

Hocheffiziente Kombinationen von Solarthermie, Photovoltaik und Wärmepumpenanlagen

Daniel Reiterer (AEE NOW)

Ewald Sarugg (Denkstatt)

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

07/2016

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>

Hocheffiziente Kombinationen von Solarthermie, Photovoltaik und Wärmepumpenanlagen

Daniel Reiterer
(AEE NÖ-Wien)

Ewald Sarugg
(Denkstatt)

Wien, 07/2016

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 <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	10
Abstract.....	12
1 Einleitung.....	13
2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt	13
2.1 Beschreibung des Standes der Technik.....	13
2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	14
2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts).....	15
2.4 Verwendete Methoden.....	16
2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung.....	16
3 Ergebnisse des Projektes	17
3.1 Vermessene Objekte und Aufbau der Messung	17
3.1.1 Kurzbeschreibung der zu vermessenden Objekte	17
3.1.2 Ausarbeitung des Messschemas.....	18
3.1.3 Auswahl des Messequipments	19
3.1.4 Ablauf der Messung	19
3.2 Lastmanagementpotential Wärmepumpen und Bedeutung für das österreichische Stromnetz	21
3.3 Kosten der Lastverschiebung in Haushalten	34
3.4 Kostenoptimierung von Seiten des Haushaltes.....	37
3.5 Lebenszykluskosten und Überdimensionierung	48
3.6 Analyse-Tool für Szenarien-Vergleich und -Bewertung von PV-Strom-versus wärmegeführten WP-Betriebsweise in mehreren Optimierungsstufen.....	51
3.6.1 Hintergrund	51
3.6.2 Einflussfaktoren bei WP in Bezug auf Eigenverbrauch	55
3.6.3 Eigenverbrauchsoptimierung bei der Systemkombination WP mit PV	58
3.7 Messtechnische Analyse und Lastverschiebungspotenziale in der Praxis.....	67
3.7.1 Monatsbilanzen & Jahresanalyse	67
3.7.2 Lastganganalyse im Tagesverlauf	91
3.7.3 Lastganganalyse im 5min-Intervall	97
3.7.4 Optimierungspotential durch Ausnutzung vorhandener Speichermassen	98

3.7.5	Nutzens eines nachträglichen hydraulischen Abgleichs für die Systemeffizienz mittels „mywarm“	102
3.7.6	Optimierungspotential durch Tagbetrieb.....	104
3.7.7	Optimierungspotential durch Aufstellung der Außeneinheit	105
3.7.8	Auswirkung des Aufstellungsortes und der Betriebsweise	106
3.7.9	Fazit	108
4	Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms.....	109
4.1	Einpassung in das Programm	109
4.2	Beitrag zum Gesamtziel des Programms	109
4.3	Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt.....	110
4.4	Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse.....	110
5	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	111
5.1	Empfehlungen für künftige Anlagenplanungen.....	112
5.2	Anwendbarkeit der Ergebnisse für Sanierungsbauten	115
6	Ausblick und Empfehlungen	116
7	Anhang.....	117
7.1	Mess- und Ergebnisprotokolle hydraulischer Abgleich	117

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Luftwärmepumpen für Heizung und Warmwasserbereitung in Einfamilienhäusern, welche solar unterstützt werden, sind stark im Trend. Dabei gibt es 2 Varianten, wie diese Unterstützung ausgeführt werden kann:

- Solarthermie
- Photovoltaik (im Folgenden auch als „PV“ bezeichnet)

Luftwärmepumpen stehen immer wieder unter Kritik, da die angegebenen Jahresarbeitszahlen in der Praxis unterschritten werden. Gerade die Kombination von Photovoltaik und Wärmepumpe wird dabei propagiert. Im Projekt soll dargestellt werden wie effizient solare Kombisysteme wirklich sind. Sowohl die Kombination Wärmepumpe – Solarthermie, als auch die Kombination Wärmepumpe - PV wird dabei betrachtet.

Insbesondere wird der Aspekt herausgearbeitet, wie viel von der benötigten elektrischen Energie selbst durch Photovoltaik gedeckt werden kann. Optimierungsmaßnahmen, bezugnehmend auf die Nutzung des Gebäudes als Speichermasse bzw. der Laufzeitoptimierung abhängig vom Solarstrahlungsangebot, sollen in der Praxis betrachtet werden.

Inhalte und Zielsetzungen

Ziel des Projektes ist die detaillierte messtechnische Erfassung der Energieflüsse in Einfamilienhäusern in NÖ mit solar unterstützten Wärmepumpensystemen. Die Kernfrage, die beantwortet werden soll, ist: In welcher Höhe kann im zeitlichen Verlauf der Verbrauch der Wärmepumpe (Lastgang) und auch des Haushaltsstrombedarfs selbst solar gedeckt werden. Es wird vordergründig keine Bilanzbetrachtung, sondern eine kontinuierliche Lastprofilanalyse durchgeführt.

So ging es einerseits um die Systemkonfiguration, aber auch um die Systemoptimierung (Heizung und Warmwasser) auf der Verbrauchsseite, durch:

- regelungstechnische Optimierung,
- Analyse der Auswirkungen von unterschiedlichen Aufstellungsorten der Wärmepumpen-Außeneinheit,
- Vergleich und Analyse der Auswirkungen bei Durchführung eines standardisierten hydraulischen Abgleichs im Wärmeverteilsystem inklusive der wirtschaftlichen Bewertung über den Lebenszyklus,
- Analyse der Auswirkungen einer Überdimensionierung des Wärmepumpensystems im Betrieb durch den direkten Vergleich mehrerer Gebäude,

- Gewinnung von Erfahrungswerten über die realistischen Eigenverbrauchswerte einer auf die Wärmepumpe abgestimmten PV Anlage, um hier auch für die Wirtschaftlichkeitsberechnung von PV Anlagen zuverlässige Zahlen zu erlangen

Methodische Vorgehensweise

Es erfolgte eine kontinuierliche Lastgangvermessung von 4 Gebäuden mit Luftwärmepumpe, in Kombination mit Solarthermie und / oder Photovoltaik. Darauf aufbauend erfolgte eine wirtschaftliche Betrachtung der Systeme und entsprechende Empfehlungen wurden erarbeitet.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieses Projekts konnten erstmals Zahlen und Fakten und konkrete organisatorisch-technologische Maßnahmen-Empfehlungen liefern hinsichtlich:

1. Darstellung der Synergie von PV und Luft-Wärmepumpen in Bezug auf die Eigenlastdeckungsfähigkeit des Gebäudes
2. Analyse dieser Kombination mit dem Gebäude als Kurzzeitwärmespeicher
3. Gewinnung von Erfahrungswerten über die realistischen Jahresarbeitszahlen von Luftwärmepumpen
4. Auswirkungen von diversen kleineren Optimierungsmaßnahmen (Hydraulischer Heizungsabgleich, Laufzeitänderung der Wärmepumpe etc.)
5. Zusammenfassung der Ergebnisse in Form von Dimensionierungsempfehlungen

Ausblick

Durch den Einsatz von Stromspeichern werden sich einige Probleme lösen. Das Energiemanagement des Haushaltsstroms wird damit vereinfacht werden. Bei der Warmwasserbereitung besteht durch vorhandene Wärmespeicher bereits jetzt eine effektive Möglichkeit um Energie aus Solarthermie oder Photovoltaik und Wärmepumpe einzulagern. Nicht gelöst wird jedoch das Problem der mangelnden Eigendeckungsmöglichkeit mit Photovoltaikstrom im Winter. Nur durch den ambitionierten Ausbau der Windkraft lässt sich dieses Problem lösen, um Strom für Haushalt und insbesondere den Wärmepumpen-Betrieb auch im Winter aus erneuerbaren Quellen zur Verfügung stellen.

