

# +ERS Plusenergieverbund Reininghaus Süd

Subprojekt 3 des  
Leitprojektes  
"ECR Energy City Graz -  
Reininghaus"

M. Partoll, H. Staller,  
W. Nussmüller, R. Heimrath,  
C. Halmdienst, E. Rainer,  
A. Passer, H. Kreiner, H. Oblak

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

# 11/2016

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

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

+ERS

# Plusenergieverbund Reininghaus Süd

Subprojekt 3 des Leitprojektes  
"ECR Energy City Graz - Reininghaus"

Manfred Partoll,  
Aktiv Klimahaus Süd GmbH

DI Heimo Staller  
AEE INTEC – Institut für Nachhaltige Technologien

DI Werner Nussmüller  
Nussmüller Architekten ZT GmbH

DI Dr. Richard Heimrath  
Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz

DI Christian Halmdienst  
Pink GmbH

DI Ernst Rainer  
Institut für Städtebau, Technische Universität Graz

Dr. Alexander Passer, Dr. Helmuth Kreiner, DI Hannes Oblak  
AG Nachhaltigkeitsbewertung, Technische Universität Graz

Gleisdorf, Februar 2016

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse [www.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.at) Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

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

---



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	11
Abstract.....	14
1 Einleitung.....	18
1.1 Ausgangssituation / Motivation des Projektes .....	18
1.2 Zielsetzungen des Projektes .....	18
2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt .....	20
2.1 Beschreibung des Standes der Technik.....	20
2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	20
2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts).....	21
2.4 Verwendete Methoden.....	22
2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung.....	23
3 Ergebnisse des Projektes .....	24
3.1 AP 1 - Wissenschaftliche Projektbegleitung, Koordination und Dokumentation.....	24
3.2 AP 2 - Optimierung Plusenergiekonzept .....	24
3.2.1 Energiekonzept .....	24
3.2.2 Energiebilanz – Statische, vereinfachte Berechnung.....	31
3.2.3 Simulation Plusenergieverbund .....	33
3.3 AP 3 - Qualitätssicherung, TQ-B Nachweisführung.....	76
3.3.1 TQB- Endzertifikat .....	76
3.3.2 Qualitätssicherung – Luftdichtheit.....	79
3.3.3 Qualitätssicherung – Innenraumluftmessung.....	83
3.4 AP 4 – Generalplanung.....	83
3.5 AP 5 – Umsetzung.....	88
3.5.1 Umgesetzte Maßnahmen .....	88
3.5.2 Fotodokumentation des Bauablaufes .....	93
3.6 AP 6 – Monitoring .....	97
3.6.1 Schema Elektro Verkabelung .....	97
3.6.2 Schema der Messdatenaufzeichnung.....	98
3.6.3 Messergebnisse für 8 Wohnungen im Haus J - Monitoringperiode 01.10.2014 – 18.08.2015.....	101
3.7 AP 7 – Verbreitung und Schnittstelle „ECR“.....	109

3.7.1	Publikationen/Vorträge/Preise .....	110
3.7.2	+ERS – Plusenergieverbund Reininghaus Süd Handbuch für NutzerInnen	110
3.7.3	Handbuch für Hausverwaltung und Technik .....	111
4	Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms.....	112
4.1	Einpassung in das Programm .....	112
4.2	Beitrag zum Gesamtziel des Programms .....	112
4.3	Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt .....	113
4.4	Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse.....	113
5	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen .....	114
6	Ausblick und Empfehlungen .....	115
7	Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis .....	116
7.1	Literaturverzeichnis.....	116
7.2	Abbildungsverzeichnis .....	117
7.3	Tabellenverzeichnis .....	120
7.4	Abkürzungen .....	121
8	Anhang.....	122
8.1	+ERS Handbuch für Nutzerinnen.....	122
8.2	TQB-Endzertifikat .....	122



# Kurzfassung

## Ausgangssituation/Motivation

Das Projekt „+ERS - Plusenergieverbund Reininghaus Süd“ ist integrativer Bestandteil des Haus der Zukunft Plus Leitprojektes „Energy City Graz-Reininghaus (ECR)“ und folgt den Vorgaben des übergeordneten städtebaulichen Rahmenplanes. Die Liegenschaft für den Plusenergieverbund Reininghaus Süd ist in der Peter-Rosegger-Straße zwischen Gollweg und Grazerfeldstraße am südlichen Knotenpunkt des neuen Stadtentwicklungsgebietes ECR gelegen. Die „WEGRAZ Gesellschaft für Stadterneuerung und Assanierung mbH“ als Eigentümerin der Liegenschaft führte in Kooperation mit der Stadtbaudirektion Graz ein städtebauliches Gutachterverfahren nach Grazer Modell aus. Ziel dieses Wettbewerbes war, Entwürfe für einen neuen innovativen, multifunktionalen Stadtteil zu erhalten. Als Siegerprojekt des Gutachterverfahrens ging das Büro Nussmüller Architekten hervor. Der städtebauliche Entwurf des Siegerprojektes gliedert sich in zwei Bauteile. Bauteil 1 besteht aus einem an der Peter-Rosegger-Straße vorgelagerten Büro- und Geschäftskomplex mit Wohnnutzung in den Obergeschossen. Bauteil 2 liegt abgeschirmt durch den vorgelagerten Büro- und Geschäftskomplex im südlichen Teil der Liegenschaft und besteht aus 12 kompakten Punkthäusern mit 162 Wohneinheiten. Der Bauteil 2 wurde vom Bauträger „Aktiv Klimahaus Süd GmbH“ errichtet und sollte im Rahmen des Forschungsprojektes durch eine Kombination aus Energieeffizienzmaßnahmen, Eigenversorgung und Energielieferung zur Plusenergiesiedlung werden.

Der Plusenergieansatz für die Wohnsiedlung basiert auf Synergien innerhalb eines multifunktionalen Gebäudeverbandes. In einem ersten Schritt wird das einzelne Gebäude optimiert und wandelt sich vom Energieverbraucher zum Energieerzeuger, im zweiten Schritt bringen Synergien innerhalb des Gebäudeverbundes eine weitere Optimierung des Systems.

Mit der Realisierung des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd wurde ein Demonstrationsbauvorhaben geschaffen werden, das eine wirtschaftlich umsetzbare, technisch und organisatorisch innovative Lösung für Plusenergieverbundkonzepte der Zukunft schafft.

## Inhalte und Zielsetzungen

Vorrangiges Ziel war es eine Siedlung (Wohnanlage) zu realisieren, die durch ein innovatives Maßnahmenbündel eine positive Energiebilanz aufweist.

Konkrete Inhalte und Projektziele waren:

- Optimierung des Plusenergieverbundes innerhalb der zwölf Wohngebäude („Punkthäuser“) des Bauabschnittes BA 02.
- Optimierung des Plusenergieverbundes und Nutzung der Synergien zwischen den Wohngebäuden („Punkthäuser“) des Bauabschnittes BA 02 und dem vorgelagerten Büro- und Geschäftsgebäude des Bauabschnittes BA 01.
- Sicherstellung der innovativen Konzeption und der Qualität des Demonstrationsbauvorhabens und Erreichen der Haus der Zukunft Plus Programmziele.
- Nachweisführung der erreichten Ziele und Ausführungsqualität nach TQ-B (ÖGNB).

- Monitoring und Evaluierung der Gebäudeperformance.
- Verwertbarkeit der Ergebnisse für Folgeprojekte.
- Optimale Integration in das Haus der Zukunft Plus Leitprojekt „Energy City Reininghaus (ECR)“.
- Aufbereiten der Ergebnisse für Folgeprojekte und Sichtbarmachen der Erfolge national und international.
- Verwertbarkeit der Ergebnisse für Folgeprojekte.

## **Methodische Vorgehensweise**

Das Forschungsprojekt gliedert sich in 7 Arbeitspakete:

- AP 1 - Wissenschaftliche Projektbegleitung, Koordination und Dokumentation
- AP 2 - Optimierung Plusenergiekonzept
- AP 3 - Qualitätssicherung, TQ-B Nachweisführung
- AP 4 – Generalplanung
- AP 5 – Umsetzung
- AP 6 – Monitoring
- AP 7 - Verbreitung und Schnittstelle „ECR“

## **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Das Projekt +ERS konnte nachweisen, dass Energieverbände im Gebäudebereich einen wichtigen Beitrag zur Erlangung energie- und klimapolitischer Ziele leisten können. Durch die Erweiterung der energetischen Systemgrenzen vom Einzelgebäude zum multifunktionalen Gebäudeverband eröffnen sich neue Möglichkeiten der Energieeffizienzsteigerung für den Gebäudesektor. Auf Grund unterschiedlicher Nutzungs- und Lastprofile von multifunktionalen Gebäudeverbänden ergeben sich zahlreiche energetische Synergieeffekte, die hohe Energieeinsparpotentiale, bei geringen Investitionskosten, generieren können. Mit der Realisierung des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd konnte gezeigt werden, dass eine wirtschaftlich umsetzbare, technisch und organisatorisch innovative Lösung für Plusenergieverbundkonzepte der Zukunft möglich ist. Die erfolgreiche Umsetzung von Plusenergiekonzepten im Gebäudebereich kann nur durch ein Maßnahmenbündel aus Reduktion des Heiz- und Kühlenergiebedarfes, des Strombedarfs für haustechnische Anlagen und Haushalte, energieeffizienter Haustechnik, Energieproduktion am Grundstück und eines energetischen Verbundes von Gebäuden mit unterschiedlichen Nutzungs- und Lastprofilen (im vorliegenden Fall Büro- und Wohngebäude) erfolgen. Die im Projekt zum Einsatz gekommenen Technologien (Geothermie, Solarthermie, PV, Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung) stellen etablierte Systeme dar, deren Implementierung geringe Probleme verursachten. Als große Herausforderung stellte sich jedoch die Planung (Simulation) des energetischen Verbundes aller Komponenten dar, da es derzeit am Markt keine praktikablen Tools und es auch wenige Erfahrungen bei der Simulation von Energieverbänden gibt. Des Weiteren haben die ersten Monitoringergebnisse und die Begleitung in der Betriebsphase gezeigt, dass für einen optimierten Betrieb des Energieverbundes ein kompetentes Facility Management erforderlich ist. Die Komplexität des Energieverbundes erfordert spezielle Kenntnisse für Betrieb, Steu-

rung und Monitoring aller Komponenten. Im Projekt +ERS hat sich gezeigt, dass Bauträger und Hausverwaltungen im Rahmen ihres Kerngeschäftes, Energieverbände nur sehr schwer umsetzen und betreiben können. Es ist daher der Zukauf von Fachwissen erforderlich oder der Betrieb des Energieverbandes wird an externe Firmen ausgelagert. Contractingmodelle könnten hier sehr vorteilhaft sein.

Neben den technischen Herausforderungen für die Konzeption und den Betrieb eines energetischen Gebäudeverbandes zeigen die Erkenntnisse aus +ERS, dass auf organisatorischer und rechtlicher Ebene noch viele offene Fragen vorliegen und die Ausarbeitung von innovativen Geschäftsmodellen und rechtlichen Rahmenbedingungen wertvolle Hilfestellungen für Bauträger, Planer und Stadtverwaltungen leisten könnte.

## **Ausblick**

Bis jetzt wurde die Optimierung von Energiekonzepten vorrangig innerhalb der Systemgrenze des einzelnen Gebäudes vorangetrieben. Auf der Bedarfsseite ist mit dem Passivhausstandard eine technische und ökonomische Grenze erreicht, eine Verbesserung dieses Standards (z. B. durch erhöhte Wärmedämmmaßnahmen) weist nur mehr sehr geringes energetisches Einsparpotential auf. Des Weiteren zeigt sich im städtischen Kontext, dass eine Abdeckung des Energiebedarfs von Einzelgebäuden durch vor Ort verfügbare Energieträger (wie z. B. Erdwärme, Solarenergie) aus technischen, rechtlichen und ökonomischen Gründen meist nur sehr schwer realisierbar ist. Erweitert man aber die Systemgrenze vom Einzelobjekt auf den Siedlungsverband eröffnen sich neue Möglichkeiten der Energieeffizienzsteigerung für den Gebäudesektor. So bringen multifunktionale Gebäudeverbände (aus Gebäuden mit unterschiedlichen Nutzungen) auf Grund ihrer unterschiedlichen Nutzungs- und Lastprofile zahlreiche Synergieeffekte mit sich. Der Focus zukünftiger Energiekonzepte für den städtischen Raum muss daher auf der intelligenten Vernetzung von Gebäuden, Gebäudeverbänden oder Stadtteilen liegen.

Mit der Errichtung des Plusenergieverbandes Reininghaus Süd wurde versucht ein Demonstrationsbauvorhaben zu schaffen, das eine wirtschaftlich umsetzbare, technisch und organisatorisch innovative Lösung für einen Energieverband zwischen Bauteilen unterschiedlicher Nutzung ermöglicht. Die im Projekt gewonnen Erkenntnisse auf technischer, organisatorischer und administrativer Ebene liefern wertvolle Erkenntnisse für die Konzeption zukünftiger Energieverbände im Gebäudebereich.

# Abstract

## Starting point/Motivation

The “Plus Energy Network Reininghaus Süd” is an integrative part of the Building of Tomorrow Flag-ship project “Energy City Graz-Reininghaus (ECR), which is an important part of the greater urban development framework of the City of Graz. The side of the “Plus Energy Network Reininghaus Süd” is situated between Gollweg and Grazerfeldstraße on the south joint of the new city development area ECR. In order to find the best concept and exemplary architecture the “WEGRAZ” (a project development association) as owner of the property called for an architectural competition together with the city of Graz. The office “Nussmüller Architekten ZT” won the competitive tender and was appointed as general planner. The new multi-functional neighborhood is split into two parts: the front building complex consists of office- and commercial premises with a supermarket and apartments for elderly people on the first floor. The front building complex forms a row along Peter-Rossegger-Straße and provides shelter for the twelve residential multi- family houses behind. The front building complex is realized by “WEGRAZ” in summer 2012. The second building complex consists of 12 houses with 162 flats and is constructed by “Aktiv Klimahaus Süd GmbH” (a real estate developer) within the research project “Plus Energy Network Reininghaus Süd”. A combination of energy efficiency measures, energy production on site and energy transport to the building complex in front enables a Plus Energy Network.

The plus energy approach of the housing complex is based on synergies within a multifunctional building assembly. In a first step single buildings are optimised, in a second step the residual energy demand is covered by energy production on site and in a last step synergies within the whole building assembly provide further energetic optimisation, turning the housing complex from energy consumer to energy producer.

With the “Plus Energy Network Reininghaus Süd”, a demonstration building project showing that economical, technical and organisational innovative solutions for plus energy concepts of the future are possible, has been realised.

## Contents and Objectives

Main objective was the realization of a settlement, achieving a positive energy balance through an innovative bundle of measures.

Contents and objective of the research project are:

- Optimization of the plus energy assembly of the twelve housing buildings of construction stage BA 02
- Optimization of the plus energy network by using synergies between the housing buildings of BA 02 and the office and shopping complex of building part BA 01 in front.
- Long-term management of the innovative concept and the quality of the demonstration project to reach targets of “Building of Tomorrow”.
- Verification of targets reached and workmanship defined by TQ-B (ÖGNB).

- Monitoring and evaluation of the building performance
- Providing information for target groups, publication and dissemination, optimized integration in “Building of the Tomorrow” flagship project „Energy City Reininghaus (ECR)“.
- Preparation of results for follow-up projects and presentation of results on national and international level.
- Usability of results for follow-up projects.

## Methods

The project is divided into 7 working packages:

- WP 1 – Scientific project management, coordination and documentation
- WP 2 – Optimization of the Plus Energy Concept
- WP 3 – Quality management, TQ-B audit
- WP 4 – General planning
- WP 5 – Construction
- WP 6 – Monitoring
- WP 7 - Dissemination

## Results

The project +ERS demonstrated, that energy networks in the building sector are an important contribution to reach energetic and climate change policy targets. Enlarging the energetic system borders from single buildings to multifunctional building assemblies opens new possibilities for the increase of energy efficiency in the building sector. Due to different use- and load profiles of multifunctional building assemblies numerous energetic synergetic effects, with low investment cost can be generated. The realization of the plus energy network Reininghaus Süd demonstrated that in the near future economical, technical and organizational solutions for plus energy networks are possible. A successful implementation has to be done by a package of measures like reduction of the heating and cooling energy demand, electricity demand for HVAC systems and households, energy efficient HVAC systems, energy production on site and the energetic network of buildings with different use and load profiles (in the case of +ERS office and residential buildings). Technologies installed in the project +ERS (geothermal energy, solar thermal plants, PV, balanced ventilation with heat recovery) are well established systems, in general causing marginal problems in implementation. As there are no practicable tools and experiences with the simulation of energy networks, a big challenge turned out to be the planning (simulation) of the energetic network with all components. Furthermore first monitoring results and the supervision in operation phase showed, that an energetic optimized operation of the energy network requires a competent facility management. The complexity of energy networks requires special knowledge for operation, control and monitoring of all components. In the project +ERS it turned out, that landlords and property managers within their core business have severe problems to install and handle energy networks. To overcome these hurdles in future an additional purchase of knowledge or the

outsourcing of the operation of energy networks to experts should be done. Contracting models are worth to think of.

The project +ERS showed, that besides technological challenges for design and operation of energetic building assemblies, especially on organizational and legal level a lot of open-ended question are remaining. The development of innovative business models and legal framework conditions will support landlords, property developers, planers and municipalities to implement energy networks in the future.

## **Prospects / Suggestions for future research**

Up till now optimization of energy concepts mainly have been forced within the system border of single buildings. On demand side the passive house standard has reached its technical and economical limit, optimization of this standard (e.g. by increased thermal insulation measures) offers only low potentials for further energy reduction. Furthermore energy supply by energy sources on side (like geothermal and solar energy) from technical and economical point of view often turns out hard to realize. Expanding the system borders from the single object to building assemblies, new possibilities of energy efficiency increase can be found. Due to their different use and load profile multifunctional building assemblies (consisting of buildings with different use) offer numerous synergy effects. In case of this future energy concepts for the urban area have to focus on the intelligent crosslinking of buildings, building assemblies or city districts.

The construction of the Plus Energy Network Reininghaus Süd created an exemplary role model, demonstrating the economic and technical feasibility of plus energy networks between buildings with different user profiles. Project results on technical, organizational and administrative level provides valuable findings for the design of future energy networks in the building sector.

Large interest on national and international level for the results of the +ERS project, shows the actuality of the topics dealt with. The experiences with the "+ERS" and the "Energy City Graz-Reininghaus" projects have served as catalyzers for seeking paramount objectives in the city. Currently, Graz is focusing on becoming a "Smart City", with a detailed summary of objectives and measures included in its plan "I live Graz" and the resulting project "Smart City Project Graz". These plans started with the high objectives in energy matter of "Energy City Graz-Reininghaus" and +ERS, developing from there to include many other aspects, such as mobility, ecology, and society. The knowledge gained from this project regarding energy networks between buildings will be used in further research projects.

On technical side future research activities should focus on adequate, practicable tools to calculate energy networks of settlements within the whole design process (preliminary design to implementation planning). Aim should be a continuous tool for all planning stages, getting more and more precise with the progress of the planning process. Furthermore the integration of monitoring results to optimize the running energy network has to be forced.

As a project like +ECR involves a significant number of actors (different landlords, energy service companies, properties management, etc.) an amount of confidence and mutual trust is needed for the successful completion of the project. As there is a lot of unclarity concerning legal issues (e.g. design of energy service contracts, responsibilities for the control of the network, energy bills) clarification of the legal framework is an important task.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation / Motivation des Projektes

Mit der Neufassung der EU-Gebäuderichtlinie (2010/31/EU) hat die EU verschärfte Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden definiert. Bis Ende 2020 müssen alle Mitgliedsstaaten gewährleisten, dass alle Neubauten Niedrigstenergiestandard (Nearly Zero Energy Buildings) aufweisen, wobei öffentliche Neubauten dieses Ziel bereits 2018 erreichen müssen. Die Erlangung dieses Standards kann auf der Bedarfsseite durch Energieeffizienzmaßnahmen (z. B. Reduktion der Transmissionswärmeverluste durch erhöhte Dämmstandards, kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung) und auf der Versorgungsseite durch Energieproduktion mit erneuerbaren Energieträgern am Grundstück erreicht werden. Auf der Bedarfsseite ist mit dem Passivhausstandard eine technische und ökonomische Grenze erreicht, eine Verbesserung dieses Standards (z.B. durch erhöhte Wärmedämmmaßnahmen) weist nur mehr sehr geringes energetisches Einsparpotential auf. Im städtischen Kontext zeigt sich, dass eine Abdeckung des Energiebedarfs von Einzelgebäuden durch vor Ort verfügbare Energieträger (wie z. B. Erdwärme, Solarenergie) aus technischen, rechtlichen und ökonomischen Gründen meist nur sehr schwer realisierbar ist. Erweitert man aber die Systemgrenze vom Einzelobjekt auf den Siedlungsverband eröffnen sich neue Möglichkeiten der Energieeffizienzsteigerung für den Gebäudesektor. So bringen multifunktionale Gebäudeverbände (aus Gebäuden mit unterschiedlichen Nutzungen) auf Grund ihrer unterschiedlichen Nutzungs- und Lastprofile zahlreiche Synergieeffekte mit sich. Der Focus zukünftiger Energiekonzepte für den städtischen Raum muss daher auf der intelligenten Vernetzung von Gebäuden, Gebäudeverbänden oder Stadtteilen liegen, ein Umstand dem auch die Smart Cities Initiative der EU Rechnung trägt.

Das Forschungsprojekt „Plusenergieverbund Reininghaus Süd“ verfolgt diesen vielversprechenden Ansatz und möchte mit der Realisierung des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd ein Demonstrationsbauvorhaben realisieren, das auf wirtschaftlicher, technischer und organisatorischer Ebene innovative Lösungen für Plusenergiekonzepte auf Siedlungsebene aufzeigt.

## 1.2 Zielsetzungen des Projektes

Das Projekt „+ERS - Plusenergieverbund Reininghaus Süd“ ist integrativer Bestandteil des Haus der Zukunft Plus Leitprojektes „Energy City Graz-Reininghaus (ECR)“ und folgt den Vorgaben des übergeordneten städtebaulichen Rahmenplanes. Die Liegenschaft für den Plusenergieverbund Reininghaus Süd ist in der Peter-Rosegger-Straße zwischen Gollweg und Grazerfeldstraße am südlichen Knotenpunkt des neuen Stadtentwicklungsgebietes ECR gelegen. Die „WEGRAZ Gesellschaft für Stadterneuerung und Assanierung mbH“ als Eigentümerin der Liegenschaft führte in Kooperation mit der Stadtbaudirektion Graz ein städtebauliches Gutachterverfahren nach Grazer Modell aus. Ziel dieses Wettbewerbes war, Entwürfe

für einen neuen innovativen, multifunktionalen Stadtteil zu erhalten. Als Siegerprojekt des Gutachterverfahrens ging das Büro Nussmüller Architekten hervor. Der städtebauliche Entwurf des Siegerprojektes gliedert sich in zwei Bauteile. Bauteil 1 besteht aus einem an der Peter-Rosegger-Straße vorgelagerten Büro- und Geschäftskomplex mit Wohnnutzung in den Obergeschossen. Bauteil 2 liegt abgeschirmt durch den vorgelagerten Büro- und Geschäftskomplex im südlichen Teil der Liegenschaft und besteht aus 12 kompakten Punkthäusern mit 143 Wohneinheiten. Der Bauteil 2 wird vom Bauträger „Aktiv Klimahaus Süd GmbH“ errichtet und soll im Rahmen des Forschungsprojektes durch eine Kombination aus Energieeffizienzmaßnahmen, Eigenversorgung und Energielieferung zur Plusenergiesiedlung werden.

Der Plusenergieansatz für die Wohnsiedlung basiert auf Synergien innerhalb eines multifunktionalen Gebäudeverbandes. In einem ersten Schritt wird das einzelne Gebäude optimiert und wandelt sich vom Energieverbraucher zum Energieerzeuger, im zweiten Schritt bringen Synergien innerhalb des Gebäudeverbundes eine weitere Optimierung des Systems.

Konkrete Projektziele sind:

- Erfolgreiche Umsetzung eines Demonstrationsprojektes im Rahmen eines Haus der Zukunft Leitprojektes
- Optimierung des Plusenergieverbundes innerhalb der zwölf Wohngebäude („Punkthäuser“) des Bauabschnittes BA 02.
- Optimierung des Plusenergieverbundes und Nutzung der Synergien zwischen den Wohngebäuden („Punkthäuser“) des Bauabschnittes BA 02 und dem vorgelagerten Büro- und Geschäftsgebäude des Bauabschnittes BA 01.
- Nachhaltige Reduktion des Haushaltsstromverbrauches durch den Einsatz neuer Technologien (Smart Meters in ausgewählten Wohnungen), neue organisatorische Lösungen (Aufzeigen der Verbräuche in Echtzeit für ausgewählte Wohnungen, monatliche Verbrauchsaufstellung) und bewusstseinsbildende Aktivitäten für Bewohner/innen (Broschüren über richtiges Wohnen im Aktivhaus)
- Kooperation mit dem E-Mobility Konzept der Stadt Graz
- Monitoring und Evaluierung der tatsächlich erreichten Ziele und Optimierung der Anlagentechnik
- Aufbereiten der Ergebnisse für Folgeprojekte und Sichtbarmachen der Erfolge national und international.
- Gelingt die erfolgreiche Umsetzung, wird eine Demonstrationsprojekt mit Vorbildcharakter geschaffen, das in der praktischen Umsetzung aufzeigt, dass Plusenergiekonzepte im sozialen Wohnbau möglich sind und nicht nur einen Beitrag zu einem zukünftig CO<sub>2</sub>-neutralen Gebäudeportfolio sondern auch zu einer nachhaltig energieeffizienten Nutzung unseres Gebäudebestandes und der Erhöhung des Nutzer/innenkomforts beitragen.

## 2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

### 2.1 Beschreibung des Standes der Technik

Zurzeit fokussieren sich Energiekonzepte für den Gebäudesektor hauptsächlich auf Einzelgebäude bzw. deren einzelne Komponenten. Mit dem Passivhausstandard ist sowohl auf technischer als auch auf ökonomischer Seite eine Grenze erreicht, die nur noch geringes Optimierungspotential bei den einzelnen Komponenten aufweist – größere Innovations-sprünge sind hier nicht mehr zu erwarten.

Die Weiterentwicklung vom Passivhaus zum Plusenergiehaus hat zwar gezeigt, dass bei Einzelobjekten positive Energiebilanzen sogar bei Sanierungsvorhaben erzielt werden können (z.B. die Plusenergiesanierung in Kapfenberg Johann-Böhm-Straße), eine große Marktdurchdringung ist aber auf Grund der hohen Errichtungskosten und der nicht wirtschaftlich darstellbaren Amortisationszeiten von energetischen Maßnahmen in nächster Zeit nicht zu erwarten. Des Weiteren zeigt sich, dass der Plusenergiestandard bei Einzelgebäuden in dichten städtischen Agglomerationen auch technisch äußerst schwer zu erzielen ist. Auf Grund hoher Bebauungsdichten stehen bei Einzelgebäuden nur sehr wenig energieproduzierten Oberflächen (z.B. für Solarthermie, PV) im Verhältnis zu den konditionierten Nutzflächen vor. Des Weiteren vermindern die geringen Gebäudeabstände in dicht bebauten Gebieten durch gegenseitige Verschattungen die solaren Erträge.

Derzeit liegen in Österreich und Europa zahlreichen Forschungsprojekte vor die sich mit Plusenergieobjekten beschäftigen – Projekte die sich auf Gebäudeverbände fokussieren sind jedoch kaum zu finden. Auf Grund dieser Sachlage liegen derzeit wenige Erfahrungen für die Planung (vor allem für die energetische Simulation von Gebäudeverbänden) und die technische, rechtliche und organisatorische Umsetzung vor.

### 2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

AEE INTEC hat im Rahmen von nationalen und internationalen Vorprojekten die Themenbereiche des vorliegenden Forschungsprojekts ansatzweise schon behandelt. Die Ergebnisse dieser Projekte flossen dabei ein. Nachfolgend sind stellvertretend diese Vorprojekte angeführt:

IEA - SHC Task 40/ ECBCS - Annex 52 NZEB – „Entwicklung von netzintegrierten Null-Energiegebäuden“, Projektlaufzeit: 2008 – 2013

Im Projekt NZEB lag der Schwerpunkt im Wesentlichen auf der international harmonisierten Definition von Nullenergiegebäuden. Es wurden innovative Lösungsmöglichkeiten sowohl für den Neubaubereich, als auch für die Sanierung ausgearbeitet. Schwerpunkt bildete die Betrachtung des Netzausgleichs und die Bilanzierungsmethodik von Nullenergiegebäuden.

Smart ABC - Smart Energy Efficient Active Buildings and Building Clusters

Im Rahmen des Projektes wurden ausgewählte Kombinationen von Einzelgebäuden, Gebäudeverbänden und deren Energieversorgungsvarianten auf Ihre Eignung und Ihren Beitrag zur Primärenergie- und Treibhausgasreduktion untersucht. Ziel war es, Empfehlungen zur Abbildung und Bewertungsmethodik von Gebäuden und Gebäudeverbänden, die „Nahezu Null“ Energie verbrauchen und Energie aus erneuerbaren Quellen nutzen, abzuleiten.

Der Konsortialführer Aktiv Klimahaus Süd GmbH hat mit dem Demonstrationsbauvorhaben

Aktivhaussiedlung Kramsach – Innovative Gebäudetechnologie mit Wohlfühlcharakter

### 1. Ausschreibung Neue Energien 2020

eine energieautarke Siedlung mit insgesamt 45 Wohneinheiten mit ca. 4.750 m<sup>2</sup> Wohnfläche in Kramsach/Tirol realisiert. Errichtet wurden die Gebäude in Holz-Lehm-Mischbauweise in Passivhausqualität. Das Energiekonzept basiert auf Wärmepumpen-Kompaktgeräten und Photovoltaikanlagen (ca. 240 MWh erzeugter Ökostrom jährlich) und hat gezeigt, dass eine Netto-Nullenergiebilanz möglich ist.

## **2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)**

### Weiterentwicklung Passivhaus

Die Ursprünge des Passivhausstandard liegen in der hochgedämmten thermischen Hülle, die sehr geringer zusätzlicher Energieeinträge bedurfte und somit über Wohnraumlüftungsanlagen gelöst werden konnten. Komfortansprüche der Nutzer/innen wie verbesserter thermischer Komfort (Fußbodenheizungen), verbessertes Innenraumklima (Raumluftfeuchte im behaglichen Bereich ohne aktive Zuluftbefeuchtung) und ökologisch hochwertige Baumaterialien, die die Schadstoffbelastung in den Innenräumen minimieren, sind Hauptanliegen in der Weiterentwicklung des energieeffizienten Bauens.

### Plusenergieverbund

Ein Meilenstein im gegenständlichen Projekt ist in der Umsetzung neuer Lösungswege für die Energieversorgung durch den Plusenergieverbund zu sehen. Gerade im städtischen Kontext ist Energieautarkie nicht sinnvoll und wirtschaftlich. Auch die Entwicklungen auf europäischer Ebene für „Smart Cities“<sup>1</sup> verlaufen in diese Richtung. Die Zukunft in der städtischen Entwicklung liegt in der intelligenten Vernetzung von Gebäuden, Gebäudeverbänden oder Stadtteilen. Während erste theoretische Forschungsprojekte starten oder ganze Städte Richtung „Smart Cities“ streben sind konkrete Umsetzungen auf Ebene einzelner Gebäudeverbände noch die Ausnahme. Ein Beispiel findet sich in Deutschland mit der Solarsiedlung Schlierberg von Rolf Disch<sup>2</sup>, die zwar die Plusenergie innerhalb des Siedlungsverbundes

---

<sup>1</sup> [www.smartcities.info](http://www.smartcities.info)

<sup>2</sup> [www.oekosiedlungen.de/schlierberg/](http://www.oekosiedlungen.de/schlierberg/)

anstrebt, aber grundsätzlich eine monofunktionale Siedungseinheit ohne städtischen Kontext darstellt. Weitere Entwicklungen fokussieren zumeist auf Lösungen im Stromverbund. Logisch, ist doch mit der Versorgung aus dem Stromnetz jedes Gebäude automatisch netzgekoppelt, wenn auch noch der Aspekt der intelligenten Kommunikation mit dem Stromnetz durch sogenannte „Smart Meters“ zumeist fehlt.

Während international und europaweit eifrig an Lösungen für Plus- oder Nullenergiegebäude in Stromnetzen geforscht wird, sind nahezu noch keine Wärme- oder Kühlverbundnetze, die nicht nur als Versorgungsnetze dienen, sondern dem wechselseitigem Austausch dienen, vorhanden.

Der im Projekt +ERS realisierte Wärme- und Kühlverbund von Gebäuden mit unterschiedlichen Nutzungs- und Lastprofilen stellt somit eine Neuheit für den österreichischen (europäischen) Gebäudesektor dar. Die Vorteile gegenüber dem Ist-Stand derzeitiger Plusenergieobjekten/Siedlungen sind:

- Ergänzung derzeitiger strombasierte Gebäudeverbünde durch einen Wärme- und Kühlenergieverbund
- Kostengünstigere Realisierung auf Grund von Synergienutzungen (auf Grund der synergetischen Nutzung von Geothermie für die Wärme- und Kälteproduktion)
- Verbund von Gebäuden mit unterschiedlichen Nutzungs- und Lastprofilen führt zu höherer Energieeffizienz

## 2.4 Verwendete Methoden

In **AP 1** wurde durch die wissenschaftliche Projektpartnerin AEE INTEC die wissenschaftliche Projektbegleitung übernommen, mit der Zielsetzung eine Optimierung der Ergebnisse für das Technologieprogramm Haus der Zukunft Plus zu erreichen, zwischen praktischer Umsetzung und wissenschaftlicher Arbeit eine optimale Kommunikation herzustellen und die laufende Dokumentation und Berichtslegung projektbegleitend durchzuführen.

In **AP 2** „Optimierung Plusenergiekonzept“ wurde die wissenschaftliche Basis für den Plusenergieverbund mittels geeigneter Simulationen (Gebäude / Netzverbund) erarbeitet.

In **AP 3** „QS und TQ Bewertung“ wurde projektbegleitend eine Qualitätssicherung (QS) und die TQ-B – Nachweisführung vorgenommen.

In **AP 4** „Generalplanung“ und **AP 5** „Umsetzung“ erfolgte die Realisierung der entwickelten Systemlösung durch den Bauträger und den Generalplaner.

In **AP 6** „Monitoring“ wurden die erreichten Ergebnisse (Energieflüsse, Bilanzen und Komfortkriterien) messtechnisch erfasst und evaluiert werden, um eine Optimierung im Netzverbund nachhaltige Haushaltsführung zu unterstützen und Erfahrungen für Folgeprojekte zur Verfügung zu stellen zu können. Auf Grund der Verzögerung des Baubeginns konnte das Monitoring im Projektzeitraum nur für ein Jahr durchgeführt werden. Um jedoch eine vertragskonforme Monitoringperiode von drei Jahren durchzuführen und verifizierbare Ergebnis-

se zu erhalten, wurde mit dem Programmmanagement vereinbart das Monitoring bis August 2017 fortzuführen und die Ergebnisse danach zu veröffentlichen.

In **AP 7** „Verbreitung und Schnittstelle ECR“ wurden die Publikations- und Verbreitungsaktivitäten zur Bewusstseinsbildung der Bewohner/innen und Sichtbarmachung der Ergebnisse und Erfahrungen durchgeführt.

## **2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung**

### Optimierung Plus-Energieverbund

Die Optimierung des Plus-Energieverbundes im ersten Schritt durch die Berechnung des Energieausweises nach OIB Richtlinie 6 (2011). Diese Berechnung war einerseits für die Baueinreichung (AP4) notwendig, andererseits bildete sie aber auch die Ausgangslage zur Kalkulation der Plus-Energiebilanz. Des Weiteren wurde neben der Energieausweisberechnung eine vereinfachte Energiebilanz auf Basis der Heiz- und Kühllast und der zu erwartenden Erträge aus der Energieerzeugung vor Ort (PV, ST, Kühlenergie aus Erdsonden) erstellt. Eine dynamische Gebäudesimulation mit dem Programm TRNSYS für die einzelnen Gebäude und die Simulation des gesamten Netzverbundes mit dem Programm Simplex stellte das wichtigste Instrument für die Optimierung des Plus-Energieverbundes dar.

Anhand von Simulationsberechnungen (TRNSYS) wurde das Gebäude abgebildet und verschiedene Varianten der Sanierungsmöglichkeiten betrachtet. In einem entwickelten Excel-Sheet wurden die Energieverbräuche und Energieerzeugung gegenübergestellt und auf Basis Primärenergie gegenübergestellt.

Dabei wurden unterschiedlichen Methoden und Werkzeuge verwendet. Diese waren z.B. die Energieausweisberechnung nach OIB Richtlinie 6 (2007 bzw. 2011), die dynamische Gebäudesimulation mit dem Programmpaket TRNSYS 17, eine Stromverbrauchserhebung und -analyse sowie die Plus-Energiebilanzierung auf Basis der in Subprojekt 2 des übergeordneten Leitprojektes e80<sup>3</sup> erarbeiteten Bilanzierungsmethode.

Als Grundlage für die Berechnungen und Konzepte dienten die Polierpläne und bauphysikalischen Unterlagen.

### General- und Ausführungsplanung

Die Generalplanung wurde in Abstimmung auf die Anforderungen der zukünftigen Gebäude zur Erreichung der Projektziele durchgeführt. Ebenso wurden die erforderlichen Unterlagen für die Baubewilligung erstellt und aufbereitet (z.B. Einreichpläne, bauphysikalische Berechnungen, etc.). Die Ausführungs- und Detailplanung im Bereich Architektur und Haustechnik wurde vom Generalplaner in Zusammenarbeit mit den Fachplanern auf die Projektziele abgestimmt und die Ausschreibungsunterlagen (Leistungsverzeichnissen) um diese Aspekte ergänzt.

## Umsetzung

Der Baubeginn des 1. Bauabschnittes (BA 02 – 1) erfolgte auf Grund von Verzögerungen im Oktober 2012 und die gesamte Anlage wurde Mai 2015 fertiggestellt.

## Qualitätssicherung

Parallel zur Entwicklung des innovativen Plus-Energiekonzeptes wurde ein Augenmerk auf die wissenschaftliche Begleitung der Gesamtkonzeption des Demonstrationsbauvorhabens gelegt. Dies wurde durch eine permanente Projektbegleitung der FachplanerInnen und durch Unterstützung in der Entwicklungs- und Planungstätigkeit erreicht. Es wurde begleitend zur Planung und Umsetzung eine detaillierte Dokumentation und Nachweisführung mit dem TQ-B Gebäudebewertungstool durchgeführt.

# **3 Ergebnisse des Projektes**

## **3.1 AP 1 - Wissenschaftliche Projektbegleitung, Koordination und Dokumentation**

Arbeitspaket 1 beinhaltete die wissenschaftliche Projektbegleitung, die Koordination und die Dokumentation des Demonstrationsprojektes.

Regelmäßige Baubesprechungen während der Planungsphase und der Ausführung der einzelnen Gewerke ermöglichten eine laufende Begleitung der Umsetzung des Demonstrationsprojektes.

## **3.2 AP 2 - Optimierung Plusenergiekonzept**

### **3.2.1 Energiekonzept**

Die ursprüngliche Planung für Bauteil 2 sah einen Wohnbau nach aktuellem steirischem Wohnbaustandard vor, der hinsichtlich seiner energetischen Konzeption kein Innovationspotential aufwies. Erst durch die Übernahme des Bauteiles 2 durch den Bauträger Aktiv Klimahaus Süd war die Umsetzung eines Projektes, das den Zielsetzungen der Haus der Zukunft Plus – Leitprojekte entspricht möglich. Die Optimierung der vorliegenden Planung erfolgte auf 3 Ebenen:

1. Reduktion des Energiebedarfs für Heizen und Strom
2. Energieeffiziente Haustechnik und Energieproduktion am Grundstück
3. Plusenergieverbund

### **3.2.1.1 Reduktion des Energiebedarfs für Heizen und Strom**

Wichtigster Punkt für die Erreichung des Plusenergiestandards ist die Senkung des Heizenergiebedarfes. Die kompakte Bauweise der Punkthäuser (charakteristische Länge  $l_c = 2,1$  bis  $2,8$ ) und ein optimierter Fensterflächenanteil, sowie der hohe thermische Standard der Gebäudehülle tragen zu einer signifikanten Reduktion der Transmissionswärmeverluste bei. Die U- Werte sämtlicher thermisch relevanter Bauteile wurden auf Passivhausstandard verbessert (Außenwände  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Flachdächer und Kellerdecken  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Fenster  $0,60 - 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ , etc.). Nachstehend sind stellvertretend die Wärmedurchgangskoeffizienten und das Ergebnis der Heizlastberechnung für den Haustyp 7 angeführt.

Tabelle 1 Heizlastberechnung Haustyp 7, Quelle: Energieausweis Büro Höfler & Rosenfelder

ENERGIEAUSWEIS							
Wärmeverlust nach Typ							
Transmissionswärmeverlust [W/K]							
	Bauteil	Fläche Netto $A_i$ $m^2$	Wärmedurchgangskoeff. $U_i$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-Wert max.	Temperatur-Korrekturfaktor $f_i$ [-]		
AW	06.1 Außenwand BSP 14	628,38	0,13	0,35	1,00		
TF	06.2 Außenwand STB 20	72,14	0,16	0,35	1,00		
IW	10.1 Wand zu Keller unbeh.	80,92	0,36	0,40	0,70		
KW	15.1 erdber. Wand	17,29	0,37	0,40	0,60		
FB	01.2 Decke zu Keller	260,88	0,11	0,40	0,70		
TF	04.5 Decke über Balkon	7,40	0,14	0,20	1,00		
FB	11.1 Zwischendecke	196,06	0,43	0,00	0,00		
KB	15.2 erdb. Fußboden	55,45	0,24	0,40	0,50		
DE	04.1 Flachdach Terrassen	80,00	0,10	0,20	1,00		
TF	04.2 Flachdach ext. begrünt	235,16	0,10	0,20	1,00		
AF	100.00 x 70.00 0,5	0,70	0,91	1,40	1,00		
AF	100.00 x 90.00 0,5	18,90	0,86	1,40	1,00		
AF	140.00 x 130.00 0,5	52,78	0,77	1,40	1,00		
AF	189.00 x 130.00 0,5	9,83	0,74	1,40	1,00		
AF	190.00 x 130.00 0,50	4,94	0,74	1,40	1,00		
AF	190x 180.00 0,5	13,68	0,70	1,40	1,00		
AF	231.00 x 230.00 0,5	15,94	0,66	1,40	1,00		
AF	241.00 x 230.00 0,5	16,63	0,66	1,40	1,00		
AF	250.00 x 230.00 0,5	5,75	0,66	1,40	1,00		
AF	276.00 x 230.00 0,5	19,04	0,65	1,40	1,00		
AF	300.00 x 230.00 0,5	6,90	0,65	1,40	1,00		
AF	390.00 x 230.00 0,5	26,91	0,63	1,40	1,00		
AF	485.00 x 230.00 0,5	11,15	0,62	1,40	1,00		
AF	638.00 x 230.00 0,5	44,02	0,61	1,40	1,00		
AF	LIKU 150.00 x 150.00 0,50	4,50	1,90	1,40	1,00		
AF	LIKU 200.00 x 100.00 0,50	4,00	1,90	1,40	1,00		
Summe Fenster & Türen		83	$\Sigma A_i = A =$	1693,30			
Fenster		83	Anteil an der Außenfassade		23,2	%	
Leitwert an Außenluft $Le$					312,61 W/K		
Transmissions-Leitwert ohne Wärmebrückenzuschläge		$\Sigma A_i \cdot U_i \cdot f_i$			370,12 W/K		
Transmissions-Leitwertzuschläge für Wärmebrücken		Wärmebrücken nach Norm					
		$L_{\psi} + L_c$			39,34 W/K		
Transmissions-Leitwert inkl. Wärmebrückenzuschläge		$L_T$			409,46 W/K		
Lüftungswärmeverluste		$L_v$			81,75 W/K		
Summe Transmissions- und Lüftungswärmeverluste		$L$			491,21 W/K		
Gebäudeheizlast		$P_{Hf}$			15,62 kW		
flächenbezogene Heizlast		$P_f$			12,93 W/m <sup>2</sup>		

Um die Lüftungswärmeverluste auf ein Minimum zu reduzieren wurden alle Häuser als Passivhäuser mit kontrollierter Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung ausgeführt. Es wurde eine mechanische Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung im Kellergeschoss jedes Haus eingebaut. In den Nassgruppen, sowie in den Küchen der Wohnungen wurden Abluftventile (EFF) eingebaut. Die Frischluft wird über Zuluftelemente (STQA) in die Wohn-

bereiche eingebracht. Die Zuluft wird über Türschlitze vom Raumverbund nachgesaugt. Im Bereich der Bäder wurden hygrostatische Abluftventile vorgesehen. Im Bereich der WC-Gruppen wird die Abluft über Abluftventile abgesaugt und im Bereich der Küchen wird die Abluft mittels Raumabluft abgesaugt.

Auf Grund dieser Maßnahmen bewegt sich der Heizwärmebedarf der einzelnen Punkthäuser zwischen 6,5 und 8,9 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF.a</sub> und der durchschnittliche Endenergiebedarf beträgt ca. 36 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF.a</sub> berechnet nach OIB RL 6. In nachstehender Abbildung findet sich eine Zusammenstellung der energetischen Performance der einzelnen Haustypen, sowie stellvertretend für alle Häuser ein Deckblatt des Energieausweises des Haustyps 01.



Abbildung 1 Ergebnis der Energieausweisberechnung für den Haustyp 01 nach OIB Richtlinie 6 (2011) (Quelle: Büro Höfler & Rosenfelder)

Tabelle 2 Übersicht Wärme- und Energiebedarf der verschiedenen Haustypen bezogen auf das Standortklima in kWh/m<sup>2</sup> BGF.a. Zusammenstellung AEE INTEC, Quelle: Energieausweis Büro Höfler & Rosenfelder

Übersicht Wärme- und Energiebedarf der verschiedenen Haustypen laut Energieausweis bezogen auf das Standortklima							
Angaben in kWh/m <sup>2</sup> a	Haus 1	Haus 2	Haus 3	Haus 4	Haus 5	Haus 6	Haus 7
Heizwärmebedarf HWB	8,89	7,39	7,66	8,01	6,98	8,37	6,58
Warmwasserbedarf WWWW	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78
Heiztechnikenergiebedarf HTEB Heizung	7,29	7,5	7,32	8,3	8,48	6,9	7,11
Heiztechnikenergiebedarf HTEB Warmwasser	8,63	8,62	8,63	8,66	8,77	8,67	8,62
Heizenergiebedarf HEB	37,58	36,28	36,38	37,74	37,02	36,72	35,08
Endenergiebedarf EEB	37,58	36,28	36,38	37,74	37,02	36,72	35,08

## Senkung des Haushaltsstromverbrauchs

Die Reduktion des Haushaltstromverbrauches auf ca. 1.400 kWh/Haushalt und Jahr (durchschnittlicher Verbrauch ohne Warmwasser, Heizung, Lüftung, Allgemeinstromanteil liegt lt. Statistik Austria bei ca. 2.533 kWh/Haushalt und Jahr) sollte durch den Einsatz von energieeffizienter Beleuchtung und energieeffizienten Haushaltsgeräten erfolgen. Des Weiteren sollte in Zusammenarbeit mit der Energie Steiermark in zwölf Wohnungen Smart Meters (Intelligente Stromzähler/Steuerungseinrichtungen) installiert werden, die es den BewohnerInnen ermöglichen ihren Stromverbrauch zu optimieren. Auf Grund mangelndem Interesses seitens der BewohnerInnen und den Ausfall der Energie Steiermark als Partner bei der Implementierung der Smart Meters konnten diese Maßnahmen nicht durchgeführt werden.

