018). Dezentrale Gebäudekühlung über fassadenintegrierte Photovoltaik: COOLSKIN. Poster session presented at Sustainable Systems: Buildings and Energy Day, Graz, Austria.

T. Ramschak, W. Becke, C. Fink, W. Lerch, R. Heimrath, T. Mach (2018): High Solar Fraction by Thermally Activated Components; ISEC International Sustainable Energy Conference 2018: Renewable Heating and Cooling in Integrated Urban and Industrial Energy Systems. Graz, p. 251-257

International Passive House Conference, 2019, Gaobeidian, China

Dermentzis, Georgios; Ochs, Fabian (2019): Three years of monitoring analysis of two multi-story net zero energy buildings. In: Feist, Wolfgang; Passive House Institute: 23rd international Passive House Conference 2019. 9-11 October 2019, Gaobeidian, China. Darmstadt: Passivhaus Institut Darmstadt., ISBN 978-3-9820986-0-9, S. 497 - 502.

ICR, 2019, Montreal

Fabian OCHS, Toni CALABRESE, Dietmar SIEGELE, Georgios DERMENTZIS, Compact Exhaust Air/Supply Air Heat Pump with Recirculation and Energy Recovery I Renovated Multi-storey Buildings, ICR 2019, Montreal, Canada

IBPSA, 2019, Rome, It

Ochs, Fabian; Dermentzis, Georgios; Monteleone, William (2019): Simulation-assisted Optimization of the HVAC system of NZE Multi-family Buildings. In: Corrado, V.; Gasparella, A.: Building Simulation 2019. Proceedings of the 16th Conference of IBPSA. 2-4 Sept, Rome. International Building Performance Simulation Association (IBPSA) (= Proceedings of the International Building Performance Simulation Association, 16)., ISBN 978-1-7750520-1-2, S. 4961 - 4968. ([DOI](#)) ([Weblink](#))

Wemhoener, Carsten; Rominger, Lukas; Buesser, Simon; Magni, Mara; Ochs, Fabian; Betzold, Christina; Dippel, Thomas (2019): Simulation-based Methodology For Comparison Of nZEB Requirements In Different Countries Including Results Of Model Calibration Tests. In: Corrado, V.; Gasparella, A.: Building Simulation 2019. Proceedings of the 16th Conference of IBPSA. 2-4 Sept, Rome. International Building Performance Simulation Association (IBPSA) (= Proceedings of the

International Building Performance Simulation Association, 16)., ISBN 978-1-7750520-1-2, S. 5060 - 5067. (DOI) (Weblink)

Bausim 2020, Graz, At

Fabian Ochs, Samuel Breuss, Elisa Venturi, Mara Magni, Georgios Dermentzis, Stefano Fisco, MODELLING AND SIMULATION OF INNOVATIVE DECENTRAL DOMESTIC HOT WATER SYSTEMS WITH HEAT PUMPS FOR MULTI-FAMILY BUILDINGS, Bausim, 2020, Graz

8 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Viele Beispiele zeigen, dass in Österreich sehr effiziente Gebäude mit Wärmepumpen und in Kombination mit Erneuerbarer Energie kostengünstig umgesetzt werden können und damit der Gebäudesektor einen wertvollen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten kann. Im Rahmen des IEA HPT Annex 49 wurden beispielhaft 5 Projekte vorgestellt und untersucht. Sowohl die untersuchten Wohnbauprojekte (NZEB Projekt Vögelebichl, und SolSpongeHigh) als auch die Projekte zu Bürogebäuden (Aspern, Post am Rochus und CoolSkin) demonstrieren das nZEB mit Wärmepumpen und Erneuerbaren Energien eine technisch ausgereifte Lösung und Stand der Technik sind. Jedoch wird auch die Notwendigkeit eines an das Gebäude abgestimmten und integralen Designs der Wärmepumpe und auch die Bedeutung einer hohen Qualität bei der Inbetriebnahme deutlich. Hier sind noch weitere Anstrengungen notwendig. Simulationsgestütztes Design und integrale Planung können hier einen wertvollen Beitrag leisten. Unter der Voraussetzung eines abgestimmten Designs und einer von der Planung bis hin zur Inbetriebnahme durchgehenden Qualitätskontrolle können die erforderlichen Primärenergieeinsparungen erreicht werden, und dies auch unter der Einhaltung der Forderung nach Kostenoptimalität. Das Wissen dazu muss in der Praxis ankommen und insbesondere in den Architektur- und TGA Planungsbüros.

Trotz der jahrelangen guten Erfahrung mit sehr effizienten Gebäuden mit integrierten Wärmepumpen und erneuerbaren Energien in Österreich sind die Mindestanforderungen, die durch die Umsetzung der EPBD mit der OIB-6 (2019) und dem Nationalen Plan (2018) ab 2021 in Kraft treten, wenig ambitioniert und nicht ausreichend um die ambitionierten Klimaschutzziele erreichen zu können. Die österreichische Umsetzung mit dem sog. Dualen Weg (d.h. dem Nachweis über Endenergiebedarf oder über den Gesamt-Energieeffizienzfaktor) macht eine Bewertung komplex und wenig transparent. Der Indikator Primärenergie wird auf dem Energieausweis für den Standort (SK) als gesamte Primärenergie inkl. Haushalts bzw. Betriebsstrom angegeben. Im Nationalen Plan, der den Grenzwert für Primärenergie beinhaltet, wird dieser für das Referenzklima angegeben und es erfolgte ein Wechsel von gesamt (Nationaler Plan 2014) zu nicht erneuerbarer Primärenergie (Nationaler Plan 2018, OIB-6:2019) und gleichzeitig erfolgt die Primärenergiebewertung seit 2018 ohne Haushalts- bzw. Betriebsstrom ($PE_{\max,n.ern. \text{ ohne HHSB}} < 41 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ für Wohngebäude und $PE_{\max,n.ern.} < 84 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ inkl. Beleuchtungsstrom und $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$, wenn Kühlung berücksichtigt wird). Dadurch ist ein Vergleich der Grenzwerte nur durch detaillierte Berechnung möglich und entsprechend Experten vorbehalten. Die Möglichkeit den Nachweis nach dem Energieeffizienzfaktor durchführen zu können, erlaubt insbesondere im Bereich der Einfamilienhäuser immer noch Gebäude mit einem relativ hohen Heizwärmebedarf und entsprechend relativ hohem Primärenergieverbrauch. Generell lässt sich zudem feststellen, dass der Energieeffizienzfaktor (Bewertung des Gebäudes im Vergleich zu einem Gebäude mit einer Referenzausstattung von 2007) kein geeigneter Indikator für die Energieeinsparung im Gebäude ist. Gebäude mit der Mindestanforderung (f_{GEE} von 0.75) können deutlich unterschiedliche Primärenergieverbräuche aufweisen, wenn diese mit unterschiedlicher Haustechnik versehen sind (z.B. Wärmepumpe oder Erdgas oder Biomasse). Für die Erreichung der Klimaschutzziele ist eine Anpassung der OIB-6 hin zu strengeren Grenzwerten und die Abkehr vom

Dualen Weg auch im Sinne der besseren Transparenz und einer eindeutigen Richtungsweisung hin zu den notwendigen Primärenergieeinsparungen zu empfehlen.