Abstract

Starting point/Motivation

Combinations of heat pump systems and solar thermal units or photovoltaic systems (PV) are installed in detached houses as well as in large-scale projects. Thus the possible coverage of a heat pump's demand through photovoltaic is unanswered yet.

The main focus of the project was to determine the possible self coverage of heat pump systems by photovoltaic, utilizing high resolution load- and generation- profiles.

Contents and Objectives

It was the aim of the project to measure several systems accurately and to determine the potential for the combination of solar thermal, photovoltaic and heat pump systems. The building was utilized as a short-term heat storage in order to maximise the usage of Photovoltaic-Energy for the operation of the heat pump.

Methods

A continuous load profile measurement of 4 buildings with air heat pumps was carried out - in combination with solar thermal plants and/or photovoltaic. Considering the economic as well as the technical facts, planning recommendations were derived. The potential for heat pumps for load management of the power grid in Austria was determined.

Results

The central objective was to develop an algorithm for dimensioning a PV system in combination with a heat pump. Furthermore the results were disseminated to interested parties (designers, installers, operators, etc.) to publicise the project results. The results of this project deliver facts and figures and specific organizational and technological measures and provide recommendations regarding:

1. Figure of the synergy of PV and heat pumps concerning self load covering of buildings
2. Analysis of the combination with the building as a short-term heat storage
3. Experience on the realistic annual coefficient of heat pumps
4. Effects of various smaller optimization measures (hydraulic heating balance, runtime optimization of the heat pump, etc.)
5. Summary of the results in the form of a planning recommendation

Prospects / Suggestions for future research

Some problems will be solved with the development and integration of batteries. The energy management of the domestic power demand will be simplified. For hot water existing water tanks already provide effective ways to store energy from solar thermal plants or PV and heat pumps. However a self sufficient home through PV in winter will not be possible. Only the ambitious expansion of wind power can solve this problem to provide electricity for households and esp. to power heat pumps from renewable sources in winter.

1 Einleitung

Solarthermieranlagen und Wärmepumpen werden mittlerweile als respektable regenerative Energieerzeuger von Politik, in Förderprogrammen und dem Markt akzeptiert und angenommen. Auch die Kombinationen aus Solarthermie und Wärmepumpen für die Heizungs- und Warmwasserbereitung werden aktuell am Markt mehr und mehr nachgefragt und inzwischen auch von vielen Systemanbietern angeboten. Auch die Photovoltaik ist technisch mittlerweile auf einem sehr hohen Standard und konnte in der jüngeren Vergangenheit den Nischenmarkt durch den starken Preisverfall verlassen.

Die Vermarktung von Photovoltaik-Wärmepumpen-Kombinationen erfolgt unter dem Motto der optimierten Eigenversorgung. Kernfrage des Projektes war es, auszuloten, welcher Anteil an Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom wirklich aus der eigenen Photovoltaikanlage gedeckt werden kann. Es wurden darüber hinaus Low-Tech Optimierungsmöglichkeiten zur Erhöhung der Eigendeckung erarbeitet, umgesetzt und ausgewertet.

Eine Potentialabschätzung für Österreich wurde durchgeführt, es wurde die Bedeutung von Wärmepumpenheizungen als Instrument des elektrischen Last- bzw. Netzmanagements dargestellt. Ein Tool zur Optimierung der wirtschaftlichen Betriebsweise von Photovoltaikanlagen in Kombination mit Wärmepumpen wurde erstellt.

2 Hintergrundinformationen zum Projekteinhalt

2.1 Beschreibung des Standes der Technik

Die Nutzung der Wärmepumpe (egal ob Tiefenbohrung, Flächenkollektor oder Luft) entspricht dem Stand der Technik. Aktuelle Evaluierungen¹ solcher Systeme zeigen allerdings den hohen Bedarf einer energetischen Betriebsüberwachung und ein hohes Optimierungspotential zur Verbesserung der Energieeffizienz im realen Betrieb.

Die Kombination aus Wärmepumpe mit thermischer Solaranlage wird sowohl im Einfamilienhausbereich, als auch bei Großbauten mittlerweile häufig eingesetzt. Der gezielte

¹ <http://www.ait.ac.at/departments/energy/research-areas/energy-for-the-built-environment/renewable-heating-and-cooling/ka-waermepumpe/>

<http://www.ait.ac.at/departments/energy/research-areas/energy-for-the-built-environment/renewable-heating-and-cooling/sepemo/>

http://www.aee.at/aee/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=113

Einsatz von Photovoltaik als Teilstromversorgung für Wärmepumpen hat allerdings derzeit noch keine Bedeutung. Daher sind hier wesentliche Forschungsfragen offen, um relevante Daten und Fakten zu generieren. Auch vor dem Hintergrund, wie sich eine sinnvolle Kombination auf die Wirtschaftlichkeit des Systems auswirkt oder welche Auswirkungen ein optimaler Aufstellungsort der Außeneinheit und ein hydraulischer Abgleich haben. Gerade im privaten Wohnbaubereich, wo deutlich höhere Stromkosten pro kWh gegeben sind, könnte diese Kombination durchaus sehr attraktiv sein.

Die Technologien Wärmepumpen, Solar und PV für sich sind jeweils technologisch bereits sehr weit entwickelt, und in der Praxis erprobt. Die Kombination der drei Techniken bzw. deren aufeinander abgestimmter Betrieb wurde noch nicht ausführlich dokumentiert. Im Gegensatz dazu gibt es bezüglich der Kombination von Solarthermie und Wärmepumpen sehr ausgereifte Systeme und mehrere Studien².

Es ist insofern verwunderlich, dass auf dem Gebiet der Kombination von Wärmepumpe – Solarthermie – Photovoltaik für die Deckung des Energiebedarfs für Heizung und Warmwasserbereitung kaum Studien existieren, da bereits derartige Kombinationssysteme von Unternehmen angeboten werden. In Österreich wurde bis dato noch keine Studie zum Thema „kombinierte Wärmepumpenanlagen mit Photovoltaik“ durchgeführt.

In dem von der FFG geförderten Projekt F-2157 - „Analyse der Jahresarbeitszahlen von unterschiedlichen Wärmepumpenanlagen“ wurde gezeigt, dass das Ausmaß der Emissionsreduktion auch wesentlich von der Zusammensetzung des Strommixes abhängt.

Wird der Strom von einem Stromversorger mit einem hohen Kohlestromanteil bezogen, ist die Umweltbilanz einer Wärmepumpe meist nicht besser als jene von einem Gas-Brennwertkessel. Bei „grünem“ Strom gibt es hingegen deutliche Vorteile für die Wärmepumpe, insbesondere bei selbstproduzierten Solarstrom.

Die Integration der Wärmepumpe in ein Solarkombisystem ist jedoch um einiges komplexer als die bloße Installation der individuellen Einzelanlagen. Die tatsächlich mögliche Nutzbarkeit (aufbauend auf Last- und Erzeugerprofilen) von Photovoltaikstrom in Wärmepumpen wurde im Projekt Sol2PumpEff analysiert.