### **3.2.1.2 Energieeffiziente Haustechnik und Energieproduktion am Grundstück**

Da die Umsetzung der Punkthäuser in drei Bauetappen erfolgte, wurde je Bauabschnitt (eine Gebäudereihe mit vier Häusern) eine Wärmezentrale mit Wärmepumpe und Pufferspeicher errichtet. Im Folgenden wird das haustechnische Konzept näher beschrieben.

#### Wärmeproduktion - Geothermie und Wärmepumpe

Im Antrag wurde für die Wärmeversorgung für Heizung und Warmwasser 85% durch Geothermie mit Wärmepumpentechnologie und 25% durch die Grazer Fernwärme vorgesehen. Auf Bauherrenwunsch wurde diese Variante in eine 100% -ige Wärmeversorgung für Heizung und Warmwasser mit Geothermie und Wärmepumpentechnologie umgewandelt. Auf Grund dieser Maßnahme konnte der Anteil der vor Ort produzierten Energie erhöht - und somit eine Verbesserung der Energiebilanz erreicht werden.

Die Energieversorgung für die zwölf Punkthäuser erfolgt nun ausschließlich durch am eigenen Grundstück versetzter „Energiepfähle“. Da die vorherrschende Bodensituation für eine Flachgründung ungeeignet ist, erfolgte die Gründung mittels Betonbohrpfählen in denen mit Soleflüssigkeit gefüllte „Energieschleifen“ (Duplexsonden) integriert sind. Die Fundamentplatten aller Punkthäuser sind mittels dieser Pfähle (in Summe 573 Stück, mit 12 m Tiefe, in Summe) gegründet. In den semizentralen Lüftungsanlagen der einzelnen Wohnhäuser wird die Frischluft aus dem Erdwärmetauscher durch die Soleleitungen der Energieschleifen nacherwärmt (auf ca. 10°C) und steht danach den Wärmepumpen mit ca. 9,5°C zur Verfügung. Der COP der Wärmepumpen liegt bei ca. 4,0. Die produzierte Energie versorgt den hochgedämmten Pufferspeicher (je 2 Speicher mit 5.000 l/Heizzentrale) und danach mittels Zweileiternetz und Heat Box jede Wohnung (Fußbodenheizung + Warmwasser). Die Gesamtleistung der drei Wärmepumpen für die Raumheizung beträgt ca. 215 kW. Die Wärmepumpen decken in Verbindung mit der thermischen Solaranlage den gesamten Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf der 162 Wohneinheiten ab. Für eine ev. erforderliche Spitzenlastabdeckung besteht die Möglichkeit den Fernwärmeanschluss des vorgelagerten Büro- und Geschäftsgebäudes heranzuziehen. Das Energiekonzept ist stellvertretend für einen Bauabschnitt in Abbildung 2 dargestellt.

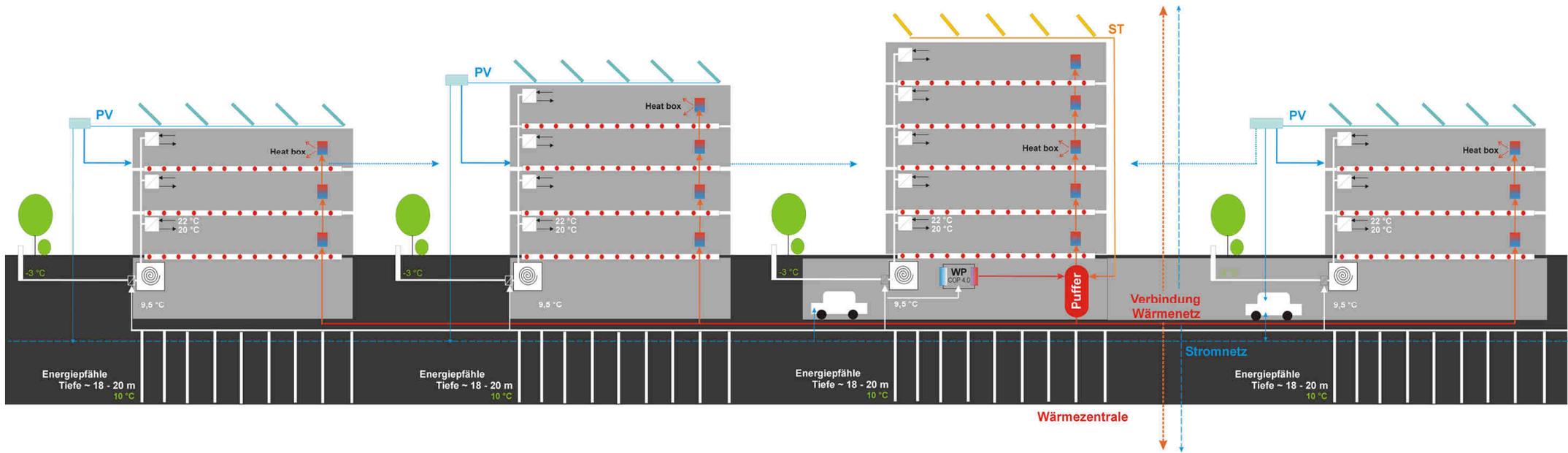


Abbildung 2 Systemschnitt des Energiekonzeptes eines Bauabschnittes. Quelle: AEE INTEC

## Wärmeproduktion – Thermische Solaranlage

Im Antrag war ursprünglich keine thermische Solaranlage für Heizung und Warmwasser vorgesehen. Da in der Steiermark der Erhalt von Wohnbauförderung an ein Mindestmaß von thermischer Solarenergienutzung gebunden ist (Musskriterium) und eine thermische Solarenergienutzung für Heizung und Warmwasser äußerst sinnvoll ist, wurden 185 m<sup>2</sup> Solarthermie (3 Kollektorfelder zu je 61,5 m<sup>2</sup> Aperturfläche) auf den Dächern der Punkthäuser F, G, B mit einem jährlichen Gesamtertrag von ca. 35.000 kWh/a (davon 70% für Warmwasserbereitung und 30% für die Heizungsunterstützung) installiert.

## Stromproduktion

Bei Gebäuden mit sehr niedrigem Heizenergiebedarf kommt der Reduktion des Strombedarfs (Haushaltstrom, Strom für Hilfsenergie) zur Erlangung des Plusenergiestandards große Bedeutung zu. Im Antrag wurde daher ursprünglich eine Photovoltaikanlage mit einer Modulfläche von 1650 m<sup>2</sup> mit einer Gesamtleistung von ca. 250 kWp (297.200 kWh Stromertrag pro Jahr) geplant, die vom Bauherren selbst errichtet und betrieben werden sollte. Da die Wohnanlage aus Eigentumswohnungen besteht und somit dem Wohnungseigentumsgesetz unterliegt, war für die Installation der PV-Anlage auf den Dächern eine 100%-ige Zustimmung aller Wohnungsbesitzer der betroffenen Häuser erforderlich. Da diese nicht erzielt werden konnte, kam keine PV-Anlage zur Ausführung.

### 3.2.1.3 Plusenergieverbund

Das Konzept des Plusenergieverbundes basiert einerseits auf der Vernetzung der einzelnen Punkthäuser untereinander und der Verbindung mit dem vorgelagerten Büro- und Geschäftskomplex. Wie bereits angeführt wurde je Bauabschnitt (eine Gebäudereihe mit vier Häusern) eine Wärmezentrale errichtet. Die Versorgung jeder Gebäudereihe erfolgt von dieser Zentrale aus, die jedoch untereinander vernetzt sind um wechselseitig Spitzenlasten in der Erzeugung oder im Verbrauch auszugleichen. Gleichzeitig sind diese Zentralen an den vorgelagerten Büro- und Geschäftskomplex angebunden und erzeugen somit folgende Synergieeffekte:

- Im Sommer kann die, für die Wohnhäuser nicht benötigte Kühlenergie der Energieschleifen, vom Büro- und Geschäftskomplex genutzt werden (Büros, Supermarkt). Bei einer Gesamtlänge von 6876 m und einer Kühlleistung von 35 W/m ergibt sich eine max. Kühlleistung von ca. 240 kW, womit sich mit ca. 800 Betriebsstunden eine potentielle jährliche Kühlenergielieferung von 192.500 kWh für den vorgelagerten Büro- und Geschäftskomplex ergibt.
- In der Heizperiode kann überschüssige Wärmeenergie aus dem Büro- und Geschäftskomplex (höhere innere Wärmelasten und solarthermische Anlage am Dach) zu den Punkthäusern geliefert werden.

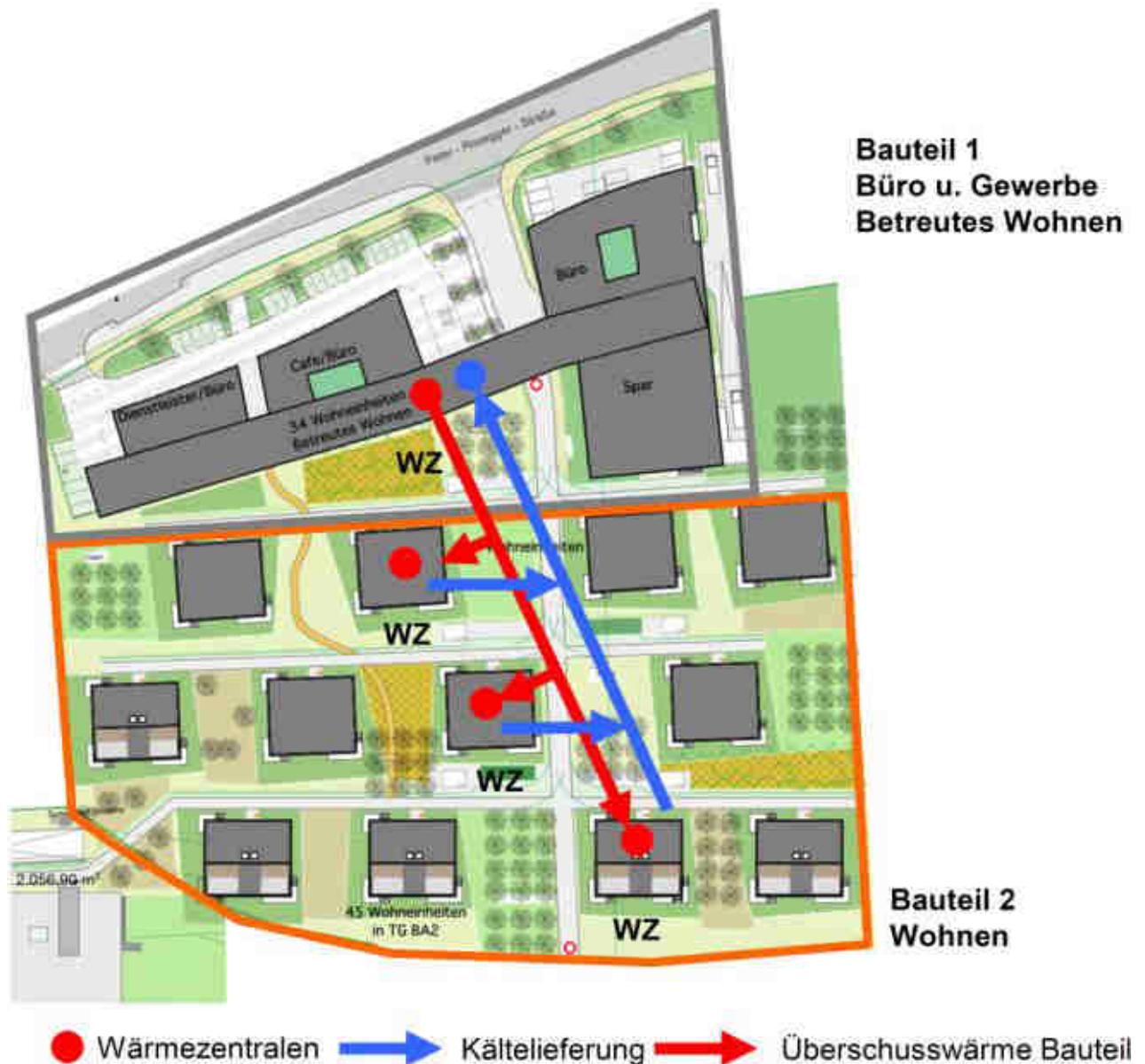


Abbildung 3 Schema Plusenergieverbund Reininghaus Süd. Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH u. AEE INTEC

### 3.2.2 Energiebilanz – Statische, vereinfachte Berechnung

#### 3.2.2.1 Energiebilanz laut ursprünglicher Planung (Antrag)

In nachstehend angeführter Tabelle ist die Energiebilanz, die in Zusammenarbeit mit dem Technischen Büro Hammer auf Basis detaillierter Heizlastberechnungen und Abschätzung der Betriebsstunden erstellt wurde, zu finden. Die vorliegende Energiebilanzierung wurde nicht auf Basis des Energieausweises erstellt, da dieser auf Grund seiner vereinfachten Berechnungsmethode und der Vorgabe bestimmter Defaultwerte den vorliegenden Plusenergieverbund nur unzureichend abbilden kann.

Die Berechnungen zeigen, dass die grundsätzliche Konzeption des Projektes zu einem Plusenergieverbund führt. Neben der Reduktion auf der Bedarfsseite (Reduktion der Trans-

missionswärmeverluste, Reduktion der Lüftungswärmeverluste durch kontrollierte Be- und Entlüftung) und dem Einsatz energieeffizienter Haustechnik trägt die Energieproduktion am Grundstück (Fotovoltaik, Solarthermie, Geothermie für Wärme und Kälteerzeugung) und der Energieaustausch zwischen den einzelnen Häusern und Bauabschnitten wesentlich zur Plusenergiebilanz bei.

Der vereinfachte Bilanzierungsansatz auf Jahresbasis zeigt, dass einem Endenergiebedarf von 297.000 kWh/Jahr eine jährliche Energieproduktion von 352.982 kWh gegenübersteht und somit zu einem Plus von 55.728 kWh pro Jahr führt.

Auf Primärenergieebene (-247.295 kWh) und CO<sub>2</sub>- Ebene (-37.887 kWh) können jedoch keine positive Bilanzen erzielt werden. Da für die energetische Versorgung des Energieverbundes im Wesentlichen Strom als Energieträger eingesetzt wird, führen die hohen Konversionsfaktoren für Strom lt. OIB Richtlinie 6 (Primärenergie: Faktor 2,62, CO<sub>2</sub>: Faktor 0,417) zu hohen Werten auf der Bedarfsseite, die auf der Produktionsseite nicht kompensiert werden können.

*Tabelle 3 Vereinfachte Energiebilanz der 12 Punkthäuser auf Basis der im Projektantrag vorgesehenen Maßnahmen. Der Energieüberschuss auf Endenergieebene wird durch den Solarenergieertrag (thermisch, PV) und durch die Kältelieferung an den vorgelagerten Büro- und Gewerbekomplex erzielt. Quelle: AEE INTEC*

Projekt +ERS - Plusenergieverbund Reininghaus Süd						
Energiebilanzierung auf Basis Heizlast TBH + Hereschwerke (PV)					Stand: 1. Zwischenbericht	
Endenergiebedarf	Energieträger	Endenergie	PEIB-Konversionsfaktoren	CO <sub>2</sub> -Konversionsfaktoren	PEIB	CO <sub>2</sub> -Emissionen
		kWh/a		kg/kWh	kWh/a	kg/a
Strom - Lüftung	Strom-Erdkollektor/WRG	86.400,00	2,62	0,417	226.368,00	36.028,80
Strom - Wärmepumpe Wärme	Strom-Wärmepumpe	130.800,00	2,62	0,417	342.696,00	54.543,60
Strom - Hilfsenergie HZG. u. WW	Strom-Pumpen, usw.	67.500,00	2,62	0,417	176.850,00	28.147,50
Strom - Hilfsenergie Kältelieferung	Strom-Kühlung Spar, Büros	12.500,00	2,62	0,417	32.750,00	5.212,50
<b>Summe Energiebedarf</b>	<b>Strom</b>	<b>297.200,00</b>			<b>778.664,00</b>	<b>123.932,40</b>
<b>Energieerzeugung</b>						
Strom	PV-Anlage (119 kWp)	130.400,00	2,62	0,417	341.648,00	54.376,80
Kälte	Geothermie	192.528,00	0,75	0,119	144.120,96	22.938,34
Wärme	Therm. Kollektoren	30.000,00	1,52	0,291	45.600,00	8.730,00
<b>Summe Energieerzeugung</b>		<b>352.928,00</b>			<b>531.368,96</b>	<b>86.045,14</b>
<b>Saldo</b>		<b>55.728,00</b>			<b>-247.295,04</b>	<b>-37.887,26</b>

Anmerkung: Diese vereinfachte Bilanzierung erfolgt auf jährlicher Basis und geht von einer Netzeinspeisung des Stromertrages aus. Der eingespeiste Strom und die Kältelieferung an den nördlichen Bauteil werden als Energiegutschrift gerechnet. Des Weiteren wird bei der Bilanzierung nicht zwischen verschiedenen Energieträgern (Strom, Wärme) unterschieden. Betreffend Primärenergie- und CO<sub>2</sub>- Bilanz wird folgende Vorgangsweise angewendet:

Die Kältelieferung aus der Geothermie wird als Substitution einer konventionellen Kälteerzeugung mit einer Kompressionskältemaschine mit einem COP von 3,5 bilanziert. Der Wärmeertrag der thermischen Kollektoren substituiert eine Fernwärmeversorgung (Konversionsfaktoren laut OIB-Richtlinie 6).

### 3.2.2.2 Energiebilanz umgesetztes Projekt

Das realisierte Projekt weicht in folgenden Punkten vom Projektantrag ab:

- Entfall der PV-Anlage mit 119 kWp und einem Stromertrag von 130.400 kWh/Jahr

- Reduzierte Kältelieferung an den vorderen Bauteil (-181.990 kWh/Jahr)
- Erhöhung der thermischen Kollektorfläche in Summe 185 m<sup>2</sup> (+ 5.000 kWh/Jahr)

Tabelle 4 Vereinfachte Energiebilanz der 12 Punkthäuser - Umsetzung. Quelle: AEE INTEC

Projekt +ERS - Plusenergieverbund Reininghaus Süd						
Energiebilanzierung auf Basis Heizlast TBH					Stand: 3. Zwischenbericht	
Endenergiebedarf	Energieträger	Endenergie	PEIB-Konversionsfaktoren	CO2-Konversionsfaktoren	PEIB	CO2-Emissionen
		kWh/a		kg/kWh	kWh/a	kg/a
Strom - Lüftung	Strom-Erdkollektor/WRG	86.400,00	2,62	0,417	226.368,00	36.028,80
Strom - Wärmepumpe Wärme	Strom-Wärmepumpe	130.800,00	2,62	0,417	342.696,00	54.543,60
Strom - Hilfsenergie HZG. u. WW	Strom-Pumpen, usw.	67.500,00	2,62	0,417	176.850,00	28.147,50
Strom - Hilfsenergie Kältelieferung	Strom-Kühlung Spar, Büros	685,00	2,62	0,417	1.794,70	285,65
<b>Summe Energiebedarf</b>	<b>Strom</b>	<b>285.385,00</b>			<b>747.708,70</b>	<b>119.005,55</b>
<b>Energieerzeugung</b>						
Strom (entfällt)	PV-Anlage (119 kWp)		2,62	0,417	0,00	0,00
Kälte (reduz. Kältelieferung)	Geothermie	10.538,00	0,75	0,119	7.888,45	1.255,53
Wärme (Erhöhte Kollektorfläche)	Therm. Kollektoren	35.000,00	1,52	0,291	53.200,00	10.185,00
<b>Summe Energieerzeugung</b>		<b>45.538,00</b>			<b>61.088,45</b>	<b>11.440,53</b>
<b>Saldo</b>		<b>-239.847,00</b>			<b>-686.620,25</b>	<b>-107.565,02</b>

Auf der Energieerzeugungsseite kommt es durch die erhöhte Fläche der thermischen Kollektoren zu einem Wärmeertrag von 35.000 kWh/a (+ 5.000 kWh/a). Der Ausfall der Stromerzeugung durch die PV-Module am Dach der Punkthäuser führt zu -130.400 kWh/a und die reduzierte Kältelieferung in der Höhe von 10.538 kWh/a an den Bauteil 1 führt zu -181.990 kWh/a. Insgesamt können nur mehr 45.538 kWh/a erzeugt werden (- 307.390 kWh/a), wodurch sich auf der Endenergieebene eine negative Bilanz ergibt.

### 3.2.3 Simulation Plusenergieverbund

Für die Simulation des gesamten Plusenergieverbundes wird die Simulationssoftware **simplex** verwendet, mit der die umfassende Analyse von unterschiedlichsten Wärmenetzen wie z.B. Nah- und Fernwärmenetzen, Mikronetzen oder auch Kraft-Wärme(-Kälte)-Kopplungsanlagen möglich ist. Die Software wurde ursprünglich zur Projektbearbeitung am Institut für Wärmetechnik (IWT) der Technischen Universität Graz entwickelt. Seit 2007 wird **simplex** seitens der Firma Pink zur Projektbearbeitung im Nah- und Fernwärmebereich eingesetzt, aufgrund von neuen Anforderungen wurde die Weiterentwicklung ständig vorangetrieben.

Zudem wurde in den letzten Jahren die Zusammenarbeit mit dem IWT im Rahmen von Forschungsprojekten wieder vertieft. Dabei stand vor allem die mögliche Anbindung an die Simulationsumgebung TRNSYS im Mittelpunkt. Diese Schnittstelle zwischen den beiden Programmen ermöglicht die detailgetreue Abbildung aller relevanten Komponenten des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd. In der nachfolgenden Abbildung 4 sind der prinzipielle Aufbau sowie die Methodik der Simulation dargestellt.

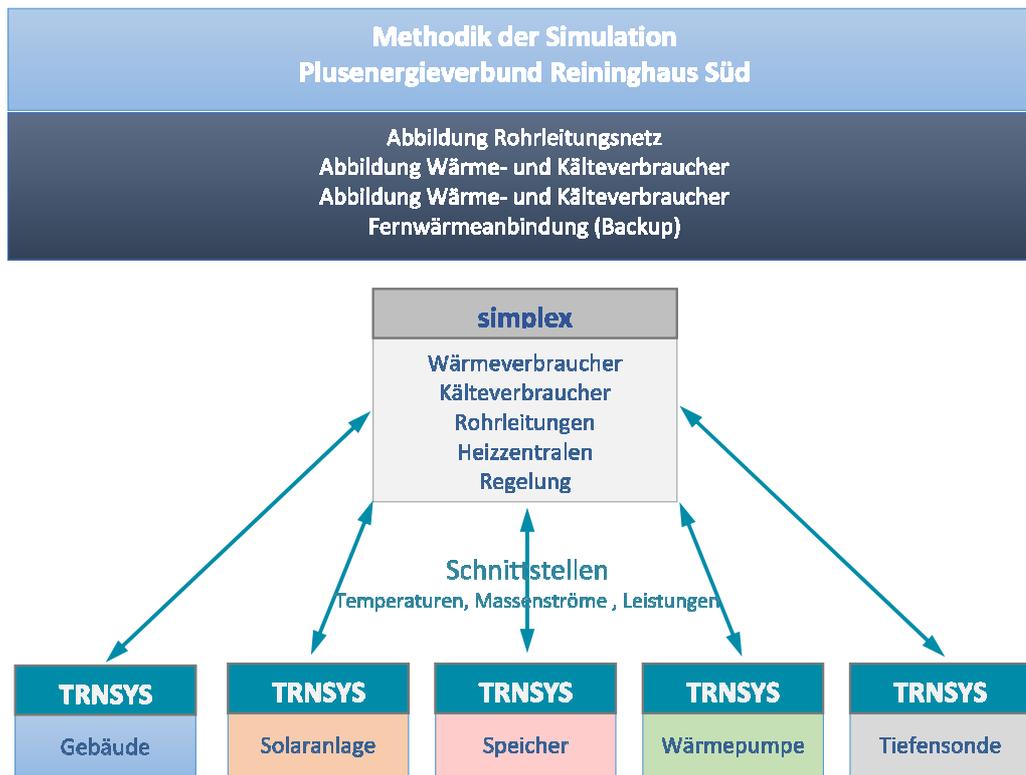


Abbildung 4 Methodik der Simulation des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd

**simplex:** Die Software zur Berechnung von Wärmenetzen nimmt die zentrale Position bei der Simulation des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd ein. Alle Einzelkomponenten werden zentral verwaltet bzw. geregelt. Es wird also zu jedem Zeitpunkt von **simplex** bestimmt, mit welchem Wärme- bzw. Kälteerzeuger der momentane Wärme- bzw. Kältebedarf aller im Netz integrierten Abnehmer abgedeckt wird.

**TRNSYS:** Aus den Einzelsimulationen ergeben sich die erforderlichen bzw. erreichbaren Leistungen und Temperaturen für alle relevanten Komponenten des Energieverbundes (Gebäude, Solaranlage, Speicher, Wärmepumpe, Tiefensonde)

**Schnittstelle:** Über die eigens erstellten Schnittstellen werden die erforderlichen bzw. erreichbaren Leistungen und Temperaturen von den Teilsimulationen auf die übergeordnete Simulation übergeben bzw. von ihr übernommen.

### 3.2.3.1 Gebäudesimulation der Punkthäuser

Die thermische Gebäudesimulation ist ein präzises Werkzeug zur Bestimmung und zur Optimierung des Energiebedarfs für die Beheizung und Kühlung eines Gebäudes. Es ist möglich, das thermische Verhalten eines Gebäudes unter Berücksichtigung der äußeren Einflüsse und inneren Lasten detailliert zu untersuchen und exakt vorauszusagen. So kann beispielsweise die Bilanz der Wärmeströme einschließlich der solaren Gewinne erstellt sowie der zeitliche Verlauf von Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte in jedem Raum bzw. in jeder thermischen Zone eines Gebäudes ermittelt werden. Somit kann schon in der frühen

Planungsphase eine optimale Synergie von Gebäude, technischer Gebäudeausrüstung und Klimafaktoren herausgearbeitet werden, denn wenn der architektonische Entwurf bereits unveränderbar ist, sind 70 % der wesentlichen Entscheidungen hinsichtlich Investitions- und Betriebskosten bereits gefallen.

### ***Dynamische Gebäudesimulation mit TRNSYS***

Auswirkungen von Parametervariationen (z.B. Ausrichtung, Fensterflächenanteil etc.) auf das thermische Verhalten von Geschloßwohnungsbauten im Passivhausstandard lassen sich mit Hilfe der dynamischen Gebäudesimulation quantitativ mit hoher Genauigkeit ermitteln, ohne dass die Gebäude gebaut und vermessen werden müssten. Es lassen sich damit Rückschlüsse auf die Behaglichkeit in den einzelnen Wohneinheiten bzw. thermischen Zonen und die benötigten Heizleistungen bei unterschiedlichen Gebäudeparametern und Randbedingungen ziehen. Im Gegensatz zur Heizwärmebedarfsberechnung reichen hierfür Jahres- bzw. Monatsbilanzverfahren nicht aus.

Nur mit dynamischen Modellen ist es möglich, das zeitabhängige Verhalten (auf der Basis von stündlichen Werten oder geringer) nachzubilden. Folgende Teilmodelle müssen berechnet und verknüpft werden:

- instationäre Wärmeleitung
- Strahlungsaustausch zwischen den Bauteilen
- Reflexion, Transmission und Absorption von Solarstrahlung
- Regelung der Wärmezufuhr
- Wärmequellen im Raum
- Infiltration und Ventilation

Inzwischen liegen eine Reihe weit entwickelter Programme für diese Simulationsaufgabe vor. Vergleiche von Programmen und deren Validierung finden sich beispielsweise in Karitnik, 2008. Das Programm TRNSYS (Transient System Simulation) sowie eine kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze sind in TRNSYS, 2013 und Karitnik, 2008 ausführlich beschrieben. Mit TRNSYS steht hier ein modular aufgebautes, dynamisches Gebäude- und Anlagen-Simulationsprogramm zur Verfügung, mit dem auch das Verhalten von thermischen Solarenergiesystemen und Systemen zur rationellen Energienutzung simuliert werden kann. Durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung in einem internationalen Entwicklerteam fließen neben neuesten Erkenntnissen der Simulationstheorien vor allem Lösungen für Anforderungen aus der Praxis in die neuen Versionen ein.

TRNSYS ist damit ein Standardwerkzeug für Experten weltweit zur Energiekonzeptentwicklung und Energiekonzeptbewertung und zeichnet sich in besonderem Maße aus durch:

- Leistungsstarkes Mehrzonengebäudemodell mit integrierten Modellen für thermoaktive Bauteile wie Betonkernaktivierung, Fußbodenheizung, Kapillarrohrmatten und Kühldecken
- Große Standard-Komponentenbibliothek und Auswahl verschiedenster Zusatzkomponenten z. B. für geothermische Energienutzung oder Luftströmung im Gebäude

- Gekoppelte Simulation des Gebäudes und der zugehörigen Anlagentechnik
- Hohe Flexibilität und Offenheit z. B. Kopplung mit anderen Programmen und Einbindung eigener Komponenten

### **Geometrische Abbildung und Lage der Gebäude**

Der Standort des betrachteten Areals des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd ist die Peter-Rosegger-Straße in Graz. Die genaue geographische Lage ist 47,05° nördliche Breite und 15,41° östliche Länge bei einer Höhe von 357 m über dem Meeresspiegel. Das Areal ist Nord-Süd orientiert und eben. Das Areal wird durch die vorhandene Bebauung in den umliegenden Grundstücken kaum verschattet.

In der nachfolgenden Abbildung 5 ist das Areal dargestellt. Im Norden des Grundstückes ist ein langgestreckter Baukörper mit Büros, Wohnungen und einem Supermarkt situiert. Dieser Baukörper wird hier nicht näher in der thermischen Gebäudesimulation betrachtet. Für den Nachweis des Plusenergieverbundes werden die 12 Punkthäuser und deren Energiesystem im Detail betrachtet. Die Nomenklatur und die Lage der Punkthäuser sind in der Abbildung 5, links oben schematisch ein weiteres Mal dargestellt.

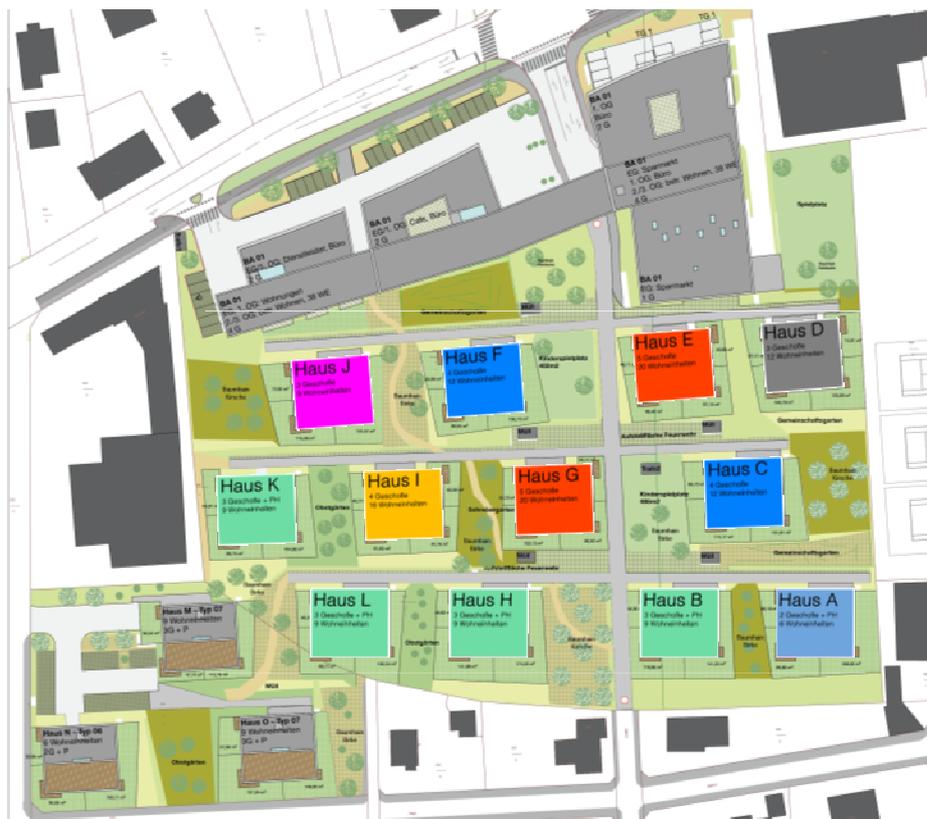
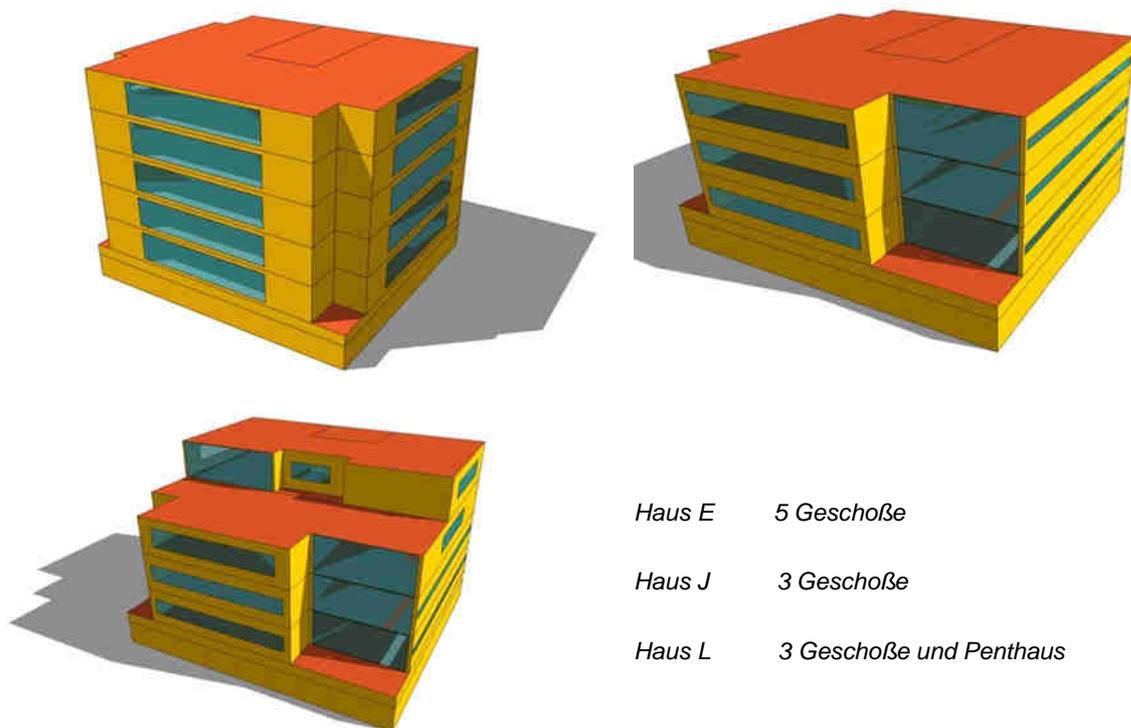


Abbildung 5 Lageplan des Siedlungsgebietes +ERS und Bezeichnung der Punkthäuser (Nussmüller Architekten, 2012)

Für die thermische Gebäudesimulation wurde ein Plansatz der Punkthäuser vom November 2012 verwendet [Nussmüller Architekten 2012]. Mit der Software Trimble SketchUp

[SketchUp 2013] wurden die einzelnen Punkthäuser und deren thermische Zonen dargestellt. Um den notwendigen Simulationsaufwand der einzelnen Punkthäuser zu begrenzen, wurde nicht jeder einzelne Raum als thermische Zone abgebildet, sondern es wurden Räume mit ähnlicher Temperatur zu thermischen Zonen zusammengezogen.

Alle Wohnungen eines Geschosses, das Stiegenhaus und der Keller werden als einzelne thermische Zonen definiert. So ergeben sich, z. B. für das Gebäude Haus E mit 5 Geschossen (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6), in Summe sieben thermische Zonen, für die nun im Detail alle relevanten Ergebnisse (HWB, HL, KB, KL, PMV, PPD,...) generiert werden können. In der nachfolgenden Abbildung 6 sind drei unterschiedliche Haustypen (E, J und L), als 3D-Modell in SketchUp exemplarisch dargestellt.



*Haus E*      5 Geschosse

*Haus J*      3 Geschosse

*Haus L*      3 Geschosse und Penthaus

*Abbildung 6: 3D-Modelle in Trimble SketchUp, zur Definition der Geometrie für die Gebäudesimulation in Trnsys*

Aus den erstellten 3D-Modellen wird die Geometrie der Häuser an das Modul der thermischen Gebäudesimulation (Programm TRNBuild) weitergegeben. Zusätzlich zur Geometrie wurden die Wandaufbauten aus der Detailplanung der Aufbauten und dem Energieausweis [Nussmüller Architekten 2012a und Rosenfelder 2011] übernommen. Die verwendeten Fenstertypen ( $U_w$  laut Tabelle 5,  $g$ -Wert = 0,5) wurden ebenso aus der vorliegenden Energieausweisberechnung übernommen. Auch hinsichtlich der internen Lasten (Personen und elektrische Geräte), dem Luftwechsel (Infiltration und Ventilation), der Verschattungsstrategie so-

wie der Raumlufthilfstemperatur wurden vorerst die Werte des Energieausweises übernommen [OIB 2011].

In der nachfolgenden Tabelle 5 sind die laut Plan definierten Fenstertypen zusammengefasst. Für die thermische Anlagensimulation werden die einzelnen Räume in größere thermische Zonen zusammengefasst. Dadurch können viele einzelne Fenster zu größeren Flächen zusammengezogen werden. Die so entstandenen Fenster sind in der Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 5 Auflistung aller Fenstertypen und deren Eckdaten, die laut [Nussmüller Architekten 2012a] verwendet werden

	F01	F02	F03	F11	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P19	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28
Breite Fenster <b>b_W</b> [m]	1	1.4	1.9	1.9	3.13	3.35	2.46	2.19	2.4	1.8	2.6	6.31	3.96	2.31	2.41	2.76	3	2.75
Höhe Fenster <b>h_W</b> [m]	0.9	1.3	1.8	1.3	2.52	2.56	2.52	2.52	2.52	1.3	2.56	2.56	2.56	2.56	2.62	2.62	2.62	2.62
Rahmenstärke Umfang <b>s</b> [m]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.1	0.1	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Breite VG <b>b_G</b> [m]	0.8	1.2	1.7	1.7	2.95	3.17	2.28	2.01	2.22	1.6	2.4	6.13	3.78	2.13	2.23	2.58	2.82	2.57
Höhe VG <b>h_G</b> [m]	0.7	1.1	1.6	1.1	2.34	2.38	2.34	2.34	2.34	1.1	2.36	2.38	2.38	2.38	2.44	2.44	2.44	2.44
Rahmenstärke Stütze <b>s<sub>St</sub></b> [m]	0	0	0.08	0.08	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.1	0	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Anzahl Stützen <b>n<sub>St</sub></b> [-]	0	0	1	1	2	2	1	1	1	1	0	3	2	1	1	1	2	1
Fläche Stützen <b>A<sub>St</sub></b> [m <sup>2</sup> ]	0.00	0.00	0.13	0.09	0.56	0.57	0.28	0.28	0.28	0.11	0.00	0.86	0.57	0.29	0.29	0.29	0.59	0.29
Fläche Fenster <b>A_W</b> [m <sup>2</sup> ]	0.90	1.82	3.42	2.47	7.89	8.58	6.20	5.52	6.05	2.34	6.656	16.15	10.14	5.91	6.31	7.23	7.86	7.21
Fläche Verglasung <b>A_G</b> [m <sup>2</sup> ]	0.56	1.32	2.59	1.78	6.34	6.97	5.05	4.42	4.91	1.65	5.664	13.73	8.43	4.78	5.15	6.00	6.30	5.98
Anteil VG <b>a_G</b> [-]	0.62	0.73	0.76	0.72	0.80	0.81	0.82	0.80	0.81	0.71	0.85	0.85	0.83	0.81	0.82	0.83	0.80	0.83
Anteil Rahmen <b>a_F</b> [-]	0.38	0.27	0.24	0.28	0.20	0.19	0.18	0.20	0.19	0.29	0.15	0.15	0.17	0.19	0.18	0.17	0.20	0.17
Fläche Rahmen <b>A_F</b> [m <sup>2</sup> ]	0.34	0.50	0.83	0.69	1.55	1.60	1.14	1.10	1.13	0.69	0.992	2.42	1.71	1.13	1.17	1.23	1.56	1.23
Wärmebrückenfaktor <b>Ψ</b> [W/mK]	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
Wärmebrückenlänge <b>l</b> [m]	3	4.6	9.64	7.64	19.46	20.14	13.68	13.14	13.56	7.4	9.52	30.58	21.36	13.54	13.98	14.68	19.8	14.66
U Wert VG <b>U<sub>G</sub></b> [W/m <sup>2</sup> K]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
U Wert Rahmen <b>U<sub>F</sub></b> [W/m <sup>2</sup> K]	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
U Wert Fenster <b>U<sub>w</sub></b> [W/m <sup>2</sup> K]	0.86	0.76	0.75	0.78	0.71	0.70	0.69	0.71	0.69	0.79	0.64	0.66	0.68	0.70	0.69	0.68	0.71	0.68

Tabelle 6 Auflistung der in der thermischen Anlagensimulation verwendeten Fenstertypen und deren Eckdaten

	3WE_Nord	3WE_Ost	3WE_Süd	3WE_West	4WE_Nord	4WE_Ost	4WE_Süd	4WE_West
Breite Fenster <b>b_W</b> [m]	6.5	15	10	10.5	6	10	10	10
Höhe Fenster <b>h_W</b> [m]	1.81	0.48	1.12	2.24	0.91	1.86	2.08	2.35
Fläche Fenster <b>A_W</b> [m <sup>2</sup> ]	11.77	7.20	11.20	23.52	5.46	18.60	20.80	23.50
Anteil VG <b>a_G</b> [-]	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Anteil Rahmen <b>a_F</b> [-]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Fläche Verglasung <b>A_G</b> [m <sup>2</sup> ]	8.24	5.04	7.84	16.46	3.82	13.02	14.56	16.45
Fläche Rahmen <b>A_F</b> [m <sup>2</sup> ]	3.53	2.16	3.36	7.06	1.64	5.58	6.24	7.05
U Wert VG <b>U<sub>G</sub></b> [W/m <sup>2</sup> K]	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
U Wert Rahmen <b>U<sub>F</sub></b> [W/m <sup>2</sup> K]	1.00	1.03	0.83	0.83	1.07	0.90	0.77	0.83
<b>U<sub>F</sub></b> [kJ/hm <sup>2</sup> K]	3.60	3.72	3.00	3.00	3.84	3.24	2.76	3.00
U Wert Fenster <b>U<sub>w</sub></b> [W/m <sup>2</sup> K]	0.79	0.8	0.74	0.74	0.81	0.76	0.72	0.74

	PH1_Nord	PH1_Ost	PH1_Süd	PH1_West	PH2_Nord	PH2_Ost	PH2_Süd_1	PH2_Süd_2	PH2_West
Breite Fenster <b>b_W</b> [m]	4	6	9	10	4	6	7.5	2.8	6
Höhe Fenster <b>h_W</b> [m]	1.04	1.11	1.34	1.8	1.36	1.14	2.64	1.6	1.14
Fläche Fenster <b>A_W</b> [m <sup>2</sup> ]	4.16	6.66	12.06	18.00	5.44	6.84	19.80	4.48	6.84
Anteil VG <b>a_G</b> [-]	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Anteil Rahmen <b>a_F</b> [-]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Fläche Verglasung <b>A_G</b> [m <sup>2</sup> ]	2.91	4.66	8.44	12.60	3.81	4.79	13.86	3.14	4.79
Fläche Rahmen <b>A_F</b> [m <sup>2</sup> ]	1.25	2.00	3.62	5.40	1.63	2.05	5.94	1.34	2.05
U Wert VG <b>U<sub>G</sub></b> [W/m <sup>2</sup> K]	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
U Wert Rahmen <b>U<sub>F</sub></b> [W/m <sup>2</sup> K]	1.17	1.03	0.93	0.90	1.07	0.87	0.83	0.90	0.87
<b>U<sub>F</sub></b> [kJ/hm <sup>2</sup> K]	4.20	3.72	3.36	3.24	3.84	3.12	3.00	3.24	3.12
U Wert Fenster <b>U<sub>w</sub></b> [W/m <sup>2</sup> K]	0.84	0.8	0.77	0.76	0.81	0.75	0.74	0.76	0.75

In der Tabelle 7 sind die U-Werte der verwendeten Wandaufbauten dargestellt, die detaillierte Zusammenstellung der Wandschichten ist in den Planunterlagen [Nussmüller Architekten 2012a] zu finden. Die U-Werte entsprechen einem Passivhaus, wobei die Flächen gegen außen oder unbeheizt zwischen 0,10 und 0,16 W/m<sup>2</sup>K liegen.

Tabelle 7 Auflistung der in der Gebäudesimulation verwendeten Wandtypen und deren U-Werte

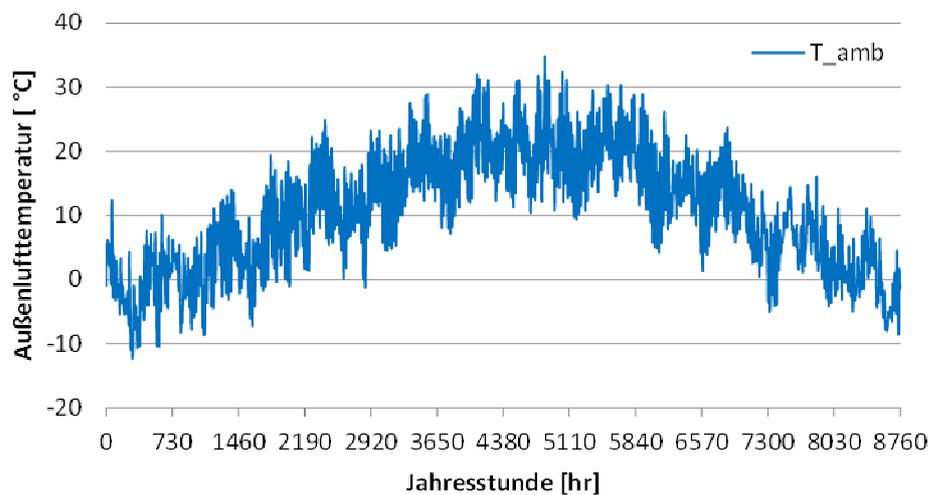
Bezeichnung TRNBuild		U wert [W/m <sup>2</sup> K]
WTD	Trenndecke zwischen den Geschossen	0.32
WE_AW	Außenwand Wohnung	0.13
ES_IW	Innenwand Erschließungsbereich	0.48
ES_AW_ERD_GED	Gedämmter Wandbereich gegen Erdreich	0.19
ES_AW	Außenwand Erschließung	0.16
ES_DACH	Dach Erschließung	0.11
AW_ERD	Außenwand gegen Erdreich	0.37
DACH	Dach Wohnung	0.10
DECKE_KE_WE	Trenndecke zwischen Keller und Erdgeschoß	0.16
ERD_BODEN	Boden gegen Erdreich	0.23

### Heizwärmebedarf und Temperaturverlauf der Gebäude

Für die Berechnung des Heizwärmebedarfs, der Heizlast sowie der Temperaturverläufe ist in der thermischen Gebäudesimulation der Klimadatensatz von Bedeutung. Für die hier gezeigten Resultate wurde kein realer Klimadatensatz eines Jahres am Standort Graz hinterlegt, sondern ein mittlerer, generierter Klimadatensatz in Stundenschrittweite, der typischerweise am Standort Graz auftritt [Meteonorm 2013].

Nachfolgend ist in der Abbildung 7 exemplarisch der Temperaturverlauf am Standort Graz dargestellt. Weiters sind die wichtigsten Eckdaten des Klimadatensatzes hinsichtlich Temperatur, Einstrahlung usw. tabellarisch zusammengefasst.