Es wurde im Rahmen des Annex 49 eine Methode entwickelt, die es erlaubt den sog. Ambition Level - d.h. die Abweichung in Bezug auf Lebenszykluskosten und Primärenergiebedarf zur Kostenoptimalen Lösung - verschiedener Mitgliedsländer unter Berücksichtigung unterschiedlicher Klimabedingungen und Randbedingungen zu vergleichen. Dafür wurden am Beispiel eines Einfamilienhauses mit einer Luft-Wasser Wärmepumpe Simulationsmodelle für verschiedene Plattformen entwickelt und kalibriert. Im Detail wurden die D-A-CH Länder und Italien verglichen. Diese Untersuchung sollte auf den gesamten Europäischen Raum erweitert werden.

Im Rahmen einer erweiterten Kostenoptimalitätsstudie sollten verschiedene passive und aktive Technologien und der Einsatz von erneuerbaren Energien im Gesamtsystem "Gebäude" und erweitert auf die "Stadt" bzw. "Region", etc. bewertet werden. Methoden und Tools müssen weiterentwickelt werden, um das Gesamtsystem ausgehend vom Status heute im Sinne des Klimaschutzes und der Bedürfnisse der Nutzer zu optimieren.

Literaturverzeichnis

- Active House. (2020). *Active House – a holistic approach*. Retrieved 02 14, 2020, from activehouse: <https://www.activehouse.info/about/about-active-house/>
- BPIE. (2015). *Nearly Zero Energy Buildings Definition across Europe*.
- BPIE (2011). Principles for nearly zero-energy buildings – paving the way for effective implementation of policy requirements. Building Performance Institute Europe.
- BREEAM. (2016). *BREEAM International New Construction 2016 - Technical Manual*.
- BREEAM. (2017). *BREEAM-SE New Construction 2017 - Technical Manual 1.1*.
- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. (2019). *Energie in Österreich 2019*. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus;.
- CARNOT (2018). Carnot toolbox ver. 6.3, 10/2018 for matlab/simulink r2018b. Solar-Institut Jülich.
- D’Agostino, D., Zangheri, P., & Castellazzi, L. (2017). Towards Nearly Zero Energy Buildings in Europe: A Focus on Retrofit in Non-Residential Buildings. *Energies*, 10, 117.
- Der Standard. (2015, 08 14). *Erste "Passivhaus Plus"-Wohnanlage in Innsbruck*. (Der Standard) Retrieved 02 14, 2020, from Der Standard: <https://www.derstandard.at/story/2000020733575/erstes-passivhaus-plus-in-innsbruck-zertifiziert>
- Dermentzis, G. and F. Ochs (2018). Detailed monitoring analysis of two residential nzeb with a ground-water heat pump with desuperheater. In 5th International High Performance Buildings Conference at Purdue.
- DGNB System. (2020). *The DGNB sustainability concept – The new quality of building*. Retrieved 02 14, 2020, from DGNB System: https://www.dgnb-system.de/en/system/dgnb-sustainability_concept/
- DGNB System. (2020). *The DGNB System - Global Benchmark for Sustainability*. Retrieved 02 14, 2020, from <https://www.dgnb.de/en/council/certification/index.php>
- DIN A4 Architektur . (2020). *Passivwohnanlage Lodenareal, Innsbruck*. (DIN A4 Architektur) Retrieved 02 14, 2020, from DIN A4 Architektur: <https://www.din-a4.at/dina4-projekte/passivhaus-wohnanlage-lodenareal/>
- DIN A4 Architektur. (2020). *Passivhauswohnanlage O3, Innsbruck*. Retrieved 02 14, 2020, from DIN A4 Architektur.
- Dott, R. H. (2013). *The Reference Framework for System - Simulations of the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 – Part B: Buildings and Space Heat Load*. Muttenz : Institute of Energy in Building FHNW.
- Dott, R., Haller, M. Y., Ruschenburg, J., Ochs, F., & Bony, J. (2013). *The Reference Framework for System Simulations of the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 - Part B: Buildings and Space Heat Load*.
- EN 442 (2015, June). Radiators and convectors. European Committee for Standardization.
- EN ISO 13370 (2017, June). Thermal performance of buildings: heat transfer via the ground – calculation methods. European Committee for Standardization.
- EPBD (2018). Energy performance of buildings directive (epbd) (eu) 2018/844. European Commission.

- Eriksen, K. E., Rode, C., & Gillet, P.-A. (2013). Active House Specification – evaluation of comfort, energy and environment in buildings.
- EU-Directive 2010/31. (2010). *The Energy Performance of Buildings Directive (2010/31/EU) recast Oct 2010*.
- European Commission. (2020). *Energy efficient buildings*. Retrieved from https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en?redir=1
- Feist, W. (2007). *Passivhaus Institut (Hrsg.): PHPP 2007: Passivhaus Projektierungs-Paket 2007. 7. Auflage*.
- Feist, W. (2015). Erste "Passivhaus Plus"-Wohnanlage in Innsbruck.
- Franzoi, N. (2020). Simulation based optimization of a heating system in a high-performance building. Master's thesis.
- Garcia, J., & Kranzl, L. (2018). Ambition Levels of Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) Definitions: An Approach for Cross-Country Comparison. *buildings*.
- GEQ Zehentmayer Energieausweis Software. (2020).
- Haller, M.Y., R.Haberl, I.Mojic, and E.Frank (2014). Hydraulic integration and control of heat pump and combi-storage: Same components, big differences. *Energy Procedia* 48, 571–580.
- Hengel, F., A.Heinz, and R.Rieberer (2016, jul). Performance analysis of a heat pump with desuperheater for residential buildings using different control and implementation strategies. *Applied Thermal Engineerin* 105, 256–265.
- Heimrath, R., Lerch, W., Mach, T., Ramschak, T., & Fink, F. (2018). Hohe solare Deckungsgrade durch thermisch aktivierte Bauteile im urbanen Umfeld – solSPONGEhigh; Projektbericht im Rahmen des Programms Haus der Zukunft, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. *Berichte aus Energie- und Umweltforschung 20/2018*.
- IEA-WPT Annex 49 (2017). Design and integration of heat pumps for nzeb. IEA Project.
- Juelich, S.-I. (2017). *CARNOT Toolbox 6.1*. Retrieved 11 12, 2019, from <https://de.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/68890-carnot-toolbox>
- Klimaaktiv. (2020, 01 19). *Klimaaktiv*. Retrieved 06 21, 2020, from https://www.klimaaktiv.at/ueberuns/ueber_klimaaktiv.html
- Kosanović, S., Klein, T., Konstantinou, T., Radivojević, A., & Hildebrand, L. (2018). Building Certification Systems and Processes . *Sustainable and resilient building design - Approaches, methods and tools*.
- Kurnitski, J., F.Allard, D.Braham, G.Goeders, P.Heiselberg, L.Jagemar, R.Kosonen, J.Lebrun, L.Mazzarella, J.Railio, O.Seppänen, M.Schmidt, and M.Virta (2012). How to define nearly net zero energy buildings (nzeb) – rehva proposal for uniformed national implementation of epbd recast. *REHVA Journal*.
- LEED. (n.d.). *LEED*. (LEED) Retrieved 02 14, 2020, from LEED rating system: <https://www.usgbc.org/leed>
- Magni, M., F. Ochs, P.Bonato, M.D'Antoni, D.Geisler-Moroder, S.de Vries, R. Loonen, A. Maccarini, A. Afshari, and T. Calabrese (2019). Comparison of simulation results for a reference office building -analysis of deviations for different bes tools. In *IBPSA Proceedings, Volume 16*. University of Innsbruck.