2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Wie bereits Vorgängerstudien³ gezeigt haben, laufen viele der installierten Wärmepumpen nicht in einem optimalen Wirkungsgradbereich (Jahresarbeitszahl) und dadurch werden

² <http://www.aee-intec.at/Uploads/dateien838.pdf> ,
http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i3070/AG_EEG/Projekte/SolPumpEff.pdf
<http://www.hausderzukunft.at/results.html/id5869>

³ <http://www.noewohnbauforschung.at/dokumente/uploads/2157.pdf>

häufig deutlich geringe Arbeitszahlen erreicht als laut Hersteller angegeben. So zeigen mehrere Studien⁴, in denen Wärmepumpen vermessen wurden, Jahresarbeitszahlen deutlich unter dem erreichbaren bzw. den von den Herstellern angegebenen. Hier liegen laut allgemeinen Expertenmeinungen hohe Potentiale, die aber für den Wärmepumpenbetreiber (Hauseigentümer) oft nicht zugänglich sind bzw. das Bewusstsein darüber zu wenig ausgeprägt ist.

Auch ist die Fachkompetenz der Installateure ein entscheidendes Kriterium. Bei den Untersuchungen wurden viele Installationsmängel festgestellt, zum Beispiel fehlender hydraulischer Abgleich, fehlerhafte Regelung der Speicherbeladung, falsche Temperaturspreizung sowohl bei der Wärmequelle als auch bei der Wärmesenke.

So wird – aufgrund mehrfacher oben beleuchteter Faktoren - vermutlich ein Großteil der neuen Luft-Wasserwärmepumpen nicht optimal betrieben und verursacht einen höheren Stromverbrauch, höhere CO₂ Emissionen und höhere Kosten als notwendig.

Auch die zeitlich hochauflösende Betrachtung von Lastströmen auf der elektrischen und gleichzeitig auf der thermischen Seite von Einfamilienhäusern spielte bis dato nur eine untergeordnete Rolle. Doch nur dadurch ist es möglich, die tatsächlich möglichen Eigendeckungsgrade durch hauseigene Photovoltaikanlagen darzustellen.

Insbesondere hinsichtlich der Gesamtperspektive von erhöhtem Einsatz von Wärmepumpen und der stundengenauen Analyse von Aufbringung und Bedarf bestehen Synergien mit dem Projekt „**RESYS-Tool** – Simulation des zeitlichen Verlaufs regenerativer Energien – Strategie-Tool für regionale zukunftsstabile Energiesysteme“. Hauptziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines Tools für Gemeinden/Regionen, zur Bestimmung des lokal optimalen 100% erneuerbaren Energieträger/Technologie-Mix. Dazu wird ein neues mathematisches Modell entwickelt, das lokale Faktoren, wie Klima, verfügbare Flächen für Biomasseproduktion, Photovoltaik oder Solarthermie, Speicherthematik, aktuelle Verbrauchsstrukturen sowie sektorale Energieeinsparpotenziale und -notwendigkeiten unter Berücksichtigung von tages- und jahreszeitlichen Schwankungen analysiert. Koordination: akaryon, Partner: Ingenieurbüro Dr. Günter Wind, ecopolicy-Lab, energieautark und die Energieagentur der Regionen. Gefördert durch: FFG Coin Programmlinie Kooperation und Netzwerke 4. Ausschreibung, Projektnr. 830731, www.energiengewenderechner.at.

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

Im Projekt wurde anhand von 4 realen Anlagen untersucht, wie sich das Zusammenspiel von Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpe in der Praxis gestaltet. Wichtig dabei war vor

⁴ <http://www.klimaaktiv.at/article/articleview/84037/1/12069>

allem weg vom Bilanzdenken zu kommen, und die realen zeitabhängigen Energieströme darzustellen.

Das elektrische sowie thermische Lastverhalten von Gebäuden mit dem Heizsystem Luftwärmepumpe wurde im 5-min Intervall analysiert. Dadurch konnte das reale Lastverhalten sowie der Netzbezug, und bei Installation einer Photovoltaikanlage die Lieferung ins Netz bzw. der Eigenbedarfsdeckungsgrad, aufgezeigt werden. Darauf aufbauend wurden Optimierungsmaßnahmen abgeleitet, welche den Eigenverbrauch maximieren, sowie die Effizienz des Gesamtsystems steigern sollen.

Da bereits heute Wärmepumpen im Regelfall durch den Netzbetreiber gesteuert werden könnten, liegt es nahe, dieses zunehmende Potenzial der Nachfragesteuerung im Zusammenhang mit der ebenso zunehmenden dargebotsabhängigen Erzeugungsleistung erneuerbarer Energiequellen zu nutzen. Allerdings gibt es noch keine Untersuchungen über die Größe des nutzbaren Potenzials von Wärmepumpen per Lastmanagement. Struktur und Größenordnung von Kosten und Nutzen sind damit nicht klar. Schließlich sind mögliche Barrieren der Erschließung dieses Potenzials zu identifizieren. Die im Rahmen des gegenständlichen Projekts vorgeschlagene Studie soll einen Beitrag zur Beantwortung dieser Fragen liefern.

2.4 Verwendete Methoden

- Vermessung der Energieströme im 5min-Intervallen
- Ableitung und Verallgemeinerung von Empfehlungen für die untersuchten Systemkombinationen Wärmepumpe, Photovoltaik und Solarthermie
- Qualitative Interviews
- Statistische Methoden wie Korrelationsanalysen
- Szenarioentwicklung und Modellierung von Einflussparametern und Hochrechnung der Auswirkungen
Ökonomische Bewertung mit Sensitivitätsanalysen sowie eine detaillierte Dokumentation der praktischen Erfahrungen
- wirtschaftliche Bewertung durch die Kapitalwertmethode

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

Die im Projekt verwendeten Daten wurden in eigens dafür durchgeführten Messungen gesammelt. Insbesondere die notwendige kontinuierliche Leistungsmessung von thermischen und elektrischen Lasten erforderte diese Vorgehensweise.

3 Ergebnisse des Projektes

3.1 Vermessene Objekte und Aufbau der Messung

3.1.1 Kurzbeschreibung der zu vermessenden Objekte

Bei den ausgewählten Objekten handelt es sich um Niedrigenergiehäuser nach aktuellem Baustandard, welche mit Luftwärmepumpen beheizt werden. In allen Fällen ist auch eine Solaranlage vorhanden, welche je nach Objekt als solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung, PV Anlage oder einer Kombination aus beiden ausgeprägt ist.

• Heizwärmebedarf: $\sim 30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ • Luft-Wasser-Wärmepumpe $5,7 \text{ kW}_{\text{th}}$ • Zusatzheizstab (intern) 6 kW • Solarthermieanlage (Warmwasser, $5,2 \text{ m}^2$ Flachkollektor) • 400 l WW-Speicher • 3 kWp Photovoltaikanlage	
--	---

Abbildung 1: Charakteristik Haus 1

• Heizwärmebedarf: $\sim 35 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ • Luft-Wasser-Wärmepumpe $7,4 \text{ kW}_{\text{th}}$ • Solarthermieanlage (Warmwasser, $5,2 \text{ m}^2$ Flachkollektor) • Zusatzheizstab (intern) 6 kW • 400 l WW-Speicher • Aufstellungsort der Außeneinheiten unterschiedlich: Bei „Haus 2“ suboptimal in einem „Kälte Loch“	
---	--

Abbildung 2: Charakteristik Haus 2 & 3

• Heizwärmebedarf: $\sim 30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ • Luft-Wasser-Wärmepumpe $12 \text{ kW}_{\text{th}}$ • 1000 l Puffer-Speicher (für Heizung und Warmwasser) • 5 kWp Photovoltaikanlage • Kontrollierte Wohnraumlüftung	
--	---

Abbildung 3: Charakteristik Haus 4

3.1.2 Ausarbeitung des Messschemas

Als erster Schritt wurde ein Messkonzept erstellt, um die gestellte Aufgabenstellung effizient abwickeln zu können. Ziel war es die Lastprofile von Wärmepumpe (sowohl auf der elektrischen als auch auf der thermischen Seite) zu erfassen. Auf der Erzeugungsseite war die Aufzeichnung des Ertrages aus Photovoltaik bzw. Solarthermie gefragt. Als Minimalanforderung für das Aufzeichnungsintervall wurde ein Zeitschritt von 15 min definiert.