#### Außenlufttemperatur Standort Graz



	Länge	Breite	Höhe	T <sub>in</sub>	HGT	HT	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>ampl</sub>	phi	I <sub>glob</sub>	I <sub>diff</sub>	RH	Wind
	[m]	[m]	[m]	[°C]	[m]	[m]	[°C]	[°C]	[°C]	[°]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[%]	[m/s]
Graz	-15.45	46.98	342	10.85	3102.4	192	-12.3	34.8	11.02	12.48	1195.5	604.8	74.1	1.56

Abbildung 7 Klimadatensatz Graz, Temperaturverlauf und die wesentlichen Eckdaten (Jahressummen und Jahresmittelwerte)

Nachfolgend wurde beispielhaft für das Punkthaus E und G der Heizwärmebedarf aus dem Energieausweis [Rosenfelder 2011], die Bruttogeschosßflächen (BGF) und der Heizwärmebedarf (HWB) aus der thermischen Gebäudesimulation dargestellt. Des Weiteren wurden die

Temperaturverläufe der je Gebäude definierten thermischen Zonen dargestellt. Die thermische Zone des Kellers wird bei keinem Punkthaus geheizt. Die Erschließungsflächen (Stiegenhaus) werden auf 16 °C geheizt.

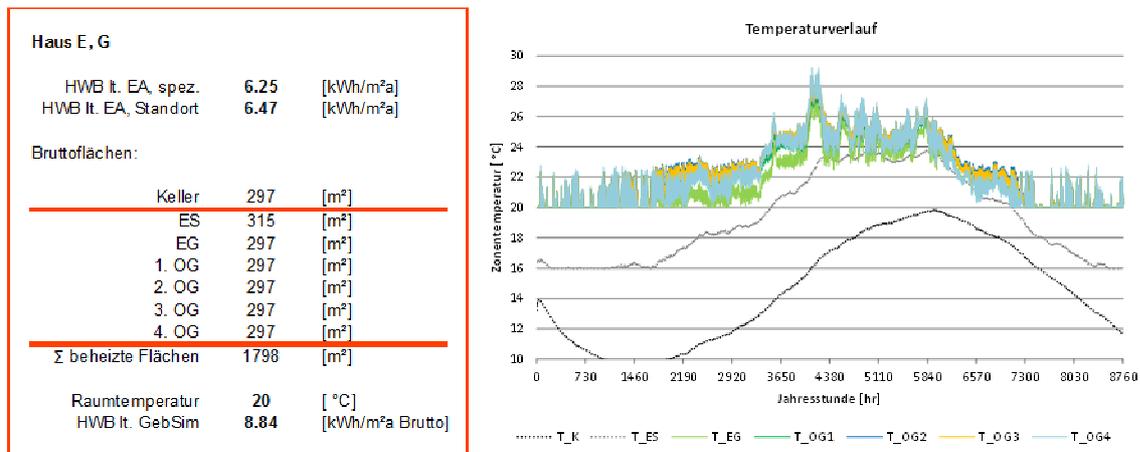


Abbildung 8 Geometrie (BGF), Heizwärmebedarf und Raumlufitemperaturverlauf in den thermischen Zonen des betrachteten Gebäudes – Haus E, G

Die zuvor gezeigten Abbildungen zeigen für die Punkthäuser E und G die Temperaturverläufe mit ihren minimalen und maximalen Temperaturen. In den beheizten Zonen wird die Solltemperatur der Zonen (20 bzw. 16 °C) nie unterschritten. Als Maximaltemperatur in den Sommermonaten stellen sich knapp 28,5°C ein, die aber sehr stark vom Nutzerverhalten (Nachtlüftung, Bedienung der Jalousien,...) abhängig sein werden. In der aktuellen thermischen Gebäudesimulation wird im Moment zur Verhinderung der sommerlichen Überhitzung nur eine Außenjalousie in Abhängigkeit der Raumlufitemperatur genutzt. Eine aktive Nachtlüftung ist derzeit nicht implementiert. Daher wird es durchaus möglich sein, bei entsprechendem Nutzerverhalten deutlich unter den gezeigten Maximaltemperaturen zu bleiben. Im Stiegenhaus (nordorientiert) stellen sich Temperaturen zwischen 16 und etwa 23°C ein. Das ungeheizte Kellergeschoß bewegt sich zwischen 9 und 20°C.

In der Tabelle 8 sind die Ergebnisse des HWBs der Punkthäuser aus dem Energieausweis (EA) und der thermischen Gebäudesimulation (GebSim) gegenübergestellt. Hierbei zeigt sich, dass der spez. HWB zwischen EA und GebSim sich nur geringfügig unterscheiden. Die Ergebnisse aus der GebSim liegen erwartungsgemäß etwas über dem EA. Einerseits ist die Berechnungsmethode des EA dafür bekannt, bei geringen HWB zu gute Ergebnisse zu liefern, andererseits ist der hinterlegte Klimadatensatz (3588 Kd) deutlich kälter als der generierte Klimadatensatz (3102 Kd), was bei einem Bereinigen des HGT dazu führen würde, dass der HWB der GebSim noch deutlicher über dem des HWB des EA liegen würde.

Der HWB der Gebäude liegt zwischen 8,8 und 11,4 kWh/m<sup>2</sup>a, wobei hier aufgrund nahezu gleicher Wandaufbauten und Fenster nur die Geometrie an der Bandbreite der Resultate verantwortlich sein kann. Der Haustyp E, G ist mit seinen fünf Geschoßen jener Baukörper mit dem geringsten A/V-Verhältnis (HWB = 8,8 kWh/m<sup>2</sup>a). Dem gegenüber steht der Haustyp A mit zwei Geschoßen und einem Penthaus, das mit dem größten A/V-Verhältnis einen HWB von 11,4 kWh/m<sup>2</sup>a erreicht.

Tabelle 8 Vergleich der Resultate aus dem Energieausweis (EA) und der thermischen Gebäudesimulation (GebSim)

Haustyp	HWB ref EA [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	HWB Standort EA [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	HT [d]	HGT [Kd]	HWB Standort GebSim [kWh/m <sup>2</sup> ·a]
E, G	6.25	6.47	115	3588	8.84
I	7.28	7.56	122	3588	9.39
B, H, K, L	8.04	8.00	119	3588	9.82
C, F	8.74	8.87	126	3588	9.39
D	9.12	9.53	132	3588	10.31
A	9.47	9.49	125	3588	11.38
J	9.91	10.13	133	3588	10.35

Bisher wurden der HWB beim Energieausweis und in der thermischen Gebäudesimulation mit einer Raumluft Solltemperatur von 20 °C ermittelt. Wie man aus unterschiedlichsten Studien weiß, ist aber auch bei Passivhäusern mit einer Raumluft Solltemperatur von 22°C oder mehr zu rechnen [Krapmeir, 2001 und Kempfer, 2013].

In der Tabelle 9 werden die Ergebnisse bei 20 und 22°C Raumluft Solltemperatur dargestellt. Diese Erhöhung der Raumlufttemperatur führt im Schnitt zu einer Erhöhung von 14% je Kelvin Temperaturerhöhung. Hieraus zeigt sich einmal mehr, dass bei Gebäuden mit hohem Dämmstandard der üblicherweise propagierte Wert von ca. 6% je Kelvin hier nicht stimmt. Statt der 8,8 bis 11,4 kWh/m<sup>2</sup>a, ergeben sich hier dann 11,4 bis 13,3 kWh/m<sup>2</sup>a – das ist im Schnitt etwa ein Plus von 28% für 2 K mehr an Raumluft Solltemperatur.

Tabelle 9 Vergleich der Resultate aus dem Energieausweis und der thermischen Gebäudesimulation

Haustyp	HWB, spez, 20 °C [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	HWB, spez, 22 °C [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	Steigerung [%]
E, G	8.84	11.39	28.8
I	9.39	12.09	28.8
B, H, K, L	9.82	12.61	28.4
C, F	9.39	12.08	28.6
D	10.31	13.24	28.4
A	11.38	14.49	27.3
J	10.35	13.33	28.8

### **Warmwasserbedarf der einzelnen Punkthäuser**

Der Warmwasserbedarf (WWB) eines Gebäudes ist noch stärker als der HWB vom Nutzer abhängig und kann daher nur als Richtwert aus Erfahrungen und Messungen übernommen werden. Der Warmwasserbedarf wird zumeist personenbezogen definiert. Aus einer Vielzahl von Messungen hat sich hier ein Mittelwert von etwa 42 l/d und 45°C ergeben [Heimrath, 2004]. Weiters ist es notwendig, die Anzahl der in den Wohnungen lebenden Personen zu definieren. Hier zeigt sich aus den Daten der Statistik Austria 2004, das je Person etwa 33m<sup>2</sup> BGF zur Verfügung stehen. Anhand dieser Annahmen ergeben sich dann je Haustyp der in der Tabelle 10 ermittelte WWB von 900 bis 1900l/d mit 45°C.

Tabelle 10 Ermittlung des Warmwasserbedarfs (WWB) der Punkthäuser auf Basis der bewohnten BGF unter der Annahme, dass je Person 42 l/d45°C benötigt werden

	BGF m <sup>2</sup> je Haus	BGF oh. ES m <sup>2</sup> je Haus	WE [-]	BGF je WE m <sup>2</sup> /WE	BGF je Pers m <sup>2</sup> /pers	Pers je Haus pers/Haus	WWB err. l/d 45°C	WWB gew. l/d 45°C
Haus J	1040	830	9	92	33	25	1056	1100
Haus F	1369	1106	12	92	33	34	1408	1400
Haus E	1798	1483	20	74	33	45	1887	1900
Haus D	1100	890	12	74	33	27	1133	1100
Haus K	1242	1010	9	112	33	31	1285	1300
Haus I	1449	1186	16	74	33	36	1509	1500
Haus G	1798	1483	20	74	33	45	1887	1900
Haus C	1369	1106	12	92	33	34	1408	1400
Haus L	1242	1010	9	112	33	31	1285	1300
Haus H	1242	1010	9	112	33	31	1285	1300
Haus B	1242	1010	9	112	33	31	1285	1300
Haus A	913	733	6	122	33	22	933	900

Über den WWB in l/d und der Kaltwassertemperatur am Standort Graz (10°C ± 4K) wird in der Tabelle 11 der energetische WWB spezifisch und absolut ermittelt. Als spezifischer Warmwasserbedarf ergeben sich im Mittel etwa 15,4 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr. Damit liegt der Warmwasserbedarf bereits deutlich über dem HWB des Gebäudes. In Summe sind so für je eine Reihe von vier Punkthäusern etwa 70.000 bis 90.000 kWh/a für die Bereitstellung der Nutzenergie für das Warmwasser nötig.

Tabelle 11 Ermittlung des Warmwasserenergiebedarfs der Punkthäuser auf Basis der bewohnten BGF unter der Annahme, dass je Person 42 l/d45°C benötigt werden

	BGF m <sup>2</sup> je Haus	WWB gew. l/d 45°C	WWB [kWh/a]	WWB spez [kWh/m <sup>2</sup> a]
Haus J	1040	1100	16394	15.8
Haus F	1369	1400	20857	15.2
Haus E	1798	1900	28304	15.7
Haus D	1100	1100	16394	14.9
Haus K	1242	1300	19369	15.6
Haus I	1449	1500	22342	15.4
Haus G	1798	1900	28304	15.7
Haus C	1369	1400	20857	15.2
Haus L	1242	1300	19369	15.6
Haus H	1242	1300	19369	15.6
Haus B	1242	1300	19369	15.6
Haus A	913	900	13416	14.7
<b>Reihe J, F, E, D</b>	<b>5307</b>	<b>5500</b>	<b>81949</b>	<b>15.4</b>
<b>Reihe K, I, G, C</b>	<b>5858</b>	<b>6100</b>	<b>90872</b>	<b>15.5</b>
<b>Reihe L, H, B, A</b>	<b>4639</b>	<b>4800</b>	<b>71523</b>	<b>15.4</b>

## **Wärmebedarf und Last der Punkthäuser (Warmwasser und Raumwärme)**

Nachfolgend ist die Summe an Nutzenergiebedarf für die Raumheizung (HWB) und für die Warmwasserbereitung (WWB) für alle Haustypen und die drei Reihen an Punkthäusern dargestellt. Der gesamte Nutzenergiebedarf der Haustypen liegt zwischen 23.800 und 44.200 kWh/a (siehe Tabelle 12). Spezifisch liegt der gesamte spezifische Nutzenergiebedarf (HWB+WWB) zwischen 24,6 und 26,2 kWh/m<sup>2</sup>a.

Tabelle 12 Gesamter Nutzenergiebedarf (HWB und WWB) der Punkthäuser

	<b>BGF</b>	<b>HWB</b>	<b>WWB</b>	<b>HWB<sub>spez</sub></b>	<b>WWB<sub>spez</sub></b>	<b>HWB+WWB</b>	<b>(HWB +WWB)<sub>spez</sub></b>
	[m <sup>2</sup> ]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[kWh/a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]
<b>Haus J</b>	1040	10764	22342	10,4	15,8	33106	26,2
<b>Haus F</b>	1369	12855	20857	9,4	15,2	33711	24,6
<b>Haus E</b>	1798	15894	28304	8,8	15,7	44198	24,6
<b>Haus D</b>	1100	11341	16394	10,3	14,9	27735	25,2
<b>Haus K</b>	1242	12196	19369	9,8	15,6	31565	25,4
<b>Haus I</b>	1449	13606	22342	9,4	15,4	35948	24,8
<b>Haus G</b>	1798	15894	28304	8,8	15,7	44198	24,6
<b>Haus C</b>	1369	12855	20857	9,4	15,2	33711	24,6
<b>Haus L</b>	1242	12196	19369	9,8	15,6	31565	25,4
<b>Haus H</b>	1242	12196	19369	9,8	15,6	31565	25,4
<b>Haus B</b>	1242	12196	19369	9,8	15,6	31565	25,4
<b>Haus A</b>	913	10390	13416	11,4	14,7	23806	26,1
<b>Reihe J, F, E, D</b>	5307	51597	87896	9,7	16,6	139493	26,3
<b>Reihe K, I, G, C</b>	5858	54831	90871	9,4	15,5	145702	24,9
<b>Reihe L, H, B, A</b>	4639	47364	71523	10,2	15,4	118887	25,6

In der Tabelle 13 sind die Heizlasten für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung dargestellt. Die absoluten Heizlasten für die Raumheizung liegen bei den einzelnen Häuserreihen zwischen 50 und 62 kW. Die notwendige Last für die WWB wird über einen zentralen Speicher zwischengepuffert und geht daher nicht in die Dimensionierung der Nennleistung der Wärmepumpe ein. Bei der Dimensionierung der Tiefensonden muss der Nutzenergiebedarf für die WWB jedoch berücksichtigt werden. Aus der thermischen Gebäudesimulation ergeben sich somit für die spezifische Heizlast der Haustypen durchwegs Werte über den für ein Passivhaus maximalen 10 W/m<sup>2</sup>, liegen aber zumeist unter 11 W/m<sup>2</sup>.

Tabelle 13 Heizlasten für die Raumheizung und Warmwasserbereitung der Punkthäuser

	BGF [m <sup>2</sup> ]	HL RH [kW]	HL WW [kW]	HL RH <sub>spez</sub> [W/m <sup>2</sup> ]	HL WW <sub>spez</sub> [W/m <sup>2</sup> ]
Haus J	1040	11.3	17.9	10.9	17.2
Haus F	1369	14.7	24.9	10.7	18.2
Haus E	1798	19.2	25.1	10.7	14.0
Haus D	1100	11.8	17.1	10.8	15.6
Haus K	1242	13.4	19.2	10.8	15.4
Haus I	1449	15.6	24.9	10.8	17.2
Haus G	1798	19.2	25.1	10.7	14.0
Haus C	1369	14.7	24.9	10.7	18.2
Haus L	1242	13.4	19.2	10.8	15.4
Haus H	1242	13.4	19.2	10.8	15.4
Haus B	1242	13.4	19.2	10.8	15.4
Haus A	913	10.1	14.0	11.1	15.3
Reihe J, F, E, D	5307	56.1	88.8	10.6	16.7
Reihe K, I, G, C	5858	62.2	94.1	10.6	16.1
Reihe L, H, B, A	4639	50.4	69.4	10.9	15.0

In der nachfolgenden Abbildung 9 wird einerseits der Lastverlauf für die Warmwasserbereitung und der Lastverlauf der Raumwärme dargestellt. Bei der Warmwasserbereitung ist neben einem Tagesrhythmus (Morgen- und Abendspitzen) auch ein Wochenrhythmus (Sa und So höhere Werte) zu erkennen. Bei den vier Punkthäusern zeigt sich lediglich ein gewisser Tagesrhythmus, der hauptsächlich von den internen Lasten und dem Klimadatensatz (Temperatur und Strahlung) abhängt. Unter Tags, bei höherer Außenlufttemperatur und hoher Solarstrahlung, geht die notwendige Heizlast gegen null zurück.

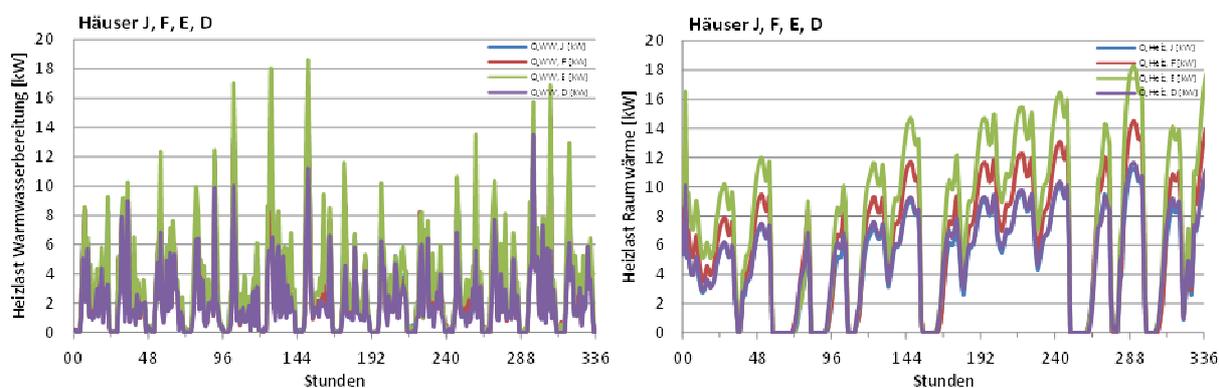


Abbildung 9 Exemplarischer Heizlastverlauf zur Bereitstellung des Warmwasserbedarfs und der Raumwärme für den ersten Bauabschnitt der Punkthäuser für die ersten zwei Wochen im Jänner

### 3.2.3.2 Technikzentrale und Wärmeerzeuger

Für die Abbildung der Haustechnikkomponenten ist eine Vielzahl von Annahmen notwendig, die in Absprache mit den ausführenden Unternehmen getätigt worden sind. Das Energiesystem des Areals des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd besitzt zwei erneuerbare Wärmequellen. Einerseits steht ein Tiefensondenfeld für die Wärmepumpen zur Verfügung, an-

dererseits sind auf den Flachdächern einzelner Punkthäuser thermische Solarkollektoren aufgeständert montiert.

Ursprünglich wurde auch eine Photovoltaikanlage geplant, die jedoch nicht umgesetzt wurde. Um die möglichen Auswirkungen der Integration einer solchen Anlage auf den Energieverbund abschätzen zu können, wurde als Variante auch die Verwendung einer Photovoltaikanlage mit den Auslegungsparametern simuliert.

Auf der Senkenseite sind zwei Wärmesenken und zwei Stromsenken gegeben. Auf der Wärmeseite werden die Punkthäuser sowie die Büros mit Wärme versorgt. Stromseitig sind die Haustechnik (Wärmepumpe, Regelung, usw.) sowie die Wohnungen mit Strom zu versorgen.

Auf der Seite der Kälteversorgung stehen als Kältequelle die Tiefensondenfelder zur Verfügung. Als Kältesenke dienen die Büros und der Supermarkt, wobei vor allem die Anbindung bzw. die Kühlung derzeit noch nicht realisiert ist.

### **Tiefensonden - Energiepfähle**

Das Tiefensondenfeld ist unter der Bodenplatte der Punkthäuser situiert (siehe Abbildung 10). Für alle Punkthäuser gibt es eine Energiezentrale in der die Wärmepumpe und der Energiespeicher stehen. Die Energiepfähle unter den Punkthäusern werden über ein Mikronetz in der Energiezentrale zusammengezogen. Dort kann dann entschieden werden, ob das Kältenetz in Richtung Büros und Supermarkt beaufschlagt wird oder ob sie der Wärmepumpe als Wärmequelle dient.

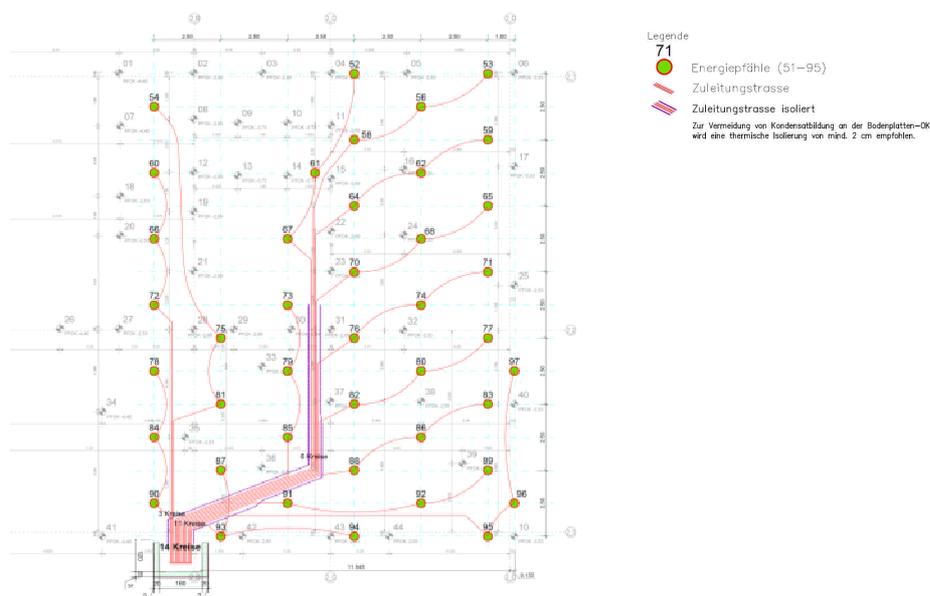


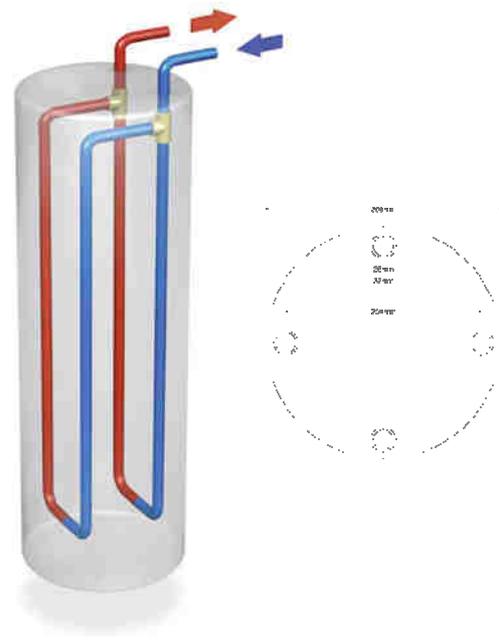
Abbildung 10 Verlegeplan (Pfahlaufteilung mit Zuleitungen) der Sonden (51-95) unter dem Haus D<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Enercret, 2012; Planungsunterlagen der Fa. Enercret zum Projekt Peter Rosegger Strasse, Graz

Für die Effizienz des Tiefensonnenfeldes sind die Geometrie der Sonden, die Stoffdaten des Erdreichs und der Sonde sowie die Geometrie des Sondenfeldes und die Überbauung des Sondenfeldes von Relevanz. In der Tabelle 14 ist neben den relevanten Eckdaten der Sondenfelder auch noch eine schematische Darstellung einer U-Rohr Sonde sowie ein Schnitt durch die Sonde ersichtlich.

Tabelle 14 Darstellung der Eckdaten für das Sondenfeld unter der Bodenplatte der Punkthäuser sowie ein Schnitt und eine schematische Darstellung der Verlegung der U-Rohr Sonden<sup>4</sup>

<b>Erdreich - Stoffdaten</b>		
Steirisches Becken und Südburgenland		
Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]		2000
Spezifische Wärmekapazität [J/kgK]		1377
Wärmeleitfähigkeit [W/mK]		1.63
<b>Hinterfüllung - Stoffdaten</b>		
Bentonit		
Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]		1180
Spezifische Wärmekapazität [J/kgK]		3040
Wärmeleitfähigkeit [W/mK]		0.81
<b>Doppel U-Rohr-Sonde</b>		
Bohrdurchmesser [m]		0.3
Mittenabstand Rohr/Rohr [m]		0.125
Erdwärmesonde PE-80 [mm]		32/26
<b>Sondenfeld - Energiepfähle</b>		
minimaler Sondenabstand [m]		2.5
Sondenlänge [m]		10
Energiepfähle in Serie [-]		3
Erdvolumen je Sonde [m <sup>3</sup> ]		54.1
Überdeckung Erdreich [m]		4



Für die simulationstechnische Abbildung wurden die Sondenfelder einer Energiezentrale als ein Feld betrachtet. Über eine definierte Schnittstelle kann das parametrisierte Sondenfeld angesprochen werden. Von der Wärmepumpe (Verdampfer) oder aus dem Kältenetz kommen die verfügbaren Temperaturen und der Massenstrom, danach wird das Sondenfeld durchlaufen und die Temperatur erhöht (oder reduziert), und schließlich als Output wieder an die Wärmepumpe oder das Kältenetz retourniert. In der Abbildung 11 ist das hierzu in TRN-SYS parametrisierte Modul Sondenfeld dargestellt. Dieses Modul wird vom Hauptprogramm **simplex** über die Schnittstelle „Wärmepumpe“ aufgerufen und geregelt.

<sup>4</sup> Rehau, 2013; RAUGEO Systemtechnik, Technische Informationen 8267600/2, Guntramsdorf, 2013

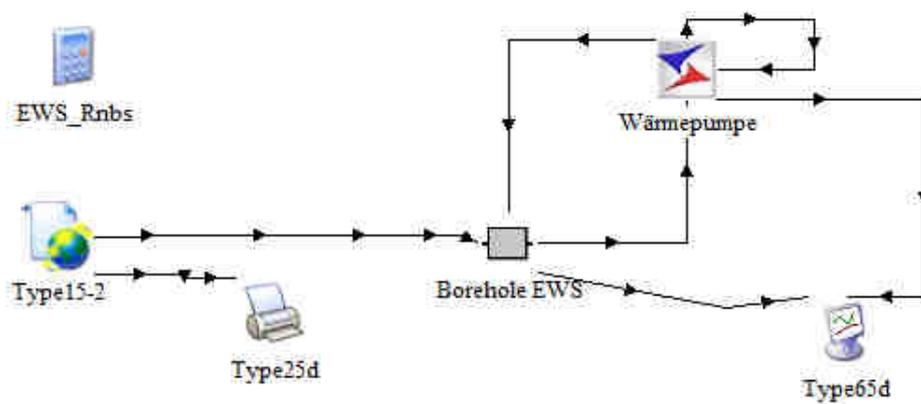


Abbildung 11 Anlagensimulation – Modul Sondenfeld je Wärmepumpe bzw. je Heizzentrale

## Solarthermie

Entgegen der ursprünglichen Auslegung wurden auf den drei Punkthäusern thermische Solaranlagen nicht mit 86 m<sup>2</sup> sondern mit 65 m<sup>2</sup> ausgeführt, es wurden also insgesamt 195 m<sup>2</sup> Kollektorfläche im Energieverbund montiert. Die südorientierte Ausrichtung sowie die Neigung mit 40° blieben unverändert. Die technischen Daten der montierten Flachkollektoren und die gewählten Daten der Verrohrung des Primärkreises sind in der Tabelle 15 zusammengestellt.

Tabelle 15 Eckdaten der Solaranlage, die sich je Bauabschnitt am Dach eines Punkthauses befindet.

Solarkollektor		Rohrleitungen - Primärkreis	
Type Hoval GFK 10		Länge [m]	25
optischer Wirkungsgrad $a_d$ [-]	0.786	Durchmesser Innen [mm]	32
Wärmeverlustkoeffizient $a_l$ [W/mK]	2.974	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	8960
quadratisches Glied $a_2$ [W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> ]	0.015	Spez. Wärmekapazität [J/kgK]	383
Fläche je BA [m <sup>2</sup> ]	65	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	394
Kapazität Kollektor [kJ/Km <sup>2</sup> ]	10	Dicke Dämmung [mm]	32
Neigung [°]	40	Dichte Dämmung [kg/m <sup>3</sup> ]	250
Ausrichtung / Azimut [°]	0 (Süd)	Spez. Wärmekapazität Dämmung [J/kgK]	610
		Wärmeleitfähigkeit Dämmung [W/mK]	0.045

Für die simulationstechnische Abbildung der Solaranlage wurden die Kollektorfelder einer Energiezentrale als ein Feld betrachtet. Über die Schnittstelle Speicher kann das parametrisierte Kollektorfeld über die Speichertemperaturen geregelt und dementsprechend mit einem Massenstrom beaufschlagt werden. Entsprechend der Vorgaben aus der Regeltechnik werden die Solaranlagen eingeschaltet, sobald die Kollektortemperatur größer ist als die obere Speichertemperatur. Ausgeschaltet wird die Anlage, sobald die untere Speichertemperatur unterschritten wird. Das erwärmte Medium wird dann über die Schnittstelle in **simplex** an den Energiespeicher weitergegeben. Das in TRNSYS umgesetzte Solaranlagen-Modul ist in der Abbildung 12 dargestellt.

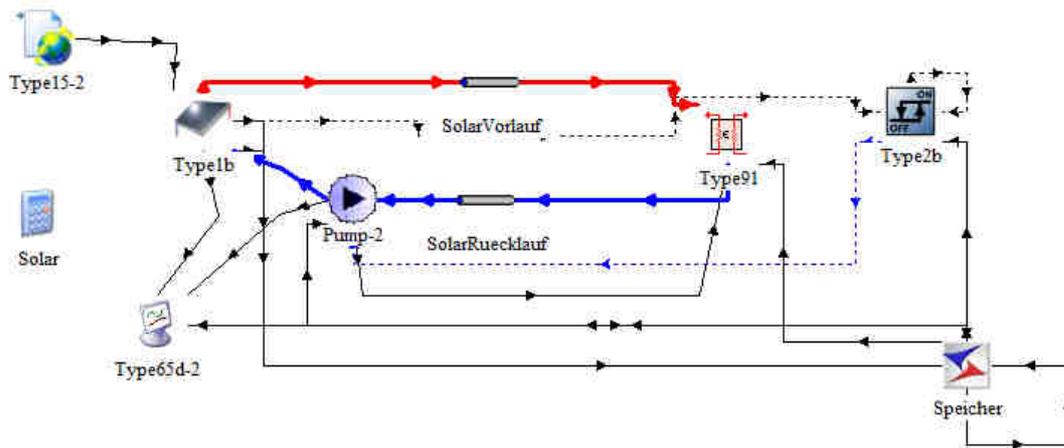


Abbildung 12 Anlagensimulation – Modul Solarthermie je Heizzentrale

### Wärmepumpe

Auch bei den Wärmepumpen kam es im Vergleich zur ursprünglichen Auslegung zu einer Veränderung, denn es wurden in den drei Energiezentralen Wärmepumpen des Typs DS 5095.5T (Haus F und Haus G) sowie DS 5085.5T (Haus B) eingesetzt. Da diese Wärmepumpen etwas leistungsschwächer sind, wurden jeweils zwei Aggregate installiert. Die wesentlichen Daten sind in der Tabelle 16 zusammengestellt.

Regeltechnisch werden die Wärmepumpen aktiviert, sobald die obere Speichertemperatur unter einen eingestellten Schwellwert fällt. Ist der Speicher durchgeladen (Speichertemperatur unten überschreitet einen Schwellwert), wird die Wärmepumpe ausgeschaltet. Als weitere Bedingung wird die Wärmepumpe nur betrieben, wenn die Solaranlage nicht in Betrieb ist

Tabelle 16 Eckdaten der zwei Wärmepumpentypen, von denen jeweils zwei Aggregate in den Haustechnikzentralen installiert sind.

Wärmepumpe		Haus B	Haus F,G
Hersteller		Waterkotte	Waterkotte
Type		DS 5085.5T	DS 5095.5T
Kältemittel		R410A	R410A
Verdichter		Tandem Scroll	Tandem Scroll
Wärmequelle		Erdreich	Erdreich
Heizeistung (B0/W35)	kW	64,2	71,4
el. Leistung (B0/W35)	kW	13,6	15,2
Leistungszahl (B0/W35)	-	4,6	4,6
Durchfluss Quelle (dT=3K)	m <sup>3</sup> /h	16,2	18,0
Durchfluss Heizung (dT=5K)	m <sup>3</sup> /h	11,1	12,3
Einsatzgrenze		B-5/W50 B0/W55 B5/W58	B-5/W50 B0/W55 B5/W58

Die Simulation der Wärmepumpen erfolgt über ein Kennlinienmodell, bei dem die vom Hersteller angegebenen Messdaten in eine biquadratische Fläche übergeführt wurden (siehe

Abbildung 13 und Abbildung 14). So kann anhand der momentanen Eintrittstemperatur der Quelle (Verdampfer) sowie der Heizungs-Vorlauftemperatur (Kondensator) die mögliche Heizlast, die aktuelle Leistungszahl und daraus der Strombedarf ermitteln werden.

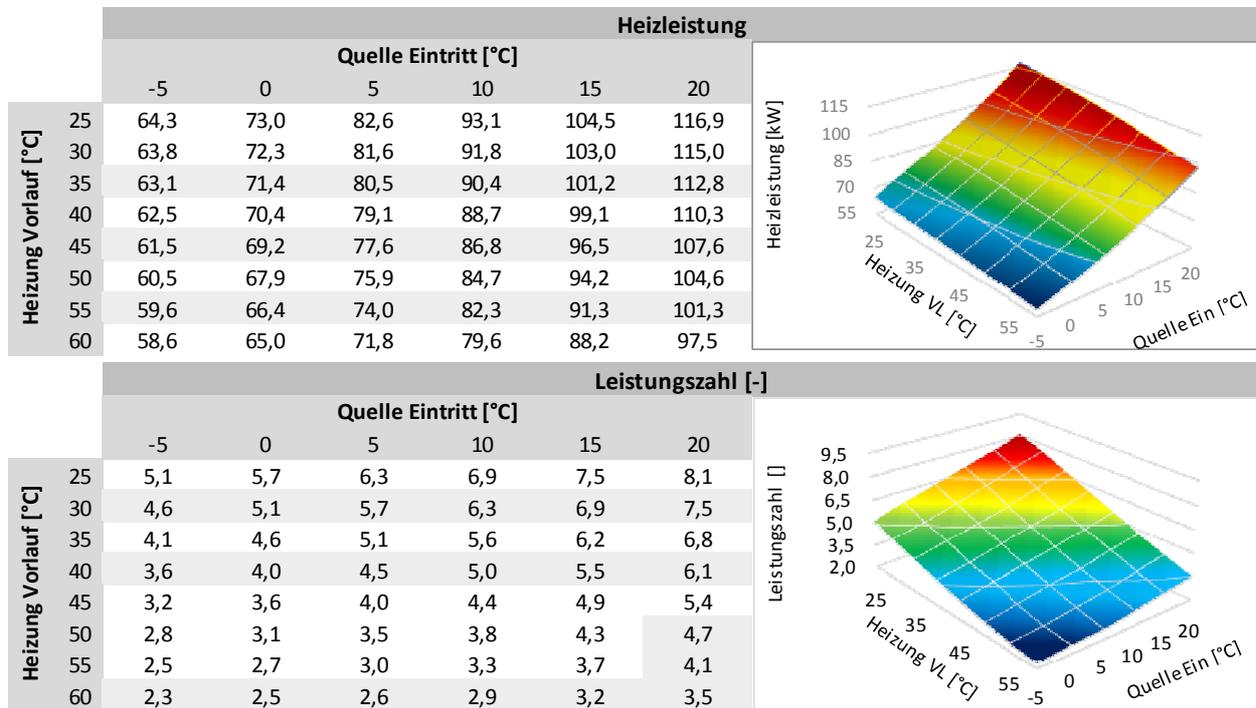


Abbildung 13 Biquadratische Kennlinie der Wärmepumpe Waterkotte DS 5095.T5. Heizleistung und Leistungszahl in Abhängigkeit von der Heizungs-Vorlauftemperatur sowie der Quellen-Eintrittstemperatur.

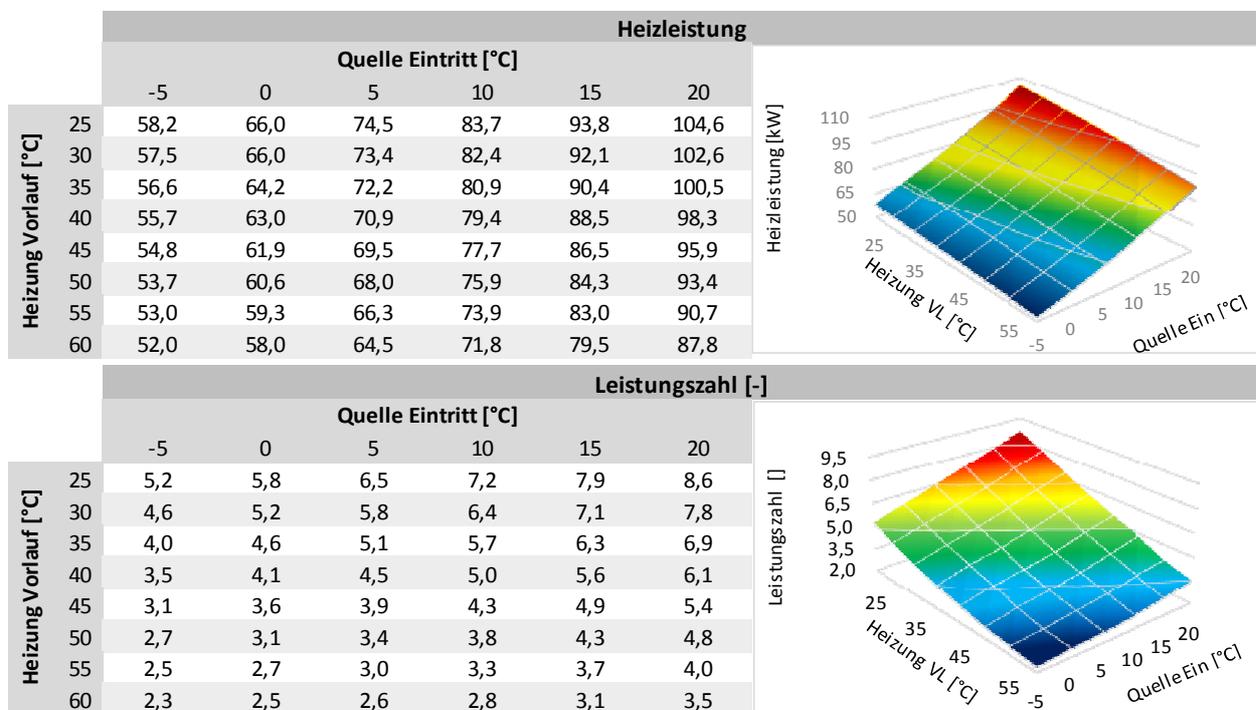


Abbildung 14 Biquadratische Kennlinie der Wärmepumpe Waterkotte DS 5085.T5. Heizleistung und Leistungszahl in Abhängigkeit von der Heizungs-Vorlauftemperatur sowie der Quellen-Eintrittstemperatur.

Für die simulationstechnische Abbildung werden zwei Wärmepumpen des entsprechenden Typs je Energiezentrale betrachtet. Über die definierten Schnittstellen „Speicher“ und „Sonde“ können basierend auf den regeltechnischen Vorgaben aus **simplex** die beiden Aggregate aktiviert und mit den jeweiligen Massenströmen und den Temperaturen aus dem Speicher bzw. der Tiefensonde beaufschlagt werden. In der Abbildung 15 ist das hierzu in TRNSYS parametrisierte Modul „Wärmepumpe“ dargestellt.

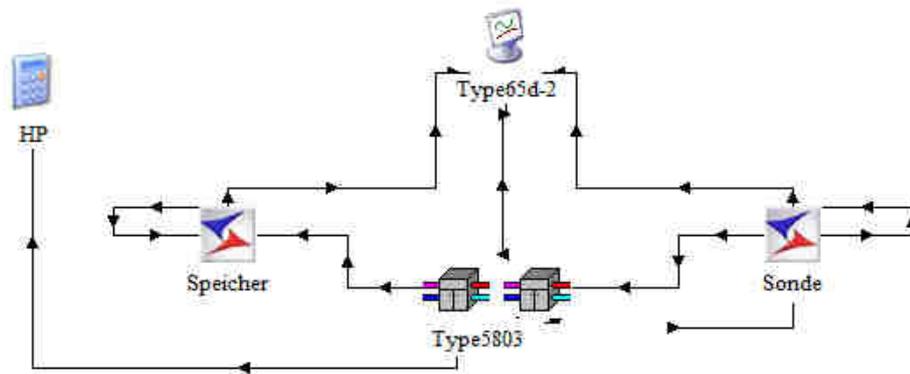


Abbildung 15 Anlagensimulation – Modul Wärmepumpe je Heizzentrale

### **Energiespeicher**

Wie in jedem Energiekonzept ist der Energiespeicher ein zentraler Bestandteil der Haustechnik des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd und dient dem Ausgleich von zeitlichen Unterschieden in der Wärmeproduktion und der Wärmeabnahme.

Aufgrund der begrenzten Raumhöhe im Technikraum der Energiezentrale musste das 10 m<sup>3</sup> Puffervolumen auf zwei Pufferspeicher mit jeweils 5 m<sup>3</sup> aufgeteilt werden. Über die Verbindungsleitung mit einer Dimension von DN150 wurde eine Serienschaltung der beiden Speicher realisiert. Die Dämmung erfolgte mittels Zellulosedämmung bauseits. Für die Simulation wurde die Dämmstärke mit 300 mm sowie die Wärmeleitfähigkeit der Zellulosedämmung mit 0,035 W/mK festgelegt.

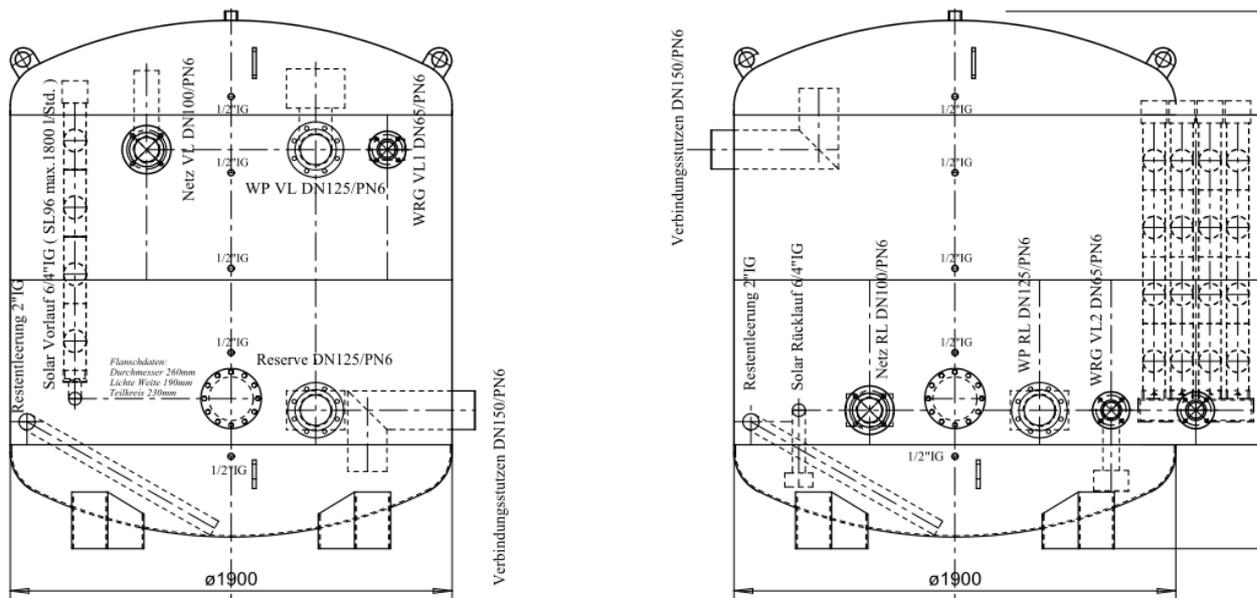


Abbildung 16 Maßskizzen und Anschlüsse der zwei 5 m<sup>3</sup> Energiespeicher je Heizzentrale

Für die simulationstechnische Abbildung werden zwei Energiespeicher je Energiezentrale betrachtet. Über eine definierte Schnittstelle können die parametrisierten Energiespeicher angesprochen werden. In der Abbildung 17 ist das hierzu in TRNSYS parametrisierte Modul Energiespeicher dargestellt. Dieses Modul wird vom Hauptprogramm **simplex** aufgerufen und in Kombination mit der Solaranlage, der Tiefensonde und der Wärmepumpe geregelt.

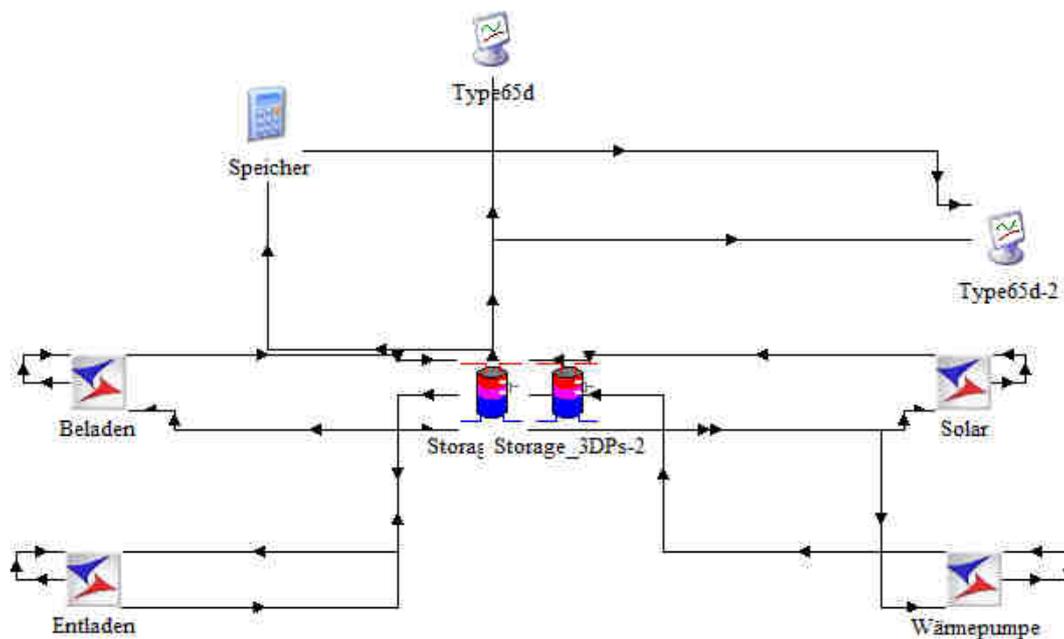


Abbildung 17 Anlagensimulation – Modul Energiespeicher je Heizzentrale

### Photovoltaik (PV) Anlage

Trotz der momentan noch fehlenden Umsetzung der Photovoltaik-Anlage wurden mögliche Auswirkungen auf die Energieversorgung im Energieverbund untersucht. Hierfür wurde die

ursprünglich geplante Photovoltaik-Anlage herangezogen, bei der mehrere kleine Felder auf den Dächern der Punkthäuser installiert worden wären. Für die zwei unterschiedlich großen Anlagen auf den einzelnen Häusern (16,5 kWp auf Haus J, I, C sowie 8,5 kWp auf Haus K, L, H, A) ergäbe sich eine Photovoltaik-Anlage mit einer Bruttogesamtfläche von 464 m<sup>2</sup>, die südorientiert mit 30° Neigung aufgeständert würde. Die technischen Daten der geplanten PV-Felder sowie die am Standort Graz zu erwartenden energetischen Erträge sind in der Tabelle 17 zusammengestellt.