- McPartland, R. (2016, 09 08). *NBS*. Retrieved 02 14, 2020, from What is BREEAM?: <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-breeam>
- Monteleone, W. (2019). Modelling and dynamic simulation of a groundwater heat pump with desuperheater installed in a passivhaus based on monitoring data. Master's thesis.
- NHT (2015). NHT für weltweit erstes passivhaus plus ausgezeichnet. Media Information.
- Ochs, F. and G. Dermentzis (2018). Evaluation of efficiency and renewable energy measures considering the future energy mix. In *Healthy, Intelligent and Resilient Buildings and Urban Environments*. International Association of Building Physics (IABP).
- Ochs, F., G. Dermentzis, and W. Feist (2014). 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* 48, 1124–1133.
- Ochs, F., G. Dermentzis, and A. Ksiezyc (2017). Simulation and monitoring results of two MFHs in PH standard with heat pump, solar thermal and PV. In *Proceedings of SWC2017/SHC2017*. International Solar Energy Society.
- Ochs, F., G. Dermentzis, and W. Monteleone (2019). Simulation-assisted optimization of the hvac system of nze multi-family buildings. In *IBPSA Proceedings, Volume 16*. University of Innsbruck.
- Ochs, F., Bestenlehner, D., Drück, H., & Feist, W. W. (2012). Solar-aktiv-Haus und Passivhaus plus als Gebäudekonzept der Zukunft. *Gleisdorf Solar*. Gleisdorf.
- Ochs, F., Siegele, D., Jähnig, D., Rohringer, C., Calabrese, T., Pfluger, R., & Fink, C. (2020). *Sanierung von Mehrfamilienhäusern mit kleinen Wohnungen – Kostengünstige technische Lösungsansätze für Lüftung, Heizung und Warmwasser - SaLüH!*
- ÖGNB. (2020). *ÖGNB Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - Partnerschaften*. Retrieved from <https://www.oegnb.net/oegni.htm>
- ÖGNB. (2020). *Wer hat die ÖGNB gegründet?*
- Österreichisches Institut für Bautechnik. (2019). *OIB-Richtlinien 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz*.
- Passipedia (2015). Classic, plus, premium: The new passive house classes and how they can be reached.
- Passipedia. (2015). *The PER sustainability assessment*. Passipedia - The Passive House Resource.
- Passivhaus. (2019, 02 21). *What is a Passive House?* Retrieved 02 14, 2020, from Passipedia - The Passive House Resource: https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house
- Passivhaus Austria. (2015). *European Union Sustainable Energy Week unterstrich "Efficiency First" - Passivhaus ist bester Standard für NearlyZeroEnergyBuilding*.
- Ranalter, K. (2015, 08 10). *Erste Passivwohnanlage in Ibk mit Passivhaus-Plus Zertifikat*. Retrieved 02 14, 2020, from meinbezirk.at: https://www.meinbezirk.at/innsbruck/c-wirtschaft/erste-passivwohnanlage-in-ibk-mit-passivhaus-plus-zertifikat_a1436938
- Sartori, I., A. Napolitano, and K. Voss (2012, may). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings* 48, 220–232.
- Siegele, D., Leonardi, E., & Ochs, F. (2019). A new MATLAB Simulink Toolbox for Dynamic Building Simulation with BIM and Hardware in the Loop compatibility. *Building Simulation*. Rome.