Über die im Projekt gestellten Anforderungen hinaus wurden auch noch weitere Messgrößen aufgezeichnet, da dies einerseits durch einen geringfügigen Mehraufwand möglich war, und auf der anderen Seite einen wesentlichen Erkenntnisgewinn darstellt. So ist der Gesamthaushaltsstromverbrauch als Lastgang (inkl. Heizung) ein wesentlicher Faktor,

welcher mit erhoben wurde. Auch die Berechnung der Jahresarbeitszahl der Wärmeerzeugungsanlage in Abhängigkeit der Jahreszeit bzw. des Betriebszustandes der Wärmeerzeugungsanlage (Warmwasserbereitung vs. Heizbetrieb) wurde als wesentliches Element in das Projekt aufgenommen.

In Abbildung 4 ist das Messschema (im Vollausbau) ersichtlich, nach dem die zu vermessenden Objekte ausgestattet wurden. Nicht in allen vermessenen Häusern sind alle Systeme vorhanden (siehe Abbildung 1-3)

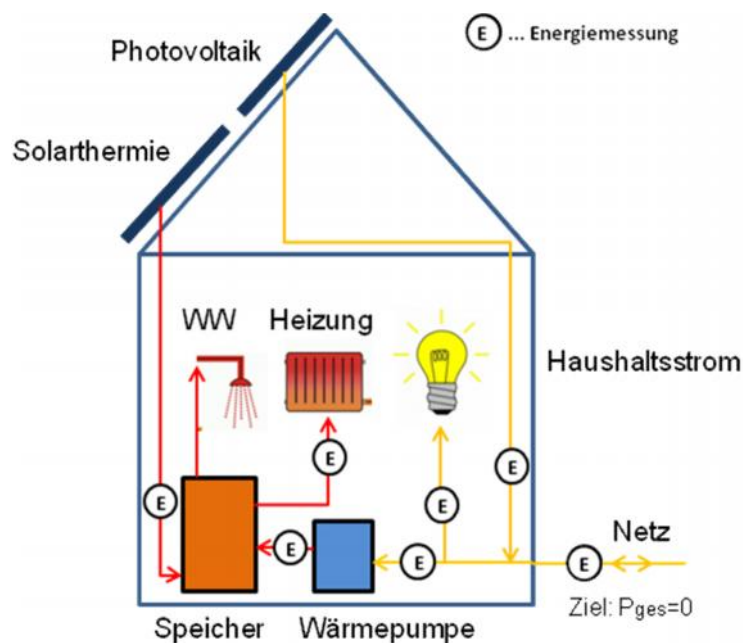


Abbildung 4: generisches Messschema

3.1.3 Auswahl des Messequipments

Es wurde ein Messequipment gewählt, welches die folgenden Anforderungen erfüllt:

- Erfassung der Messwerte aus Elektro- sowie Wärmemengenzählern
- Temperaturerfassung
- Aufzeichnung zumindest im 15min-Intervall
- Lokale Datenspeicherung
- Fernwartung und Datendownload per Internet

3.1.4 Ablauf der Messung

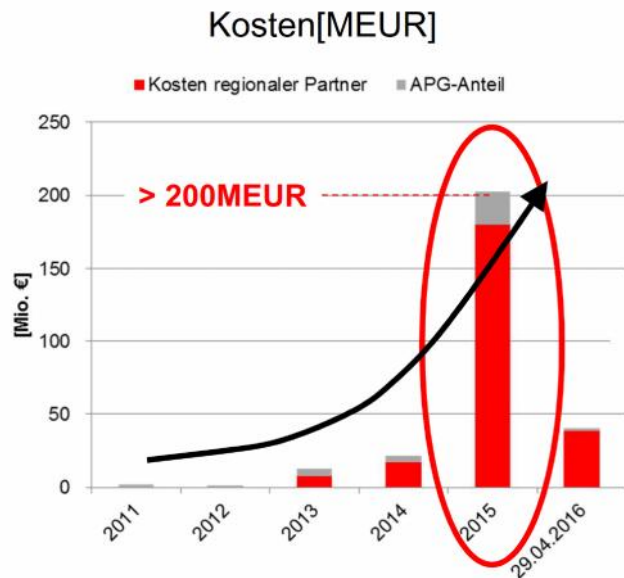
Nach der Installation des Messequipments im Frühjahr 2014 wurde mit der zweijährigen Messung begonnen. Zu Beginn waren einige Vor-Ort-Termine erforderlich, um die Funktionsfähigkeit zu gewährleisten. Dies betraf vor allem die Sicherstellung einer

Funkverbindung in den vor Ort befindlichen Stahlbetonkellern. Dieses Problem ist nicht neu und stellt bei vielen kurzfristigen Vermessungen, wo keine permanente Leitungsanbindung hergestellt werden soll, eine Herausforderung dar. Die Messung verlief danach relativ problemlos, und es konnten die notwendigen Daten im 5min-Intervall aufgezeichnet werden.

3.2 Lastmanagementpotential Wärmepumpen und Bedeutung für das österreichische Stromnetz

1. Hintergrund und Notwendigkeit von Lastverschiebung in AT

Die aus verschiedenen Gründen erforderliche Energiewende führt dazu, dass sich derzeit die Stromerzeugungslandschaft fundamental ändert. Das bisherige Stromversorgungssystem wurde vor allem für einfach berechen- und steuerbare Großkraftwerke errichtet. Die Kraftwerke wurden nach Möglichkeit in Verbrauchernähe errichtet, um die (Netz-)Infrastrukturen überschaubar halten zu können. In Österreich war dies nicht immer möglich, da traditionell bereits sehr viel erneuerbare Energie in Form von Wasserkraftwerken zum Einsatz kam. Daher steht in Österreich wohl eine bessere Netzinfrastuktur zur Verfügung, als in manch anderen Ländern. Die nunmehrige Dezentralisierung der Erzeugungslandschaft, insbesondere durch Photovoltaikanlagen, bzw. durch die Erschließung neuer Erzeugungsformen (Wind) in bisher nicht besonders ausgebauten (Netz-)Regionen (Weinviertel, Burgenland) führen dazu, dass sich nicht nur der Kraftwerkspark ändert bzw. ändern muss, sondern auch die Infrastruktur dahinter (Netze, Speicher, Steuerung). Während die dezentrale Erzeugung rasch voranschreitet gibt es in den anderen Bereichen noch erheblichen Nachholbedarf, was auch zu zunehmenden Herausforderungen in der Netzsteuerung führt. Die Hauptursachen entstehen dabei gar nicht im Inland, sondern in den Nachbarnetzen bzw. werden durch den Energy-only-Market hervorgerufen, der bei der Preisbildung keine Rücksicht auf die infrastrukturellen Voraussetzungen nimmt. So steigen etwa die Erfordernisse für netzstabilisierende Maßnahmen (Redispatching und Intraday-Stops) in Österreich seit Jahren exponentiell an – siehe Abbildung 5.