Tabelle 17 Eckdaten der Photovoltaik-Anlage

<b>Komponentenübersicht Photovoltaik</b>		<b>16.5 kWp</b>	<b>8.5 kWp</b>
<b>Type CS6P-250P</b>			
Hersteller		Canadian Solar Inc.	
Datenquelle		Photon	
Anzahl Module		66	34
Gesamte Nennleistung Generatorfeld	[kWp]	16.5	8.5
Bruttogesamtfläche	[m <sup>2</sup> ]	92.0	47.0
Anstellwinkel (hor.=0°, vert.=90°)	[°]	30.0	30.0
Ausrichtung (O=+90°, S=0°, W=-90°)	[°]	0.0	0.0
Wechselrichter 1: Name		SinVert PVM 10	
Wechselrichter 1: Hersteller		Siemens AG	
Wechselrichter 1: Anzahl Phasen		3	3
Auslegung 1: Anzahl Wechselrichter		2	2
Auslegung 1: Cos phi		1	1
Auslegung 1: A Anzahl Stränge		2	1
Auslegung 1: A Module pro Strang		15	22
Gesamte Nennleistung aller Wechselrichter	[kVA]	20	20
Geplante Errichtung auf Haus		J,I,C	K,L,H,A
<b>Übersicht Photovoltaik (Jahreswerte)</b>		<b>16.5 kWp</b>	<b>8.5 kWp</b>
Bruttogesamtfläche	[m <sup>2</sup> ]	92.0	47.0
Energieproduktion DC [Qpvf]	[kWh]	22009.0	11349.0
Energieproduktion AC [Qinv]	[kWh]	17894.0	9125.9
Gesamte Nennleistung Generatorfeld	[kWp]	16.5	8.5
Performance Ratio	[%]	81.3	80.4
Spezifischer Jahresertrag	[kWh/kWp/a]	1084.4	1073.5
Scheinenergie [Qinva]	[kWh]	17894.0	9125.9

Seitens der projektierten Photovoltaikanlage könnten etwa 1080 kWh/kWp/a erwartet werden. In Summe wären 83,5 kWp installiert worden, wodurch über die PV-Anlage ein Stromertrag von etwa 90.000 kWh/a erreicht werden könnte.

In der nachfolgenden Abbildung 18 ist der spezifische Energieoutput der PV-Anlage in Abhängigkeit der solaren Einstrahlung auf die PV-Fläche dargestellt. Weiters kann indirekt der Wirkungsgrad der PV-Paneele ermittelt werden, der hier etwa bei 13 % liegt. Um den Grad der Energieautarkie in unterschiedlichen Zeitintervallen (jährlich, monatlich und stundenweise) ermitteln zu können, wurde für die PV-Anlage eine eigene Anlagensimulation mit Polysun (Polysun 2013) vorgenommen, deren Ergebnisse nun in Stundenschrittweite vorliegen.

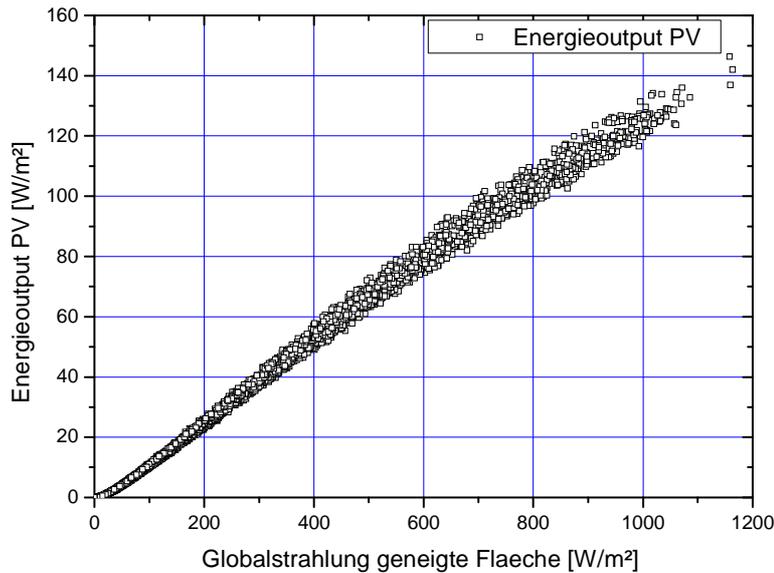


Abbildung 18 Spezifischer Energieoutput über der Globalstrahlung auf die geneigte Fläche (CS6P-250P)

### 3.2.3.3 Kälteabnehmer

Im Rahmen der Simulation des Energieverbunds ist neben der Abdeckung des Wärmebedarfs ein wesentlicher Aspekt die Betrachtung eines Kühlverbundes, bei dem die mögliche Deckung eines anfallenden Kältebedarfs über die Rückkühlung durch die Tiefensonden ermöglicht wird. Innerhalb der betrachteten Systemgrenzen entsteht aber aufgrund der nicht vorgesehenen Klimatisierung der Wohnungen kein Bedarf an Kühlung, weshalb für diese Analysen auch das Büro- und Geschäftsgebäude außerhalb des Verbundes miteinbezogen wurde. Da aber für dieses Gebäude keine Daten über die benötigte Kühllast (Kühllastberechnung) bzw. über den Lastgang des Kühlbedarfs verfügbar waren, mussten für die Abschätzung der möglichen Vorteile des Kühlverbundes Annahmen getroffen werden.

#### **Bürokühlung**

Als erstes wurde der Kühlbedarf eines Bürogebäudes abgeschätzt, indem auf die Betrachtungen aus dem IEA SHC TASK 25 zurückgegriffen wurde. In diesem wurden u.a. Lastfiles von Kühlungen unterschiedlicher Gebäude in Kombination mit unterschiedlichen Standorten generiert. Für dieses Projekt wurde das Lastfile vom Standort Freiburg für ein größeres Bürogebäude ausgewählt, welches über die Abhängigkeit der Kühlleistung von der Außentemperatur auf den Standort Graz übergeführt wurde.

Die Darstellung des Kühlbedarfs in Abbildung 19 zeigt den Verlauf der Kühlleistung über das ganze Jahr bzw. im Zeitraum einer Woche innerhalb der Kühlperiode bzw. innerhalb der Heizperiode, in welcher die Kühlung naturgemäß nicht benötigt wird. Im Maximum werden für dieses Gebäude Kühlleistungen von rund  $80 \text{ kW}_c$  erreicht, wobei die Kühlperiode bei diesem Lastfile relativ früh beginnt (April bis Mai) bzw. relativ spät endet (September bis Oktober), was wiederum einer größeren Kühlanforderung entspricht.

Bezüglich der Temperaturen im Kältekreislauf wird festgelegt, dass die Klimatisierung der Büros über Kühldecken erfolgt, weshalb die Kühltemperaturen mit 15 °C im Eintritt sowie 18 °C im Austritt der Kühlung festgelegt werden. Über die Definition der Kälteleistung sowie die Verdampfungstemperatur von 10 °C konnte ein geeigneter Kaltwassersatz ausgewählt werden, wobei die Herstellerangaben (siehe Abbildung 20) für die Ermittlung der Leistungszahl bzw. des Strombedarfs der Klimaanlage in Abhängigkeit von der Außentemperatur herangezogen wurden.

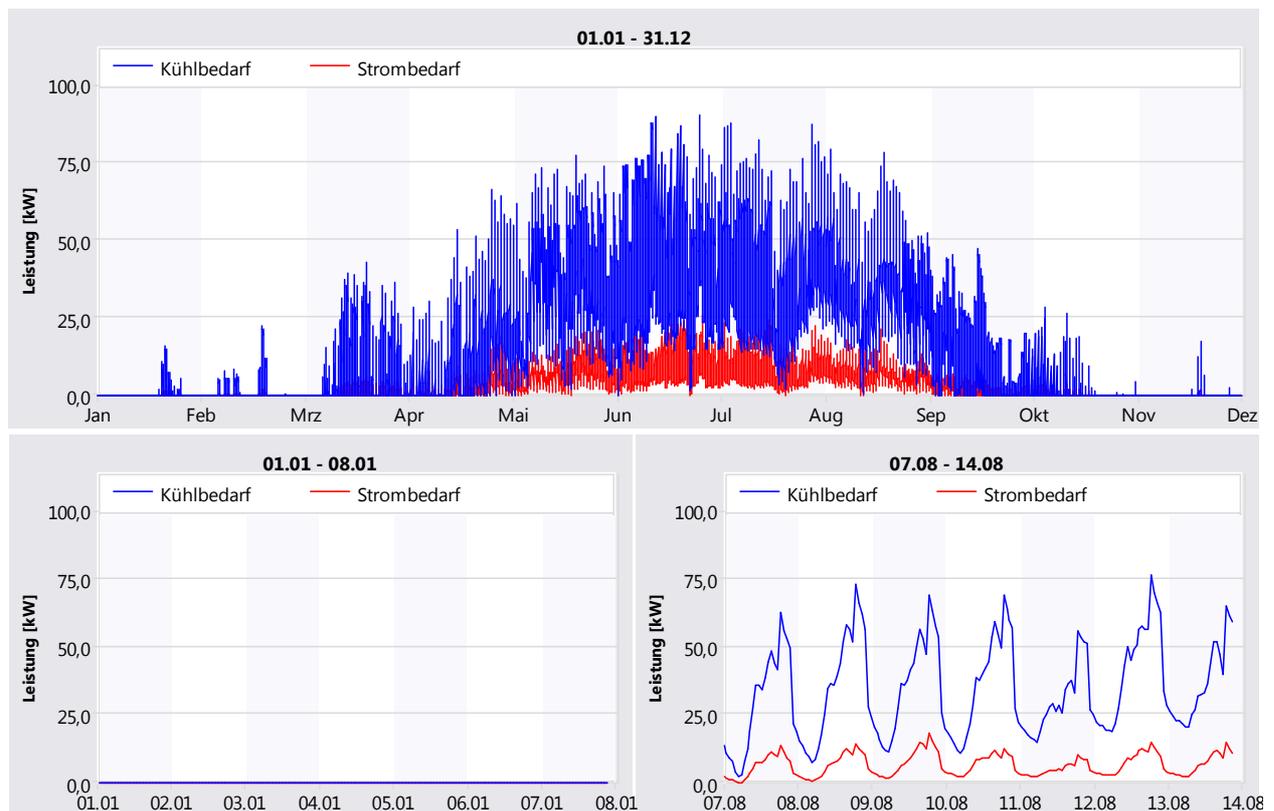


Abbildung 19 Kühlleistung und Strombedarf eines Gebäudes im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode.

Die jährlichen Energiemengen der Gebäudeklimatisierung wurden in Abbildung 21 dargestellt, wobei der gesamte Kühlbedarf von 136 MWh/a mit einem Strombedarf von 29 MWh/a abgedeckt werden kann, die Jahresarbeitszahl liegt also bei 4,7. Sofern die Klimatisierung des Bürogebäudes über die Tiefensonden erfolgt, würden sich demnach Einsparungen beim Strombezug von 29 MWh/a ergeben.

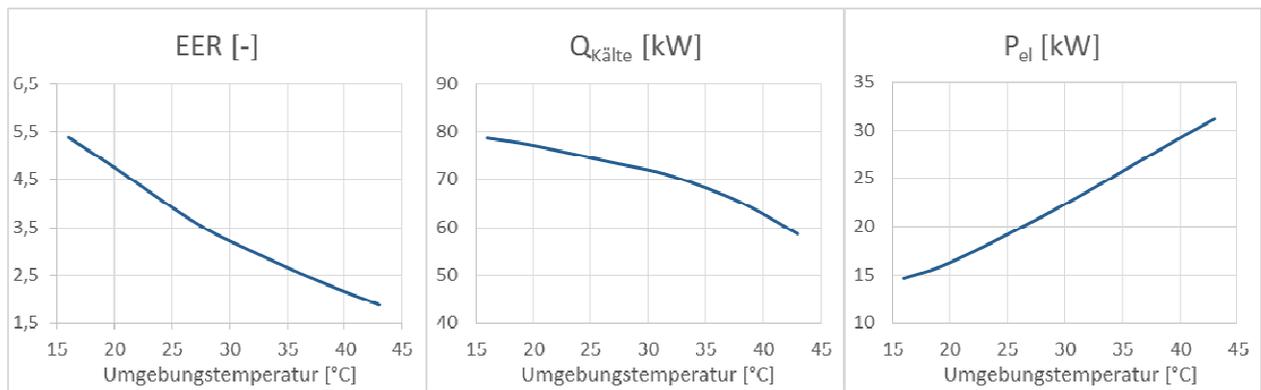


Abbildung 20 Herstellerangaben für Leistungszahl, Kälteleistung und Stromverbrauch eines Kaltwassersatzes (Daikin / LRMEQ - AY1) zur Gebäudeklimatisierung

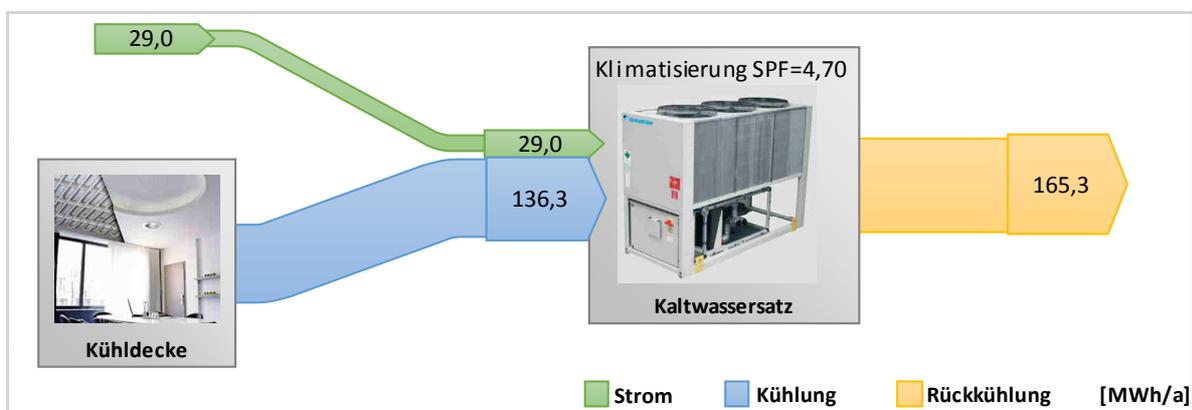


Abbildung 21 Jährlicher Energiefluss der Gebäudeklimatisierung

### Unterstützung der Kälteerzeugung eines Supermarkts

Da sich im vorderen Gebäude neben den Büros auch ein Supermarkt befindet, wird als möglicher Kälteabnehmer zusätzlich zur Klimatisierung des Bürogebäudes auch die Unterstützung der Kälteerzeugung aller im Supermarkt eingesetzten Kälteanlagen betrachtet. Basierend auf den Untersuchungen in den Projekten „Supermärkte - Energiezentralen“ der sowie „KWKK Anlagen in Spar Logistikzentren“ wurden für die üblicherweise in Supermärkten verbauten Verbundanlagen Verläufe der Kälteleistung von Pluskühlung (Verdampfungstemperatur  $-20\text{ °C}$  für Kühlregale) sowie Tiefkühlung (Verdampfungstemperaturen  $-35\text{ °C}$  für Gefriertruhen) abgeleitet. In Abbildung 22 wurden die Lastgänge für die beiden Kühlarten Pluskühlung und Tiefkühlung sowie der Rückkühlleistung der Verbundanlage dargestellt.

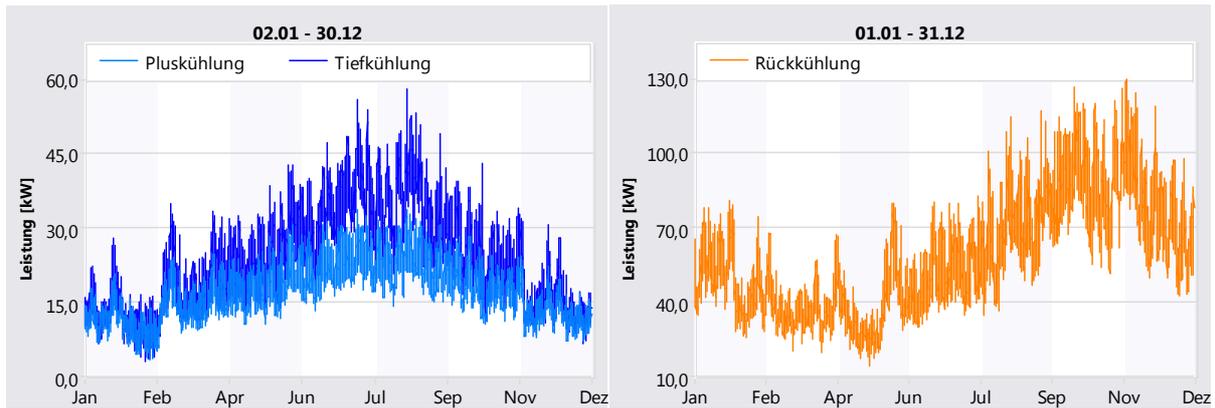


Abbildung 22 Jahresverlauf der Kälteleistung von Plus- und Tiefkühlung sowie der Rückkühlleistung in einem Supermarkt

Weiters wurden analog zu den vorigen Kapiteln die in Abbildung 23 dargestellten Herstellerdaten einer geeigneten Verbundanlage (ZEAS 15-20 vom Hersteller Daikin) für die Kälteleistungen, die Leistungszahlen bzw. die daraus resultierenden Stromverbräuche in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur definiert.

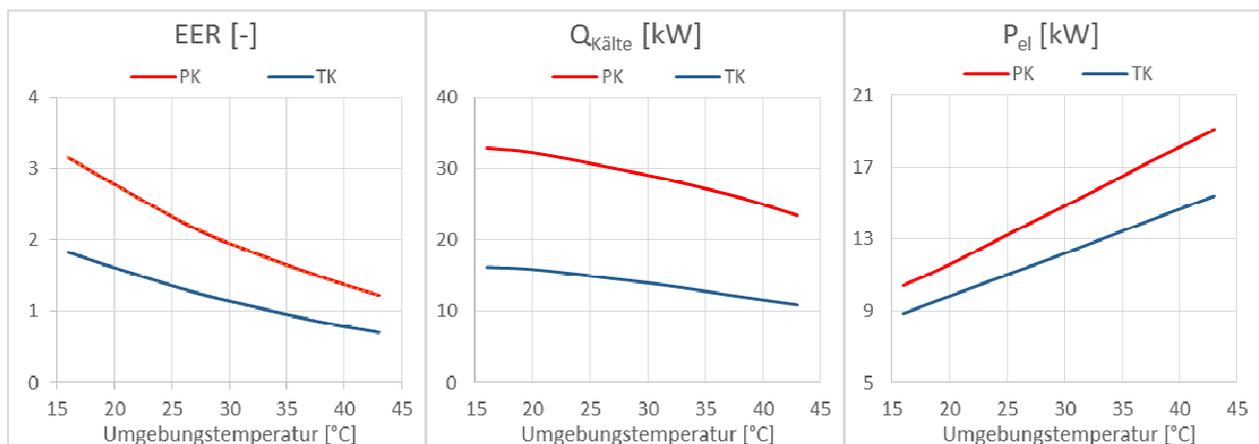


Abbildung 23 Herstellerangaben für Leistungszahl, Kälteleistung und Stromverbrauch für Plus- und Normalkühlung in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur für die Verbundanlage Daikin / ZEAS 15-20

Über diese Definitionen und Annahmen konnten schließlich der Kälte- und Strombedarf eines Supermarktes normaler Größe für die Kühlarten Plus- und Tiefkühlung abgeschätzt werden. In Abbildung 24 wurden die jährlichen Energiemengen dargestellt, die sich bei der Kälteversorgung eines Supermarktes ergeben.

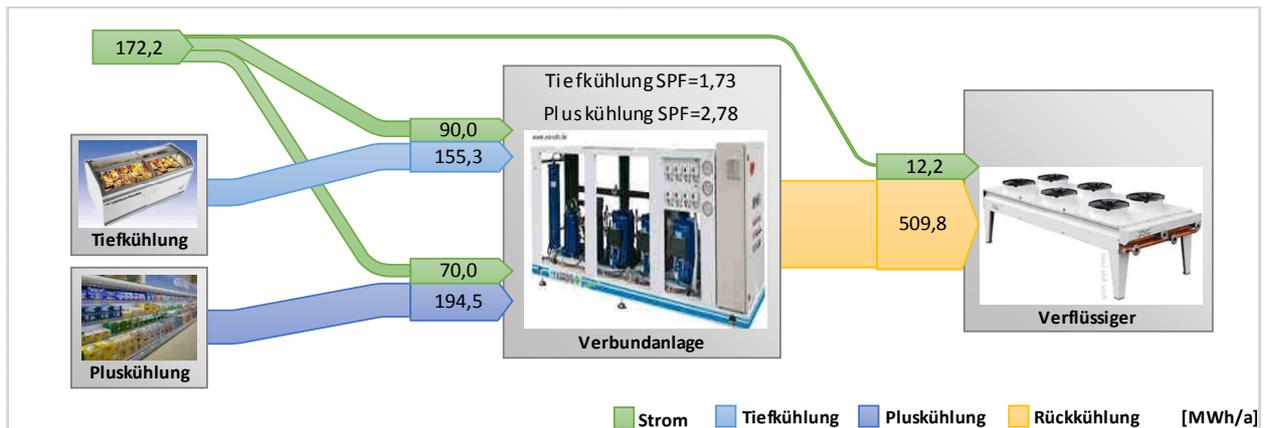


Abbildung 24 Jährlicher Energiefluss für die Verbundanlage eines Supermarktes

Entscheidend für die Betrachtungen im Kälteverbund sind nun die großen Mengen an Wärme, die über den Verflüssiger der Verbundanlage an die Umgebung abgegeben werden müssen. Findet nun die Rückkühlung der Kälteanlage des Supermarktes nicht über den Verflüssiger sondern über die Tiefensonden des Plusenergieverbundes statt, würden sich im Wesentlichen folgende Vorteile bei der Anbindung der Supermarktkühlung an den Kühlverbund des Energieverbundes ergeben:

Der Verflüssiger muss nicht mehr betrieben werden und braucht keinen Strom

Durch konstant tiefe Rückkühltemperaturen findet die Verbundanlage während des gesamten Jahres bessere Rückkühlbedingungen vor, wodurch sich der Strombedarf reduziert

Die Tiefensonden werden erwärmt, wodurch sich aufgrund der besseren Leistungszahl der Strombedarf der Wärmepumpen reduziert

Die Darstellung der jährlichen Energieflüsse einer Verbundanlage, die über die Tiefensonden des Kühlverbundes gekühlt wird (siehe Abbildung 25), zeigt einen reduzierten Strombedarf der Anlage von mehr als 20 MWh<sub>el</sub> pro Jahr, denn neben dem fehlendem Verflüssiger steigt auch die Effizienz der Anlage, weshalb sich auch die Jahresarbeitszahlen erhöhen (PK von 2,78 auf 2,97 / TK von 1,73 auf 1,83). Diese Reduktion des Strombezuges könnte wiederum dem Plusenergieverbund zugerechnet werden.

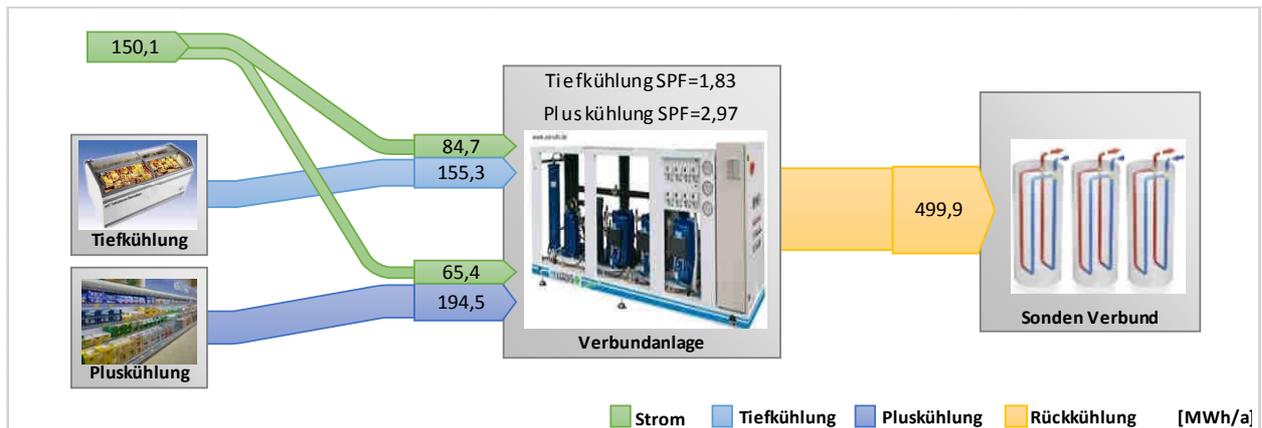


Abbildung 25 Jährlicher Energiefluss für die Verbundanlage eines Supermarktes nach der Integration in den Kühlverbund

### 3.2.3.4 Simulationsrechnungen Pulsenergieverbund

#### **Simulationsmodell Plusenergieverbund**

Alle Betrachtungen aus den vorigen Kapiteln wurden schließlich im Simulationsmodell des Plusenergieverbundes zusammengeführt, wobei der Aufbau des Energieverbundes mit den darin enthaltenen Komponenten sowie die Verschaltungen der Komponenten untereinander in Abbildung 26 dargestellt ist. Als Basis diente wieder der Lageplan der Außenanlage [Technisches Büro Hammer 2011a], aus dem die geografische Positionen aller Abnehmer (Haus A bis Haus L), der Fernwärmeübergabestation (FW), des Kälteverbrauchers (Kä) sowie der Verlauf der Rohrleitungen mit den dazugehörigen Rohrdimensionen und Rohrlängen (siehe Abbildung 27) entnommen werden konnten.

Insgesamt hat das Rohrleitungsnetz eine Trassenlänge von etwa 1,1 km, die gesamte Abnahmeleistung aller Wohngebäude beträgt  $330 \text{ kW}_{\text{th}}$ . Weiters wurden im Netzmodell entsprechend den Vorgaben die drei Bauabschnitte berücksichtigt, wodurch die Simulation für unterschiedliche Ausbaustufen möglich wird. Zudem ist auch die Kälteleitung ersichtlich, die vom Kälteverbraucher über den Kältespeicher zu den jeweiligen Tiefensonden der Heizzentralen führt. Auch der interne Wärmeverbund, über den die Wärmeversorgung aus den bzw. in die drei Bauabschnitte sowie über die externe Fernwärmeübergabestation möglich ist, wurde dargestellt.

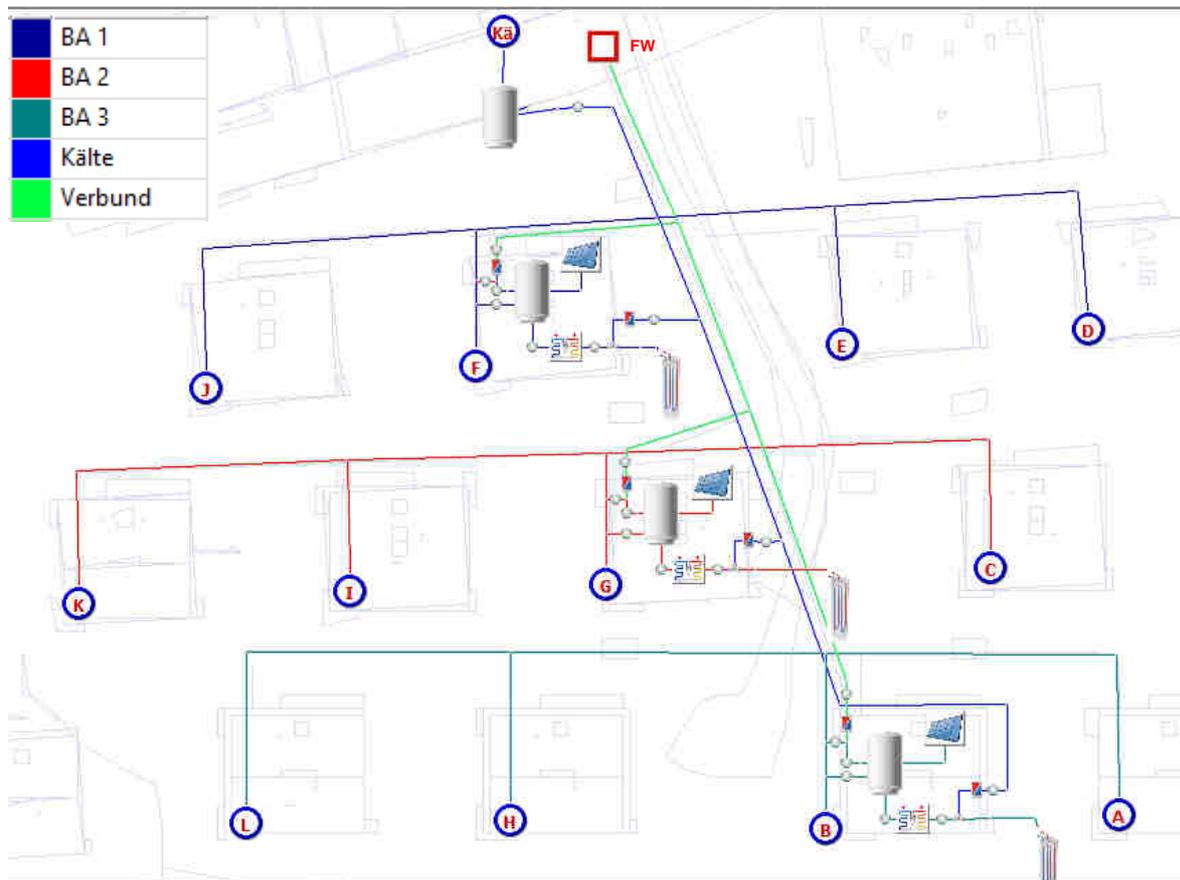


Abbildung 26 Darstellung des Netzmodells in der Simulationssoftware simplex

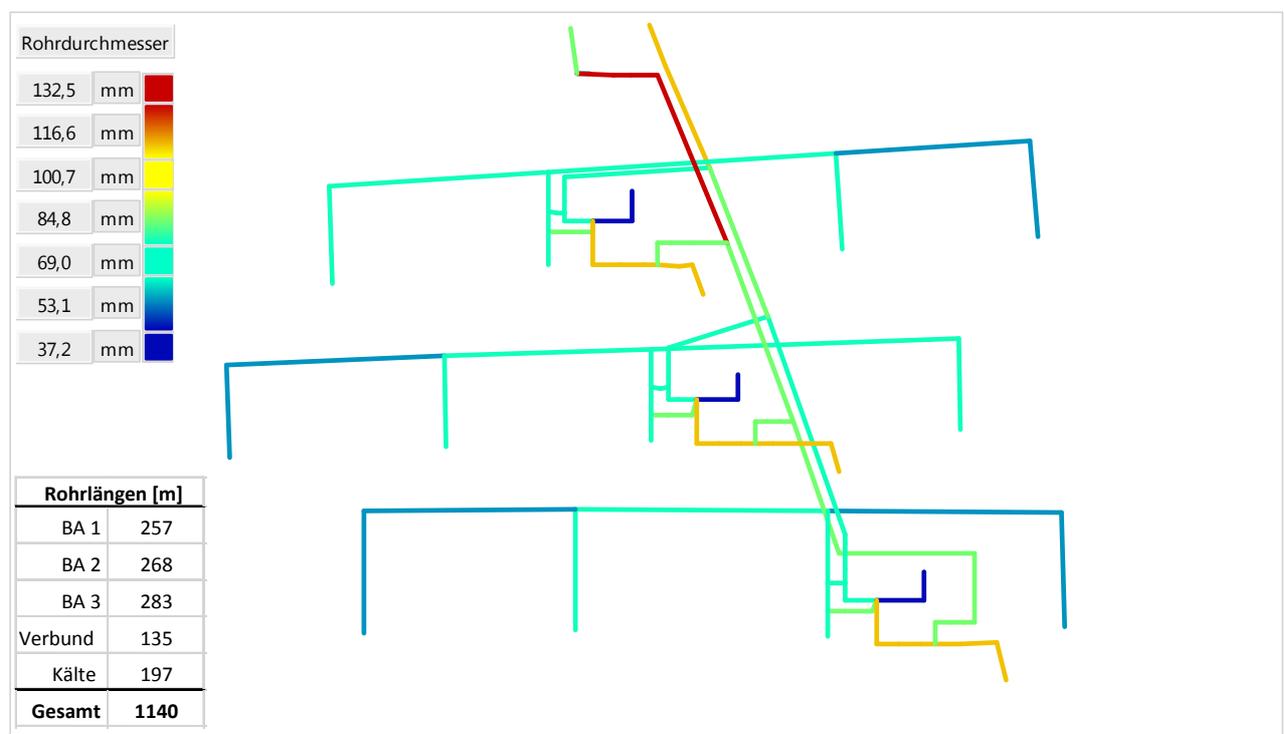


Abbildung 27 Rohrdimensionen und Rohrlängen im hinterlegten Netzmodell

Basierend auf dem Heizraumschema der Energiezentralen (siehe Abbildung 28) sowie den Definitionen in den vorigen Kapiteln konnten schließlich alle wesentlichen Komponenten der Energieversorgung im Energieverbund simulationstechnisch abgebildet werden. Die Darstellung einer Energiezentrale in der Berechnungssoftware **simplex** sowie im Heizraumschema in Abbildung 29 zeigt u.a. den Energiespeicher, die thermische Solaranlage, die Wärmepumpen und die Tiefensonden, aber auch die Wärmeübertrager sowie die Pumpen sind ersichtlich.

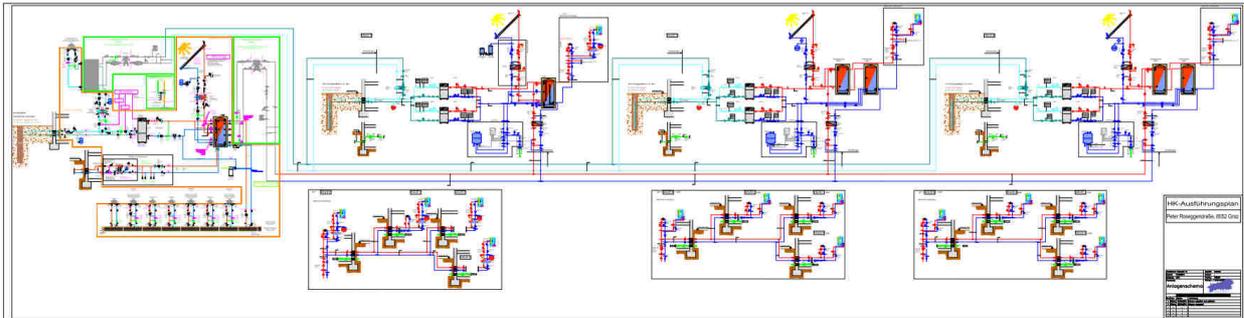


Abbildung 28 Heizraumschema – Peter Rosegger Straße – Punkthäuser [Technisches Büro Hammer 2011b]

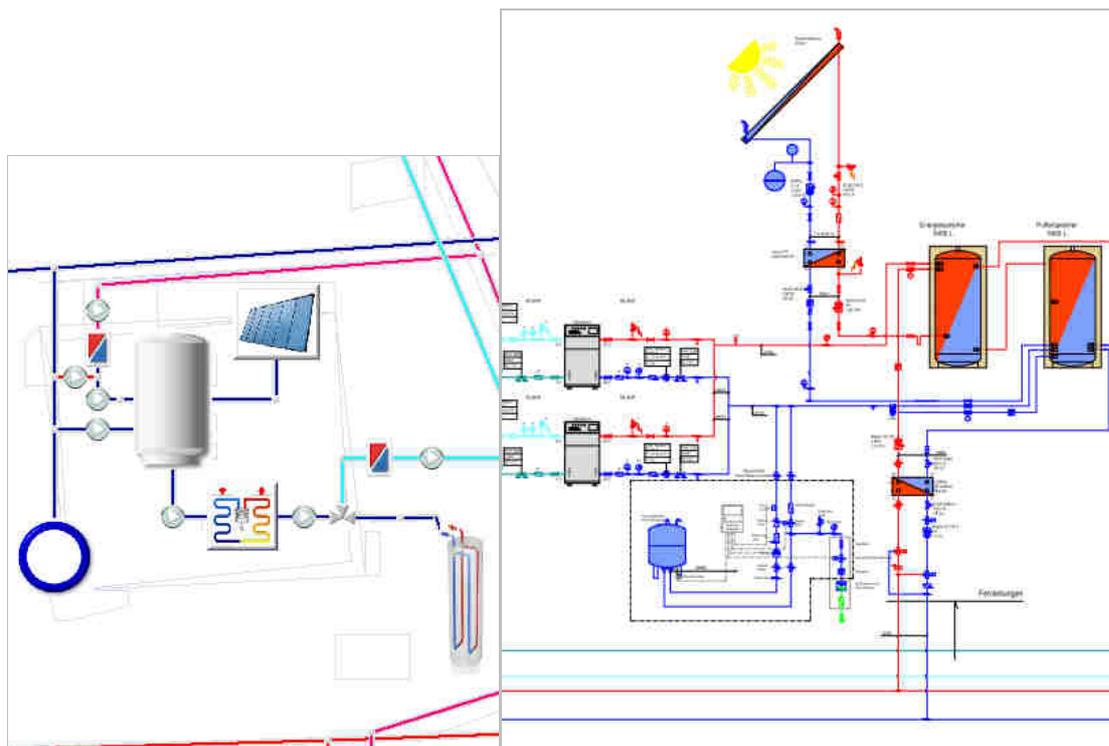


Abbildung 29 Gegenüberstellung der Energiezentralen im Simulationsmodell sowie im Heizraumschema

Aus der Hydraulik der Energiezentralen sowie den regeltechnischen Vorgaben ergeben sich für den Betrieb des Energieverbundes vereinfacht folgende Randbedingungen:

Die Wärmeversorgung für den Heizwärme- sowie Warmwasserbedarf der Wohngebäude erfolgt direkt aus den jeweiligen Energiespeichern.

Die solarthermischen Anlagen speisen in den jeweiligen Energiespeicher ein, sobald genügend Solarenergie für die Temperaturerhöhung vorhanden ist.

Die Wärmepumpe geht nur in Betrieb, wenn die solarthermischen Anlagen nicht genügend Energie für die Versorgung der Wohngebäude liefern. Dabei wird dann über den Wärmepumpenprozess die Energie aus den Tiefensondenfeldern auf ein höheres Temperaturniveau gehoben.

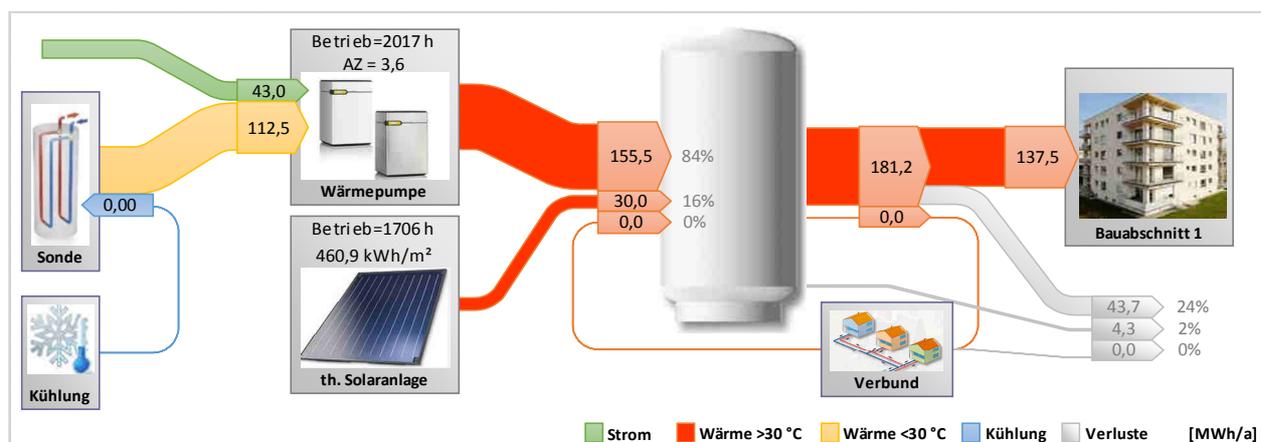
Weiters ergibt sich aufgrund der Anbindung der Tiefensonden an das Kältenetz die Möglichkeit, den Kältebedarf des vorgeschalteten Bürogebäude sowie des Supermarktes über die Erdsonden abzudecken.

### **Simulation „Reale Rahmenbedingungen“**

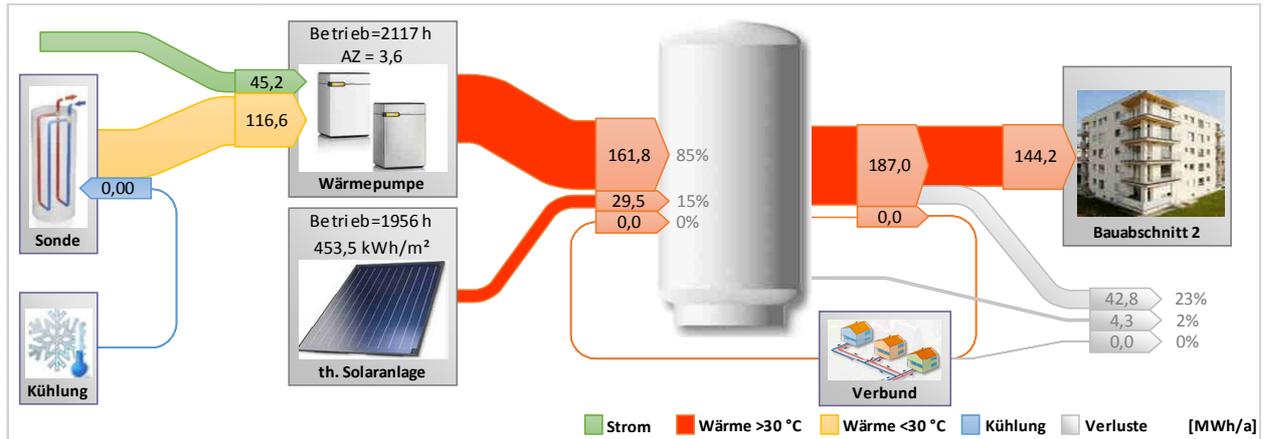
Nachdem alle wesentlichen Komponenten des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd simulationstechnisch abgebildet und in einem Simulationsmodell zusammengeführt wurden, konnte die Simulation durchgeführt werden. Die Darstellung der Ergebnisse in Abbildung 30 erfolgte einerseits durch Energieflussdiagramme aller drei Bauabschnitte sowie des gesamten Energieverbunds, in denen die jährlichen Energieflüsse der einzelnen Energieformen Wärme, Strom und Kühlung sowie deren Größenanteile ersichtlich sind.

Darin zeigen sich sehr ähnliche Verhältnisse der Wärmeversorgung der drei Bauabschnitte (Betriebsstunden und Arbeitszahl der Wärmepumpen sowie Betriebsstunden, Abdeckungsanteil und spezifischer Solarertrag der thermischen Solaranlage). Lediglich für den kleineren dritten Bauabschnitt gibt es geringfügige Abweichungen. Aus der Gesamtübersicht zeigen sich unter anderem der solare Deckungsgrad von 17%, die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen von 3,6, die Netzverluste im Rohrleitungsnetz von 25 % und die Speicherverluste von 2 %.

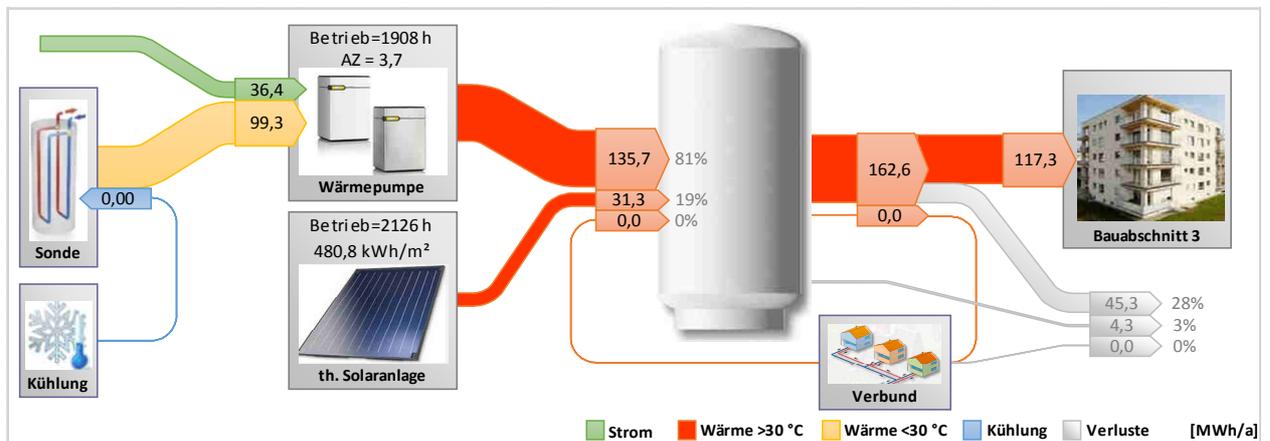
#### **Bauabschnitt 1**



## Bauabschnitt 2



## Bauabschnitt 3



## Gesamter Energieverbund

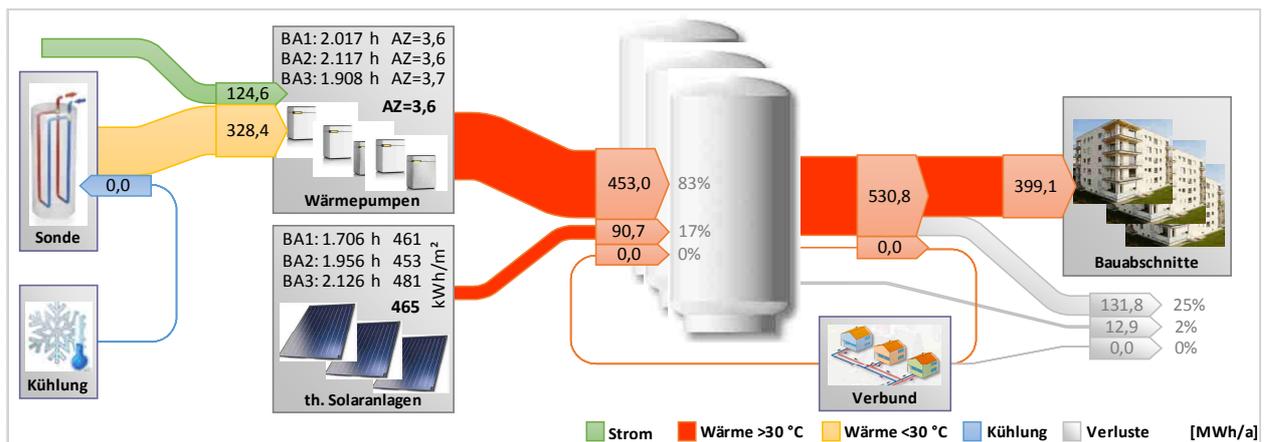


Abbildung 30 Jährliche Energieflüsse des Plusenergieverbundes (BA 1, BA 2, BA 3 sowie Gesamtverbund) unter realen Randbedingungen

Weiters wird durch die Simulation unter den derzeitigen Rahmenbedingungen verdeutlicht, dass weder der Wärmeaustausch unter den drei Bauabschnitten (Energieströme aus dem Verbund bzw. in den Verbund = 0 MWh) notwendig wird, noch der Kühlverbund derzeit aktiv ist (Energiestrom aus der Kühlung = 0 MWh).