- Steven Winter Associates, I. (2016, 02 08). *WBDG Whole Building Design Guide*. Retrieved 02 14, 2020, from Net Zero Energy Buildings: <https://www.wbdg.org/resources/net-zero-energy-buildings>
- TerraCast. (2016, 05 19). *TerraCast Products*. Retrieved 02 14, 2020, from How To Get More LEED Credits & Points : <https://www.terracastproducts.com/how-to-get-more-lead-credits-points/>
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition* . NREL National Renewable Energy Laboratory.
- TU Graz–Institute of Thermal Engineering. (n.d.). *Annex 50: Best Practice Examples - Heat Pumps in Multi Family Buildings - Hot Ice Weiz, Austria*.
- UNI EN ISO 52000-1:2018. (2018). *Energy performance of buildings - Overarching EPB assessment - Part 1: General framework and procedures*.
- University of Wisconsin-Madison. (2017). *TRNSYS 17*. Madison, WI : University of Wisconsin-Madison. Retrieved 12 28, 2018, from <http://www.trnsys.com/>
- Voss, K., M. Riley, A. Athienitis, C. Boonstra, D. Crawley, M. Donn, F. Garde, P. Torcellini, and M. Wall (2009). *lea-shc task 40 ecbs annex 52 – towards net zero energy solar buildings (nzebs)*. IEA Joint Project.
- Wemhoener, C. (2009). *lea-hpt annex 40 – heat pump concepts for nearly zero-energy buildings*. IEA Project.
- Wemhoener, C., Rominger, L., Buesser, S., Magni, M., Ochs, F., Betzold, C., & Dippel, T. (2019). *Simulation-based methodology for comparison of nZEB requirements in different countries including results of model calibration tests*. *BS 2019*. Rome.
- WPZ Buchs (2019). *Prüfresultate wärmepumpe*. NTB – Institut für Energiesysteme – Wärmepumpe Test Zentrum (WPZ) Buchs.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5-1: Geschichte der nahezu energiefreien Gebäude - nZEBs (Richtlinie 2010/31/EG) (BPIE, 2015)	20
Abbildung 5-2: Beispiel eines österreichischen Energieausweises für Wohngebäude (OIB-6)	22
Abbildung 5-3: Monatliche Mittelwerte der Außentemperatur: Vergleich zwischen dem Referenzklima und dem Standortklima für Innsbruck (Höhe über Meer von 574 m ü.M.). Werte nach den Normen B8110-5:2011 und B8110-5:2019	25
Abbildung 5-4: Maximal zulässiger Heizbedarf nach dem sogenannten 16er-Linien (f_{GEE} -Weg) und 10er-Linien (EEB-Weg) in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge (l_c), Bereich der typischen EFH und MFH/Büro	28
Abbildung 5-5: Entwicklung des Primärenergiefaktors f_{PE} für Strom nach OIB-6 und des Anteils erneuerbarer Energieträger am österreichischen Strom-Mix über die Jahre, nach eigenen Berechnungen auf Basis der veröffentlichten Daten des (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019).	33
Abbildung 5-6: Ergebnis der Kostenoptimalitätsstudie ab 2018 (Quelle OIB) - nicht erneuerbare Primärenergie ohne Haushaltsstrom für neue Wohngebäude (Umrechnungsfaktor für Elektrizität war $f_{PE, n.ern.} = 1.32$ zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des Berichts), Beispiel Wohngebäude mit „Alternativen“ Technologien	35
Abbildung 5-7: 3D Ansicht des EFH (Süd-West-Ansicht) (Dott, Haller, Ruschenburg, Ochs, & Bony, 2013)	41
Abbildung 5-8: 3D-Skizze des Mehrfamilienhauses (Ochs, et al., 2020)	44
Abbildung 5-9: Darstellung des Erreichens von nZEB durch den " f_{GEE} -Weg" anstelle des "EEB-Weges" (nZEB nicht erreicht)	49
Abbildung 5-10: Schema von " f_{GEE} -Weg" und "EEB-Weg" mit dem erforderlichen Aufwand. Die Werte beziehen sich auf die EFH-Fallstudie (nach OIB-6:2019).	51
Abbildung 5-11: Darstellung der erforderlichen PV-Spitzenleistung in Korrelation mit der HWB (und dem möglichen Weg). Die Werte (angenähert) beziehen sich auf die EFH-Fallstudie	52
Abbildung 5-12: Korrelation zwischen HWB und EEB (linke y-Achse) und zwischen HWB und PV-Systemleistung (rechte y-Achse) für Gebäude mit $f_{GEE} = 0.75$ (maximal zulässiger Wert).	52
Abbildung 5-13: Für die Fallstudie genutztes Bürogebäude	53
Abbildung 5-14: Vergleich des Primärenergiebedarfs zwischen europäischen Ländern. Der Maximalwert nach dem Passivhausstandard ist als Benchmark angegeben [(Passivhaus Austria, 2015) basierend auf der BPIE 4/2015 NZEB Definition].	57
Abbildung 5-15: Passivhausklassen und Qualifizierung einiger Fallstudiengebäude: drei Gebäude aus Abschnitt 0 (Kreuze), " f_{GEE} -Weg" mit unterem HWB (Dreiecke) und Passivhaus mit PV (Quadrat) [PHPP]	60
Abbildung 6-1 – Ansichten der Gebäude (linker Nordblock, rechter Südblock). Mit freundlicher Genehmigung von Neu Heimat Tirol (NHT).	65
Abbildung 6-2 – Ansicht der Gebäude (links Nordgebäude, rechts Südgebäude). Mit freundlicher Genehmigung von Neu Heimat Tirol (NHT).	66

Abbildung 6-3 – Heizungs-System schematisch mit Sensoren. Es ist zu beachten, dass die dezentralen, Warmwasser-Wärmetauscher der Einfachheit halber durch einen einzigen Wärmetauscher dargestellt werden. Die Abkürzungen sind dem Abkürzungsverzeichnis zu entnehmen	68
Abbildung 6-4 – Regelungsoptionen für Wärmepumpen (WP) (siehe (Monteleone, 2019)); Grau gestrichelte Linien stellen theoretisch verfügbare, aber nicht implementierte Regelungsoptionen dar	70
Abbildung 6-5 – Strombedarf für Wärmepumpe (WP) und Hilfsenergie (Aux) und PV-Energieerzeuger 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 et al., 2014).	72
Abbildung 6-6 – Anteile der thermischen Energie (Raumheizung und Warmwasser) und Beiträge durch Wärmepumpe und Solarthermie in den Jahren 2016 bis 2019	73
Abbildung 6-7 – Jahresbilanz der elektrischen Energie in den Jahren 2016 bis 2019	73
Abbildung 6-8 – Energieflussbild für das Jahr 2018	74
Abbildung 6-9 – Vergleich des monatlichen Gesamtverbrauchs an elektrischer Energie (WP+Aux) des Referenzmodells (ref) und der Referenz ohne den Beitrag der solarthermischen Kollektoren (ref w/o ST). Die Linien stellen den elektrischen Energieertrag durch Photovoltaik Paneele im Ist-Zustand und skaliert unter Berücksichtigung der Ausnutzung der von den Kollektoren eingenommenen Fläche dar.	76
Abbildung 6-10 – Links: schematisch sortierte Lastdauerkurve (Grundlast Warmwasser und Spitzenlast Heizung) mit zweistufiger Wärmepumpe mit möglichem Anteil des Warmwasserbeitrags des Enthitzers im Heizbetrieb. Rechts: theoretische Reduktion des Stromverbrauchs durch den Einsatz eines Enthitzers in Abhängigkeit vom Verhältnis von Warmwasser- (WW) und Heizwärmebedarf (HWB), entsprechend Niedrigenergiehaus- (NH) und Passivhaus- (PH) Standard für Einfamilienhaus (EFH) oder Mehrfamilienhaus (MFH) mit dem Warmwasseranteil des Enthitzers <i>f_{DSH}</i> als Parameter (Ochs et al., 2019).	77
Abbildung 6-11 – Fall A: Wärmepumpe (WP), die direkt an die Raumheizung (RH) und den Pufferspeicher (PS) für Warmwasser angeschlossen ist, ohne Solarkollektoren (ST) ("direkte Raumheizung").	78
Abbildung 6-12 – Fall B: Wärmepumpe (WP) mit Reihenschaltung Kondensator (KND)-Enthitzer (ENH) und Pufferspeicher (PS) für Warmwasser, ohne Solarkollektoren (ST) ("KND-ENH Reihe").	79
Abbildung 6-13 – Vergleich des gesamten elektrischen Energieverbrauchs (WP+Aux) für die alternativen Systemauslegungsfälle Referenzfall (ref), direkte Raumheizung (direkt RH) und der Verflüssiger- Enthitzer-Reihenschaltung (KND-ENH Reihe).	81
Abbildung 6-14 – Jährliche elektrische Energiebilanz für den Referenzfall (links), den Fall der direkten Raumheizung (Mitte) und den Fall der Verflüssiger-Enthitzer-Reihe (rechts).	82
Abbildung 6-15 – Monatliche elektrische Energiebilanz für Referenzfall (ref), direkte Raumheizung (RH) und alternative Systemauslegungsfälle der Kondensator-Enthitzer-Reihe (KND-ENH Reihe).	83
Abbildung 6-16 – Monatlicher Gesamtverbrauch an elektrischer Energie mit Geräten zur direkten Raumheizung (RH).	86