**Abbildung 5: Entwicklung der Kosten für Rückabwicklung des Marktergebnisses Redispatch;
Quelle APG**

Hierzu hält der österreichische Übertragungsnetzbetreiber Austrian Power Grid (APG) in seinem Geschäftsbericht 2015 fest:⁵

Zur Bewältigung von Engpässen waren 2015 oftmals massive kraftwerkseitige Engpassmanagement-Maßnahmen (Redispatch) in Österreich erforderlich, um die Netzsicherheit bei der APG und im europäischen Übertragungsnetz zu gewährleisten. Im Jahr 2015 handelte es sich hierbei um EPM-Maßnahmen im Ausmaß von rd. 2.200 GWh (im Vergleich dazu liegt der Jahresverbrauch von Graz bei rd. 1.200 GWh) und einen Gesamtaufwand i. H. v. 201,1 Mio. €. Ursache der Engpässe im APG-Netz waren hohe Nord-Süd- sowie West-Ost-Stromflüsse, teilweise im Zusammenhang mit notwendigen Leitungsabschaltungen. Die genannten weiträumigen Stromflüsse entstehen in Verbindung mit der zunehmenden Wind- und Photovoltaik-Erzeugung in Deutschland bzw. Nordeuropa und wurden während der diesjährigen Sommermonate durch die geringe Wasserkrafterzeugung in Zentral- und Südosteuropa verstärkt. Kraftwerke in der Regelzone APG mussten zudem häufig für die Beherrschung von Engpässen außerhalb Österreichs – hauptsächlich in Polen und Deutschland – eingesetzt werden.

War es bisher die Erzeugung, welche sich nach dem schwankenden Bedarf auf Seiten der Verbraucher ausrichtete und auch ausrichten konnte, geht es nun immer mehr darum, durch Anpassung der Nachfrage die Volatilität auf der Erzeugungsseite (beeinflusst durch Witterungsbedingungen) auszugleichen. Dies insbesondere, solange es keine adäquate Energiebevorratung gibt, angefangen von "inhärent = sofort" über den

⁵ Vgl. Austrian Power Grid AG, GESCHÄFTSBERICHT 2015, S. 17

täglichen Gebrauch (Minuten, Stunden, wenige Tage) bis hin zum Überbrücken vielleicht sogar mehr als einem Jahr. Wenn an die Investitionen gedacht wird, dann sind es sogar Jahrzehnte. Damit muss ein Zeitbereich von 12 Zehnerdekaden betrachtet werden, was derzeit kaum in seiner Gesamtheit erfolgt. Aktuelle Speicherlösungen, etwa in Form von Akkumulatoren, können nur einen sehr geringen Beitrag zur Energiebevorratung leisten, auch wenn diese Form unverzichtbar ist. Gleichzeitig ist auch die Speicherkapazität der bisher wirtschaftlichsten Form – der Pumpspeicherkraftwerke – begrenzt bzw. rentieren sie sich unter den derzeitigen Marktrahmenbedingungen kaum, was zu einer zusätzlichen Verschärfung der Situation führen wird. Während Österreich aufgrund seiner geografischen Lage mit Pumpspeicherkraftwerken noch bevorzugt ist, sieht die Lage etwa in Deutschland erheblich differenzierter aus, wie Abbildung 6 zeigt.

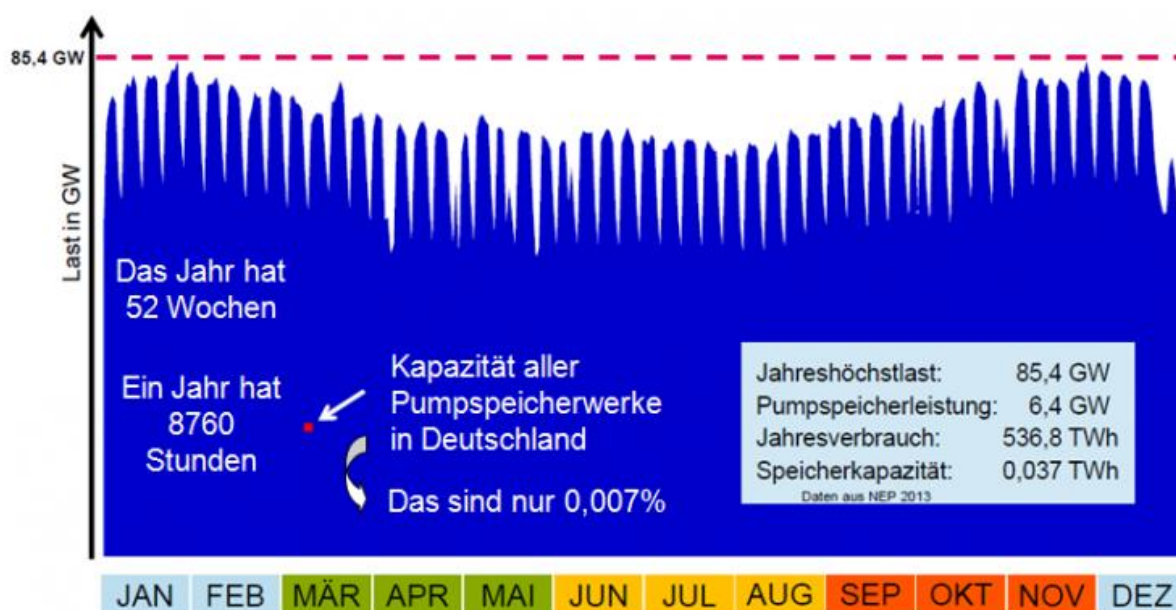


Abbildung 6: Last- und Speichersituation in Deutschland; Quelle: AMPRION

Um die Volatilität in der Erzeugung auszugleichen, wird eine hohe Erwartung in das sogenannte Demand-Side-Management oder Lastmanagement gesetzt. Damit sollen sich die Energienutzer nach der Erzeugung richten. Daher ist es auch ein wesentliches Ziel dieses Forschungsprojekts, den Verbraucher Wärmepumpe mit einer volatilen Eigenstromerzeugung (PV-Anlage) bzw. mit möglichen Erzeugungsüberschusskapazitäten besser in Übereinstimmung zu bringen.

Dass es sich hier um ein dringliches Thema handelt, zeigen etwa Marktereignisse, wo es immer wieder durch ein Überangebot an Strom zu deutlichen Negativpreisen an den Spot-Strommärkten kommt.⁶ Gleichzeitig sagt ein globaler Strommarktpreis nichts über die lokale/regionale Netzsituation aus. Denn der Marktpreis entsteht durch eine regionale Überkapazität, die jedoch mangels Infrastrukturvoraussetzungen (Netze) nicht an

⁶ Vgl. 08. Mai 2016, zwischen 14 und 15 Uhr, -130 Euro pro MWh; URL: <http://www.eex.com/de/marktdaten/strom/spotmarkt/auktion#!/2016/05/08>

etwaige Bedarfsträger transportiert werden kann, sondern erst wieder dort erzeugt werden muss, was wiederum zu enormen Zusatzkosten führt (Abbildung 5). Die europäische Stromversorgungsinfrastruktur wurde nie für einen großräumigen Stromhandel und Transport ausgelegt.