Neben den Energieflüssen wurden auch diverse Verlaufsdaten aller Komponenten aufgezeichnet. In Abbildung 31 wurden beispielhaft der Temperaturverlauf bzw. die Betriebszeiten der thermischen Solaranlage des 1. Bauabschnittes für den gesamten Betrachtungszeitraum sowie ein Wochenverlauf innerhalb und außerhalb der Heizperiode dargestellt. Deutlich sind die längeren Betriebsperioden im Sommer ersichtlich, die ausschließliche Abdeckung des Warmwasserbedarfs der drei Gebäude über die Solaranlage ist jedoch nicht möglich.

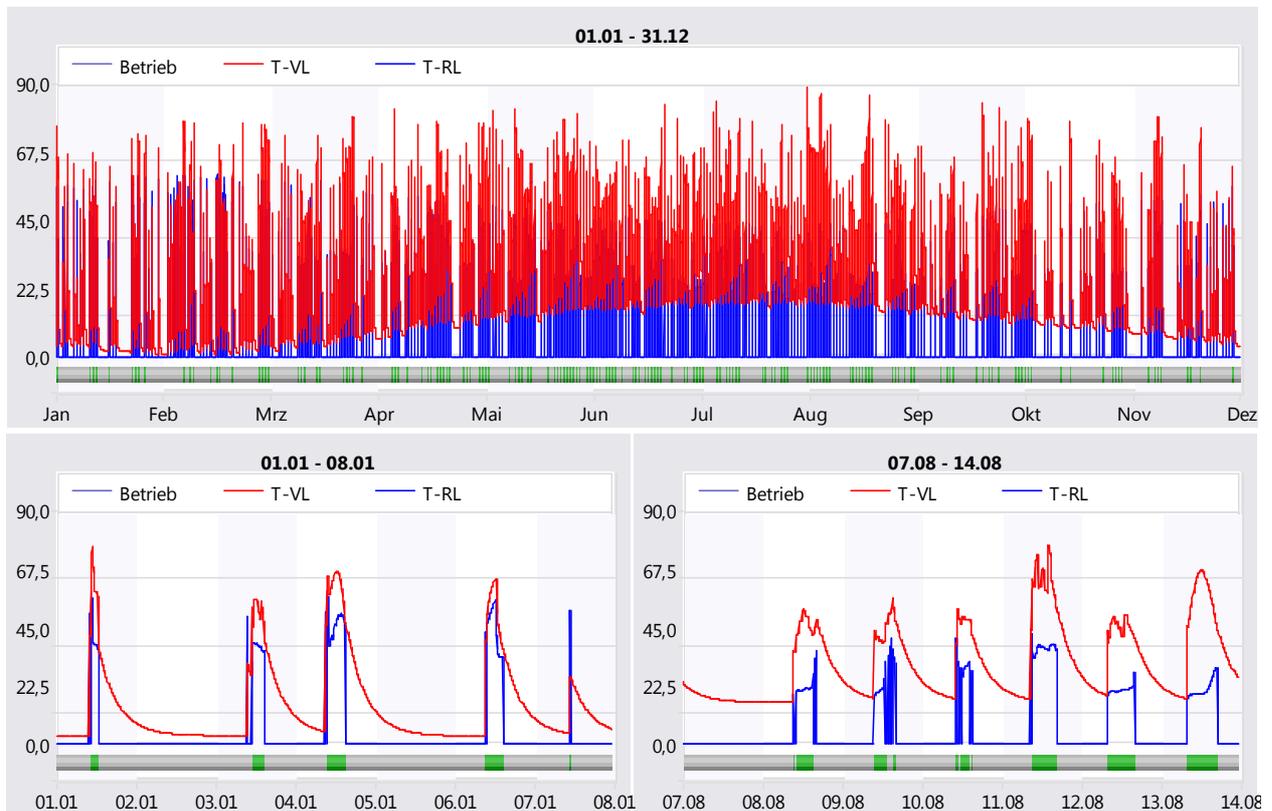


Abbildung 31 Temperaturverläufe sowie Betriebszeiten der thermischen Solaranlage vom 1. Bauabschnitt im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode

Dies wird auch durch die Abbildung 32 verdeutlicht, in der die Betriebszeiten sowie die Temperaturverläufe der Wärmepumpe des 1. Bauabschnittes dargestellt sind. Darin ist zwar die deutliche Reduktion der Einschaltdauer der Wärmepumpe außerhalb der Heizperiode erkennbar, aufgrund der in der Nacht absinkenden Speichertemperaturen kann der Betrieb jedoch nicht vollkommen ausbleiben, weil sonst die für die Warmwasserbereitung erforderliche Vorlauftemperatur nicht mehr gewährleistet werden kann.

Die Darstellung der Speicherbeladung des Pufferspeichers vom 1. Bauabschnitt in Abbildung 33, bei der die Temperaturen in der jeweiligen Speicherhöhe farblich dargestellt werden, zeigt naturgemäß dieselben Zusammenhänge. Auch ist die kurzfristige Absenkung der gesamten Puffertemperatur während der Startphase des Wärmepumpenbetriebs deutlich erkennbar, die aufgrund der relativ hohen Volumenströme beim Betrieb der Wärmepumpe und der daraus folgenden Durchmischung des Pufferspeichers entsteht. Des Weiteren sind die tiefen Temperaturen im unteren Bereich des Speichers ersichtlich, mit denen sich die guten

Rahmenbedingungen für die thermische Solaranlage und die daraus resultierenden hohen Solarerträge von 465 kWh/m<sup>2</sup>a ergeben.

Analog zu den anderen Komponenten wurden in Abbildung 34 noch die Temperaturverläufe, die thermische Leistung sowie die Betriebszeiten für die Tiefsonde von Bauabschnitt 1 dargestellt.

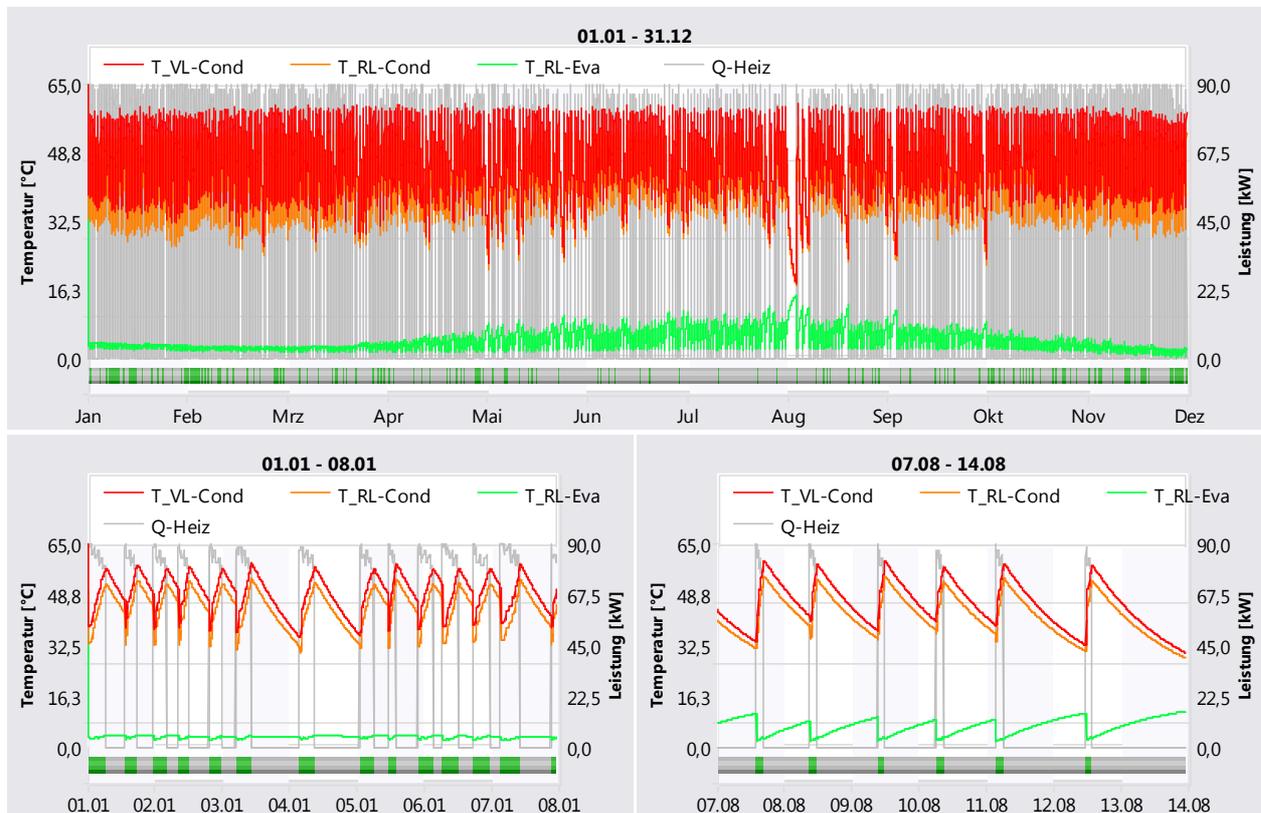


Abbildung 32 Temperaturverläufe, Heizleistung sowie Betriebszeiten der Wärmepumpe vom 1. Bauabschnitt im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode

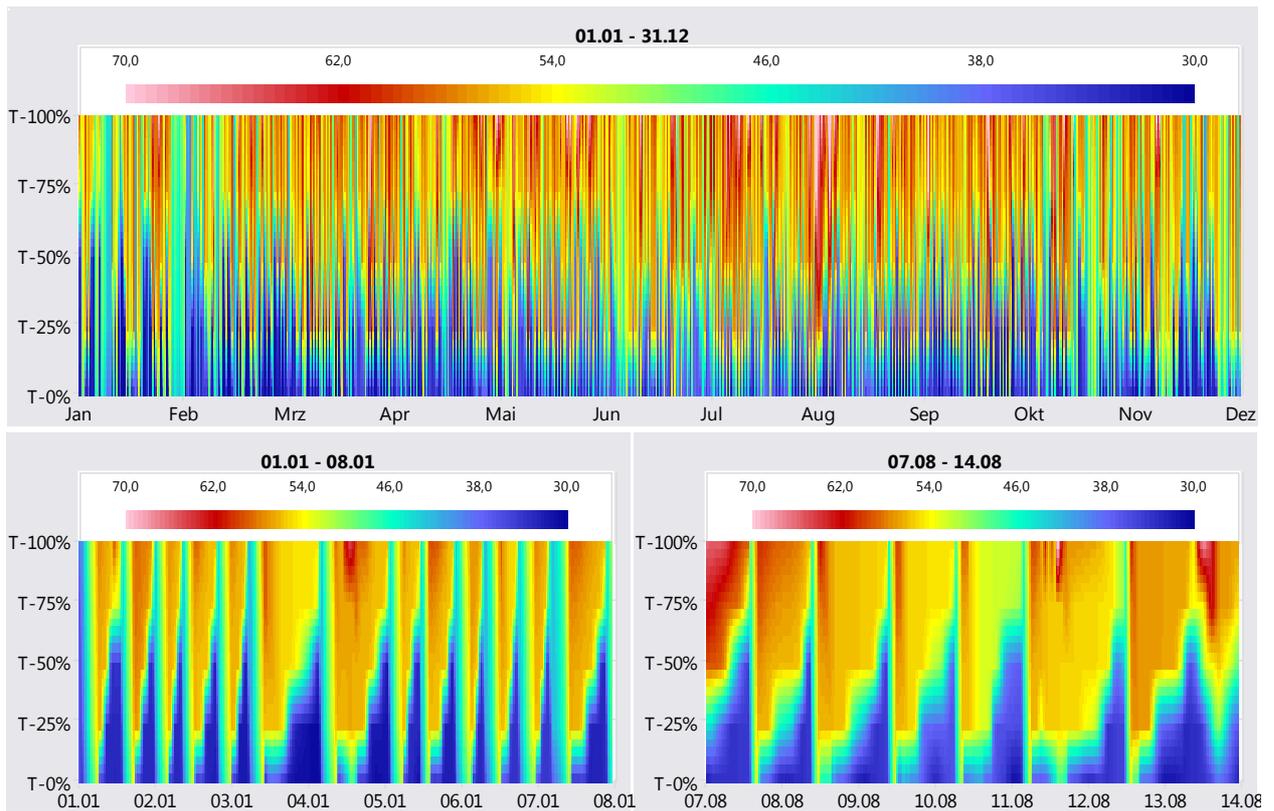


Abbildung 33 Beladezustand des Pufferspeichers vom 1. Bauabschnitt im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode

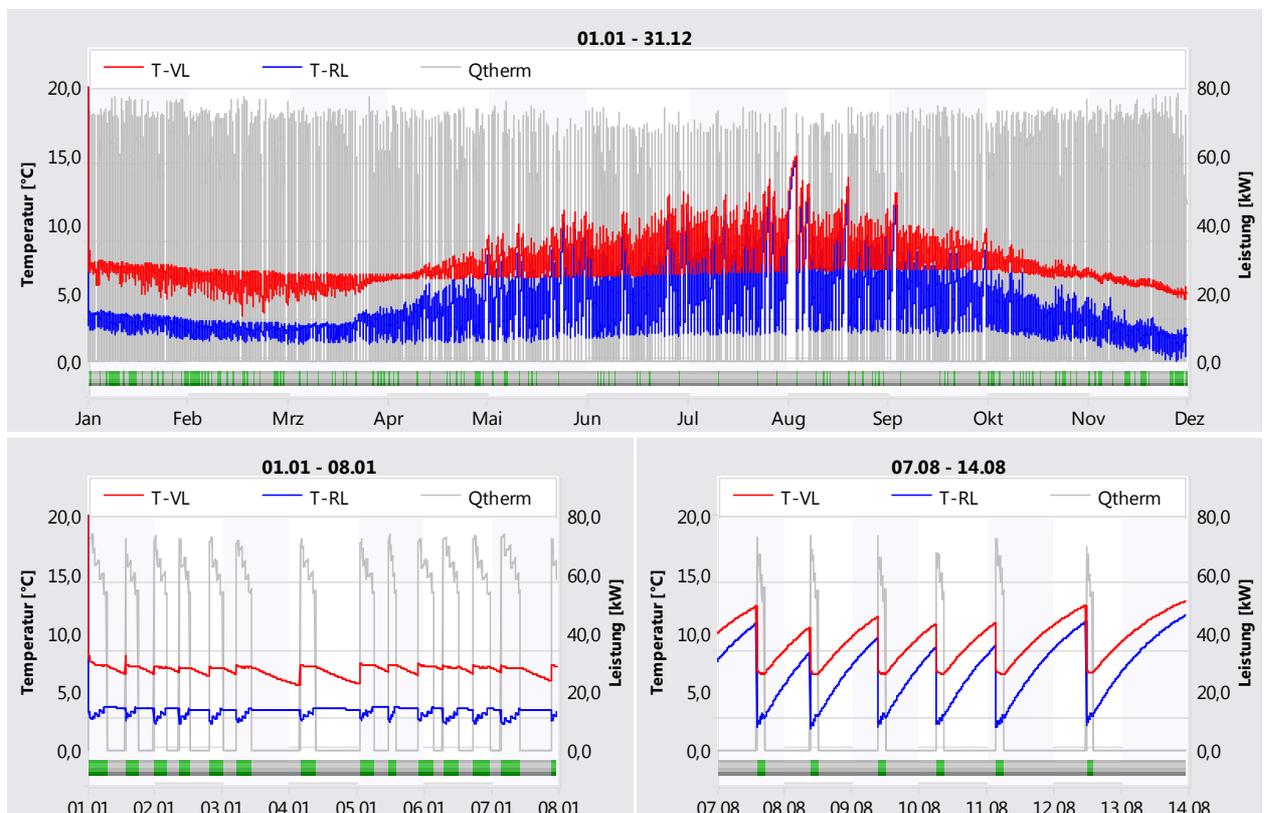


Abbildung 34 Temperaturverläufe, thermische Leistung und Betriebszeiten der Tiefensonde vom 1. Bauabschnitt im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode

## Interner Wärmeverbund

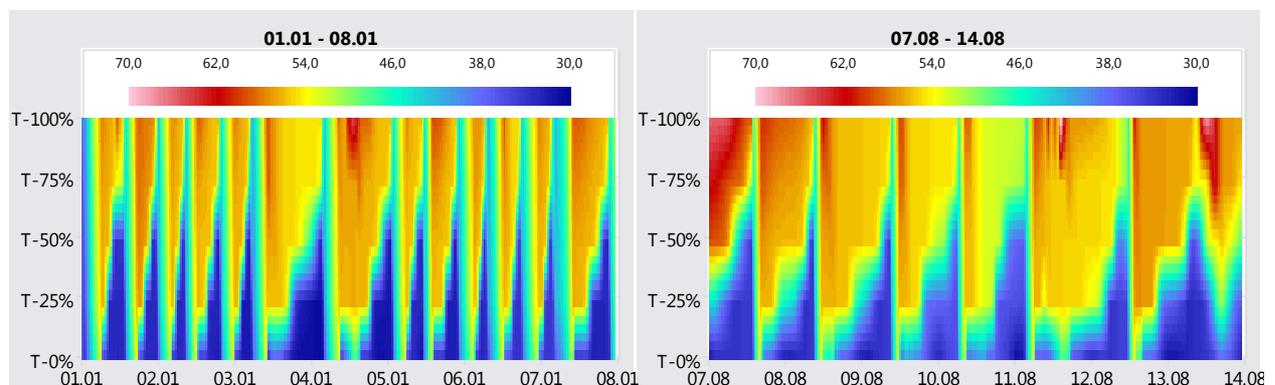
Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, kommt es aufgrund der aktuell festgelegten Regelstrategie zu keiner Wärmeversorgung aus dem internen Wärmeverbund. Für die Speicherbeladung eines Bauabschnittes wird also niemals eine Wärmepumpe bzw. Solaranlage eines anderen Bauabschnittes angefordert. Der Grund dafür ist der annähernd gleiche Aufbau der drei Heizzentralen in Kombination mit der ebenfalls sehr ähnlichen Verbraucherstruktur der drei Bauabschnitte.

Zur Verdeutlichung dieser Zusammenhänge wurden in Abbildung 35 die Zustände der Speicherbeladung für die drei Bauabschnitte innerhalb der Heizperiode sowie innerhalb der Kühlperiode gegenübergestellt. Darin zeigen sich über weite Bereiche sowohl im Winter als auch Sommer sehr ähnliche Temperaturen in den drei Pufferspeichern, was wiederum zu annähernd gleichen Anforderungen der jeweiligen Nachheizung über die Wärmepumpe führt. Auch durch die gleiche Ausrichtung bzw. die gleiche Größe der thermischen Solaranlagen kommt es zu einer weitestgehend gleichzeitigen Beladung der Pufferspeicher über die thermischen Kollektoren.

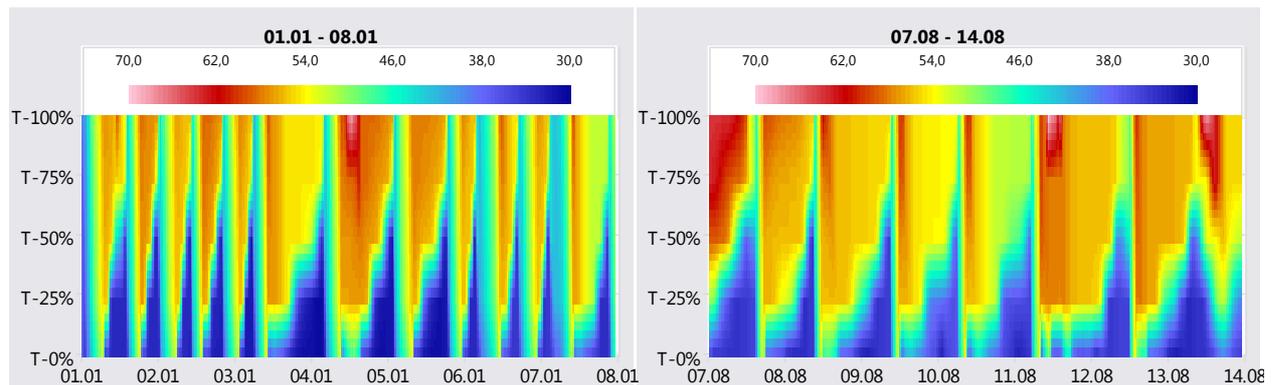
Wird nun die Regeltechnik des Energieverbundes dahingehend angepasst, dass die Nachladung der einzelnen Pufferspeicher über die Wärmepumpen bei unterschiedlichen Beladungszuständen bzw. bei unterschiedlichen Vorgabewerten der Regeltemperaturen angefordert wird, ergeben sich sehr wohl auch Anforderungen des internen Wärmeverbundes.

Beispielhaft wurde der Regelalgorithmus dahingehend geändert, dass die Beladung des Speichers vom 1. Bauabschnitt durch die Wärmepumpe erst später bzw. bei tieferen Temperaturen ausgelöst wird. Hingegen wurde beim 3. Bauabschnitt über eine frühzeitige Anforderungen bzw. höhere Schwellwerte für die Nachladung über die Wärmepumpe ständig dafür gesorgt, dass der Speicher immer gut durchgeladen ist und dadurch eine Versorgung des internen Verbundes bzw. der anderen Speicher aus der Energiezentrale des 3. Bauabschnittes ermöglicht wird.

### Bauabschnitt 1



## Bauabschnitt 2



## Bauabschnitt 3

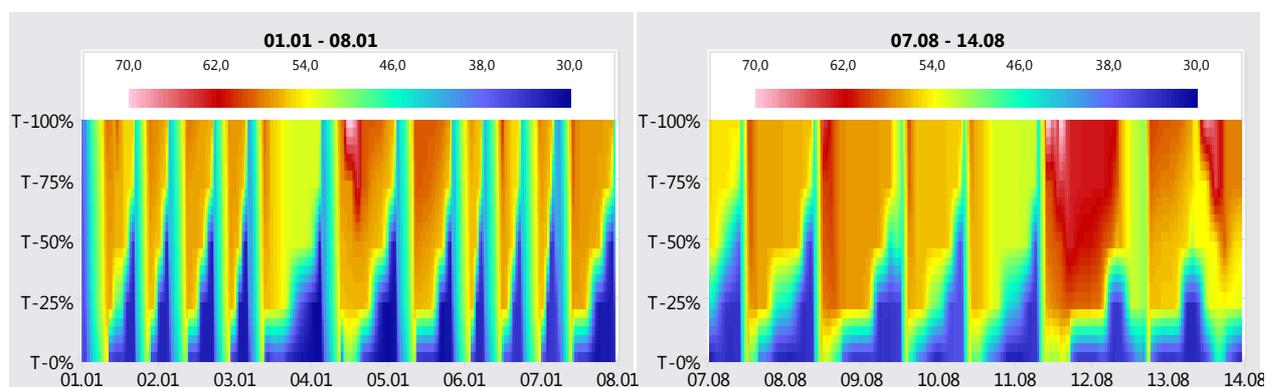
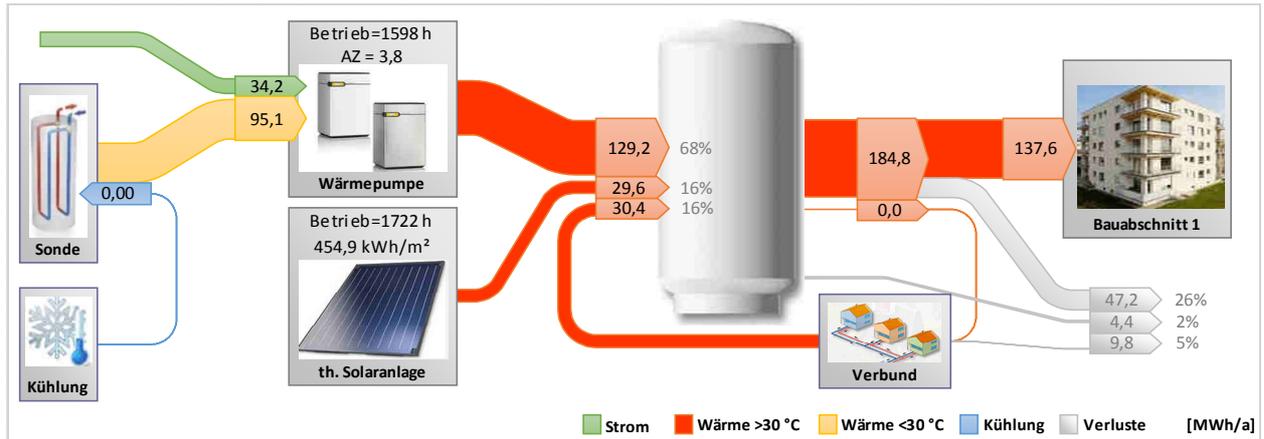


Abbildung 35 Gegenüberstellung der Beladungszustände der Pufferspeicher der drei Bauabschnitte im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode

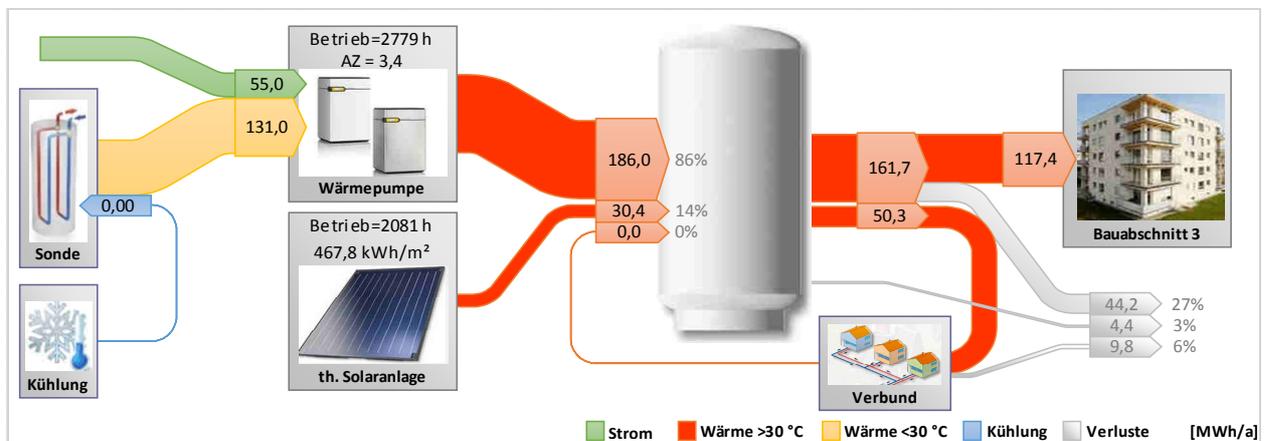
Die Gegenüberstellung der jährlichen Energieflüsse der beiden Bauabschnitte BA 1 und BA 3 und die darin ersichtlichen Wärmeströme zeigen die Funktion des internen Wärmeverbundes (siehe Abbildung 33). Durch regeltechnische Änderungen könnte also die Wärmeversorgung aus dem internen Wärmeverbund jederzeit forciert werden. Der ebenfalls in Abbildung 33 dargestellte Energiestrom des Gesamtverbundes und der Vergleich mit jenem unter den derzeitigen Rahmenbedingungen aus Abbildung 27 zeigt jedoch keine Verbesserung der energetischen Situation. So ist einerseits der spezifische Solarertrag mit  $459 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  um  $6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  geringer als zuvor, der solare Abdeckungsanteil sinkt von 17 % auf 15 %. Andererseits ergibt sich mit 3,56 auch eine geringere durchschnittliche Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen (zuvor 3,64).

Beides lässt sich auf die höheren Speichertemperaturen zurückführen, die für die zuverlässige Wärmeversorgung aus dem internen Wärmeverbund erforderlich sind. Denn aufgrund der zwei Wärmeübertrager, die jeweils vor bzw. nach den Pufferspeichern installiert sind, reduziert sich die Vorlauftemperatur in den Rohrleitungen des Verbundes deutlich, weshalb wiederum höherer Schwellwerte für die Nachladung über die Wärmepumpe eingestellt werden müssen.

### Bauabschnitt 1



### Bauabschnitt 3



### Gesamter Energieverbund

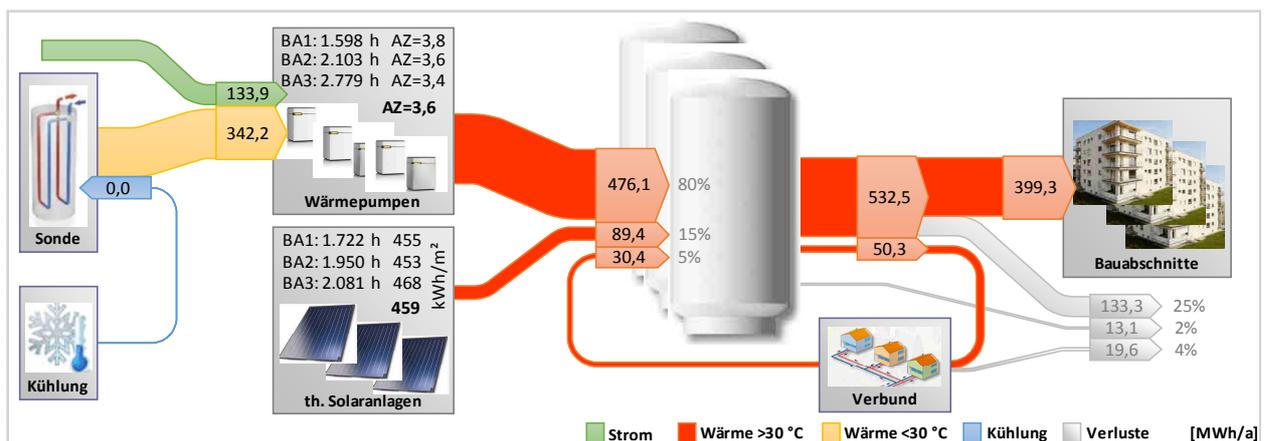


Abbildung 36 Jährliche Energieflüsse des Plusenergieverbundes (BA 1, BA 3 sowie Gesamtverbund) mit aktivem internen Wärmeverbund

Insgesamt steigt sogar der für die Wärmeversorgung aufzubringende Wärmepumpenstrom von zuvor 125 MWh/a um fast 10 MWh/a auf 134 MWh/a, denn neben den geringeren Arbeitszahlen sowie den geringeren Solarerträgen steigt auch der gesamte Wärmeverlust im Verbund. Denn neben der geringfügigen Steigerung der Speicherverluste bzw. der Rohrlei-

tungsverluste des Versorgungsnetzes erhöht sich aufgrund der zusätzlichen Rohrleitungsverluste der relativ groß dimensionierten Rohre im internen Verbund der gesamte Netzverlust um 20 MWh/a.

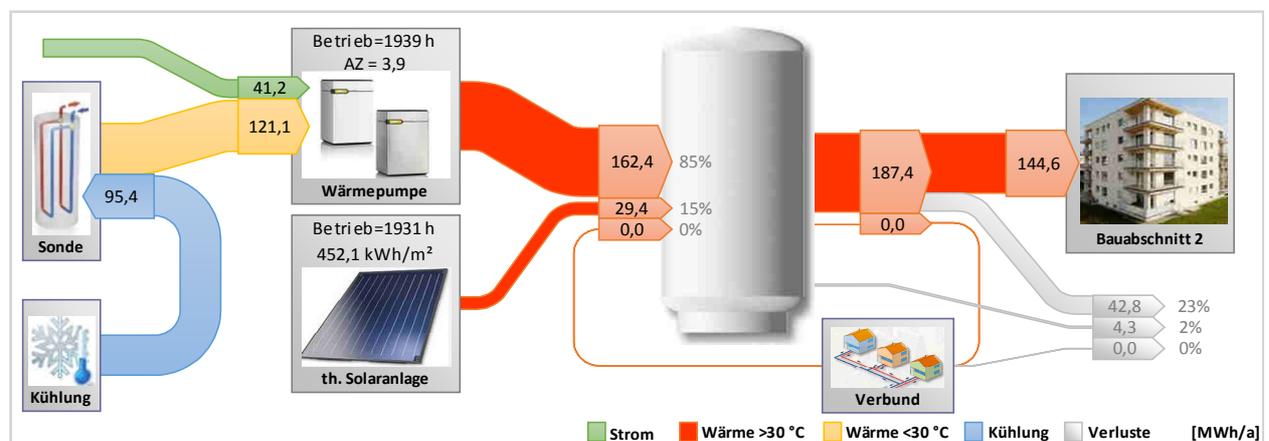
Die Analyse zeigt also, dass die Verwendung des internen Wärmeverbundes technisch zwar problemlos möglich ist, energetische Vorteile konnten jedoch nicht nachgewiesen werden. Die Wärmeversorgung über den Wärmeverbund wird sich also auf Aspekte hinsichtlich der Versorgungssicherheit (Ausfall oder Service einer Wärmepumpe) sowie einer Optimierung von Betriebszeiten einzelner Komponenten (Wärmepumpen, Tiefensonden, ...) beschränken.

### Externer Kühlverbund

Bei der Simulation des Kühlverbundes wird untersucht, inwieweit die mögliche Deckung eines anfallenden Kältebedarfs über eine Rückkühlung durch die Tiefensonden möglich ist. Wie bereits in Kapitel 3.2.3.3 erwähnt, entsteht innerhalb der betrachteten Systemgrenzen kein Bedarf an Kühlung, weshalb einerseits die Klimatisierung von Bürogebäuden bzw. die Unterstützung der Kälteerzeugung eines Supermarktes untersucht wird.

Im ersten Fall der Gebäudeklimatisierung muss ein Kühlbedarf von 140 MWh/a im Temperaturbereich von maximal 15 °C abgedeckt werden. Die Darstellung der Energieflüsse in Abbildung 37 zeigt die Einbringung der Kühlung in die Tiefensonden der einzelnen Bauabschnitte, wobei aufgrund der regeltechnischen Einstellungen der 2. Bauabschnitt mit über 95 MWh/a den Großteil der Kühlwärme aufnimmt (BA 1 = 45 MWh/a; BA 3 = 0 MWh/a). Neben den Einsparungen beim Stromverbrauch der nicht mehr benötigten Klimaanlage von 29 MWh/a (siehe Kapitel 0) reduziert sich auch der Strombedarf der Wärmepumpen aufgrund der höheren Erdreichtemperaturen und den daraus resultierenden besseren Jahresarbeitszahlen (3,8 statt 3,6) um 6 MWh/a. Der zusätzliche Strombedarf der Netzpumpe des Kühlverbundes ist mit etwa 0,3 MWh/a sehr gering, es kommt also jedenfalls zu Einsparungen während des Betriebs des Kühlverbundes, wenngleich die Auswirkungen auf das Gesamtsystem eher gering ausfallen.

### Bauabschnitt 2



## Gesamter Energieverbund

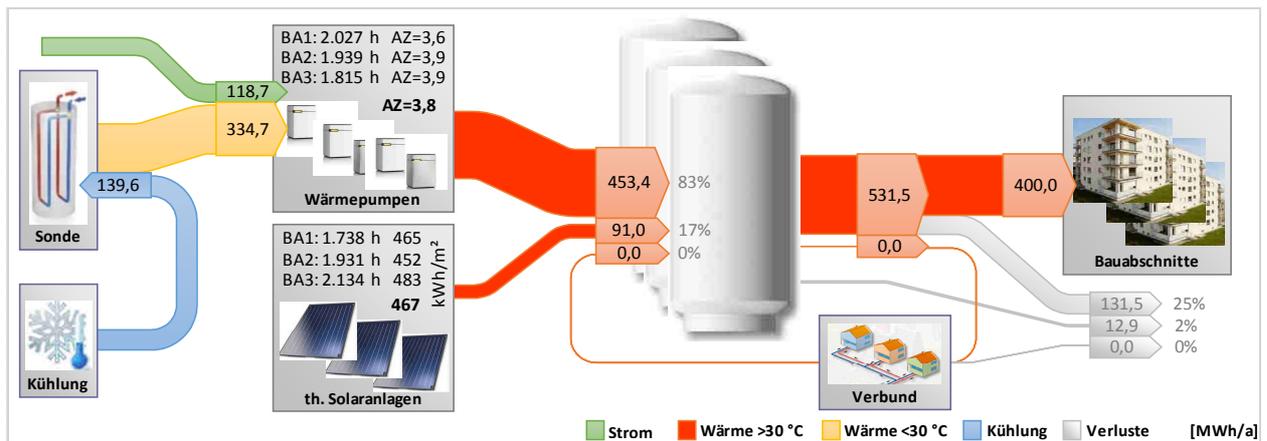


Abbildung 37 Jährliche Energieflüsse des Plusenergieverbundes (BA 1, Gesamtverbund) für die Gebäudeklimatisierung

In der Darstellung des Beladezustands des Kältespeichers für eine Woche innerhalb der Kühlperiode in Abbildung 38 zeigt sich deutlich, dass die Kühlung über die Tiefensonden wesentlich mehr Leistung bereitstellen könnte als von der Gebäudeklimatisierung angefordert wird. Dies begründet auch die sehr kurzen und relativ häufigen Beladevorgänge über den Kühlverbund.

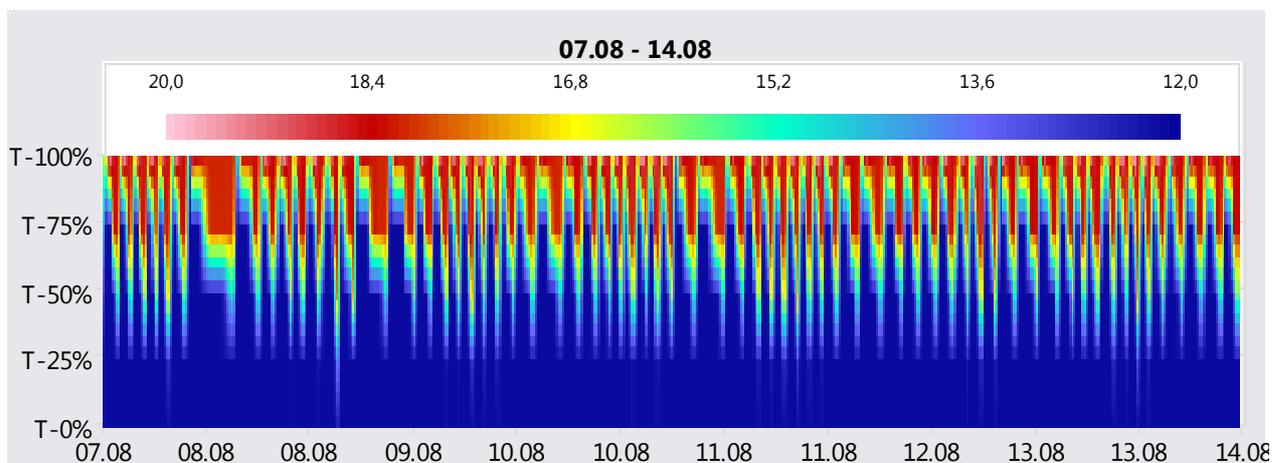


Abbildung 38 Beladezustand des Kältespeichers im Wochenverlauf innerhalb der Kühlperiode für die Gebäudeklimatisierung

Wesentlich deutlicher fallen hingegen die Auswirkungen bei der Abdeckung des Kühlbedarfs aus, der sich bei der Unterstützung der Kälteerzeugung eines Supermarktes ergibt. Die in Abbildung 39 dargestellten Energieströme zeigen die große Menge an Kühlenergie (511 MWh/a), die vom Kondensator der Verbundanlage an die Tiefensonden des Energieverbundes geliefert wird (BA 1=125 MWh/a; BA 2=165 MWh/a; BA 3=221 MWh/a). Infolge der Erwärmung des Erdreiches wäre ein effizienterer Wärmepumpenbetrieb möglich, im Vergleich zum derzeitigen Betrieb (siehe Abbildung 30) würde sich die Jahresarbeitszahl von 3,6 auf 4,4 erhöhen bzw. der Strombedarf der Wärmeproduktion um mehr als 20 MWh/a auf 104 MWh/a reduzieren.



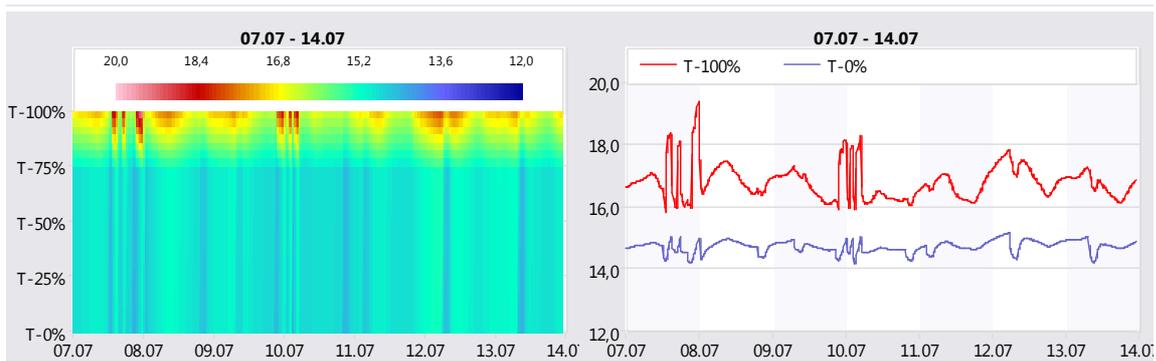


Abbildung 40 Beladezustand des Kältespeichers im Wochenverlauf innerhalb der Kühlperiode für die Unterstützung der Kälteversorgung eines Supermarkts

Deshalb wurde abschließend die Variante untersucht, bei der sowohl die Gebäudeklimatisierung als auch die Unterstützung der Kälteversorgung eines Supermarkts über die Tiefensonden des Energieverbundes realisiert werden. In diesem Fall würde sich der Energieeintrag in die Tiefensonden auf 650 MWh/a erhöhen, was wiederum zu einer Steigerung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen auf 4,5 bzw. einer Reduktion der Strombedarfs auf unter 102 MWh/a führen würde (siehe Abbildung 41).

Die Darstellung des Beladezustandes des Kältespeichers in Abbildung 42 zeigt allerdings, dass in diesem Fall die Kühltemperatur von 15 °C nicht immer erreicht werden kann, wenngleich die Temperaturen innerhalb der Kühlperiode bei etwa 16 bzw. maximal 17 °C liegen. Mit diesen Temperaturen könnte aber sowohl die Gebäudeklimatisierung als auch die Rückkühlung der Verbundanlage des Supermarktes sichergestellt werden. Im Jahresverlauf ist zudem ganz deutlich die maximale Belastung der Tiefensonden am Ende der Kühlperiode ersichtlich, erst gegen Jahresende kommt es durch die vermehrte Nutzung der Wärmepumpen in der Heizperiode (Wärmeentnahmen) bzw. die fehlende Kühlleistung der Gebäudeklimatisierung zu einer Senkung der Sondentemperatur bzw. der Speichertemperatur.

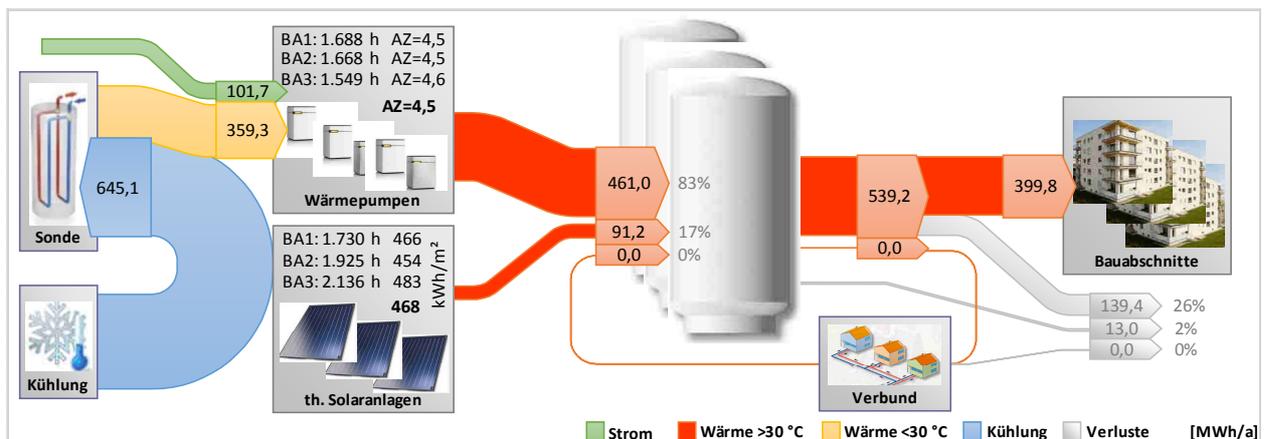


Abbildung 41 Jährliche Energieflüsse des Plusenergieverbundes für die Gebäudeklimatisierung und die Unterstützung der Kälteversorgung eines Supermarkts

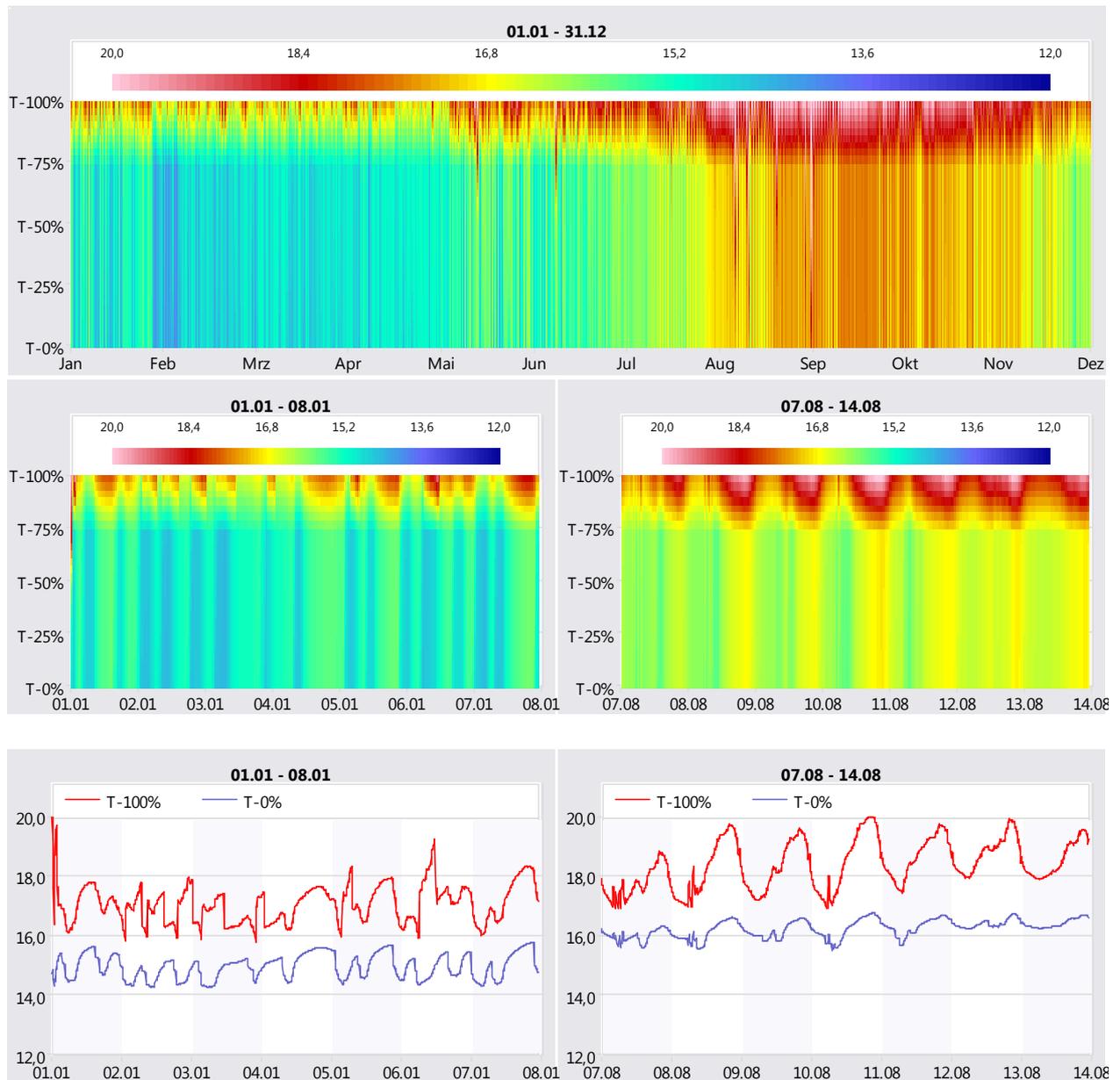


Abbildung 42 Beladezustandes des Kältespeichers im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode für Gebäudeklimatisierung und die Unterstützung der Kälteversorgung eines Supermarkts

### **Bilanzierung Plusenergieverbund**

Entsprechend den Projektvorgaben wurde abschließend die Energiebilanz für die untersuchten Varianten berechnet, indem die für die Wärmeversorgung des Energieverbundes erforderlichen Wärmemenge sowie der dafür erforderlichen Strombezug aus dem Netz betrachtet wurde. Der Strombedarf der Wärmepumpen kann einerseits durch der Stromertrag der noch zu installierende Photovoltaikanlage reduziert werden, andererseits können auch die Reduktion des Strombedarfs für die Klimatisierung bzw. die Kälteerzeugung aus dem externen Büro- und Geschäftskomplex als positive Bilanzwerte angesetzt werden.