Abbildung 6-17: Rendering des Gebäudes Post am Rochus (Quelle: Post AG).	88
Abbildung 6-18: Fotografien des Wohngebäudekomplexes D12 in aspern/ Wien (© Hertha Hurnaus).	90
Abbildung 6-19: Zuteilung der gelieferten Wärme durch die unterschiedlichen Energietechnologien (Quelle: ASCR)	92
Abbildung 6-20: Simulationsergebnisse der berechneten Varianten, getrennt nach Heiz-(h) und Kühlbetrieb (c)	94
Abbildung 6-21: Oben: betrachtete Systemvarianten:	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1: Klassen für die Leistungsindikatoren für den Energieausweis (OIB-6:2019)	23
Tabelle 5-2: Vereinfachter Vergleich der Klassen für PEB und CO ₂ für unterschiedliche Klassen des Heizwärmebedarfs (HWB) A+, A und B Einfamilienhaus mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe mit einer Systemarbeitszahl von $SPF_{sys} = 2.5$, Umrechnungsfaktoren für PEB und CO ₂ für Strom nach OIB-6:2019	24
Tabelle 5-3: sogenannte HWB-Linien	27
Tabelle 5-4: Thermodynamische/Carnot-Leistungszahl f_o je nach Art der Wärmepumpe gemäß H5056-2014 und H5056-2019	30
Tabelle 5-5: Maximale Werte des Primärenergiebedarfs für Neubauten: Vergleich zwischen dem Nationalen Plan 2018 und 2014	31
Tabelle 5-6: nZEB-Anforderungen für Wohngebäude nach dem "EEB-Weg" [OIB-6:2019]	35
Tabelle 5-7: nZEB-Anforderungen für Wohngebäude nach dem " f_{GEE} -Weg" [OIB-6:2019]	35
Tabelle 5-8: Standardwerte für den Warmwasserwärmebedarf und Haushaltstrombedarf: Vergleich zwischen OIB-6:2019 und OIB-6:2015	36
Tabelle 5-9: Vereinfachte Bewertung der Primärenergie eines EFH. Vergleich zwischen den Werten nach OIB-6:2015 und OIB-6:2019 (Standardwerte sind unterstrichen). Maximale Werte des PEB gemäß Nationaler Plan 2014 und $PEB_{n,em}$ gemäß Nationaler Plan 2018	37
Tabelle 5-10: Vereinfachte Bewertung der Primärenergie eines MFH. Vergleich zwischen den Werten nach OIB-6:2015 und OIB-6:2019 (Standardwerte sind unterstrichen). Maximale Werte des PEB gemäß Nationaler Plan 2014 und Nationaler Plan 2018	38
Tabelle 5-11: nZEB-Anforderungen für Bürogebäude gemäß "EEB-Weg" [OIB-6:2019]	39
Tabelle 5-12: nZEB-Anforderungen für Bürogebäude gemäß " f_{GEE} -Weg" [OIB-6:2019]	39
Tabelle 5-13: Standardwerte für Warmwasserbedarf, Betriebsstrombedarf BSB und Beleuchtungsenergiebedarf BeLEB im Nichtwohnbereich: Vergleich zwischen OIB-6:2019 und OIB-6:2015	39
Tabelle 5-14: Vereinfachte Bewertung des PEB eines Bürogebäudes. Vergleich zwischen den Werten nach OIB-6:2015 und OIB-6:2019 (Standardwerte sind unterstrichen). Maximale Werte des PEB gemäß Nationalplan 2014 und Nationalplan 2018	40
Tabelle 5-15: Geometrische und energetische Eigenschaften des Einfamilienhauses (Dott, Haller, Ruschenburg, Ochs, & Bony, 2013)	42
Tabelle 5-16: Geometrische und energetische Eigenschaften des EFH für die drei betrachteten Thermischen Gebäudehüllen (" f_{GEE} -Weg", "EEB-Weg" und Passivhaus)	42
Tabelle 5-17: Heizwärmebedarf (HWB) für die drei betrachteten thermischen Gebäudehüllen des Einfamilienhauses. Vergleich zwischen GEO-Berechnungsergebnissen (Referenz- und Standortklima) und PHPP	43
Tabelle 5-18: Geometrische und energetische Eigenschaften des MFH (Ochs, et al., 2020)	44
Tabelle 5-19: Geometrische und energetische Eigenschaften des EFH für die drei betrachteten thermischen Hülle (" f_{GEE} -Weg", "EEB-Weg" und Passivhaus)	45