Wie häufig es in den vergangenen Jahren am deutsch-österreichischen Strommarkt zu solchen Null bzw. Negativpreisen gekommen ist, zeigt Abbildung 7. Während im ersten Halbjahr 2016 die Negativstrompreise etwas rückläufig waren (Stand 12.06.16: 45 Stunden), haben die Stunden mit Strompreisen unter 20 Euro pro MWh Stunde signifikant zugenommen. Unter diesem Preis sind nicht einmal Wasserkraftwerke mehr wirtschaftlich zu betreiben (Grenzkosten). Während es 2015 rund 400 Stunden mit Preisen zwischen 0 und 20 Euro gab, waren es im ersten Halbjahr 2016 bereits deutlich mehr als 600 Stunden.⁷

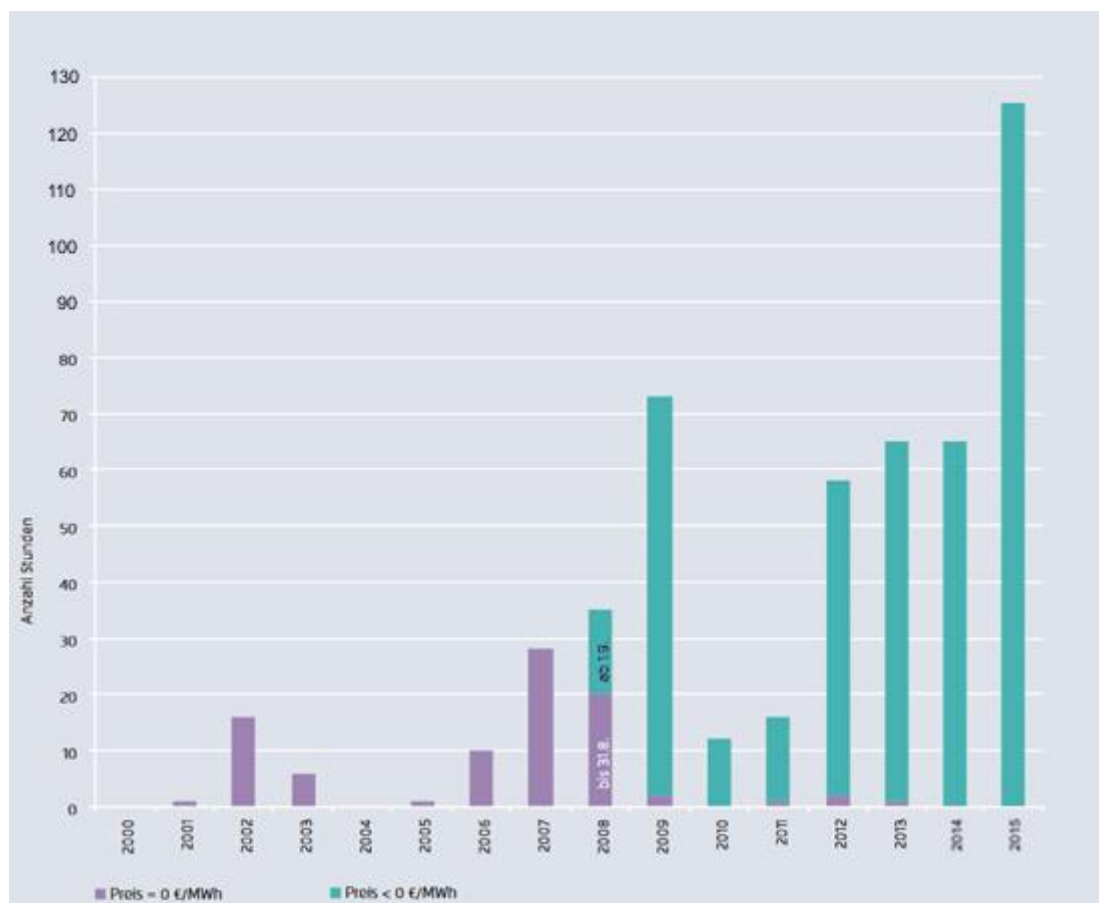


Abbildung 7: Häufigkeit von Null- oder negativen Preisen in der EEX-Day-ahead-Auktion⁸

⁷ Vgl. Negativstrompreistage unter URL: <http://www.saurugg.net/strom-blackout/risiko-eines-strom-blackouts/negativstrompreistage>

⁸ Energy Brainpool GmbH & Co. KG, Dr. Patrick Graichen uM, Juni 2014, Seite 16 und mit den Zahlen 2014, 2015 ergänzt – siehe Negativstrompreistage unter URL: <http://www.saurugg.net/strom-blackout/risiko-eines-strom-blackouts/negativstrompreistage>

Eine besondere Herausforderung bei der Stromerzeugung aus Wind und Sonne ist die hohe Wetterabhängigkeit und die nach wie vor enorme Schwankungsbreite bei den Prognosen. Während diese oft sehr genau sein können, bringen einzelne Ausreißer das System an die Belastungsgrenze, wie etwa am 14. Februar 2016 mit einer Differenz von rund 1 GW (Abbildung 8), bei einer gleichzeitigen Last von rund 7 GW.

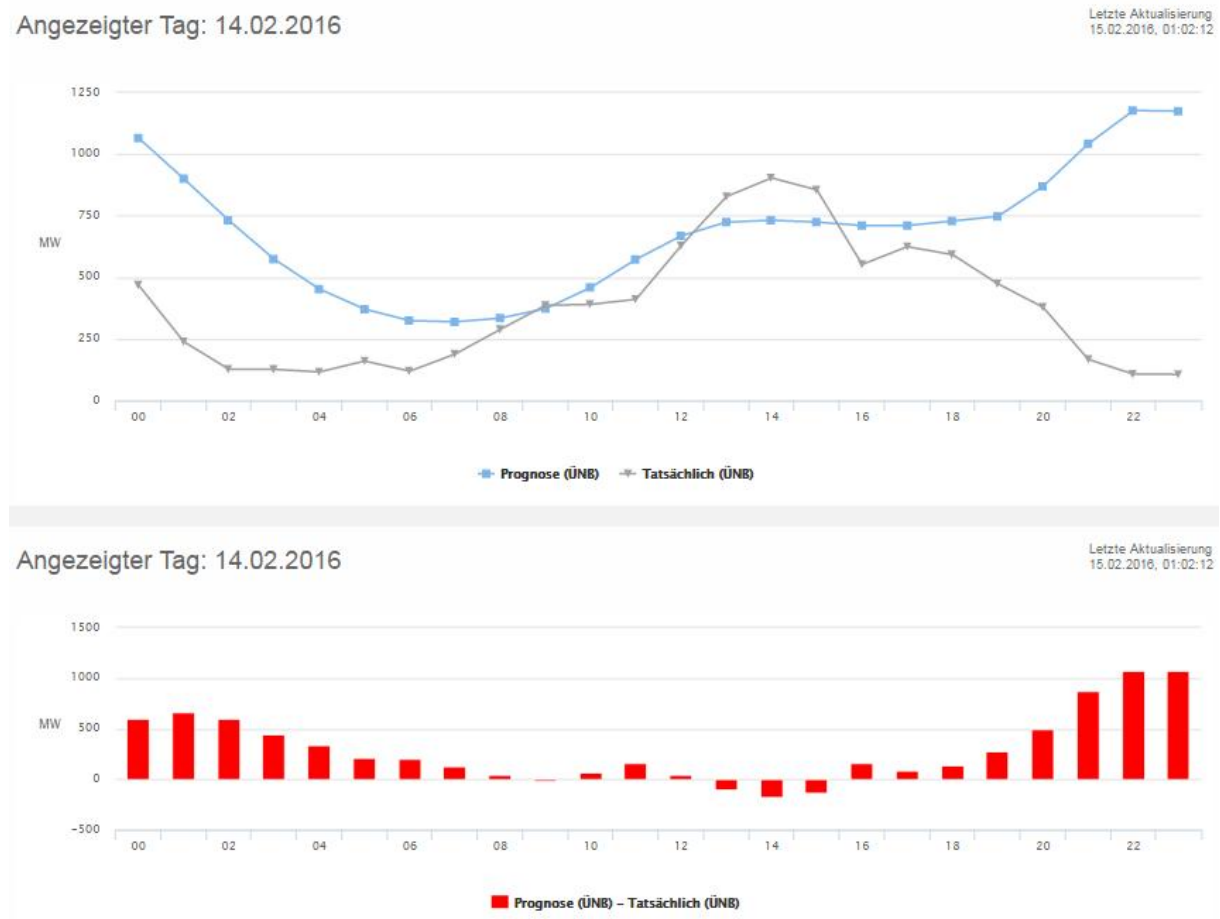


Abbildung 8: Differenz Prognose-Tatsächliche Erzeugung; Quelle: www.eex-transparency.com