Für die Simulationsvariante unter den derzeitigen Randbedingungen, welche in

Abbildung 43 dargestellt ist, zeigten sich für die Abdeckung des Strombedarfs der Haustechnik negative Werte, es muss also mehr Energie ins System eingebracht werden als hervor geht. Dies begründet sich vor allem auf der noch fehlenden Umsetzung der Photovoltaikanlage, der gesamte Strom für die Haustechnik von 125 MWh aus dem Netz bezogen werden. Wegen der fehlenden Umsetzung des Kühlverbundes kommt es derzeit auch zu keiner Kältelieferung aus dem Bürokomplex in die Tiefensonden und dadurch auch zu keiner Stromersparung bei der Kühlung, welche den Strombezug aus dem Netz reduzieren würde.

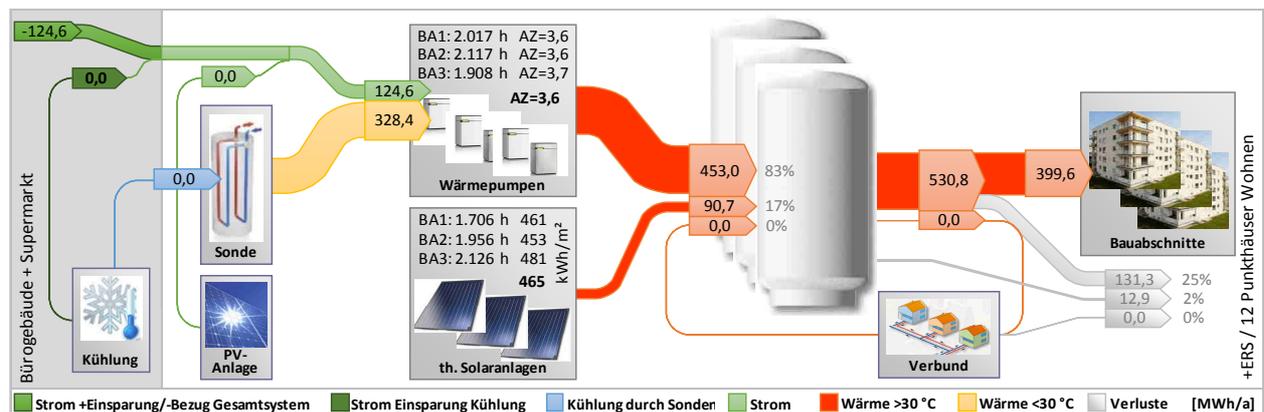


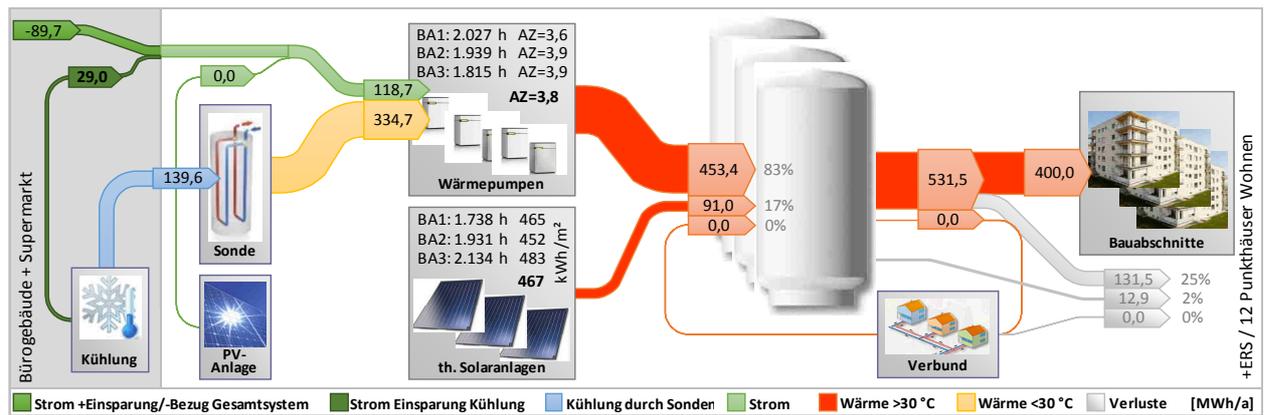
Abbildung 43 Jährliche Energiebilanz für den Energieverbund unter den derzeitigen Rahmenbedingungen

Der Energiefluss zeigt auch den solaren Deckungsanteil von 17 % bei einem spezifischen Kollektorsertrag von 465 kWh/m²a. Der restliche Wärmebedarf wird von den Wärmepumpen abgedeckt, wobei die Jahresarbeitszahl bei 3,6 liegt. Mit dem gesamten Wärmeeintrag in die Pufferspeicher von 544 MWh/a werden der Wärmebedarf der Wohnhäuser (BA 1, BA 2, BA 3) von 400 MWh/a aber auch der Wärmeverlust des Rohrleitungsnetzes (25%) sowie die Speicherverluste (2%) gedeckt. Der interne Wärmeverbund ist derzeit nicht aktiv, was u.a. auch durch die fehlenden energetischen Vorteile begründet werden kann, die auch durch die Simulationsrechnung bestätigt werden konnten (siehe Kapitel interner Wärmeverbund).

Für die zweite Simulationsvariante, bei der die Klimatisierung der Bürogebäude durch die Tiefensonden jedoch ohne die Umsetzung der Photovoltaikanlage angenommen wurde, ergaben sich ebenfalls negative Werte. Aufgrund der positiven Effekte der Kühlung (fehlender Strombedarf der Referenz-Klimaanlage von 29 MWh und Reduktion des Strombedarfs der Wärmepumpen aufgrund der höheren Sondentemperaturen) reduzierte sich der aus dem Netz bezogene Strom allerdings um 35 MWh auf 90 MWh.

Würde in dieser Variante auch die Installation der PV-Anlage vorausgesetzt, würde aufgrund des errechneten jährlichen Stromertrages von 90 MWh/a in Summe mehr Strom erzeugt bzw. eingespart als durch die drei Energiezentralen verbraucht wird, die Strombilanz des Energieverbundes würde also geringfügig positiv sein. Die Energieströme sowie die Bilanzwerte der beiden Varianten sind in Abbildung 44 dargestellt.

## Ohne PV-Anlage



## Mit PV-Anlage

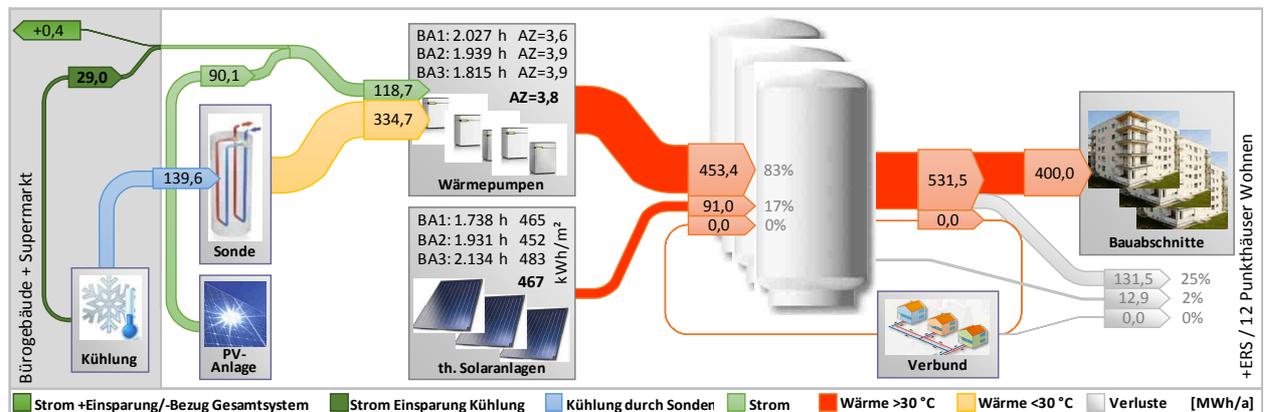


Abbildung 44 Jährliche Energiebilanz für den Energieverbund für die Gebäudeklimatisierung ohne und mit Photovoltaikanlage

Abschließend wurde noch die Variante mit der Klimatisierung des Gebäudes sowie der Unterstützung der Kälteerzeugung des Supermarktes dargestellt, auch die Installation der Photovoltaikanlage wurde in diesem Fall wieder angenommen. Da neben dem Stromertrag der PV-Anlage sowie dem eingesparten Strombezug der Klimaanlage zusätzlich noch der reduzierte Strombedarf der Verbundanlage des Supermarktes (22,1 MWh/a) als positiv gewertet werden könnte, ergibt sich mit dem reduzierten Strombedarf der Wärmepumpen (102 MWh) eine deutlich positive Strombilanz von 40 MWh/a. Durch den Betrieb des Energieverbundes sowie durch den Ertrag aus der PV-Anlage kann also mehr Strom eingespart bzw. erzeugt werden, als durch die Haustechnik im Verbund verbraucht wird.

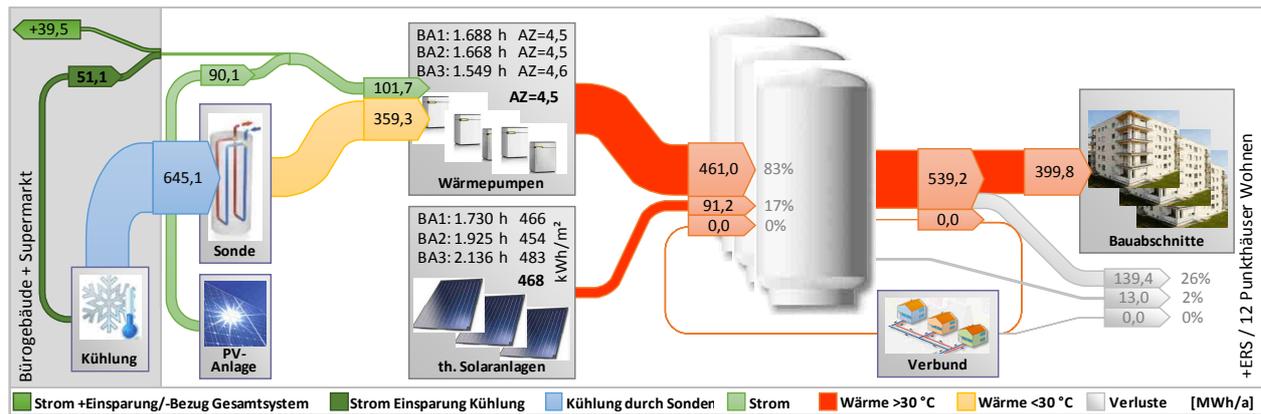


Abbildung 45 Jährliche Energiebilanz für den Energieverbund für die Gebäudeklimatisierung sowie die Unterstützung der Kälteversorgung eines Supermarkts mit Photovoltaikanlage

### 3.3 AP 3 - Qualitätssicherung, TQ-B Nachweisführung

Ziel des AP 3 war die Sicherstellung der innovativen Konzeption und der Qualität des Demonstrationsbauvorhabens und Erreichen der Haus der Zukunft Plus Programmziele, die Nachweisführung der erreichten Ziele und Ausführungsqualität nach TQB (ÖGNB).

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde das TQB- Endzertifikat erstellt, sowie Messungen zur Luftdichtheit der Gebäudehülle und zur Qualität der Innenraumluft durchgeführt.

#### 3.3.1 TQB- Endzertifikat

Das Endzertifikat wurde sowie das Planungszertifikat vom Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie als ÖGNB Consultant erstellt. Die Bereitstellung der Unterlagen und die Koordination für die Erstellung des Zertifikates wurden von AEE INTEC durchgeführt. Da es keine Zertifizierung für eine gesamte Siedlung gibt wurde stellvertretend für alle Gebäude das Haus F zertifiziert. Das Haus F konnte beim Endzertifikat 869 von 1000 Punkten erzielen.

In der Kategorie A erzielt vor allem die Unterkategorie A.3 Ausstattungsqualität mit nur 27 von max. 50 möglichen Punkten nur ca. 50% der Punkteanzahl. Das Fehlen von Frauenparkplätzen (A.3.1 Innere Erschließung), das Fehlen diverser zusätzlicher Ausstattungsaspekte wie z.B. Gemeinschaftsräume, Wellnessräumlichkeiten, fehlende Stauräume in den Wohnungen, keine Mitbestimmung bei der Wohnungsgestaltung (A.3.2 Ausstattungsmerkmale der Wohnhausanlage) sind die wesentlichen Gründe für die niedrige Punktezahl in der Kategorie A.

In der Kategorie B Wirtschaft & techn. Qualität führen nicht nachgewiesenes Transportmanagement (B.2.1 Baustellenabwicklung und –Logistik) und zu einem großen Maße die mangelnde Flexibilität in der Grundrissgestaltung sowie die Gestaltung der technischen Infrastruktur (B.3.2 Erweiterbarkeit / Entkernbarkeit), sowie fehlende Unterlagen und Nachweise (B.1.1 Wirtschaftlichkeitsberechnungen – LCCA und B.1.3. Gebäudebetrieb) zu einem schlechteren Ergebnis (155 von 200 möglichen Punkten).

Das Projekt erzielt in den Kategorien C Energie & Versorgung, D Gesundheit & Komfort und E Ressourceneffizienz sehr hohe Punktezahlen. Die Kategorien A Standort & Ausstattung und B Wirtschaft & techn. Qualität liegen auf hohem Niveau weisen jedoch zu den Kategorien C, D und E größere Unterschiede auf.

Zusammenfassend kann angemerkt werden, dass das Projekt in den Kategorien, die wesentliche Forschungsprojektziele zum Inhalt haben (C Energie & Versorgung und E Ressourceneffizienz) nahezu das Optimum die max. erreichbaren Punkte erreichen hat.

Das Endzertifikat erstellt vom Institut für Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie als ÖGNB Consultant, findet sich im Anhang.

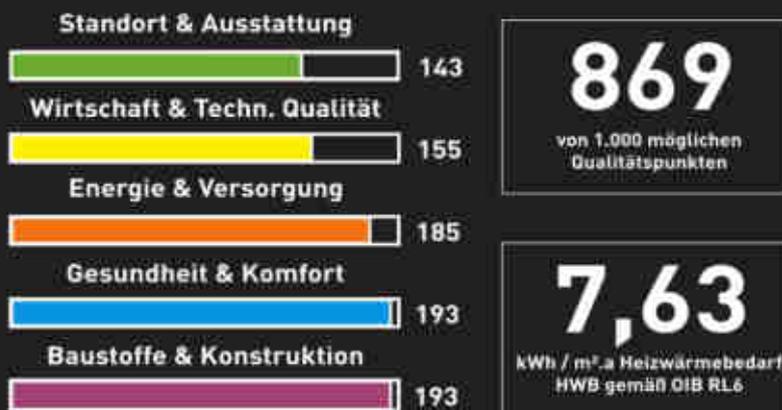


# ÖGNB

Österreichische Gesellschaft  
für Nachhaltiges Bauen



## Plusenergieverbund Reininghaus Süd



ÖGNB und TQB werden gefördert von:

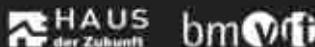


Abbildung 46 TQB-Endzertifizierung. Quelle: TU Graz

### 3.3.2 Qualitätssicherung – Luftdichtheit

Am 12.04.2013 fand im Haus E die erste Blowerdoor Messung statt. Die Messung wurde vom Ingenieurbüro Madritsch (Frau Veronika Madritsch) in Anwesenheit von AEE INTEC (Heimo Staller), Architekturbüro Nussmüller (Martin Bachmaier) und Kulmer Holzbau (Harald Knotz) durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Messung war die luftdichte Gebäudehülle fertiggestellt. Die Messanordnung wurde in die Wohnungseingangstüre eingebaut. Die Kanalleitungen und sämtliche Durchführungen nach außen wurden vor Ort provisorisch verschlossen. Es wurden keine weiteren Abdichtungen vorgenommen.

Es wurden folgende n50-Werte festgestellt:

- Haus E Top 05 0,47 1/h bei einem Raumvolumen von ca. 155 m<sup>3</sup>
- Haus E Top 13 0,55 1/h bei einem Raumvolumen von ca. 156 m<sup>3</sup>
- Haus E Top 14 0,54 1/h bei einem Raumvolumen von ca. 164 m<sup>3</sup>
- Haus E Top 15 0,53 1/h bei einem Raumvolumen von ca. 148 m<sup>3</sup>
- Haus E Top 16 0,50 1/h bei einem Raumvolumen von ca. 145 m<sup>3</sup>
- Haus E Top 17 0,52 1/h bei einem Raumvolumen von ca. 156 m<sup>3</sup>
- Haus E Top 18 0,46 1/h bei einem Raumvolumen von ca. 165 m<sup>3</sup>
- Haus E Top 19 0,55 1/h bei einem Raumvolumen von ca. 149 m<sup>3</sup>
- Haus E Top 20 0,53 1/h bei einem Raumvolumen von ca. 146 m<sup>3</sup>

Nach Fertigstellung ist ein n50-Wert von  $\leq 0,60$  1/h vorgeschrieben, diese Anforderung wird derzeit erfüllt. Leckagen wurde im Bereich der horizontalen Sylomerlager (zwischen Massivholzwand und Massivholzdecke) und im Bereich der Befestigungswinkel der Massivholzwand mit der Massivholzdecke gefunden (siehe Abbildung 47 und Abbildung 48). Für das Haus E wird daher innenseitig eine Luftdichtheitsfolie an der Massivholzwand und der Massivholzdecke verklebt, im Bereich der Befestigungswinkel werden die Fugen zusätzlich ausgeschäumt. Für die weiteren Häuser wird von AEE INTEC vorgeschlagen nach Montage der Wand und Deckenelemente außenseitig eine zusätzlich Luftdichtheitsfolie im Bereich der Decken- und Wandanschlüsse zu verkleben. Holzbau Kulmer wird diese Maßnahme bei den weiteren Häusern ausführen.

Spätere Luftdichtheitsmessungen laut DIN EN 13829 wiesen auf Grund der Verbesserungsmaßnahmen deutlich bessere Werte auf:

- 22.10.2013, Haus E: n50 = 0,29 1/h
- 11.03.2014, Haus D: n50 = 0,32 1/h
- 28.03.2014, Haus F: n50 = 0,34 1/h
- 03.10.2014, Haus G: n50 = 0,24 1/h
- 03.10.2014, Haus I: n50 = 0,31 1/h
- 10.04.2014, Haus J: n50 = 0,24 1/h

Folgende Kontrollmessungen laut DIN EN 13829 für einzelne Wohnungen wurden vom Ingenieurbüro Madritsch im Berichtszeitraum durchgeführt:

#### **21.10.2014, Haus C**

- Haus C Top 01  $n_{50} = 0,59$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (21.10.2014)
- Haus C Top 02  $n_{50} = 0,56$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 03  $n_{50} = 0,59$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 04  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (21.10.2014)
- Haus C Top 05  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 06  $n_{50} = 0,51$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 07  $n_{50} = 0,55$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 08  $n_{50} = 0,52$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 09  $n_{50} = 0,55$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 10  $n_{50} = 0,53$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 11  $n_{50} = 0,52$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 12  $n_{50} = 0,55$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 13  $n_{50} = 0,54$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 14  $n_{50} = 0,54$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 15  $n_{50} = 0,55$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus C Top 16  $n_{50} = 0,52$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)

#### **21.10.2014, Haus I**

- Haus I Top 01  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (03.09.2014)
- Haus I Top 02  $n_{50} = 0,54$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (03.10.2014)
- Haus I Top 03  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (12.08.2014)
- Haus I Top 04  $n_{50} = 0,46$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (12.08.2014)
- Haus I Top 05  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (21.10.2014)
- Haus I Top 06  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (03.10.2014)
- Haus I Top 07  $n_{50} = 0,56$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (03.09.2014)
- Haus I Top 08  $n_{50} = 0,56$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (12.08.2014)
- Haus I Top 09  $n_{50} = 0,59$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (03.09.2014)
- Haus I Top 10  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (03.09.2014)
- Haus I Top 11  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (12.08.2014)
- Haus I Top 12  $n_{50} = 0,55$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (12.08.2014)
- Haus I Top 13  $n_{50} = 0,55$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (03.09.2014)
- Haus I Top 14  $n_{50} = 0,59$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (03.09.2014)
- Haus I Top 15  $n_{50} = 0,56$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (12.08.2014)

- Haus I Top 16  $n_{50} = 0,59$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (12.08.2014)

#### **22.10.2014, Haus G:**

- Haus G Top 01  $n_{50} = 0,55$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (22.10.2014)
- Haus G Top 02  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (03.10.2014)
- Haus G Top 03  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (17.07.2014)
- Haus G Top 04  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (11.08.2014)
- Haus G Top 05  $n_{50} = 0,59$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (22.10.2014)
- Haus G Top 06  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (03.10.2014)
- Haus G Top 07  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (11.08.2014)
- Haus G Top 08  $n_{50} = 0,56$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (11.08.2014)
- Haus G Top 09  $n_{50} = 0,54$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (22.10.2014)
- Haus G Top 10  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (03.10.2014)
- Haus G Top 11  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (03.10.2014)
- Haus G Top 12  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (22.10.2014)
- Haus G Top 13  $n_{50} = 0,59$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (22.10.2014)
- Haus G Top 14  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (03.10.2014)
- Haus G Top 15  $n_{50} = 0,59$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (03.10.2014)
- Haus G Top 16  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (11.08.2014)
- Haus G Top 17  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $153 \text{ m}^3$  Fertig (03.09.2014)
- Haus G Top 18  $n_{50} = 0,59$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $164 \text{ m}^3$  Fertig (03.09.2014)
- Haus G Top 19  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $146 \text{ m}^3$  Fertig (11.08.2014)
- Haus G Top 20  $n_{50} = 0,55$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (11.08.2014)

#### **22.10.2014, Haus K:**

- Haus K Top 01  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (22.10.2014)
- Haus K Top 02  $n_{50} = 0,45$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $199 \text{ m}^3$  Fertig (21.10.2014)
- Haus K Top 03  $n_{50} = 0,55$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $229 \text{ m}^3$  Fertig (22.10.2014)
- Haus K Top 04  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $145 \text{ m}^3$  Fertig (21.10.2014)
- Haus K Top 05  $n_{50} = 0,57$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $194 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)
- Haus K Top 06  $n_{50} = 0,51$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $218 \text{ m}^3$  Fertig (21.10.2014)
- Haus K Top 07  $n_{50} = 0,51$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $264 \text{ m}^3$  Fertig (22.10.2014)
- Haus K Top 08  $n_{50} = 0,32$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $367 \text{ m}^3$  Fertig (22.10.2014)
- Haus K Top 09  $n_{50} = 0,58$  1/h bei einem Raumvolumen von ca.  $329 \text{ m}^3$  Fertig (06.10.2014)

Sämtliche Messungen zeigen, dass die Anforderungen an die Luftdichtheit nach DIN EN 4108-7 für Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen  $n_{50} < 0,60$  1/h erfüllt werden.

Die vom Projektteam und den ausführenden Firmen auf Grund der ersten Luftdichtheitsmessungen am 12.04.2013 vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen (innenseitige Luftdichtheitsfolie an der Massivholzwand und der Massivholzdecke verklebt, ausschäumen der Fugen im Bereich der Befestigungswinkel, anbringen einer außenseitigen, zusätzlich Luftdichtheitsfolie im Bereich der Decken- und Wandanschlüsse) tragen neben einer höheren Ausführungsqualität zu diesem Ergebnis bei.



Abbildung 47 Blowerdoor Messung Haus E 12.04.2013. Einbau der Messanordnung. Quelle: AEE INTEC



Abbildung 48 Blowerdoor Messung Haus E 12.04.2013. Leckagepunkte im Bereich der Befestigungswinkel und der horizontalen Sylomerlager. Quelle: AEE INTEC

### **3.3.3 Qualitätssicherung – Innenraumluftmessung**

Am 22.04.2014 wurde von der Firma IBO Innenraumanalytik OG in den Wohnungen Top 5 Haus F und Top 5 Haus J Innenraumluftmessungen durchgeführt. Nachfolgend sind die Ergebnisse dieser Messungen angeführt:

#### **Formaldehyduntersuchung**

In beiden Wohnungen lagen die Formaldehydkonzentrationen in einem unauffälligen Bereich.

#### **Flüchtige organische Verbindungen – VOC**

In Top 5 Haus F wurden flüchtige organische Verbindungen in nicht auffälligen Konzentrationen nachgewiesen. In Top 5 Haus J wurden erhöhte Konzentrationen Alpha Pinen festgestellt. Nach dem österreichischen Schema zur Bewertung von VOC-Summenkonzentrationen ist der Wert in Haus F als „durchschnittlich“ einzustufen und im Haus J als „leicht überhöht“.

Die leicht überhöhten Werte der VOC-Konzentrationen können durch die Auswahl einer höheren Lüftungsstufe in den ersten Bezugsmonaten beseitigt werden.

## **3.4 AP 4 – Generalplanung**

Ziel des vorliegenden Arbeitspaketes sind Arbeiten betreffend die innovativen Maßnahmen innerhalb der Generalleistungen, der Abwicklung aller erforderlichen Behördenverfahren, der Ausschreibung, sowie der baukünstlerischen Oberbauleitung.

Im Projektzeitraum konnten die Einreichplanung, sämtliche Behördenverfahren, die Polier- und Detailplanung sowie die Ausschreibung erfolgreich abgeschlossen werden. Vom Büro Nussmüller wurde die technische, wirtschaftliche und baukünstlerische Oberleitung für die zusätzlichen innovativen Maßnahmen durchgeführt (Koordination mit wissenschaftlicher Leitung, örtlicher Bauleitung und bauausführenden Firmen, zusätzliche Baustellenbesuche zur Qualitätssicherung).

Repräsentative Teile der Planunterlagen sind nachstehend zu finden.



Abbildung 49 Lageplan Bauabschnitt 1 und 2. Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH

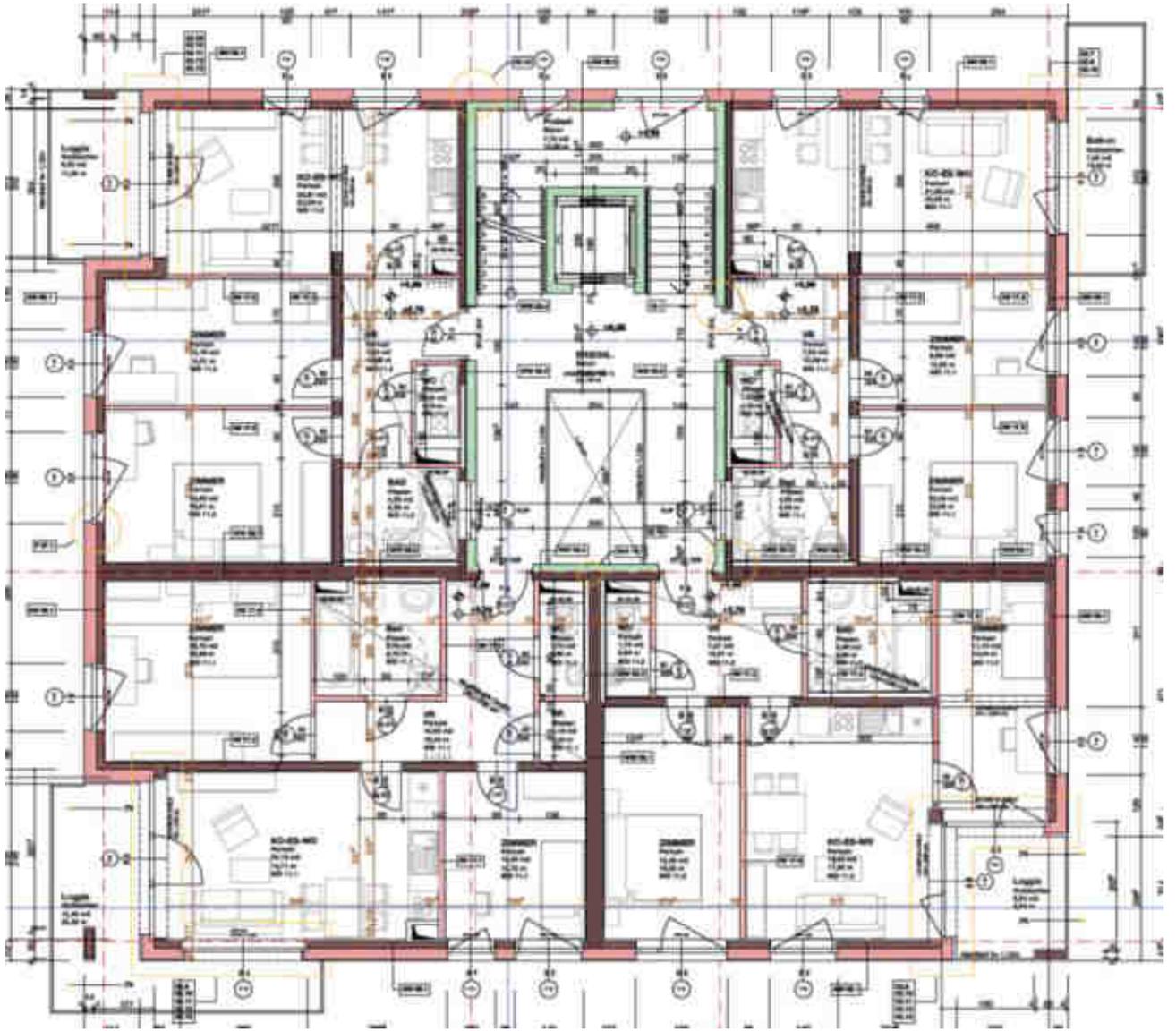


Abbildung 50 Grundriss 2.OG, Haus E und G. Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH

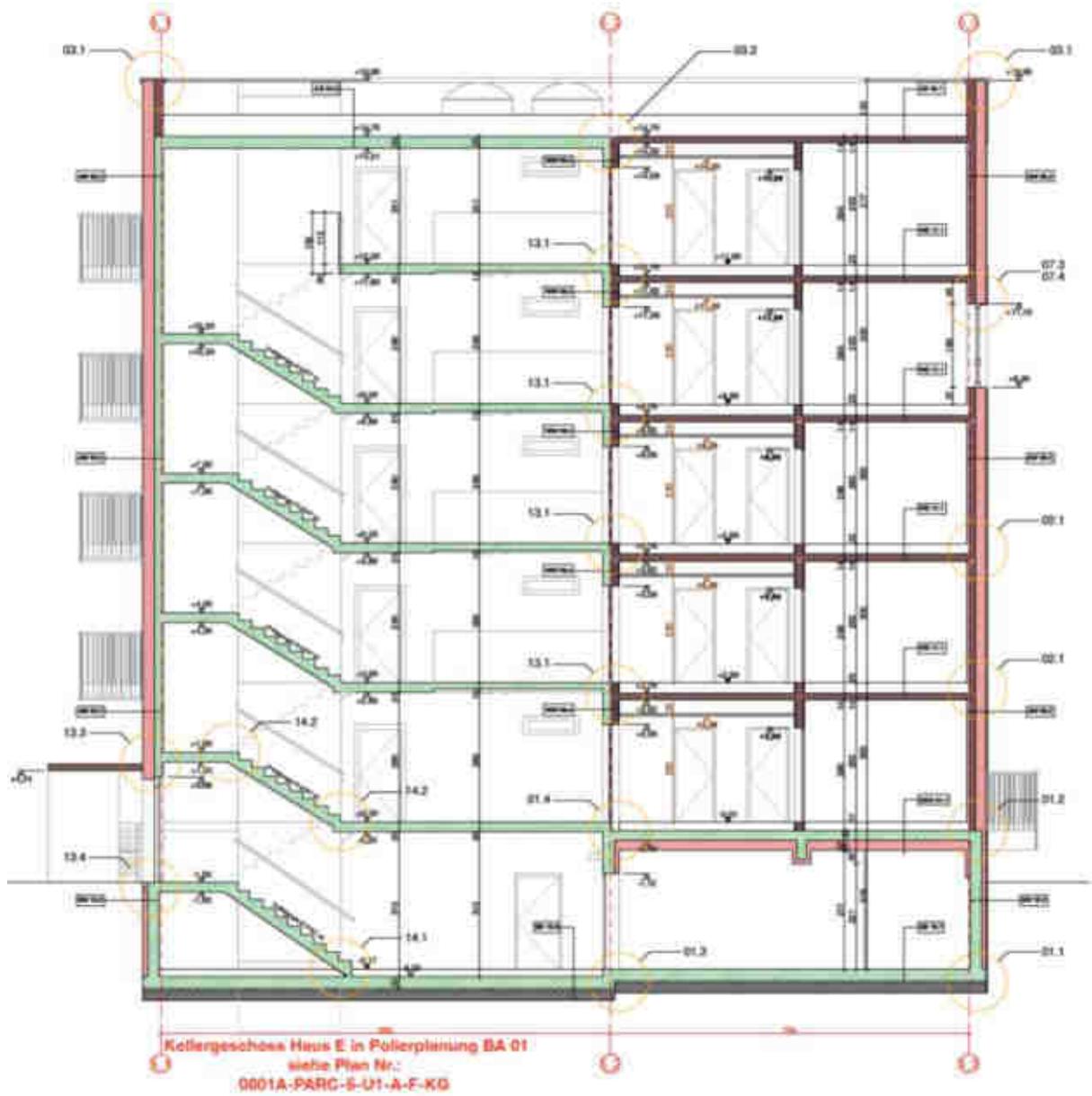


Abbildung 51 Schnitt Haus E und G. Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH

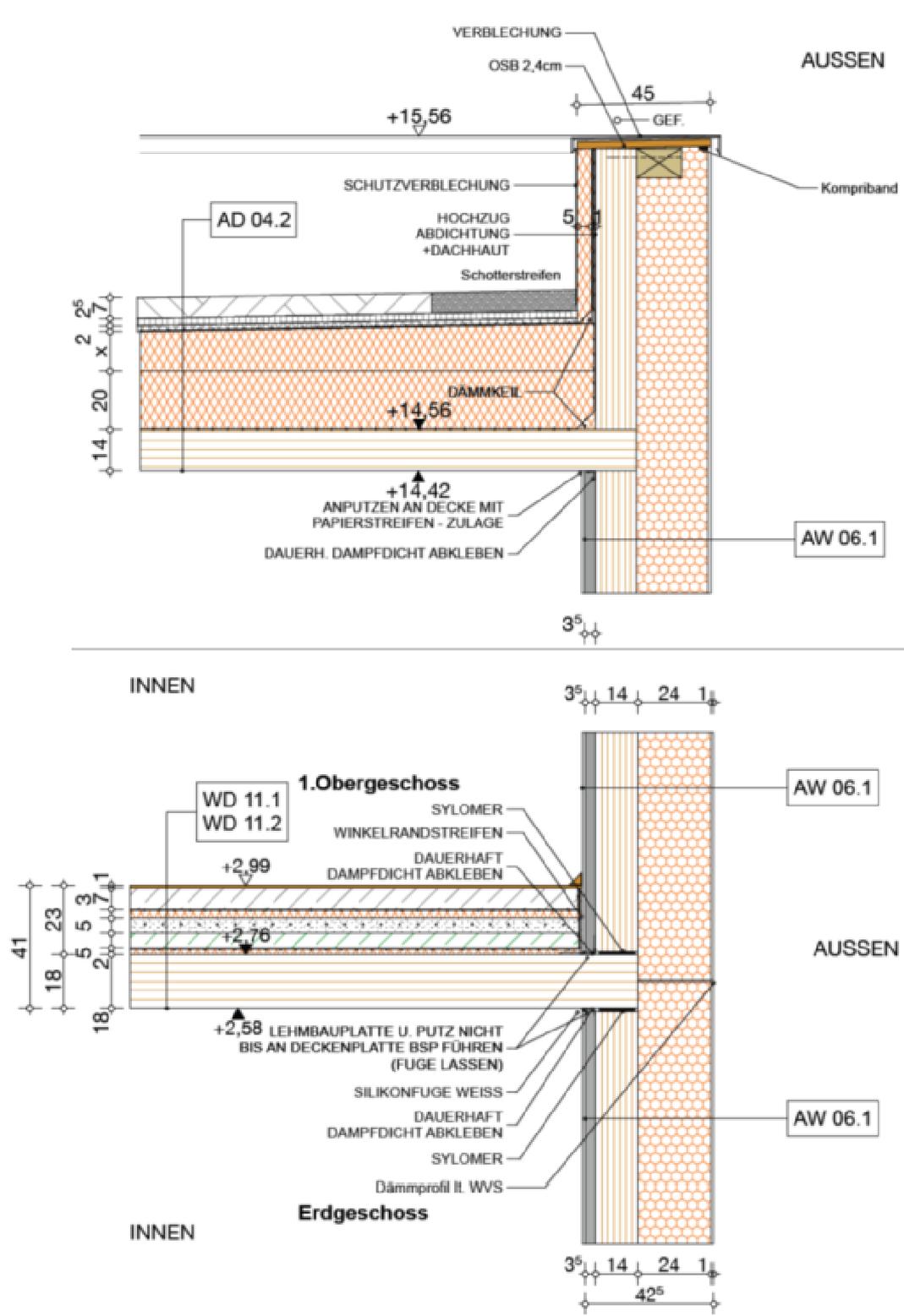


Abbildung 52 Fassadendetails vertikal. Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH

## 3.5 AP 5 – Umsetzung

Der Baubeginn für den 1. Bauabschnitt (vorgelagerter Teil mit Büros und Sparmarkt), der Teil des Energieverbundes ist (Kältelieferung vom BA 02 an BA 01), erfolgte am 04.06.2012, die Fertigstellung/Übergabe war im Dezember 2013.

Auf Grund von Verzögerungen konnte die ursprünglich im Projektantrag vorgesehene Fertigstellung der gesamten Wohnanlage nicht eingehalten werden. Die Fertigstellung des 3. und somit letzten Bauabschnittes erfolgte erst Anfang Mai 2015. Diese Verzögerung im Baufortschritt ist auch der Grund für die Verlängerung des Forschungsprojektes um 1 Jahr bis Ende August 2015.

Nachstehend findet sich der Bauzeitplan für den 2. Bauabschnitt (12 Punkthäuser):

*Tabelle 18 Bauzeitplan für den 2. Bauabschnitt*

Haus	Baubeginn	Übergabe	Fertigstellung
D + E (BA 02.1)	15.10.2013	11.10.2013	18.10.2013
F (BA 02.1)	31.01.2013	28.03.2014	07.04.2014
J (BA 02.1)	27.05.2013	30.04.2014	07.05.2014
G + I (BA 02.2)	13.01.2014	24.10.2014	31.10.2014
C + K (BA 02.2)	20.01.2014	21.11.2014	28.11.2014
A + B (BA 02.3)	27.01.2014	13.02.2015	20.02.2015
H + L (BA 02.3)	03.02.2014	01.05.2015	08.05.2015

### 3.5.1 Umgesetzte Maßnahmen

#### 3.5.1.1 Energiepfähle

Die Gründung aller Häuser erfolgte mit „Energiepfählen“ die einerseits für die Wärmebereitstellung für die 12 Punkthäuser im Winter und andererseits für die Kältelieferung an den Bauteil 1 verwendet werden können. Die Ausführung der Pfähle erfolgte in Form von Duplexsonden (ca. 573 Stück) mit Einzellängen von ca. 12 Metern.

#### 3.5.1.2 Haustechnische Maßnahmen

Bauabschnitt 1 (Büro- und Gewerbeteil) und Bauabschnitt 2 (12 Punkthäuser) sind über einen Netzverbund (Versorgungsnetz + Wärmezentralen) verbunden, wodurch eine innovative Technologiekombination (Energieerz. + Verteilung + Vernetzung + Regelung der Zentralen) möglich ist. Die Verkabelung und Datenkommunikation (Optimierte E-Installation/ Beleuchtungsoptimierung, Steuerungsoptimierung der Allgemeinbereiche + Wohnungen/ Datenverbindungen zwischen Wärmezentralen u- MSRT; Monitoring; Datenverbindung Wohnraumlüf-

tung; Stromtankstelle) sowie die Sanitärversorgungen von den Zentralen zu den Wohnungen, die Ausstattung in den Wohnungen und die Nachspeisungen der Versorgungsanlage im Bereich des Verbundes wurden wie beantragt ausgeführt.

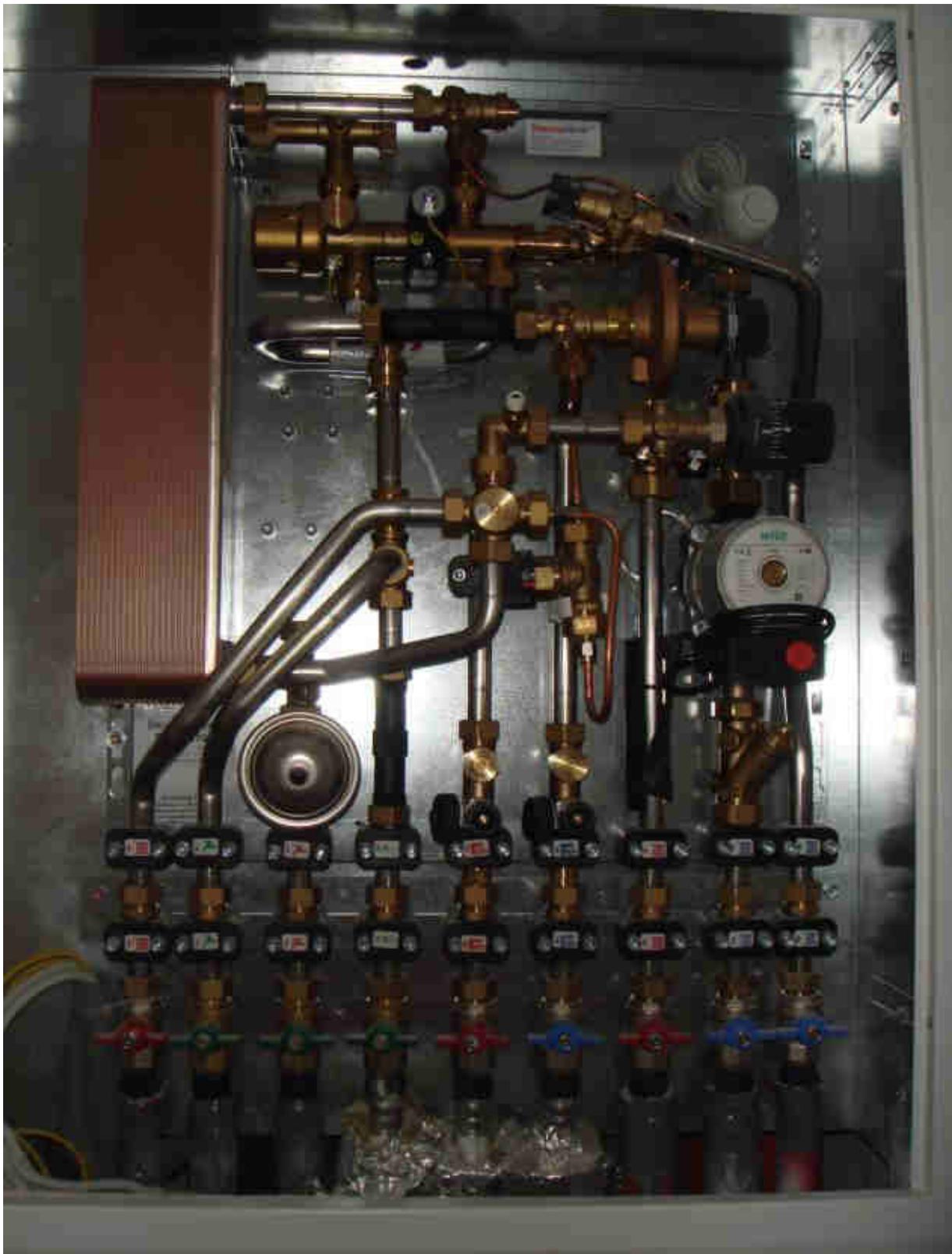


Abbildung 53 Baustelle +ERS: Heat Box (Wohnungsstation, Zwei-Leiter-Netz) für Heizung und Warmwasser.  
Quelle. AEE INTEC

Die Wärmepumpenanlagen und Lüftungsanlagen wurden laut Projektantrag ausgeführt. Die Lüftungsanlagen der einzelnen Häuser wurden als semizentrale Anlagen mit v-Boxen der Firma Drexel und Weiss ausgestattet.



Abbildung 54 Baustelle +ERS: v-Box in Badezimmer einer Wohnung. Quelle: AEE INTEC

### 3.5.1.3 Plusenergieverbund

Das Konzept des Plusenergieverbundes setzt, neben Energieeffizienz und vor Ort Energieproduktion (Solarthermie, PV, Geothermie) im Wesentlichen auf den energetischen Verbund von Gebäuden mit unterschiedlichen Nutzungs- und Lastprofilen. Im vorliegenden Projekt ist dies durch die Büro- und Geschäftsnutzung (Sparmarkt) im Bauteil 1 und die Wohnnutzung im Bauteil 2 gegeben:

Im Sommer kann die, für die Wohnhäuser nicht benötigte Kühlenergie der Energieschleifen, vom Büro- und Geschäftskomplex genutzt werden (Büros, Supermarkt). Bei einer Gesamtlänge von 6876 m und einer Kühlleistung von 35 W/m ergibt sich eine max. Kühlleistung von ca. 240 kW, womit sich mit ca. 800 Betriebsstunden eine jährliche Kühlenergielieferung von 192.500 kWh für den vorgelagerten Büro- und Geschäftskomplex ergibt.

In der Heizperiode kann überschüssige Wärmeenergie aus dem Büro- und Geschäftskomplex (höhere innere Wärmelasten und solarthermische Anlage am Dach) zu den Punkthäusern geliefert werden.

Der Einkaufsmarkt der Firma Spar war im Antrag als größter Abnehmer (Energiesenke) für die frei verfügbare Kühlenergie mittels Geothermie (Energiepfähle der 12 Punkthäuser) eingeplant. Die Firma Spar hat dem Projektteam im Juni 2013 mitgeteilt, dass die Firma Spar

keine Kälteenergie vom +ERS-Projekt beziehen wird. Als Begründung wurde der Wunsch nach einer eigenen, nicht von einem Fremdanbieter abhängigen Kälteenergielieferung, angegeben. Die Firma Spar hat daher eine eigene Kompressionskältemaschine am Dach ihres Einkaufsmarktes installiert, obwohl sämtliche Vorkehrungen (Kälte- und Steuerungstechnik wurde bis zum Einkaufsmarkt verlegt) für eine Kälteversorgung vom +ERS Projekt getroffen wurden. Des Weiteren kam es zu einer Reduktion der aktiv gekühlten Büroflächen im Bauteil 1 (Bauträger WEGRAZ), da auf Grund der schlechten Vermietbarkeit die Büros in Wohnungen umgewandelt wurden. Auf Grund der zu geringen Abnahme von Kühlenergie kann daher eine positive Energiebilanz nicht erzielt werden – dies obwohl genügend kostengünstige Kühlenergie im Sommer verfügbar wäre.

#### **3.5.1.4 Hochbauliche Maßnahmen - Gebäudehülle**

Die Bauausführung der 12 Punkthäuser entspricht den im Projektantrag angeführten Maßnahmen. Die Gebäudehülle entspricht sowohl in Bezug auf den energetischen Standard (Passivhausstandard) als auch in Bezug auf die innovativen Baustoffe (Lehmbauplatten plus Lehminnenputz) dem Antrag.