Tabelle 5-20: Heizwärmebedarf für die drei betrachteten thermischen Hüllen des Mehrfamilienhauses. Vergleich zwischen den Ergebnissen von GEO (Referenz- und Standortklima) und PHPP	46
Tabelle 5-21: Vergleich zwischen dem erreichten EEB (RK) und dem maximalen EEB-Grenzwert (zul,RK) für das EFH und MFH [GEO].	46
Tabelle 5-22: Primärenergie für die drei betrachteten Fälle des EFH, bewertet mit und ohne Haushaltstrom und mit Gesamt- und nicht erneuerbaren Primärenergieumrechnungsfaktoren von 2014 und 2018	47
Tabelle 5-23: Beispiel für verschiedene Möglichkeiten zur Erreichung des nZEB-Niveaus durch die Verbesserung der Gebäudehülle und folglich mögliche Reduzierung der Qualität des HLK-Systems bzw. der Größe des PV-Systems	50
Tabelle 5-24: Auswahl Varianten für das Bürogebäude, ursprüngliche Gebäudehülle	54
Tabelle 5-25: Betrachtete Varianten für das Bürogebäude, Gebäudehülle erfüllt den Grenzwert nach dem " f_{GEE} -Weg".	55
Tabelle 5-26: Vergleich der Bedingungen sowie Flächendefinitionen verschiedener Länder	56
Tabelle 5-22: Anforderungen des Passivhaus-Standards	59
Tabelle 6-1 – Gebäude-Daten.	65
Tabelle 6-2 – Pufferspeichersensoren und Anschlüsse Positionen und Volumen.	67
Tabelle 6-3 – Daten der Wärmepumpe (WP) bei einer Quelltemperatur von 5°C (B5), einer Senktemperatur von 35°C 45°C und 55°C und einer konstanten Austrittstemperatur des Enthitzers (ENH) von 55°C für beide Stufen, gemessen (Monteleone, 2019).	71
Tabelle 6-4 – Jährlicher elektrischer Energieverbrauch, PV- Energieerzeugung und Bilanz für den Referenzfall, den Referenzfall ohne ST und den letzteren Fall mit einer größeren PV-Fläche.	75
Tabelle 6-5 – Monatlich variable, nicht erneuerbare Primärenergiefaktoren für zwei Erzeugungsszenarien unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Anteils von Wasser-, Wind- und photovoltaischer Energie gemäß (Ochs und Dermentzis, 2018). Die angenommenen nicht erneuerbaren Primärenergiefaktoren für Wasser-, Wind-, PV- und fossile Energie sind jeweils $f_{nren,hydro} = 0.01 \text{ kWh}_{PE}/\text{kWh}_{el}$, $f_{nren,wind} = 0.05 \text{ kWh}_{PE}/\text{kWh}_{el}$, $f_{nren,PV} = 0.1 \text{ kWh}_{PE}/\text{kWh}_{el}$ and $f_{nren,hydro} = 2.4 \text{ kWh}_{PE}/\text{kWh}_{el}$. Die Monatswerte werden berechnet als $f_{nren} = \sum_i f_{nren,i} W_{el,i} / W_{el,tot}$.	85
Tabelle 6-6 – Jährlicher Gesamtstrombedarf, Stromerzeugung der Photovoltaik Paneele (PV) (bezogen auf die Bodenfläche), Strombilanz und Bilanz der nicht erneuerbaren Primärenergie.	85
Tabelle 9-1: Maximal rechenschaftspflichtige PV-Energie [OIB-6:2019]	124
Tabelle 9-2: Maximal rechenschaftspflichtige PV-Energie [OIB-6:2015]	124
Tabelle 9-3: Grenzwerte der U-Werte für jeden Wand typ [OIB-6:2019]	125
Tabelle 9-4: Grenzwerte der U-Werte für jeden Wand typ [OIB-6:2015]	126
Tabelle 9-5: Österreichische Umrechnungsfaktoren [OIB-6:2019]	127
Tabelle 9-6: Österreichische Umrechnungsfaktoren [OIB-6:2015]	128
Tabelle 10-1 – Performance map for source temperature 0°C and ENH outlet temperature 55°C.	129
Tabelle 10-2 – Performance map for source temperature 5°C and ENH outlet temperature 55°C.	129
Tabelle 10-3 – Performance map for source temperature 10°C and ENH outlet temperature 55°C.	129
Tabelle 10-4 – Leistungskarte für Quelltemperatur 0°C.	130

Tabelle 10-5 – Leistungskarte für Quelltemperatur 5°C.	130
Tabelle 10-6 – Leistungskarte für Quelltemperatur 10°C.	130

Abkürzungsverzeichnis

Aux	Hilfsstrom
A	Fläche
BeIEB	Beleuchtungs-Energiebedarf (Nicht-Wohngebäude)
BGF	Brutto-Grundfläche
BRI	Brutto-Rauminhalt
BSB	Betriebsstrombedarf (Nicht-Wohngebäude)
CO₂	Kohlendioxidemissionen
COP	Leistungszahl (Coefficient Of Performance)
EBF	Energiebezugsfläche
EE	Erneuerbare Energie
EEB	Endenergiebedarf
EEB_{26,RK}	Bezugsendenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
EEB_{NWG,RK,zul}	zulässiger Endenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen für Nicht-Wohngebäude
EEB_{RK}	Endenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
EEB_{WG,RK,zul}	zulässiger Endenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen für Wohngebäude
EEB_{zul,RK}	zulässiger Endenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
EFH	Einfamilienhaus
EL	elektrisch
ENH	Enthitzer
EPBD	Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive)
EU	Europäische Union
f_o	thermodynamischer Referenzgütegrad
f_{o,Bew}	thermodynamischer Bewertungsgütegrad
f_{CO₂eq}	CO ₂ Konversionsfaktor
f_{GEE}	Gesamtenergieeffizienzfaktor
f_{GEE,RK,zul}	zulässiger Gesamtenergieeffizienzfaktor mit Referenzklimabedingungen
f_{PE}	Primärenergie Konversionsfaktor
f_{PE,ern.}	erneuerbare Primärenergie Konversionsfaktor
f_{PE,n.ern.}	nicht erneuerbare Primärenergie Konversionsfaktor
GW	Grundwasser
GWWP	Grundwasser-Wärmepumpe
H'_T	spezifische Transmissionswärmeverlust
HEB	Heizenergiebedarf
HEB_{RK}	Heizenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
HEB_{zul,RK}	zulässiger Heizenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
HGT	Heizgradtage
HHSB	Haushaltsstrombedarf (Wohngebäude)
HLK	Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik
HTEB	Haustechnikenergiebedarf (Wohngebäude)
HWB	Heizwärmebedarf
HWB_{Ref,RK}	Heizwärmebedarf mit Referenzklimabedingungen ohne Wärmerückgewinnung