Eine andere Herausforderung stellen regionale Schwankungen dar, speziell in Ostösterreich, wo es bis vor wenigen Jahren kaum Erzeugungsanlagen gab. Heute ist hier die österreichische Windstromproduktion konzentriert und das Burgenland kann beispielsweise zu einzelnen Zeitpunkten ein Vielfaches des Eigenverbrauches produzieren. Die dabei mögliche sehr hohe Volatilität, wie etwa am 05.10.2015 (**Abbildung 9**), wirkt sich bis ins Übertragungsnetz aus und stellt auch konventionelle Kraftwerke vor enormen technischen Herausforderungen, um diese Schwankungen auszugleichen.



Abbildung 9: Tagesschwankungen im Burgenland

Diese Schwankungen machen sich auch durch einen Anstieg an (negativer) Regelernergie bemerkbar (**Abbildung 10**). Dies führte teilweise auch zu deutlichen Kosten für die Beschaffung von Regelernergieprodukten. So stiegen die Kosten allein im Vergleichszeitraum 2012 – 2013 um knapp 10 Prozent von 157 Millionen auf über 170 Millionen Euro.⁹ 2014 stiegen diese Kosten weiter an - konnten dann aber 2015 durch diverse Maßnahmen wieder stabilisiert und gesenkt werden.¹⁰ Dies konnte aber nicht bei der Quantität und Qualität der erforderlichen Netzeingriffe zur Aufrechterhaltung der Netzsicherheit erreicht werden.¹¹

⁹ Strommarktdesign für die Integration weiter steigender Anteile erneuerbarer Energie in Österreich und Europa, TU WIEN Reinhard Haas, März 2015, Seite 161

¹⁰ https://www.e-control.at/documents/20903/388512/2016_01_29_PA_Regelernergie_Bilanz+2015.pdf/d6be5684-ed3-4b4c-bb58-f61551f1b69f

¹¹ Interview Herbert Saurugg 30.5.2016

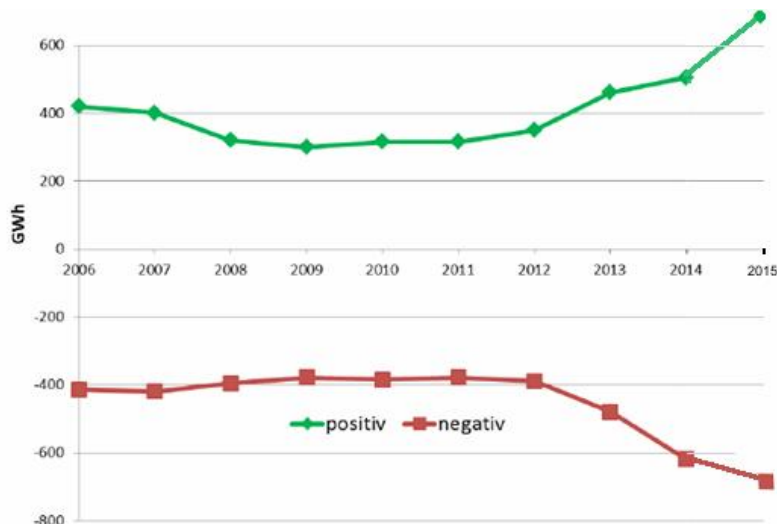


Abbildung 10: Entwicklung der Ausgleichsenergiemengen in Österreich (seit Gründung der OeMAG) 2006-2014¹² bzw. ergänzt um 2015¹³

Photovoltaik- und Windkraftanlagen können, speziell in Deutschland durch das Erneuerbare Energie Gesetz (EEG) geregelt, die produzierte elektrische Energie unabhängig vom Bedarf ins Stromnetz einspeisen. Ein Eingriff darf erst dann erfolgen, wenn die Netzsicherheit nicht mehr aufrechterhalten werden kann. Auch hier steigt der Umfang der Eingriffe massiv an, wie etwa eine Auswertung des deutschen Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz zeigt (Abbildung 11).¹⁴

Anmerkung: Zur Beseitigung einer Störung oder einer Gefährdung der Versorgungssicherheit werden netz- oder marktbezogene Maßnahmen wie zum Beispiel Redispatch und Countertrading ergriffen (§13.1 EnWG). Reichen diese Maßnahmen nicht aus, so müssen weitergehende Maßnahmen ergriffen werden, um die Gefährdung oder Störung der Systemsicherheit zu vermeiden oder zu beseitigen. Der Netzbetreiber ist dann berechtigt und verpflichtet Stromeinspeisungen (regenerativ und konventionell), Stromabnahmen (Lastabwurf) und Stromtransite anzupassen (§13.2 EnWG).

¹² Strommarktdesign für die Integration weiter steigender Anteile erneuerbarer Energie in Österreich und Europa, TU WIEN Reinhard Haas, März 2015, Seite 161

¹³ Datenquelle: https://www.e-control.at/documents/20903/26393/AE_4Q2015.pdf/b90ffb25-5f0c-4163-a244-d746159b767b

¹⁴ Siehe unter URL: <http://www.50hertz.com/Netzlast/Karte/index.html>

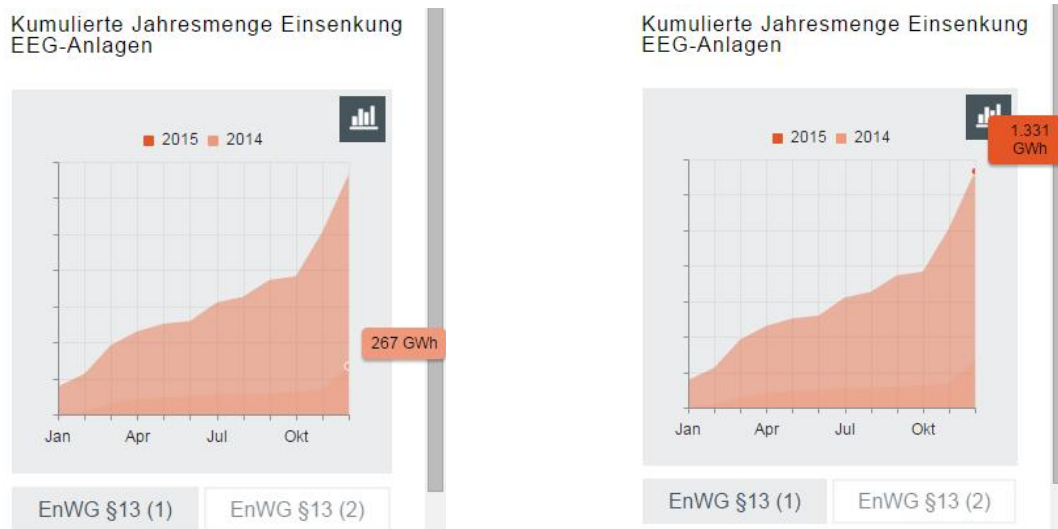


Abbildung 11: Eingriffe nach EnWG §13 (2) des deutschen Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz – links 2014 rechts 2015 Summe; Quelle: 50Hertz

Die fluktuierende Erzeugungscharakteristik führt daher zu einer zunehmenden Belastung der restlichen Strominfrastruktur, da die Schwankungen zu jedem Zeitpunkt ausgeglichen werden können müssen, da es andernfalls zu einem Netzzusammenbruch kommen würde. Dabei geht es nicht nur um regionale Herausforderungen, sondern diese müssen auch zunehmend im gesamteuropäischen System bewältigt werden.