*Abbildung 55 Baustelle +ERS: Außenwand Lehmbauplatte + Lehmputz. Quelle. AEE INTEC*

#### **3.5.1.5 PV-Anlage**

Im Antrag war ursprünglich eine Photovoltaikanlage mit einer Modulfläche von 1650 m<sup>2</sup> mit einer Gesamtleistung von ca. 250 kWp (297.200 kWh Stromertrag pro Jahr) geplant, die vom Bauherren selbst errichtet und betrieben werden sollte. Auf Grund von Finanzierungsproblemen hat der Bauherr Abstand von Errichtung und Betrieb einer PV-Anlage genommen. Als Alternative war eine reduzierte PV-Anlage in Form eines Contractingmodells, errichtet und betrieben von den Hereschwerken auf den Dächern der Punkthäuser angedacht.

Es sollte eine Photovoltaikanlage (netzgekoppelte Direkteinspeisung) mit einer gesamten Modulfläche von 785 m<sup>2</sup> und einer Gesamtleistung von 119 kWp und einem jährlichen Ertrag von 130.400 kWh errichtet werden.

Auf Grund rechtlicher Schwierigkeiten hat die Fa. Hereschwerke aber Abstand von diesem Vorhaben genommen. Die Errichtung der PV-Anlage auf den Dächern der 12 Punkthäuser durch die Firma Hereschwerke erwies sich auf Grund rechtlicher Probleme als schwierig. Da die Flachdächer auf denen die PV-Anlage errichtet werden sollen allgemeine Teile der Liegenschaft laut § 38 Abs 1 Z 1 iVm § 3 Abs 3 WEG (Wohnungseigentumsgesetz) sind, liegt ein Eingriff in das Nutzungsrecht der Wohnungseigentümer (die auch Anteil an der Flachdachfläche haben) vor. Für die Errichtung der PV-Anlage wäre daher eine 100%-ige Zustimmung der Wohnungseigentümer der betroffenen Häuser erforderlich. Die Firma Hereschwerke sah sich daher außer Stande PV-Anlagen auf den Flachdächern zu errichten.

Der Bauherrn Aktiv Klimahaus Süd hat daraufhin versucht die Anlage zu selbst errichten und zu betreiben, hat aber auf Grund o.a. rechtlicher Probleme Abstand davon genommen.

#### **3.5.1.6 Wärmeproduktion – Thermische Solaranlage**

Auf den Häusern F, G, B werden/wurden insgesamt ca.185 m<sup>2</sup> (3 x 61,5 Aperturfläche) Kollektorfläche installiert, die einen jährlichen Ertrag von ca. 35.000 kWh für Heizung und Raumwärme haben.

### 3.5.2 Fotodokumentation des Bauablaufes



Abbildung 56 Baustelle +ERS. Hinten Bauabschnitt 1, vorne Bauabschnitt 2: rechts Haus E, links Stiegenhauskern Haus F. Quelle: AEE INTEC



Abbildung 57 Baustelle +ERS. Bauteil 1, Büro und Gewerbe. Quelle: AEE INTEC



Abbildung 58 Baustelle +ERS: Haus E. Quelle. AEE INTEC



Abbildung 59 Baustelle +ERS: Detail Haus E. Stiegenhauskern Haus F Quelle. AEE INTEC



Abbildung 60 Baustelle +ERS: Im Hintergrund Bauabschnitt 1. Vordergrund Haus E und F Quelle. AEE INTEC



Abbildung 61 Baustelle +ERS: Montage der Holzbauteile bei einem Punkthaus. Quelle: Martin Grabner



Abbildung 62 Baustelle +ERS: Montage der Holzbauteile bei einem Punkthaus. Quelle: Martin Grabner



Abbildung 63 Blick von Norden in die Siedlung. Quelle: Martin Grabner



Abbildung 64 Wohnungen. Quelle: Martin Grabner



Abbildung 65 Wohnung: Heizungssteuerung - Bad mit Abluftöffnung,. Quelle: Martin Grabner

## 3.6 AP 6 – Monitoring

Im AP 6 wurde das Messtechnik- und Monitoring Konzept, das die Basis für das Monitoring und die Evaluierung der Gebäudeperformance (Energieflüsse und Komfortparameter) ist, in Absprache mit den Fachplanern und ausführenden Firmen adaptiert. Die ersten messtechnischen Einrichtungen wurden im ersten Bauabschnitt in den Wohnungen der Häuser J + G eingebaut und die Aufzeichnungen der Verbräuche gestartet. Auf Grund der Verzögerungen bei der Umsetzung des Bauvorhabens konnte das Monitoring nicht wie ursprünglich geplant innerhalb der Projektlaufzeit (für einen Messzeitraum von 3 Jahren) erfolgen, sondern konnte nur im Zeitraum von 21.10.2014 – 18.08.2015 für 12 Wohnungen in den Häusern J und G durchgeführt. Das gesamte Monitoring wird jedoch bis Ende August 2017 weitergeführt und die Ergebnisse werden gesondert publiziert.

Folgende messtechnische Einrichtungen/Maßnahmen wurden/werden durchgeführt:

- Detaillierte elektrische Energieverbrauchsmessungen in 12 Wohneinheiten, wobei für jede Wohnung eine Aufteilung in 5 Untergruppen durchgeführt wird.
- Detaillierte Aufnahme von Heizenergieverbrauch in 12 Wohnungen
- Detaillierte Aufnahme von Warmwasserzupfprofilen als Wasserverbrauchsprofil und als Energieverbrauchprofil in 12 Wohnungen
- Detaillierte Aufnahme des Kaltwasserzapfprofils in 12 Wohneinheiten
- Messung der Raumlufttemperaturen in 12 Wohneinheiten
- Messung der relativen Raumluftfeuchtigkeit in 12 Wohneinheiten
- Messung der CO<sub>2</sub> Konzentration der Raumluft in 12 Wohneinheiten
- Messung des Endenergieverbrauchs für die unterschiedlichen Energieträger
- Messung des Energieaustausches der im Netzverbund stehenden Gebäude.
- Messung der Netzverluste, aufgeteilt in Speicherverluste, Verteilverluste bis zu den Gebäuden, Verteilverluste im Steigstrang.
- Messung des Technikstromverbrauchs
- Messung des Allgemeinstromverbrauchs
- Messung des Energieeintrags des Energieerzeugers.
- Messung der Klimadaten wie solare Einstrahlung, rel. Luftfeuchte, der Lufttemperatur und der CO<sub>2</sub> Konzentration der Außenluft.

### 3.6.1 Schema Elektro Verkabelung

Nachstehendes Schema zeigt eine Übersicht der über die Messdatenerfassung erfassten Messwerte. Die Installation und Erfassung der GRÜN hinterlegten Messwerte im Haus J wurden innerhalb des Berichtszeitraumes fertiggestellt. Die ORANGE hinterlegten Messwerte in Haus F, Haus G und Haus B befanden sich zum Berichtszeitraum noch in Planung.

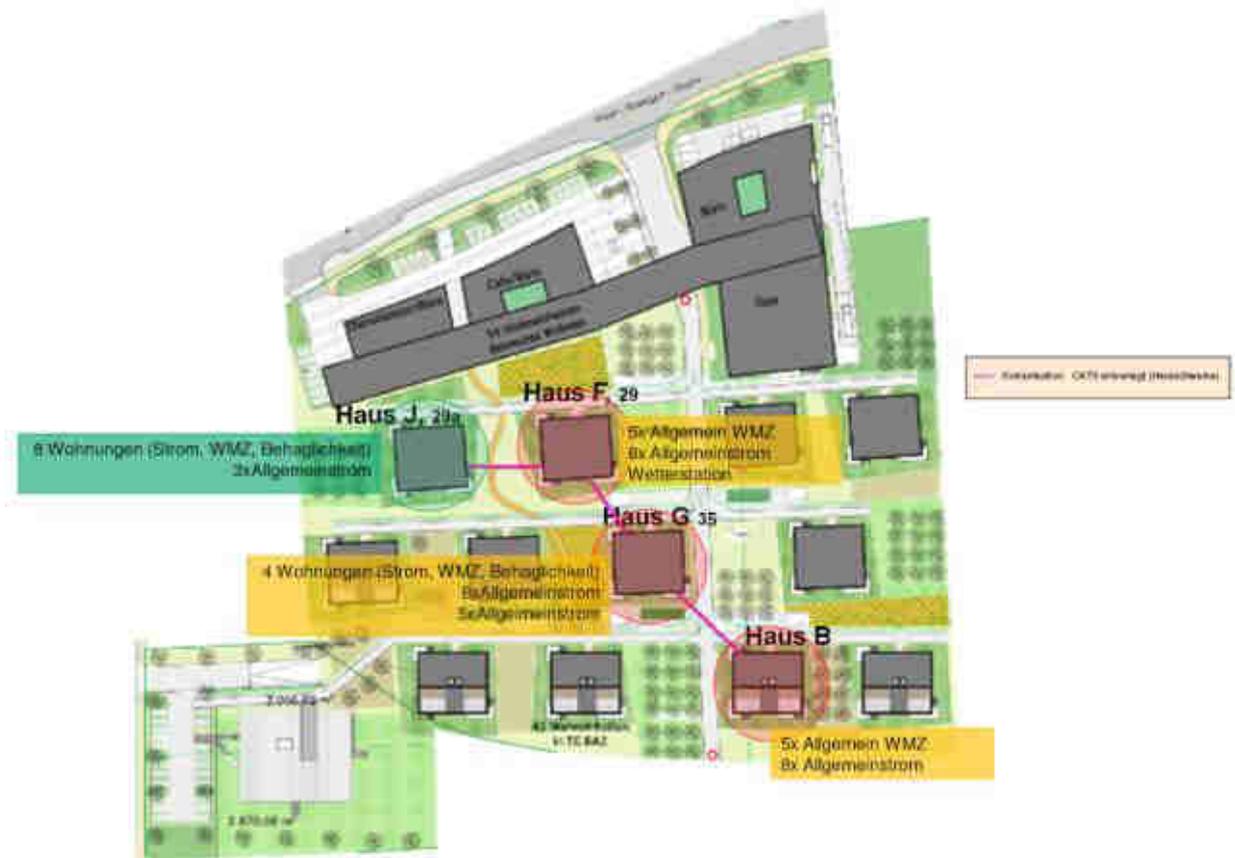


Abbildung 66 Übersicht über die Messdatenerfassung

### 3.6.2 Schema der Messdatenaufzeichnung

In u.a. Abbildung wird das Prinzip der Messdatenaufzeichnung dargestellt. Im Zentrum der Messtechnik steht der Datenlogger, eine speicherprogrammierbare Steuerung der Firma Bernecker + Rainer. Der Datenlogger und die dazugehörige Messtechnik sind in einem Schaltschrank im „Raum für die Elektrische Energieverteilung und Erfassung“ verbaut.

Vom Datenlogger werden unterschiedliche Sensoren, Transmitter und Signale vom Lüftungsgerät eingelesen. Die Messwerte werden auf der Steuerung auf Plausibilität geprüft und gespeichert. Die Speicherung erfolgt in einem fixen Zeitraster von fünf Minuten. Über einen UMTS-VPN-Router wird zwischen dem +ERS-Datenlogger und der Messdaten-Datenbank bei AEE-INTEC eine Verbindung hergestellt. Ein Upload der Messdaten wird einmal täglich durchgeführt.

Die Erfassung der Raumluftparameter erfolgt im Haus J in 8 Wohnungen, mit Transmitter der Firma E+E. Jeder Transmitter misst die Raumlufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit und die CO<sub>2</sub> Konzentration. Die Messwerte werden über Normsignale an den Datenlogger übertragen.

Die Erfassung der Wärmemengen in den einzelnen Wohnungen erfolgt über Wärmemengenzähler. Die Wärmemengenzähler erfassen die Energie, das Volumen und die Vor- und Rücklauftemperatur. Diese Messwerte werden über ein Bussystem (Mbus) vom Datenlogger ausgelesen.

In 8 Wohnungen vom Haus J erfolgt eine umfangreiche Erfassung der elektrischen Energiemengen. Der Gesamtverbrauch je Wohnung wird mit einem Stromzählermodule erfasst und über ein Bussystem (Modbus) vom Datenlogger ausgelesen. Die Erfassung jedes einzelnen Stromkreises in der Wohnung erfolgt mit Stromzählermodulen mit Impulsausgängen. Pro Kilowattstunde wird vom Stromzähler eine definierte Anzahl von Impulsen ausgegeben. Die Impulse werden vom Datenlogger erfasst und aufsummiert.

Der Warmwasserverbrauch in den 8 Wohnungen wird über Volumenzähler in Wohnungsübergabestationen erfasst. Pro verbrauchten Liter wird vom Volumenzähler eine definierte Anzahl von Impulsen ausgegeben. Die Impulse werden vom Datenlogger erfasst und aufsummiert.

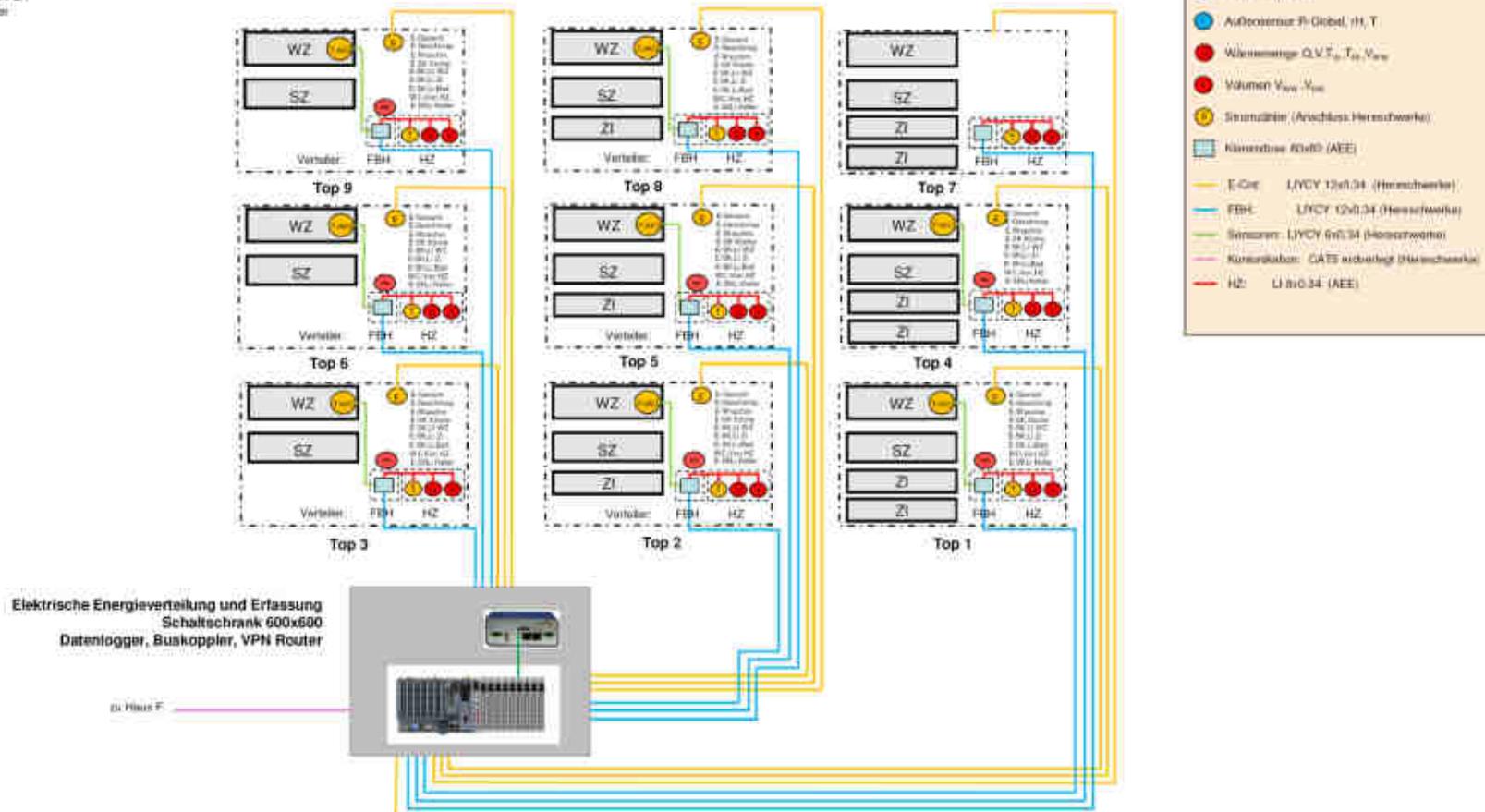
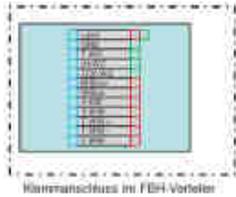


Abbildung 67 Schema der Messdatenaufzeichnung

### 3.6.3 Messergebnisse für 8 Wohnungen im Haus J - Monitoringperiode 01.10.2014 – 18.08.2015

Wie bereits eingangs erwähnt konnte das Monitoring auf Grund der verspäteten Baufertigstellung nur für 8 Wohneinheiten im Haus J für den Zeitraum 01.10.2014 – 18.08.2015 durchgeführt werden. Das Monitoring des gesamten Energieverbundes kann daher nicht in der Projektlaufzeit erfolgen, die Ergebnisse werden nach Abschluss des Monitorings (31.08.2017) gesondert veröffentlicht.

Nachstehend sind daher nur die ersten Messergebnisse für 8 Wohnungen im Haus J - Monitoringperiode 01.10.2014 – 18.08.2015 dargestellt.

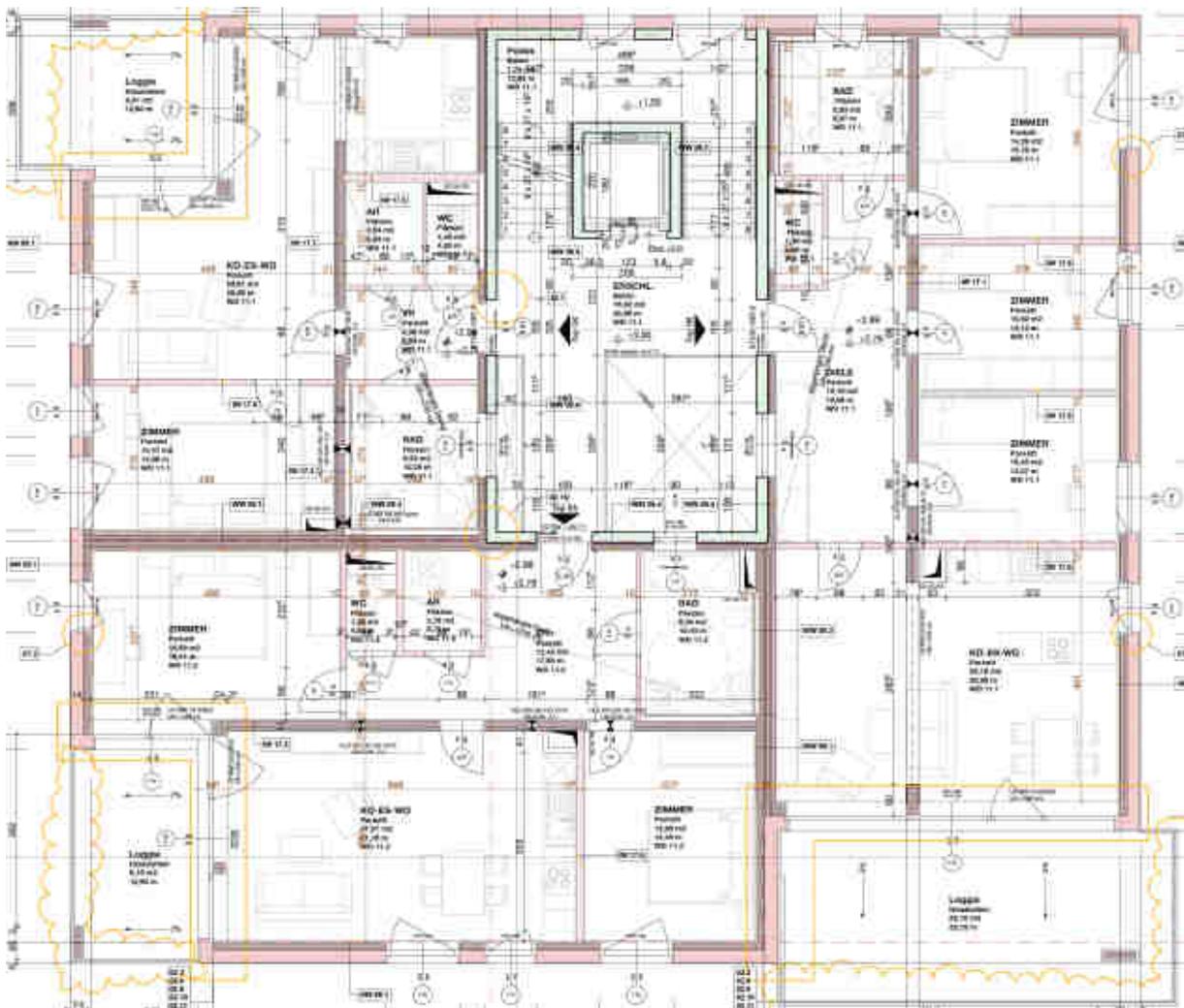
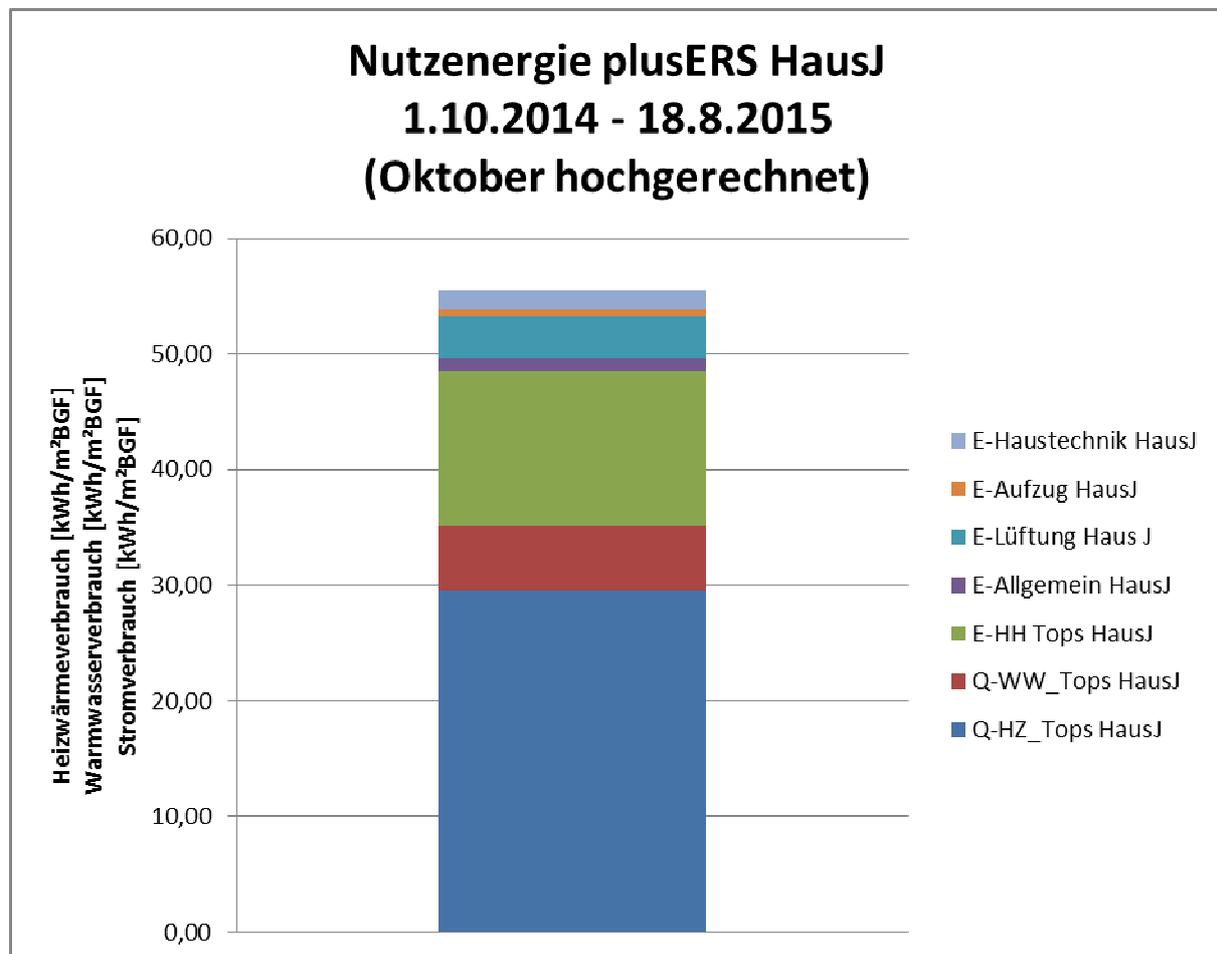


Abbildung 68: Regelgeschoss Haus J mit den vermessenen Wohnungen

### 3.6.3.1 Nutzenergieverbräuche

Tabelle 19 Nutzenergieverbräuche Wärme und Strom Haus J pro m<sup>2</sup> BGF und Jahr



Der gesamte Nutzenergieverbrauch liegt bei ca. 55 kWh/m<sup>2</sup>.a, wobei der Heizwärmeverbrauch mit ca. 30 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a den größten Anteil hat, gefolgt vom Haushaltsstromverbrauch mit ca. 13,42 kWh/m<sup>2</sup>.a.

Der hohe Heizwärmeverbrauch (30 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a) und der extrem niedrige Warmwasserverbrauch (ca. 5,5 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a) weichen sehr stark von bisher gemessenen Passivwohnhäusern ab. Die Ursache für diesen Sachverhalt konnte bis dato nicht gefunden werden, mit Ende der Messperiode sollte aber eine Klärung vorliegen. So liegen der Heizwärmeverbrauch beim ebenfalls von AEE INTEC begleiteten Demonstrationsprojekt Johann-Böhm-Straße in Kapfenberg, das ebenfalls im Passivhausstandard errichtet wurde, bei 16 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a und der Warmwasserwärmeverbrauch bei 16 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a. Das zwischen dem im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarf und den gemessenen Heizenergieverbräuchen große Unterschiede liegen ist aus zahlreichen Forschungsprojekten bekannt und ist im Wesentlichen durch die höheren Raumtemperaturen (Energieausweis Raumluft Solltemperatur 20°C) bedingt. Im vorliegenden Projekt liegt die mittlere Raumtemperatur der Wohnzimmer bei ca. 23°C. Nachstehende Abbildungen zeigen die Ergebnisse einer TRNSYS Simulation der 12 Punkthäuser bei der der Anstieg des Heizwärmebedarfs bei Erhöhung der Raumluft Solltemperatur um 1°K berechnet wurde. Für die Erhöhung der Raumluft Solltemperatur von 20°C auf

21°C würde der Heizwärmebedarf um ca. 18% ansteigen, die Erhöhung von 20°C auf 23°C würde einen Anstieg von ca. 50% mit sich bringen.

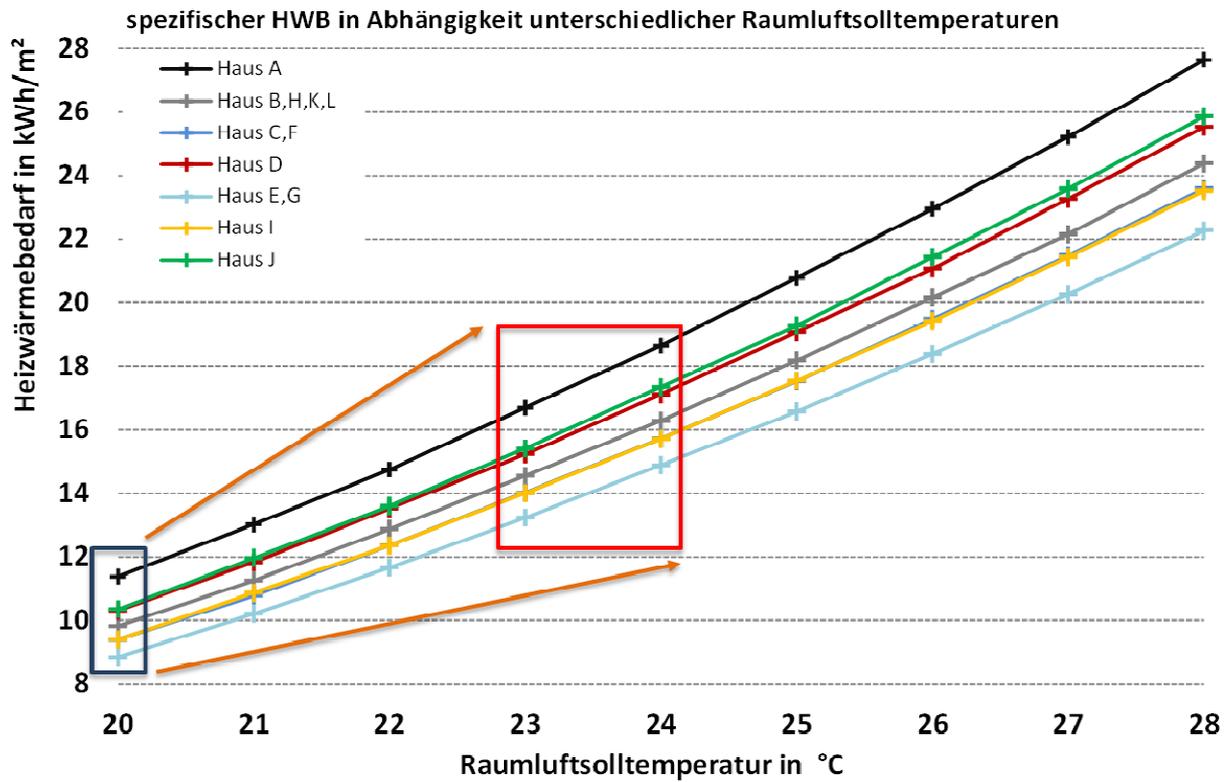


Abbildung 69 Spezifischer Heizwärmebedarf in Abhängigkeit unterschiedlicher Raumluftsoltemperaturen

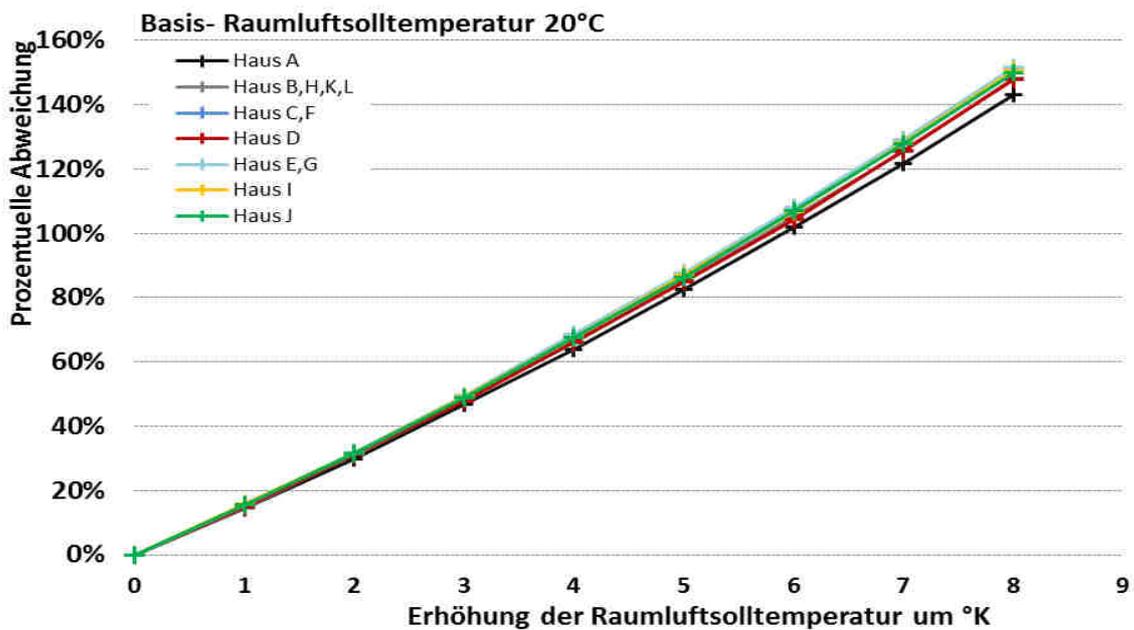
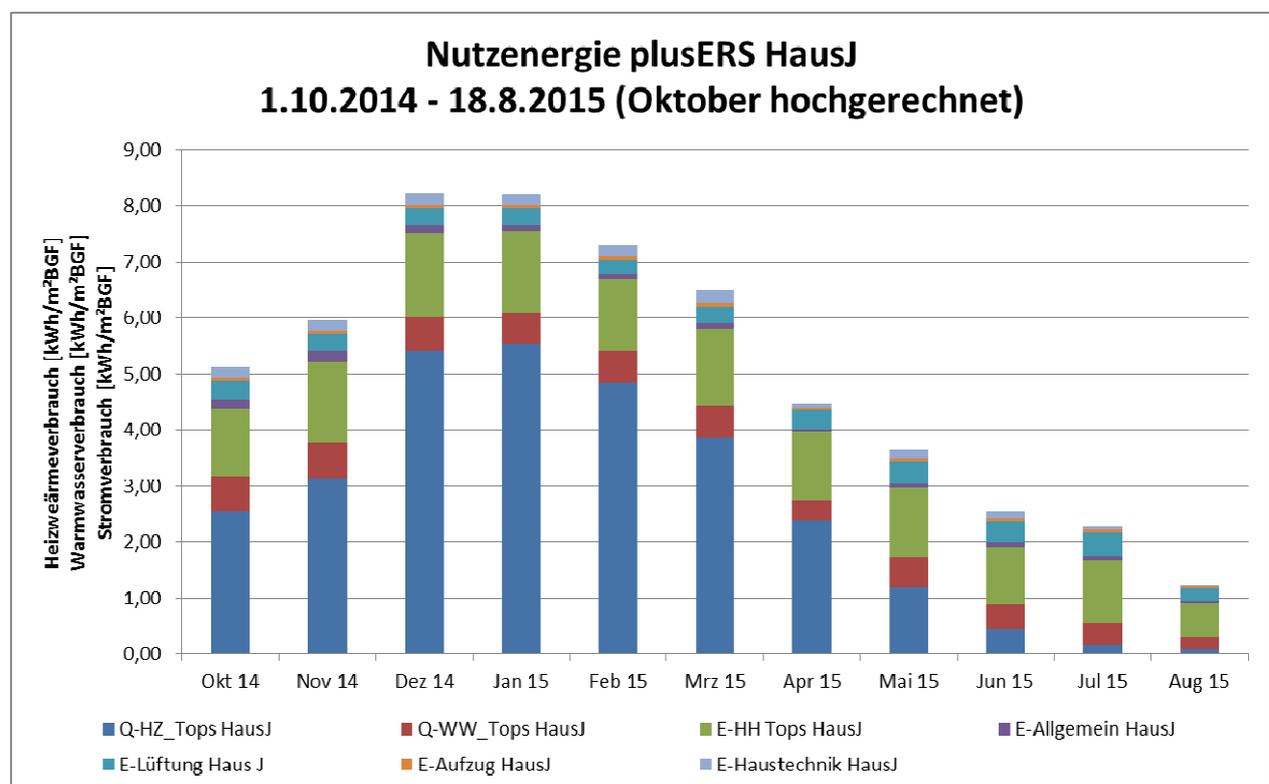


Abbildung 70 Prozentueller Anstieg des Heizwärmebedarfs durch die Erhöhung der Raumluftsoltemperatur

Die Werte für den Stromverbrauch zeigen keine großen Abweichungen von bisher vermessenen, vergleichbaren Objekten. Den größten Anteil beim Stromverbrauch nimmt der Haushaltsstrom mit ca. 13,5 kWh/m<sub>2</sub><sub>BGF,a</sub> (23 kWh/m<sub>2</sub><sub>WNFL</sub>) ein. Er liegt jedoch deutlich unter den lt. Statistik Austria angeführten Werten (ca. 2.533 kWh/Haushalt und Jahr, bei 80m<sup>2</sup> WNF ca. 30 kWh/m<sub>2</sub><sub>WNFL,a</sub>). Bei der monatsweisen Betrachtung des Stromverbrauchs für die Wohnraumlüftung fällt auf, dass die höchsten Werte (0,43 kWh/m<sub>2</sub><sub>BGF,a</sub>, Juli 2015) nicht in der Heizperiode anfallen (höchster Wert 0,32 kWh/m<sub>2</sub><sub>BGF,a</sub>, Dezember 2014). Die hohen Werte in der Sommerperiode können eigentlich nur durch das Benutzerverhalten erklärt werden. Die Bewohner betrachten die Lüftungsanlage als „Klimaanlage“ und stellen daher an heißen Sommertagen ihre Lüftung auf die höchste Stufe (obwohl ein detailliertes Benutzerhandbuch mit Hinweisen zur richtigen Lüftung übergeben wurde). Der Bauherr und die Hausverwaltung haben auf dieses „falsche“ Nutzungsverhalten bereits bei einer Hausversammlung hinweisen, und haben mehrmals auf das Benutzerhandbuch verwiesen.

Tabelle 20 Nutzenergieverbräuche Wärme und Strom Haus J pro m<sup>2</sup>BGF und Monat



Beim Haushaltsstromverbrauch zeigen sich sehr große Unterschiede zwischen den einzelnen Wohnungen (bis zu ca. 400%). Mit 69% nimmt der Beleuchtungs- und Gerätestromverbrauch den höchsten Anteil am gesamten Stromverbrauch ein, gefolgt von Kochstrom (21%), Strom für Geschirrspüler (6%) und Waschmaschine (4%).

Tabelle 21 Haushaltsstromverbräuche in kWh/m<sup>2</sup>WNF und Monat der Wohnungen im Haus J

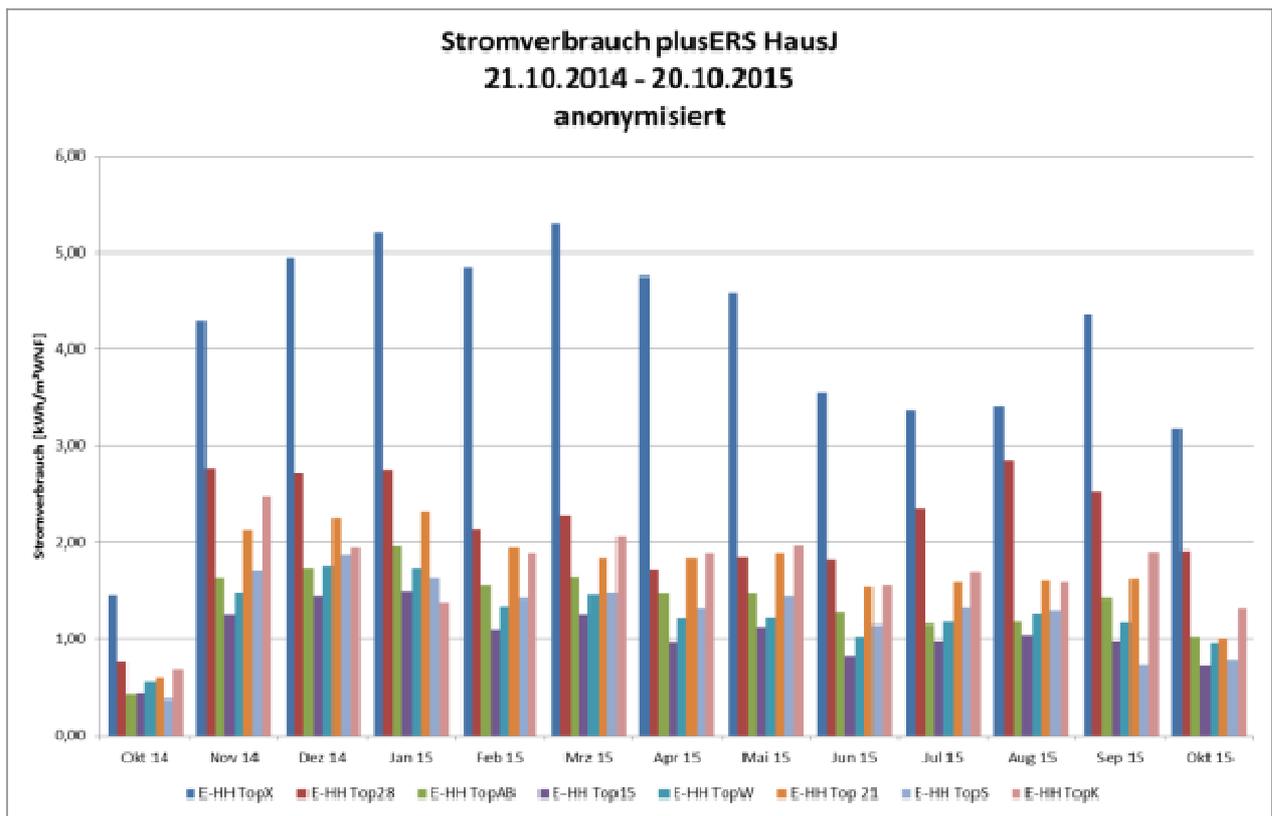
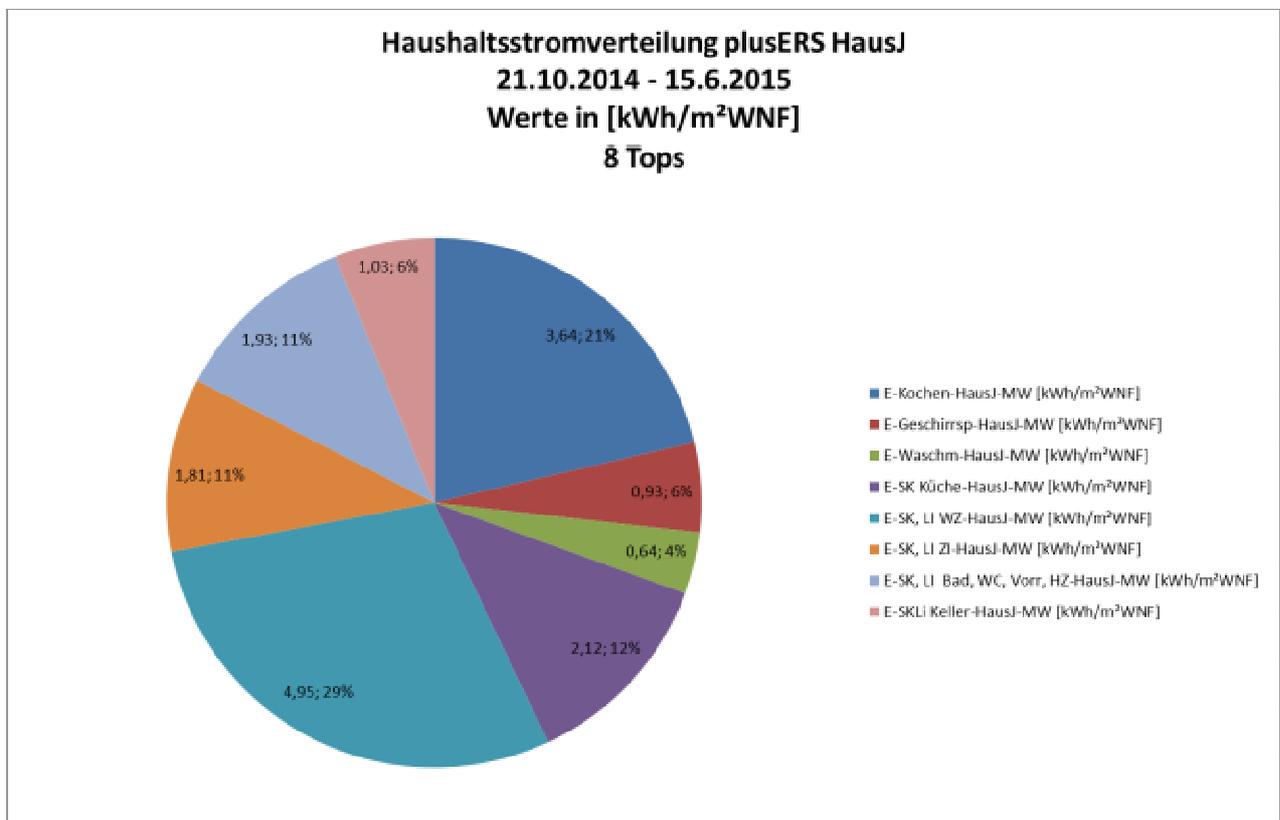


Tabelle 22 Haushaltsstromverteilung Haus J



### 3.6.3.2 Komfortparameter

Im nachfolgenden Kapitel wird ein Auszug aus den Komfortparameteranalysen im Haus J präsentiert. Es handelt sich dabei jeweils um die Kennwerte der Wohnzimmer der Wohnungen.

#### Raumlufttemperatur

Abbildung 71 zeigt die gemessenen Raumlufttemperaturen aufgetragen auf die dazugehörigen Werte der Außenlufttemperatur für den Zeitraum 13.08.2013 bis 31.01.2014 für die einzelnen Wohnungen und als Stundenmittelwert über alle Wohnungen (gelbe Datenpunkte).

Die Analyse der Raumtemperaturen zeigt, dass die Werte überwiegend im definierten Komfortbereich liegen. In der Heizperiode liegen nahezu alle Mittelwerte im Bereich von 22°C bis 24°C (Unterschreitung der Komfortzone unter 20°C nur vereinzelt). Auch in der Sommerperiode bewegen sich die Stundenmittelwerte im Komfortbereich, wobei es bei höheren Außen-temperaturen zu punktuellen Überschreitungen der 26°C Grenze kommt.

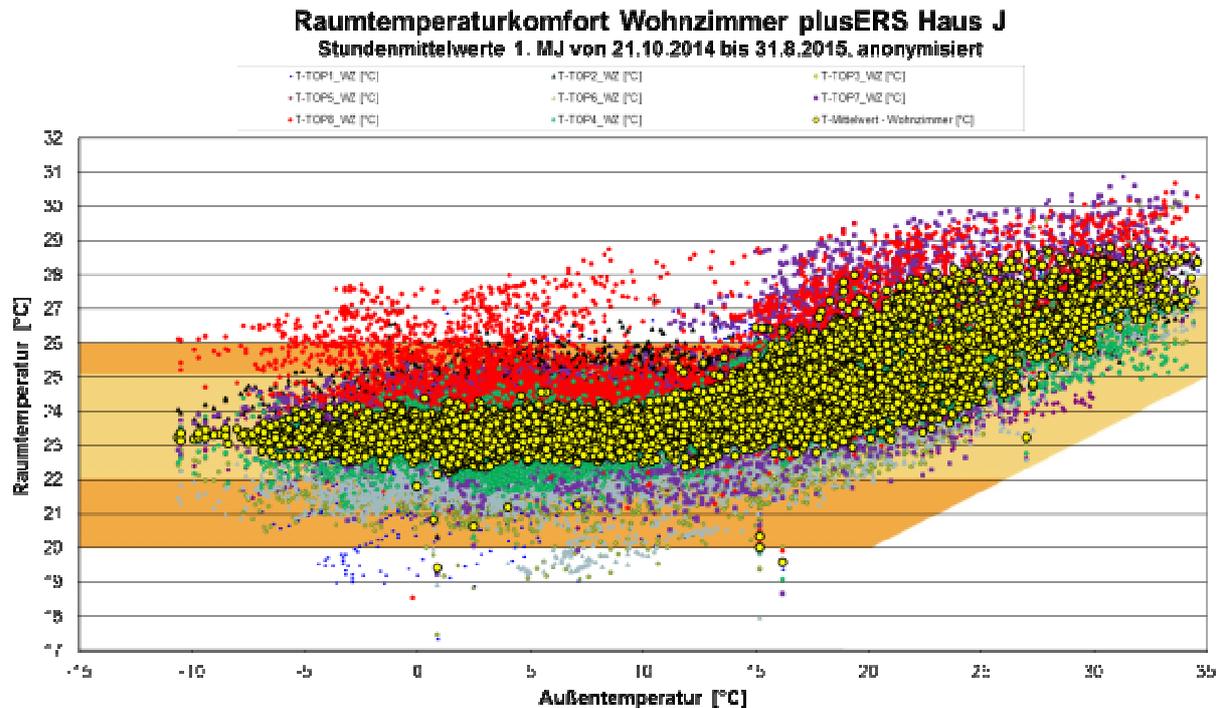


Abbildung 71 Raumlufttemperatur über Außenlufttemperatur, Stundenmittelwerte Wohnzimmer, Messzeitraum 21.10.2014 bis 31.08.2015

Als Ergänzung zur Auswertung der Raumlufttemperatur über der Außenlufttemperatur findet sich in nachfolgender Abbildung 72 eine Übersicht über die Temperaturkomfortparameter. Mit nur 0,26% der Stunden unter 20°C und 14,49% der Stunden über 26°C bestätigen sich die vorhin angeführten guten Komfortparameter. Auch eine mittlere Raumtemperatur von 23,36°C am kältesten Tag und 27,92°C am wärmsten Tag der Messperiode zeigen diese guten Werte.