HWB_{Ref,RK,zul}	zulässiger Heizwärmebedarf mit Referenzklimabedingungen ohne Wärmerückgewinnung
HWB_{Ref,SK}	Heizwärmebedarf mit Standortklimabedingungen ohne Wärmerückgewinnung
HWB_{RK}	Heizwärmebedarf mit Referenzklimabedingungen
HWB_{SK}	Heizwärmebedarf mit Standortklimabedingungen
JAZ	Jahresarbeitszahl
KB	Außeninduzierte Kühlbedarf
KB*_{RK,zul}	zulässiger Außeninduzierte Kühlbedarf mit Referenzklimabedingungen
KEB	Kühlenergiebedarf
KEB_{26,RK}	Bezugskühlenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
KEB_{RK}	Kühlenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
KEB_{zul,RK}	zulässiger Kühlenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
KND	Kondensator
ℓ_c	charakteristische Länge
MFH	Mehrfamilienhaus
MLWR	mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung
MV	Mischventil
n₅₀	Luftwechsel bei einem Differenzdruck von 50 Pa
NH	Niedrigenergiehaus
nZEB	Niedrigstenergiegebäude (nearly Zero Energy Building)
NZEB	Netto-Nullenergiegebäude (Net Zero Energy Building)
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
PEB	Primärenergiebedarf
PEB_{ern.}	erneuerbarer Primärenergiebedarf
PEB_{ern.,SK}	erneuerbarer Primärenergiebedarf mit Standortklimabedingungen
PEB_{HEB,zul,n.ern.}	zulässiger nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (nur mit HEB bewertet)
PEB_{HEB+BeIEB,zul,n.ern.}	zulässiger nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (nur mit HEB und BeIEB bewertet)
PEB_{n.ern.}	nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf
PEB_{n.ern.,SK}	nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf mit Standortklimabedingungen
PEB_{SK}	Gesamt-Primärenergiebedarf mit Standortklimabedingungen
PER	Erneuerbare Primärenergie PER
PH	Passivhaus
PHI	Passivhaus Institut
PS	Pufferspeicher
PV	Photovoltaik-Paneele
Q_I	internen Wärmegewinne
Q_S	solare Wärmegewinne
Q_T	Transmissionswärmeverluste
QUL	Quelle
Q_{Umw,WP}	Umweltwärme der Wärmepumpe, lt. ÖNORM H 5056:2014
Q_{Umw,WP,26}	Umweltwärme der Wärmepumpe, ermittelt mit Thermodynamischem Referenzgütegrad f _o , für die Referenzausstattung
Q_{Umw,WP,Bew}	Umweltwärme der Wärmepumpe, ermittelt mit Thermodynamischem Bewertungsgütegrad f _{o,Bew}

Q_v	Lüftungswärmeverluste
RH	Raumheizung
RK	Raumkühlung
SNK	Senke
SPF	Saisonaler Leistungsfaktor
ST	Solarthermie
SVL	spezifische Ventilatorleistung
V	Volumen
VDP	Verdampfer
VM	Volumenstrom-Messgerät
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung
WT	Wärmetauscher
WTS	Widerstandstemperatursensor
WW	Warmwasser
WWWB	Warmwasserwärmebedarf
WZ	Wärmemengenzähler
ZV	Zweiwegeventil
η	Ausnutzungsgrad

9 Anhang

9.1. Anhang 1

Tabelle 9-1 und Tabelle 9-2 zeigen den maximalen Anteil des Strombedarfs, der gemäß OIB-6:2019 bzw. OIB-6:2015 als durch photovoltaische Energie gedeckt betrachtet werden kann.

Tabelle 9-1: Maximal rechenschaftspflichtige PV-Energie [OIB-6:2019]

Bestandteile	Deckbarer Anteil
Beleuchtungsenergiebedarf	25 %
Befeuchtungsenergiebedarf	25 %
Raumheizenergiebedarf	25 %
Kühlenergiebedarf	50 %
Warmwasserenergiebedarf	50 %
Haushalts- und Betriebsstrombedarf	75 %
Hilfsenergiebedarf für Raumheizung und Warmwasser	75 %
Hilfsenergiebedarf für Solarthermie	100 %

Tabelle 9-2: Maximal rechenschaftspflichtige PV-Energie [OIB-6:2015]

Bestandteile	Deckbarer Anteil
Raumheizung, Wärmebereitstellung	25 %
Raumheizung, Hilfsenergie	75 %
Warmwasser, Wärmebereitstellung	50 %
Warmwasser, Hilfsenergie	75 %
Kühlenergiebedarf	25 %
Haushaltsstrombedarf / Betriebsstrombedarf	75 %
Solarthermie, Hilfsenergie	100 %
Beleuchtungsenergiebedarf	0 %
Befeuchtungsenergiebedarf	0 %

Tabelle 9-3 und Tabelle 9-4 zeigen die maximalen U-Werte gemäß OIB-6:2019 bzw. OIB-6:2015:

Tabelle 9-3: Grenzwerte der U-Werte für jeden Wand typ [OIB-6:2019]

	Bauteil	U $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$
1	Wände gegen Außenluft (1)	0.35
2	Wände gegen unbeheizte oder nicht ausgebaute Dachräume	0.35
3	Wände gegen unbeheizte, frostfrei zu haltende Gebäudeteile (ausgenommen Dachräume) sowie gegen Garagen	0.60
4	Wände erdberührt	0.40
5	Wände (Trennwände) zwischen Wohn- oder Betriebseinheiten oder konditionierten Treppenhäusern	1.30
6	Wände gegen andere Bauwerke an Nachbargrundstücks- bzw. Bauplatzgrenzen	0.50
7	Wände (Zwischenwände) innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	–
8	Fenster, Fenstertüren, verglaste Türen jeweils in Wohngebäuden (WG) gegen Außenluft	1.40
9	Fenster, Fenstertüren, verglaste Türen jeweils in Nicht-Wohngebäuden (NWG) gegen Außenluft	1.70
10	sonstige transparente Bauteile vertikal gegen Außenluft	1.70
11	sonstige transparente Bauteile horizontal oder in Schrägen gegen Außenluft	2.00
12	sonstige transparente Bauteile vertikal gegen unbeheizte Gebäudeteile	2.50
13	Dachflächenfenster gegen Außenluft	1.70
14	Türen unverglast, gegen Außenluft	1.70
15	Türen unverglast, gegen unbeheizte Gebäudeteile	2.50
16	Tore Rolltore, Sektionaltore u. dgl. gegen Außenluft	2.50
17	Innentüren	–
18	Decken und Dachschrägen jeweils gegen Außenluft und gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt)	0.20
19	Decken gegen unbeheizte Gebäudeteile	0.40

20	Decken gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	0.90
21	Decken innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	–
22	Decken über Außenluft (z.B. über Durchfahrten, Parkdecks)	0.20
23	Decken gegen Garagen	0.30
24	Böden erdberührt	0.40

Tabelle 9-4: Grenzwerte der U-Werte für jeden Wand typ [OIB-6:2015]

Bauteil		U [$\frac{W}{m^2K}$]
1	Wände gegen Außenluft	0.35
2	Wände gegen unbeheizte oder nicht ausgebaute Dachräume	0.35
3	Wände gegen unbeheizte, frostfrei zu haltende Gebäudeteile (ausgenommen Dachräume) sowie gegen Garagen	0.60
4	Wände erdberührt	0.40
5	Wände (Trennwände) zwischen Wohn- oder Betriebseinheiten oder konditionierten Treppenhäusern	0.90
6	Wände gegen andere Bauwerke an Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenzen	0.50
7	Wände kleinflächig gegen Außenluft (z.B. bei Gaupen), die 2 % der Wände des gesamten Gebäudes gegen Außenluft nicht überschreiten, sofern die ÖNORM B 8110-2 (Kondensatfreiheit) eingehalten wird	0.70
8	Wände (Zwischenwände) innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	-
9	Fenster, Fenstertüren, verglaste Türen jeweils in Wohngebäuden (WG) gegen Außenluft	1.40
10	Fenster, Fenstertüren, verglaste Türen jeweils in Nichtwohngebäuden (NWG) gegen Außenluft	1.70
11	sonstige transparente Bauteile vertikal gegen Außenluft	1.70
12	sonstige transparente Bauteile horizontal oder in Schrägen gegen Außenluft	2.00
13	sonstige transparente Bauteile vertikal gegen unbeheizte Gebäudeteile	2.50

14	Dachflächenfenster gegen Außenluft	1.70
15	Türen unverglast, gegen Außenluft	1.70
16	Türen unverglast, gegen unbeheizte Gebäudeteile	2.50
17	Tore Rolltore, Sektionaltore u. dgl. gegen Außenluft	2.50
18	Innentüren	-
19	Decken und Dachschrägen jeweils gegen Außenluft und gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt)	0.20
20	Decken gegen unbeheizte Gebäudeteile	0.40
21	Decken gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	0.90
22	Decken innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	-
23	Decken über Außenluft (z.B. über Durchfahrten, Parkdecks)	0.20
24	Decken gegen Garagen	0.30
25	Böden erdberührt	0.40

Die Umrechnungsfaktoren für die Primärenergie (f_{PE}), die nicht erneuerbaren und erneuerbaren Anteile (jeweils $f_{PE,n.ern.}$ und $f_{PE,ern.}$) und der Umrechnungsfaktor für das CO₂ (f_{CO_2eq}) aus OIB-6:2019 sind in Tabelle 9-5 dargestellt, während Tabelle 9-6 die Werte gemäß OIB-6:2015 zeigt.

Tabelle 9-5: Österreichische Umrechnungsfaktoren [OIB-6:2019]

	Energieträger	f_{PE} [-]	$f_{PE,n.ern.}$ [-]	$f_{PE,ern.}$ [-]	f_{CO_2eq} [g/kWh]
1	Kohle	1.46	1.46	0.00	375
2	Heizöl	1.20	1.20	0.00	310
3	Erdgas	1.10	1.10	0.00	247
4	Biomasse (Biobrennstoffe fest)	1.13	0.10	1.03	17
5	Biobrennstoffe flüssig (Inselbetrieb)	1.50	0.50	1.00	70
6	Biobrennstoffe gasförmig (Inselbetrieb)	1.40	0.40	1.00	100
7	Strom (Liefermix)	1.63	1.02	0.61	227
8	Fernwärme aus Heizwerk (erneuerbar)	1.60	0.28	1.32	59

9	Fernwärme aus Heizwerk (nichterneuerbar)	1.51	1.37	0.14	310
10	Fernwärme aus hocheffizienter KWK	0.88	0.00	0.88	75
11	Abwärme	1.00	1.00	0.00	22

Tabelle 9-6: Österreichische Umrechnungsfaktoren [OIB-6:2015]

Energieträger		f_{PE} [-]	$f_{PE,n.ern}$ [-]	$f_{PE,ern}$ [-]	f_{CO_2eq} [g/kWh]
1	Kohle	1.46	1.46	0.00	337
2	Heizöl	1.23	1.23	0.01	311
3	Erdgas	1.17	1.16	0.00	236
4	Biomasse	1.08	0.06	1.02	4
5	Strom-Mix Österreich (inkl. Netto-Importe)	1.91	1.32	0.59	276
6	Fernwärme aus Heizwerk (erneuerbar)	1.60	0.28	1.32	51
7	Fernwärme aus Heizwerk (nicht erneuerbar)	1.52	1.38	0.14	291
8	Fernwärme aus hocheffizienter KWK (Defaultwert)	0.94	0.19	0.75	28
9	Fernwärme aus hocheffizienter KWK (Bestwert)	≥ 0.30	gemäß Einzelnachweis		≥ 20
10	Abwärme (Defaultwert)	1.00	1.00	0.00	20
11	Abwärme (Bestwert)	≥ 0.30	gemäß Einzelnachweis		≥ 20

9.2. Anhang 2

9.2.1. CTA® Optiheat Duo 1-44e OH

Leistungslandkarte, gemessen nach [Monteleone (2019)].

Tabelle 9-7 – Performance map for source temperature 0°C and ENH outlet temperature 55°C.

	BoW35		BoW45		BoW55	
	stage 1	stage 2	stage 1	stage 2	stage 1	stage 2
Electric power [kW]	4.2	8.4	5.5	11.1	7.2	14.7
KND power [kW]	15.9	30.0	13.2	24.6	10.3	19.1
ENH power [kW]	1.5	3.8	3.2	6.7	5.2	10.7
COP [-]	4.2	3.9	3.0	2.8	2.2	2.0

Tabelle 9-8 – Performance map for source temperature 5°C and ENH outlet temperature 55°C.

	B5W35		B5W45		B5W55	
	stage 1	stage 2	stage 1	stage 2	stage 1	stage 2
Electric power [kW]	4.1	8.6	5.4	11.1	7.0	14.2
KND power [kW]	19.2	35.7	16.3	30.1	13.0	24.1
ENH power [kW]	1.1	2.9	2.9	6.2	4.8	10.0
COP [-]	5.0	4.5	3.5	3.3	2.6	2.4

Tabelle 9-9 – Performance map for source temperature 10°C and ENH outlet temperature 55°C.

	B10W35		B10W45		B10W55	
	stage 1	stage 2	stage 1	stage 2	stage 1	stage 2
Electric power [kW]	4.1	8.5	5.3	11.1	6.9	14.1
KND power [kW]	22.9	42.6	19.7	36.4	16.1	29.7
ENH power [kW]	0.8	2.3	2.5	5.7	4.5	9.5
COP [-]	5.8	5.3	4.2	3.8	3.0	2.8

9.2.2. CTA® Optiheat Economy 1-29e

Leistungskarten, extrapoliert aus den von [WPZ Buchs (2019)] gemessenen Werten.

Tabelle 9-10 – Leistungskarte für Quelltemperatur 0°C.

	BoW35	BoW45	BoW55
Electric power [kW]	6.3	7.6	9.1
KND power [kW]	28.0	25.3	23.5
COP [-]	4.5	3.3	2.6

Tabelle 9-11 – Leistungskarte für Quelltemperatur 5°C.

	B5W35	B5W45	B5W55
Electric power [kW]	6.3	7.6	9.1
KND power [kW]	31.0	29.3	26.8
COP [-]	5.0	3.8	3.0

Tabelle 9-12 – Leistungskarte für Quelltemperatur 10°C.

	B10W35	B10W45	B10W55
Electric power [kW]	6.3	7.6	9.1
KND power [kW]	34.7	33.3	30.1
COP [-]	5.5	4.4	3.3

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

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

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