Auch zeigt sich bei dieser Auswertung, dass die mittlere gemessene Raumlufttemperatur während der Heizperiode bei 23,31°C liegt. Dies ist vor allem deshalb interessant, da in energetischen Berechnungen, wie z.B. in der Energieausweisberechnung nach OIB Richtlinie 6, 20°C als Raumlufttemperatur definiert wird. Die Auswertung von +ERS (bez. Auswertungen anderer Forschungsprojekte) zeigen, dass eine Raumlufttemperatur von 22°C – 23°C angebracht wäre und mehr der Realität entspräche. Auf Grund der großen Auswirkungen durch Erhöhung der Raumlufttemperatur auf den Heizwärmeverbrauch (siehe Abbildung 69 und Abbildung 70) sollte dieser Sachverhalt künftig stärker bei der energetischen Konzeption von Wohnbauten berücksichtigt werden.

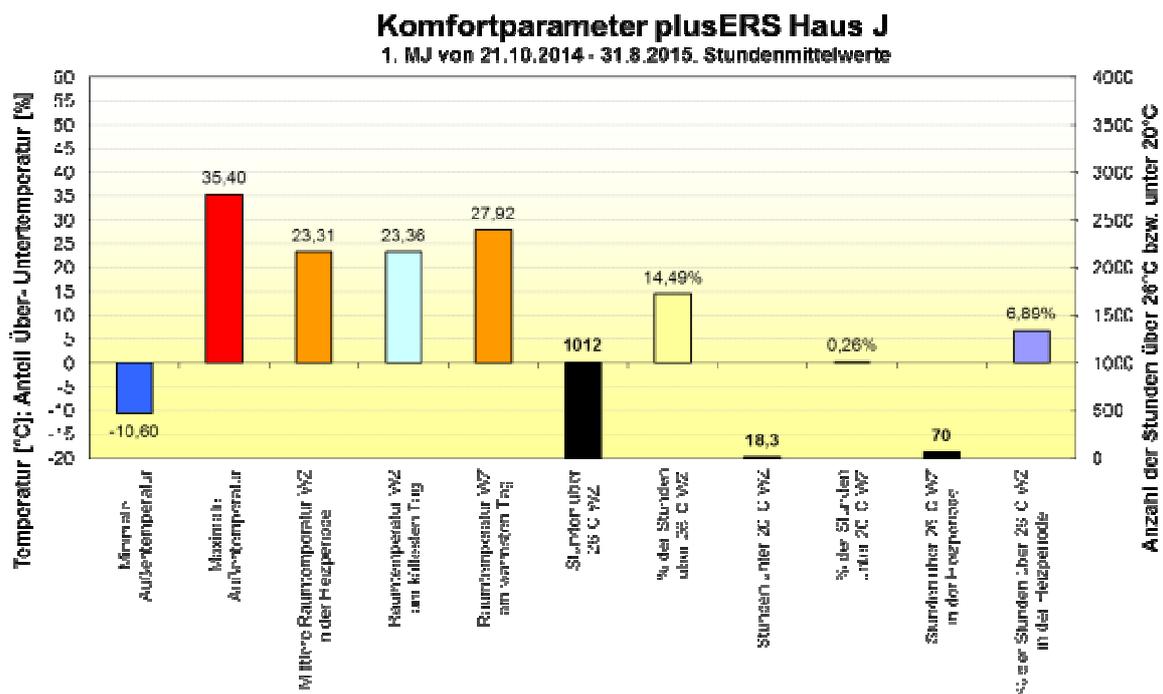


Abbildung 72 Übersicht über den Komfortparameter Raumlufttemperatur, Haus J, Messzeitraum 21.10.2014 bis 31.08.2015

### Raumluftfeuchte

Um saisonale Unterschiede herauszuarbeiten wurde die Auswertung getrennt für die Sommer- und Winterperiode erstellt.

In der Sommerperiode kommt es zu einer Verschiebung der Datenpunkte auf der x-Achse (Raumtemperaturen) vom Behaglichkeitszentrum weg. Durch den Anstieg der Raumtemperaturen (ab ca. 26°C) treten höhere rel. Luftfeuchten auf und die Datenpunkten befinden sich außer dem Komfortbereich. Die relative Luftfeuchte bewegt sich in einem Bandbereich von ca. 35% bis 65%.

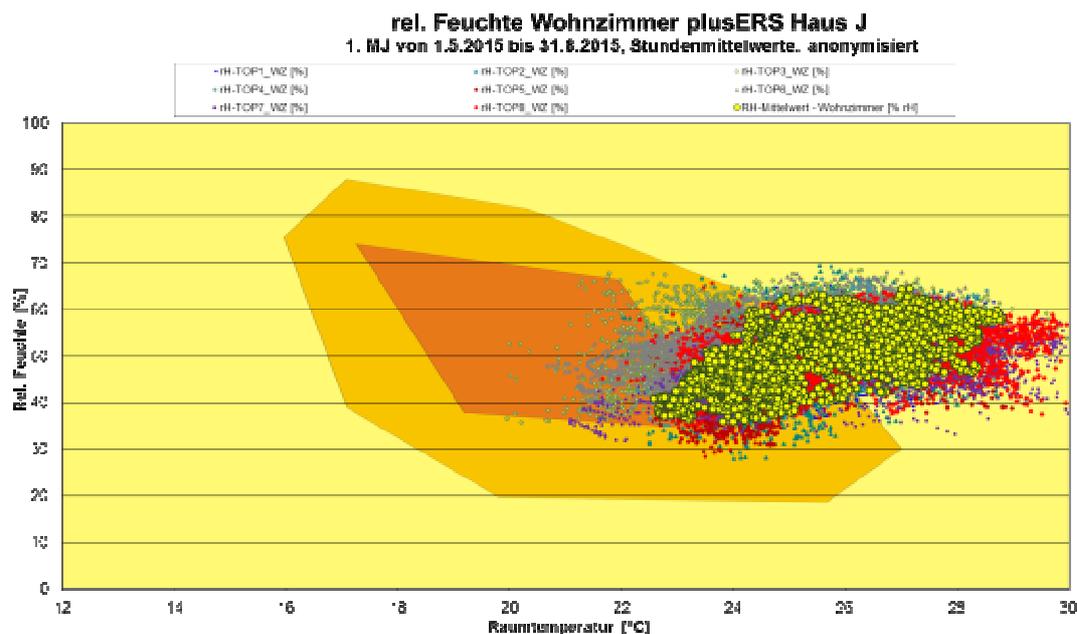


Abbildung 73 Relative Raumlufffeuchtigkeit über Raumlufftemperatur, Stundenmittelwerte Wohnzimmer, Sommerperiode

In der Winterperiode zeigt sich eine kompaktere Konzentration von Datenpunkten innerhalb des Komfortbereiches (noch behaglich), wobei auch hier eine Verschiebung vom Zentrum entlang der x-Achse zu erkennen ist. Die relative Luftfeuchte bewegt sich in einem Bandbereich von ca. 25% bis 55%.

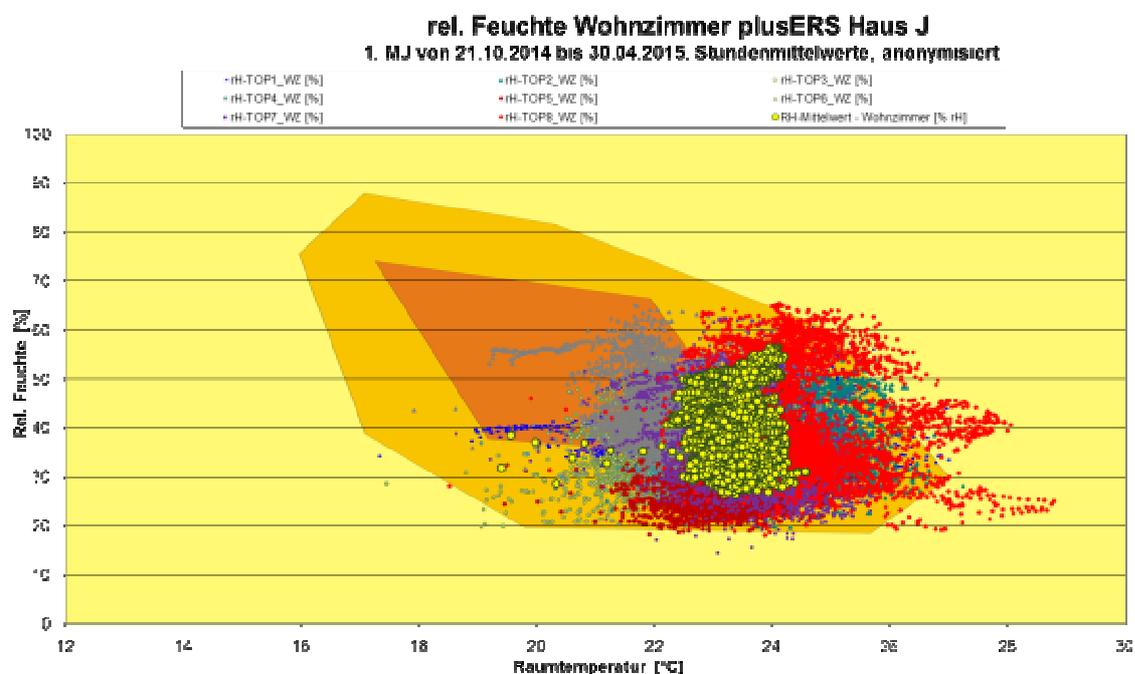


Abbildung 74 Relative Raumlufffeuchtigkeit über Raumlufftemperatur, Stundenmittelwerte Wohnzimmer, Winterperiode

Ebenso wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Wohnzimmern der Wohnungen gemessen und als Ergebnis für den ersten Messzeitraum in nachfolgender Abbildung 75 dargestellt. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde dazu auf der x-Achse, die relative Raumluftfeuchtigkeit auf der y-Achse aufgetragen. Auch hier wurden die Sommer- und Winterperiode getrennte ausgewertet.

In der Sommerperiode liegen die Mittelwerte (gelbe Datenpunkte) der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Bereich von ca. 450 – 912 ppm (somit deutlich unter 1500 ppm), wobei es eine große Streuung innerhalb der Wohnungen gibt (ca. 350 ppm bis 2000 ppm).

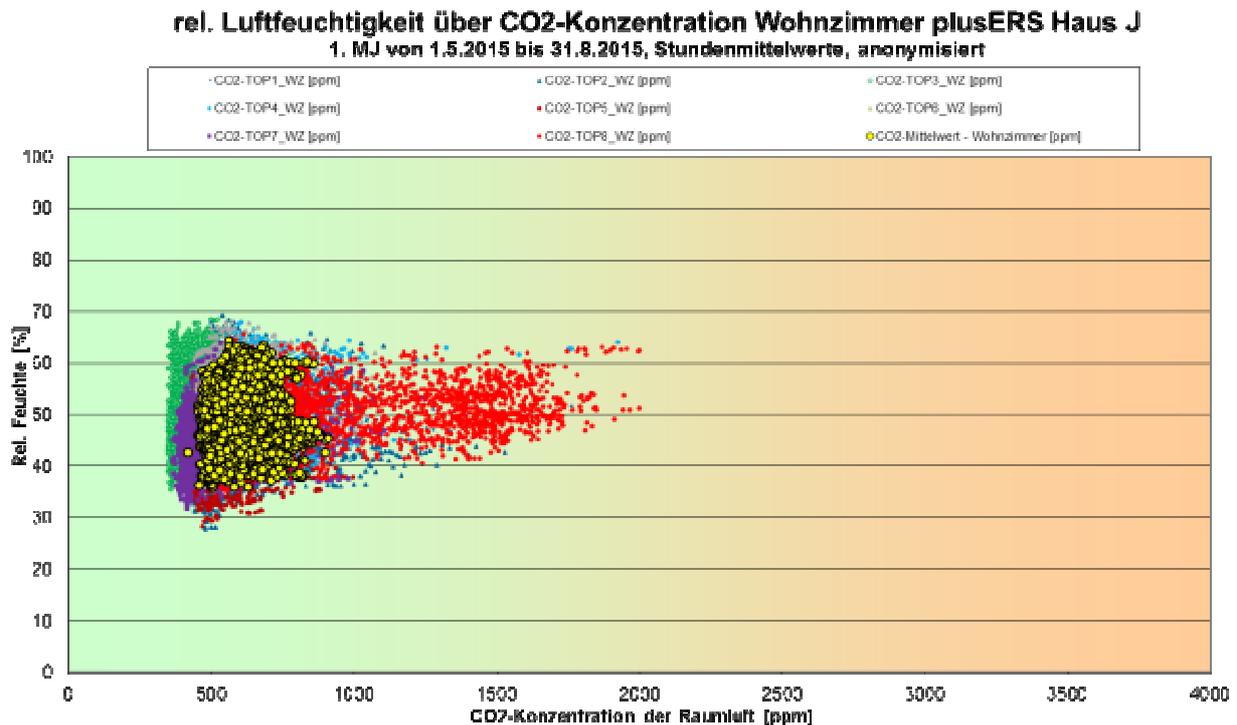


Abbildung 75 Relative Raumluftfeuchtigkeit über Raumlufttemperatur, Stundenmittelwerte Wohnzimmer, Sommerperiode

In der Winterperiode liegen die Mittelwerte (gelbe Datenpunkte) der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Bereich von ca. 500 – 1200 ppm (somit auch deutlich unter 1500 ppm), wobei es auch hier eine große Streuung innerhalb der Wohnungen gibt (ca. 350 ppm bis 1875 ppm). Die guten Werte der Winterperiode (keine großen Unterschiede zum Sommer) sind sicherlich auf die kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung zurück zu führen.

### 3.7 AP 7 – Verbreitung und Schnittstelle „ECR“

Ziel des AP 7 war eine zielgruppengerechte Information, die Publikation und Verbreitung der Projekthalte und Projektergebnisse, sowie die optimale Integration in das Haus der Zukunft Plus Leitprojekt „Energy City Reininghaus (ECR)“. Alle Aktivitäten zur Übereinstimmung des Demonstrationsprojektes mit den Zielen des Haus der Zukunft Plus Leitprojektes „Energy

City Reininghaus (ECR)“ wurden durch laufende Kommunikation mit dem Leitprojektmanagement des „ECR“- Projektes abgestimmt.

### **3.7.1 Publikationen/Vorträge/Preise**

Das Forschungsprojekt wurde auf zahlreichen internationalen und nationalen Konferenzen präsentiert und in Print- und Filmmedien vorgestellt. Nachstehend sind nur einige „Highlights“ angeführt:

- Juni 2013, Filmbeitrag über das +ERS-Projekt in der Sendung „Steiermark heute“.
- Mai 2013, Präsentation im Rahmen der Veranstaltung: Highlights der Energieforschung, Veranstalter: BMVIT, Wien, VHS Urania
- Juni 2013, Themen-Workshop: Energieversorgung von Stadtteilen - Synergie durch Vernetzung, aws, Wien
- Mai 2014, Vortrag auf der REAL CORP 2014 „Leitprojekt ECR Energy City Graz-Reininghaus“, Wien
- April 2014, Vortrag auf der Konferenz „Places and Technologies 2014“, Belgrad (Best paper award)
- +ERS-Beitrag im Buch „Nachhaltiges Bauen in Österreich“, Weißbuch 2015
- Jänner 2016, Peer-Review Artikel in der international renommierten Zeitschrift „Energy and Buildings“
- Juni 2016, Vortrag CESB16, Prag

Des Weiteren erhielt das Projekt folgende Auszeichnungen und Preise:

- Anerkennungspreis im Rahmen des Österreichischen Klimaschutzpreises 2014 in der Kategorie „Gemeinden & Regionen“
- ÖGUT Umweltpreis 2014, Hauptpreis in der Kategorie „Stadt der Zukunft“
- Klima:aktiv Haus gold Zertifizierung

### **3.7.2 +ERS – Plusenergieverbund Reininghaus Süd Handbuch für NutzerInnen**

Für die Bewohner des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd wurde ein Benutzerhandbuch erstellt, das den Bewohnern einen kurzen Überblick über die in Ihrer Wohnung eingesetzten Technologien gibt und wichtige Informationen für ein energieoptimiertes, komfortables Wohnen bereitstellt. Anleitungen zur richtigen Benützung der Heizungs- und Lüftungsanlage sowie Informationen zur Reduktion des Haushaltstromverbrauches sind Inhalte dieses Handbuchs. Das Handbuch wurde an alle BewohnerInnen der Wohnanlage versendet und bei einer Hausversammlung den BewohnerInnen vorgestellt.

# +ERS – Plusenergieverbund Reininghaus Süd

## Handbuch für NutzerInnen



Das Forschungsprojekt „+ERS – Plusenergieverbund Reininghaus Süd“ wurde im Rahmen von Haus der Zukunft Plus gefördert. Haus der Zukunft Plus ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMVIT von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik

*Abbildung 76 Titelseite des Handbuchs für NutzerInnen*

### 3.7.3 Handbuch für Hausverwaltung und Technik

Vom Technischen Büro Hammer wurde ein Handbuch/Technische Dokumentation für Hausverwaltung und Technik erstellt, das für den Betreiber der Wohnanlage wichtige Informationen für den Betrieb und die Wartung bereitstellt.

## 4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

### 4.1 Einpassung in das Programm

Die Integration des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd bot erstmalig die Chance das Konzept eines städtebaulichen und energetischen Rahmenplanes konkret mit einem Bauträger umzusetzen. Der Plusenergieverbund ist das erste realisierte Umsetzungsbeispiel im Haus der Zukunft Plus Leitprojekt „Energy City Graz-Reininghaus (ECR)“ und soll für weitere, nachfolgende Beispiele als „Shining Example“ den Weg bereiten.

Somit konnte mit diesem Subprojekt (SP3) ein wichtiger Beitrag zum Erreichen der Ziele der Programmlinie „Haus der Zukunft plus“ geschaffen werden.

### 4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Das Demonstrationsbauvorhaben Plusenergieverbund Reininghaus Süd konnte neue und zukunftsorientierte Bauweisen und Energiekonzepte für multifunktionale Stadtteilzentren aufzeigen. Es wurden innovative technische und organisatorische Lösungen für Siedlungskonzepte mit der Zielsetzung „Plusenergie“ in der Praxis umgesetzt. In der Umsetzung und Optimierung gewonnene Erfahrungen sollen für Folgeprojekte nutzbar gemacht und somit eine breitere Umsetzung am Markt forciert werden.

Konkret leistet das Projekt folgende Beiträge zum Gesamtziel des Programms:

- Sichtbarmachung eines neuen und innovativen Plusenergie-Siedlungsverbundes im städtischen Kontext
- Umsetzung eines konkreten Demonstrationsprojektes innerhalb der Haus der Zukunft Plus-Leitprojekte, womit die Erfolge des Technologieprogramms national und international besser sichtbar gemacht werden
- Schaffung der technologischen Basis für Plusenergieverbundnetze – nicht nur Strom-, auch Wärme- und Kältenetze können synergetisch wirken
- Überleitung innovativer Systemlösungskonzepte für die breitere Umsetzung am Markt
- Erhöhung der F&E Qualität in der Umsetzung zukunftsweisender Projekte
- Ausbau der Vorreiterrolle Österreichs in der Energieforschung, in der Entwicklung innovativer Systemlösungskonzepte und in der Umsetzung innovativer Demonstrationsprojekte durch die beteiligten wissenschaftlichen Partner/innen (die im Zuge ihrer Aktivitäten in internationalen Forschungsprojekten aktiv zur Publikation beitragen)

### **4.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt**

Die frühzeitige und vollständige Einbindung von ExpertInnen aus Praxis und Forschung war eine wesentliche Voraussetzung für einen erfolgreichen Projektablauf und die Zielerreichung. Die Einbindung dieser erfolgte durch Abhaltung von Workshops und Projekttreffen bzw. Planungssitzungen mit allen im Projekt beteiligten Personen.

Eine enge Zusammenarbeit erfolgte dabei nicht nur mit sämtlichen ForschungsprojektpartnerInnen sondern auch mit allen Fachplanern (Bauphysik, Haustechnikplaner, Statiker, etc.).

Präsentationen bzw. Diskussionen der (Zwischen-)Ergebnisse erfolgten laufend im Rahmen der Leitprojektmanagement-Sitzungen in Wien sowie im Zuge von Vorträgen und nationalen und internationalen Verbreitungsmaßnahmen.

### **4.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse**

Das Forschungsprojekt +ERS stieß von Projektbeginn auf großes nationales und internationales Interesse, sowohl bei der wissenschaftlichen Community, als auch bei Akteuren der Baubranche, Verwaltung und Politik. Zahlreiche Einladungen zu Vorträgen (Zürich, Belgrad, Prag, etc.) und Publikationen in nationalen und internationalen Fachzeitschriften (z.B. Energy and Buildings), Filmbeiträge (ORF Steiermark) sowie Preise und Auszeichnungen (ÖGUT-Umweltpreis 2014, Anerkennungspreis beim österreichischen Klimaschutzpreis, klima:aktiv Haus gold, etc.) belegen den Innovationsgehalt und das große Umsetzungspotential des Forschungsprojektes. Mit dem Plusenergieverbund Reininghaus Süd wurde österreichweit (international?) erstmals versucht einen Energieverbund in großem Maßstab zwischen Gebäuden unterschiedlicher Nutzung umzusetzen und für einen Teil des Verbundes eine positive Energiebilanz zu generieren. Berechnungen und die detaillierte Simulation des Energieverbundes mit TRNSYS und Simplex haben gezeigt dass die gewählte Strategie zur Erzielung einer positiven Energiebilanz richtig war und positive Energiebilanzen im Gebäudeverbund erzielbar sind. Auf Grund von Synergienutzungen (Geothermie für Heizen und Kühlen) kann die Errichtung und der Betrieb von Plusenergieverbänden zu marktgängigen Kosten bewerkstelligt werden.

Die wesentlichen Zielgruppen sind Bauträger/innen, Wohnbaugenossenschaften, Planer/innen und auch Nutzer/innen. Nur wenn die beide Seiten – Erreichter/Betreiber und Nutzer/innen von den Vorteilen überzeugt sind, können neue Gebäudekonzepte auch breit am Markt umgesetzt werden.

Die wesentlichen Zielmärkte für das Projektkonsortium sind Österreich, Deutschland, Schweiz, Oberitalien; aber auch die Ostöffnung Europas, Entwicklungen in Großbritannien,

Norwegen und den USA zeigen ein weiteres Marktgebiet mit steigender Nachfrage für kostengünstigen, energieeffizienten Wohnbau bei gleichzeitig hohem Wohnkomfort.

## 5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die Projektergebnisse zeigen dass Energieverbände im Gebäudebereich einen wichtigen Beitrag zur Erlangung energie- und klimapolitischer Ziele leisten können. Mit der Realisierung des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd konnte nachgewiesen werden, dass eine wirtschaftlich umsetzbare, technische und organisatorische innovative Lösung für Plusenergieverbundkonzepte der Zukunft möglich ist. Die Erweiterung der energetischen Systemgrenze vom Einzelgebäude zum multifunktionalen Gebäudeverband eröffnet neue Möglichkeiten der Energieeffizienzsteigerung für den Gebäudesektor. Auf Grund unterschiedlicher Nutzungs- und Lastprofile von multifunktionalen Gebäudeverbänden ergeben sich zahlreiche Synergieeffekte, die zu einer hohen Kosteneffizienz (Kosten der eingesparten Energie) führen.

Sowohl auf technischer, wirtschaftlicher und rechtlicher Ebene gilt es jedoch noch Probleme zu lösen und marktaugliche Strategien/Geschäftsmodelle zu entwickeln. Folgende Erkenntnisse konnte das Projektteam aus dem Forschungsprojekt generieren:

- Gebäudeverbände sind zukünftig notwendig, um Plus-Energiegebäude kosteneffizient umzusetzen. Auf Grund von Synergienutzung (z.B. Kälte als „Nebenprodukt“) könnte dies errichtungskostenneutral sein und durch den Verkauf von Energie könnten Bauherren und Energieversorger Gewinne lukrieren.
- Für die energetische Optimierung/Konzeption von Gebäudeverbänden fehlen derzeit noch praktikable, marktaugliche Planungstools. Die im Projekt gewählte Vorgangsweise (TRNSYS Simulation der Gebäude und Integration der Ergebnisse in das Simplex-Tool) erforderte einen hohen Zeitaufwand und bringt Schnittstellenprobleme mit sich.
- Die energetische Konzeption eines Energieverbundes ist „Neuland“ und erfordert zusätzliche Kompetenzen bei den beteiligten Fachplanern (speziell im Bereich HKLS). Die Optimierung (Variantenstudien) und Steuerung aller energietechnischer Komponenten (PV, ST, Geothermie, Lüftung, etc.) erweist sich als sehr zeitintensiv.
- Energieverbände von Objekten mit unterschiedlichen Bauherren/Akteuren (wie bei +ERS) sind auf administrativer und gesetzlicher Ebene sehr komplex. Derzeit fehlen speziell für diese Konstellation noch geeignete Geschäftsmodelle mit rechtlich fundierter Grundlage.
- Im Projekt +ERS hat sich gezeigt, dass Bauträger und Hausverwaltungen im Rahmen ihres Kerngeschäftes, Energieverbände nur sehr schwer umsetzen können. Es ist daher der Zukauf von Fachwissen erforderlich oder der Betrieb des Energieverbundes wird an externe Firmen ausgelagert. Contractingmodelle könnten hier sehr vorteilhaft sein.
- Die Optimierung der Steuerung von Energieverbänden muss auf Basis detaillierter Monitoringdaten erfolgen. Für die Optimierung müssen klare Verantwortlichkeiten vorliegen (z.B. Contractingfirma).
- Erste Ergebnisse aus dem Energiemonitoring der Wohnungen zeigen, dass bei der Heizwärmeberechnung zu niedrige Raumlufttemperaturen (20°C lt. Energieausweis, gemessene Durchschnittstemperatur 23°C) angesetzt werden und daher die tatsächlichen Heizwärmeverbräuche deutlich höher ausfallen (lt. TRNSYS-Simulationen würde eine Erhöhung von 20°C auf 23°C einen 50%-

igen Anstieg bedeuten). Erkenntnisse aus anderen vermessenen Forschungsprojekten bestätigen diese Erkenntnis.

Die Erkenntnisse und Entwicklungen aus dem Forschungsprojekt +ERS werden von den Projektpartnerinnen als Basiswissen in weiteren nationalen und internationalen Forschungsanträgen eingebracht. Beispielhaft sind folgende Projekte angeführt:

- Methoden- und Konzeptentwicklung zur Implementierung nachhaltiger Energiesysteme in Städten  
Beispiel Gleisdorf/Salzburg, Programmlinie Stadt der Zukunft
- IEA Annex 67 „Energy Flexible Buildings“
- Ganzheitliche Analyse und Simulation von Energiesystemen und Ressourcenverbänden in Städten und Stadtquartieren, RSA – 4. Ausschreibung
- CityCalc - Energieplanungs- und Bewertungsinstrument für den Städtebau, Stadt der Zukunft

Die Projekterkenntnisse sind für Stadtplanungsämter, Wohnbauträger, Bauherrn, Energieversorgungsunternehmen, Contractingfirmen, Architekten und Behörden von großer Relevanz. In zahlreichen Gesprächen mit Verantwortlichen von Stadt – und Energieplanung der Städte Gleisdorf, Wien, Salzburg und Graz wurde die Relevanz der Projektergebnisse für zukünftige Stadtentwicklung bestätigt.

## 6 Ausblick und Empfehlungen

Die im Projekt generierten Ergebnisse und Erkenntnisse könnten zukünftig in die Konzeption größerer Stadtentwicklungsgebiete (wie z.B. ECR – Energy City Reininghaus) einfließen. Der Schritt vom energetischen Gebäudeverband wie er im Projekt in +ERS auf Stadtebene umgesetzt wurde, bietet auf Grund der multifunktionalen Mischung von Stadtteilen (Wohnen, Arbeiten, Verkauf, Freizeit, etc.) noch größere Chancen und Potentiale für Energieeffizienzsteigerungen. Auf Grund der steigenden Komplexität und der höheren Anzahl von Akteuren stellt die Transformation der Ergebnisse auf Stadtebene jedoch eine sehr große Herausforderung dar.

Forschungs- bzw. Weiterentwicklungsbedarf liegt bei Entwicklung von praxistauglichen Planungstools für die energetische Konzeption/Abbildung und Optimierung von Gebäudeverbänden. Derzeit vorhandene Tools (z.B. TRNSYS, Simplex) eignen sich hauptsächlich für spätere Planungsphasen (Ausführungsplanung) und sind auf Grund des hohen Eingabeaufwandes für frühe Planungsphasen (städtebaulicher Entwurf) nicht einsetzbar. Die Entwicklung/Weiterentwicklung/Adaptierung von Tools die für diese wichtigsten Planungsphasen geeignet sind, wäre anzustreben. Wünschenswert wären modular aufgebaute Instrumente die durchgängige, für alle Planungsphase geeignete Werkzeuge, beinhalten.

Neben den technischen Herausforderungen für die Konzeption und den Betrieb eines energetischen Gebäudeverbundes zeigen die Erkenntnisse aus +ERS, dass auf organisatorischer und rechtlicher Ebene noch viele offene Fragen vorliegen und die Ausarbeitung von innovativen Geschäftsmodellen und rechtlichen Rahmenbedingungen wertvolle Hilfestellungen für Bauträger, Planer und Stadtverwaltungen leisten könnte.

## 7 Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis

### 7.1 Literaturverzeichnis

Karitnik, A. 2008; Comparison of the two Building Simulation Environments TRNSYS and DesignBuilder, Magisterarbeit an der Karl Franzens Universität, 8010 Graz

Nussmüller Architekten, 2012; Polierpläne Peter-Rosegger Straße, Graz, Stand November 2012, 8010 Graz

Nussmüller Architekten 2012a; Detailpläne Aufbauten Peter-Rosegger Straße, Graz, Stand Juli 2012, 8010 Graz

Rosenfelder 2011; Energieausweis Punkthäuser Peter-Rosegger Straße, Graz, Stand Juni 2011, 8010 Graz

TRNSYS 17.1, 2013; A TRaNsient SYstems Simulation Program, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/index.html>, University of Wisconsin, Madison, WI 53703, USA

Trimble SketchUp, 2013; <http://www.sketchup.com/intl/de/>, Trimble Navigation Limited, 935 Stewart Drive, Sunnyvale, CA 94085, USA

OIB 2011; Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz vom Oktober 2011, Österreichisches Institut für Bautechnik, Schenkenstraße 4, A-1010 Wien

Meteonorm 2013; meteonorm 7 - Edition 2012, METEOTEST, Fabrikstrasse 14, 3012 Bern, Switzerland

Polysun 2013, Polysun 6.5, Vela Solaris, Stadthausstrasse 125, 8400 Winterthur, Switzerland

Krapmeir, H., Drössler, E., 2001: CEPHEUS – Wohnkomfort ohne Heizung, Springer-Verlag Wien New York

Kempton, G., Moosbrugger, M., Stampfl, P., 2013: Wohnkomfort und Heizwärmeverbrauch im Passivhaus und Niedrigenergiehaus, Bericht aus dem COMET-Projekt alps, Innsbruck

Heimrath, R., 2004; Simulation, Optimierung und Vergleich solarthermischer Anlagen zur Raumwärmeversorgung für Mehrfamilienhäuser, Dissertation am IWT der TU Graz, Graz, 2004

Technische Büro Hammer, 2011a; Lageplan Außenanlage Peter-Rosegger Straße - Punkthäuser, Seiersberg, Stand November 2011, 8054 Seiersberg

Technische Büro Hammer, 2011b; Heizraumschema Peter-Rosegger Straße - Punkthäuser, Seiersberg, November 2011, 8054 Seiersberg

Staller, H., Rainer, E., Heimrath, R., Halmdienst, C., Varela, C., Grabner, M., 2015: +ERS – Plus Energy Network Reininghaus Süd: A pilot project towards an energy self-sufficient urban district. In: Energy and Buildings, Elsevier B.V., 2015

## 7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Ergebnis der Energieausweisberechnung für den Haustyp 01 nach OIB Richtlinie 6 (2011) (Quelle: Büro Höfler & Rosenfelder).....	27
Abbildung 2 Systemschnitt des Energiekonzeptes eines Bauabschnittes. Quelle: AEE INTEC .....	29
Abbildung 3 Schema Plusenergieverbund Reininghaus Süd. Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH u. AEE INTEC.....	31
Abbildung 4 Methodik der Simulation des Plusenergieverbundes Reininghaus Süd.....	34
Abbildung 5 Lageplan des Siedlungsgebietes +ERS und Bezeichnung der Punkthäuser (Nussmüller Architekten, 2012) .....	36
Abbildung 6: 3D-Modelle in Trimble SketchUp, zur Definition der Geometrie für die Gebäudesimulation in Trnsys .....	37
Abbildung 7 Klimadatensatz Graz, Temperaturverlauf und die wesentlichen Eckdaten (Jahressummen und Jahresmittelwerte).....	39
Abbildung 8 Geometrie (BGF), Heizwärmebedarf und Raumlufthemperaturverlauf in den thermischen Zonen des betrachteten Gebäudes – Haus E, G .....	40
Abbildung 9 Exemplarischer Heizlastverlauf zur Bereitstellung des Warmwasserbedarfs und der Raumwärme für den ersten Bauabschnitt der Punkthäuser für die ersten zwei Wochen im Jänner .....	44
Abbildung 10 Verlegeplan (Pfahlaufteilung mit Zuleitungen) der Sonden (51-95) unter dem Haus D .....	45
Abbildung 11 Anlagensimulation – Modul Sondenfeld je Wärmepumpe bzw. je Heizzentrale .....	47
Abbildung 12 Anlagensimulation – Modul Solarthermie je Heizzentrale.....	48
Abbildung 13 Biquadratische Kennlinie der Wärmepumpe Waterkotte DS 5095.T5. Heizleistung und Leistungszahl in Abhängigkeit von der Heizungs-Vorlauftemperatur sowie der Quellen-Eintrittstemperatur.....	49
Abbildung 14 Biquadratische Kennlinie der Wärmepumpe Waterkotte DS 5085.T5. Heizleistung und Leistungszahl in Abhängigkeit von der Heizungs-Vorlauftemperatur sowie der Quellen-Eintrittstemperatur.....	49
Abbildung 15 Anlagensimulation – Modul Wärmepumpe je Heizzentrale.....	50
Abbildung 16 Maßskizzen und Anschlüsse der zwei 5 m <sup>3</sup> Energiespeicher je Heizzentrale.....	51
Abbildung 17 Anlagensimulation – Modul Energiespeicher je Heizzentrale .....	51
Abbildung 18 Spezifischer Energieoutput über der Globalstrahlung auf die geneigte Fläche (CS6P-250P).....	53
Abbildung 19 Kühlleistung und Strombedarf eines Gebäudes im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode.....	54

Abbildung 20 Herstellerangaben für Leistungszahl, Kälteleistung und Stromverbrauch eines Kaltwassersatzes (Daikin / LRMEQ - AY1) zur Gebäudeklimatisierung .....	55
Abbildung 21 Jährlicher Energiefluss der Gebäudeklimatisierung.....	55
Abbildung 22 Jahresverlauf der Kälteleistung von Plus- und Tiefkühlung sowie der Rückkühlleistung in einem Supermarkt.....	56
Abbildung 23 Herstellerangaben für Leistungszahl, Kälteleistung und Stromverbrauch für Plus- und Normalkühlung in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur für die Verbundanlage Daikin / ZEAS 15- 20 .....	56
Abbildung 24 Jährlicher Energiefluss für die Verbundanlage eines Supermarktes.....	57
Abbildung 25 Jährlicher Energiefluss für die Verbundanlage eines Supermarktes nach der Integration in den Kühlverbund.....	58
Abbildung 26 Darstellung des Netzmodells in der Simulationssoftware simplex .....	59
Abbildung 27 Rohrdimensionen und Rohrlängen im hinterlegten Netzmodell.....	59
Abbildung 28 Heizraumschema – Peter Rosegger Straße – Punkthäuser [Technisches Büro Hammer 2011b].....	60
Abbildung 29 Gegenüberstellung der Energiezentralen im Simulationsmodell sowie im Heizraumschema .....	60
Abbildung 30 Jährliche Energieflüsse des Plusenergieverbundes (BA 1, BA 2, BA 3 sowie Gesamtverbund) unter realen Randbedingungen .....	62
Abbildung 31 Temperaturverläufe sowie Betriebszeiten der thermischen Solaranlage vom 1. Bauabschnitt im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode .....	63
Abbildung 32 Temperaturverläufe, Heizleistung sowie Betriebszeiten der Wärmepumpe vom 1. Bauabschnitt im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode .....	64
Abbildung 33 Beladezustand des Pufferspeichers vom 1. Bauabschnitt im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode .....	65
Abbildung 34 Temperaturverläufe, thermische Leistung und Betriebszeiten der Tiefensonde vom 1. Bauabschnitt im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode .....	65
Abbildung 35 Gegenüberstellung der Beladungszustände der Pufferspeicher der drei Bauabschnitte im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode .....	67
Abbildung 36 Jährliche Energieflüsse des Plusenergieverbundes (BA 1, BA 3 sowie Gesamtverbund) mit aktivem internen Wärmeverbund .....	68
Abbildung 37 Jährliche Energieflüsse des Plusenergieverbundes (BA 1, Gesamtverbund) für die Gebäude-klimatisierung .....	70
Abbildung 38 Beladezustand des Kältespeichers im Wochenverlauf innerhalb der Kühlperiode für die Gebäudeklimatisierung .....	70
Abbildung 39 Jährliche Energieflüsse des Plusenergieverbundes (BA 1, Gesamtverbund) für die Unterstützung der Kälteversorgung eines Supermarkts .....	71
Abbildung 40 Beladezustand des Kältespeichers im Wochenverlauf innerhalb der Kühlperiode für die Unterstützung der Kälteversorgung eines Supermarkts .....	72

Abbildung 41	Jährliche Energieflüsse des Plusenergieverbundes für die Gebäudeklimatisierung und die Unterstützung der Kälteversorgung eines Supermarkts .....	72
Abbildung 42	Beladezustandes des Kältespeichers im Jahresverlauf sowie im Wochenverlauf innerhalb der Kühl- bzw. innerhalb der Heizperiode für Gebäudeklimatisierung und die Unterstützung der Kälteversorgung eines Supermarkts .....	73
Abbildung 43	Jährliche Energiebilanz für den Energieverbund unter den derzeitigen Rahmenbedingungen .....	74
Abbildung 44	Jährliche Energiebilanz für den Energieverbund für die Gebäudeklimatisierung ohne und mit Photovoltaikanlage.....	75
Abbildung 45	Jährliche Energiebilanz für den Energieverbund für die Gebäudeklimatisierung sowie die Unterstützung der Kälteversorgung eines Supermarkts mit Photovoltaikanlage....	76
Abbildung 46	TQB-Endzertifizierung. Quelle: TU Graz .....	78
Abbildung 47	Blowerdoor Messung Haus E 12.04.2013. Einbau der Messanordnung. Quelle: AEE INTEC .....	82
Abbildung 48	Blowerdoor Messung Haus E 12.04.2013. Leckagepunkte im Bereich der Befestigungswinkel und der horizontalen Sylomerlager. Quelle: AEE INTEC .....	82
Abbildung 49	Lageplan Bauabschnitt 1 und 2. Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH...	84
Abbildung 50	Grundriss 2.OG, Haus E und G. Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH...	85
Abbildung 51	Schnitt Haus E und G. Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH .....	86
Abbildung 52	Fassadendetails vertikal. Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH.....	87
Abbildung 53	Baustelle +ERS: Heat Box (Wohnungsstation, Zwei-Leiter-Netz) für Heizung und Warmwasser. Quelle. AEE INTEC.....	89
Abbildung 54	Baustelle +ERS: v-Box in Badezimmer einer Wohnung. Quelle. AEE INTEC .	90
Abbildung 55	Baustelle +ERS: Außenwand Lehmbauplatte + Lehmputz. Quelle. AEE INTEC .....	91
Abbildung 56	Baustelle +ERS. Hinten Bauabschnitt 1, vorne Bauabschnitt 2: rechts Haus E, links Stiegenhauskern Haus F. Quelle: AEE INTEC .....	93
Abbildung 57	Baustelle +ERS. Bauteil 1, Büro und Gewerbe. Quelle: AEE INTEC.....	93
Abbildung 58	Baustelle +ERS: Haus E. Quelle. AEE INTEC.....	94
Abbildung 59	Baustelle +ERS: Detail Haus E. Stiegenhauskern Haus F Quelle. AEE INTEC .....	94
Abbildung 60	Baustelle +ERS: Im Hintergrund Bauabschnitt 1. Vordergrund Haus E und F Quelle. AEE INTEC .....	95
Abbildung 61	Baustelle +ERS: Montage der Holzbauteile bei einem Punkthaus. Quelle: Martin Grabner .....	95
Abbildung 62	Baustelle +ERS: Montage der Holzbauteile bei einem Punkthaus. Quelle: Martin Grabner .....	96
Abbildung 63	Blick von Norden in die Siedlung. Quelle: Martin Grabner.....	96
Abbildung 64	Wohnungen. Quelle: Martin Grabner .....	96
Abbildung 65	Wohnung: Heizungssteuerung - Bad mit Abluftöffnung,. Quelle: Martin Grabner .....	96
Abbildung 66	Übersicht über die Messdatenerfassung .....	98
Abbildung 67	Schema der Messdatenaufzeichnung .....	100

Abbildung 68: Regelgeschoss Haus J mit den vermessenen Wohnungen.....	101
Abbildung 69 Spezifischer Heizwärmebedarf in Abhängigkeit unterschiedlicher Raumluftsoltemperaturen .....	103
Abbildung 70 Prozentueller Anstieg des Heizwärmebedarfs durch die Erhöhung der Raumluftsoltemperatur .....	103
Abbildung 71 Raumlufttemperatur über Außenlufttemperatur, Stundenmittelwerte Wohnzimmer, Messzeitraum 21.10.2014 bis 31.08.2015 .....	106
Abbildung 72 Übersicht über den Komfortparameter Raumlufttemperatur, Haus J, Messzeitraum 21.10.2014 bis 31.08.2015 .....	107
Abbildung 73 Relative Raumluftfeuchtigkeit über Raumlufttemperatur, Stundenmittelwerte Wohnzimmer, Sommerperiode .....	108
Abbildung 74 Relative Raumluftfeuchtigkeit über Raumlufttemperatur, Stundenmittelwerte Wohnzimmer, Winterperiode .....	108
Abbildung 75 Relative Raumluftfeuchtigkeit über Raumlufttemperatur, Stundenmittelwerte Wohnzimmer, Sommerperiode .....	109
Abbildung 76 Titelseite des Handbuchs für NutzerInnen .....	111

### 7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Heizlastberechnung Haustyp 7, Quelle: Energieausweis Büro Höfler & Rosenfelder .....	26
Tabelle 2 Übersicht Wärme- und Energiebedarf der verschiedenen Haustypen bezogen auf das Standortklima in kW/m <sup>2</sup> BGF.a. Zusammenstellung AEE INTEC, Quelle: Energieausweis Büro Höfler & Rosenfelder.....	27
Tabelle 3 Vereinfachte Energiebilanz der 12 Punkthäuser auf Basis der im Projektantrag vorgesehenen Maßnahmen. Der Energieüberschuss auf Endenergieebene wird durch den Solarenergieertrag (thermisch, PV) und durch die Kältelieferung an den vorgelagerten Büro- und Gewerbekomplex erzielt. Quelle: AEE INTEC .....	32
Tabelle 4 Vereinfachte Energiebilanz der 12 Punkthäuser - Umsetzung. Quelle: AEE INTEC .....	33
Tabelle 5 Auflistung aller Fenstertypen und deren Eckdaten, die laut [Nussmüller Architekten 2012a] verwendet werden .....	38
Tabelle 6 Auflistung der in der thermischen Anlagensimulation verwendeten Fenstertypen und deren Eckdaten .....	38
Tabelle 7 Auflistung der in der Gebäudesimulation verwendeten Wandtypen und deren U- Werte .....	39
Tabelle 8 Vergleich der Resultate aus dem Energieausweis (EA) und der thermischen Gebäudesimulation (GebSim) .....	41
Tabelle 9 Vergleich der Resultate aus dem Energieausweis und der thermischen Gebäudesimulation .....	41
Tabelle 10 Ermittlung des Warmwasserbedarfs (WWB) der Punkthäuser auf Basis der bewohnten BGF unter der Annahme, dass je Person 42 l/d45°C benötigt werden .....	42

Tabelle 11 Ermittlung des Warmwasserenergiebedarfs der Punkthäuser auf Basis der bewohnten BGF unter der Annahme, dass je Person 42 l/d <sub>45°C</sub> benötigt werden .....	42
Tabelle 12 Gesamter Nutzenergiebedarf (HWB und WWB) der Punkthäuser.....	43
Tabelle 13 Heizlasten für die Raumheizung und Warmwasserbereitung der Punkthäuser ..	44
Tabelle 14 Darstellung der Eckdaten für das Sondenfeld unter der Bodenplatte der Punkthäuser sowie ein Schnitt und eine schematische Darstellung der Verlegung der U-Rohr Sonden.....	46
Tabelle 15 Eckdaten der Solaranlage, die sich je Bauabschnitt am Dach eines Punkthauses befindet. ....	47
Tabelle 16 Eckdaten der zwei Wärmepumpentypen, von denen jeweils zwei Aggregate in den Haustechnikzentralen installiert sind.....	48
Tabelle 17 Eckdaten der Photovoltaik-Anlage .....	52
Tabelle 18 Bauzeitplan für den 2.Bauabschnitt.....	88
Tabelle 19 Nutzenergieverbräuche Wärme und Strom Haus J pro m <sup>2</sup> BGF und Jahr .....	102
Tabelle 20 Nutzenergieverbräuche Wärme und Strom Haus J pro m <sup>2</sup> BGF und Monat .....	104
Tabelle 21 Haushaltsstromverbräuche in kWh/m <sup>2</sup> WNF und Monat der Wohnungen im Haus J.....	105
Tabelle 22 Haushaltsstromverteilung Haus J.....	105

## 7.4 Abkürzungen

HWB	Heizwärmebedarf [kWh]
HL	Heizlast [kW]
KB	Kühlbedarf [kWh]
KL	Kühlleistung [kW]
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
ES	Erschließung
EG	Erdgeschoß
PH	Penthaus
GebSim	thermische Gebäudesimulation
EA	Energieausweis
spez.	spezifisch
BGF	Bruttogeschoßfläche
PV	Photovoltaik

Simplex	Software zur dynamischen Simulation von Nah- Fernwärmenetzen
TRNSYS	Software zur dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation
COP	Leistungszahl der Wärmepumpe (Coefficient of Performance)
EER	Leistungszahl der Kältemaschine (Energy Efficiency Ratio)
JAZ	Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe
SPF	Jahresarbeitszahl der Kältemaschine (Seasonal Performance Factor)
BA	Bauabschnitt

## **8 Anhang**

### **8.1 +ERS Handbuch für Nutzerinnen**

### **8.2 TQB-Endzertifikat**