Eine dezentralisierte Erzeugungslandschaft, vor allem wenn wir Richtung 100 Prozent erneuerbare Energien vorwiegend aus Wind und Sonne gehen wollen oder müssen, erfordert ebenso ein dezentralisiertes Stromversorgungssystem. Das zentralisierte großtechnische System ist durchaus in der Lage einen gewissen Umfang an dezentralisierten Einspeisern aufzunehmen und zu kompensieren. Die Netzinstabilitäten und Eingriffserfordernisse nehmen jedoch auf nationaler wie auch europäischer Ebene signifikant zu und damit steigt die Gefahr für einen europaweiten Strom- und Infrastrukturausfall („Blackout“), auf welchen unsere Gesellschaft nicht vorbereitet ist.¹⁵ Ein solcher Kollaps würde nicht durch ein Einzelereignis ausgelöst werden, sondern indem mehrere an und für sich beherrschbare Ereignisse zum falschen Zeitpunkt zusammenkommen. Und je mehr potenzielle Ereignisse auftreten, desto wahrscheinlicher kann diese Kumulation eintreten.

Ein dezentralisiertes, zellular organisiertes Stromversorgungssystem („Energiezellen-system“)¹⁶ wäre generell anpassungsfähiger und robuster gegenüber jeglichen Störungen. Hier werden in der Regel Effizienzgründe als Gegenargument angeführt, was grundsätzlich

¹⁵ Vgl. KIRAS-Sicherheitsforschungsprojekt „Blackouts in Österreich“ unter URL: <http://www.energyefficiency.at/web/projekte/blacko.html>

¹⁶ Vgl. unter URL: <http://www.saurugg.net/energiezellensystem>

stimmt, da großtechnische Systeme effizienter betrieben werden können. Aber spätestens nach dem Klimaabkommen von Paris (2015) sollte allen klar sein, dass ein weiter machen wie bisher nicht möglich und es höchst an der Zeit ist, konkrete Handlungen zu setzen, um unseren Energiebedarf zu senken bzw. zu dekarbonisieren. Der Umbau zu einem dezentralisierten System kann nicht von heute auf morgen erfolgen und gewisse energieintensive Bereiche werden auch noch länger auf ein zentralisiertes Großtechniksystem angewiesen sein, aber der Weg zu einem dezentralisierten Energieversorgungssystem aus erneuerbaren Energiequellen erscheint aus heutiger (technischer) Sicht als alternativlos.

Einen wesentlichen Betrag für diese Dezentralisierung und für die Entlastung der Gesamtinfrastruktur könnte eine bessere Abstimmung der dezentralen Erzeugung mit dem lokalen Verbrauch leisten, da damit auch der zentralisierte Infrastrukturbedarf und -aufwand reduziert werden kann. Um dies zu ermöglichen, wäre eine erhöhte Flexibilität des elektrischen Bedarfs durch steuerbare Verbraucher und Speicher mittels Lastmanagement notwendig.

Es gibt mittlerweile einige Studien, welche die Speicherbarkeit von Überschussstrom in Großspeichern untersucht haben. Die Schlussfolgerung ist jedoch in der Regel, dass viele Speichermöglichkeiten bzw. Technologie mit erheblichen Kosten verbunden sind bzw. teilweise auch nur einen geringen Wirkungsgrad aufweisen.¹⁷ Bei vielen dieser Studien kommt jedoch das Gut „Versorgungssicherheit“ zu kurz, da dieses so gut wie nie eingepreist und als selbstverständlich vorausgesetzt wird. Beim Stromversorgungssystem geht es um die wichtigste Lebensader einer modernen Gesellschaft, ohne die nichts geht. Daher greifen rein betriebswirtschaftliche Überlegungen zu kurz und sind zudem volkswirtschaftlich gefährlich. Aus Sicht der E-Wirtschaft, die durch die Marktliberalisierung („Unbundling“) rein betriebswirtschaftlich geführt werden muss, ist die Vorgangsweise verständlich, gesamtgesellschaftlich aber inakzeptabel.

Die Lastverschiebung wird daher neben einer Energiebedarfssenkung und neuen dezentralen Speichern bzw. Energiebevorratungsmöglichkeiten eine zentrale Rolle bei der Energiewende spielen. Zudem stellt diese eine kurzfristige und mit geringeren Kosten realisierbare Entlastung der zentralisierten Strominfrastruktur dar. Dazu wird auch ein Zusammenwirken zwischen unterschiedlichen und bisher meist getrennt betrachteten Systemen, etwa Strom und Wärme, zwingend erforderlich sein. Für eine Lastverschiebung kommen grundsätzlich elektrische Abnehmer bzw. Geräte in Frage, die mit einem thermischen Speicher ausgestattet sind bzw. bei denen es ohne Komfortverlust möglich ist, einen Prozess zeitlich zu verschieben. Thermische Speicher können vor allem in Kühl- und Gefriergeräten sowie bei der Warmwasserbereitung und Elektroheizung (Speicherofen) gefunden werden. Auch ist es bei Haushaltsgroßgeräten wie Waschmaschinen und Wäschetrocknern sowie Küchengeräten wie Geschirrspülmaschinen teilweise möglich, den Prozess zeitlich zu verschieben. Bei letztgenannten ist es sowohl vom Nutzer, als auch von

¹⁷ https://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/9657/

der Möglichkeit den Prozess zu einem späteren Zeitpunkt zu starten abhängig, ob eine Lastverschiebung durchgeführt werden kann.¹⁸ Elektrisch betriebene Wärmepumpen können hier daher einen wichtigen Beitrag leisten, da die Wärmebereitstellung dank der guten und kostengünstigen Speicherbarkeit von Wärme insbesondere in den Gebäudebestandsmassen ein wichtiges Potenzial bietet. Zum anderen ist gerade der Energieverbrauch in Haushalten bei der Heizung besonders hoch (Abbildung 12).¹⁹

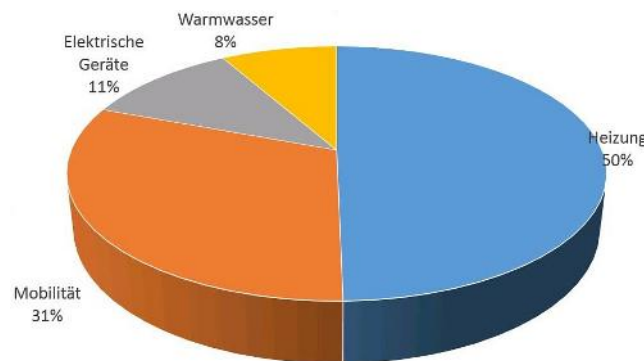


Abbildung 12: © Diagramm "die umweltberatung", Quellen: e-control, Grazer Energieagentur

Eine deutsche Studie aus dem Jahr 2011 kam zum Schluss, dass man die Abregelungen durch die verstärkte Integration von Wärmepumpen in das übergeordnete Lastmanagement im Ausmaß von bis zu 18% reduzieren könnte.²⁰

2. Lastverschiebung von Wärmepumpen im Haushaltsbereich

In österreichischen Haushalten steckt ein theoretisches Energieleistungspotential von rund 5,9 GW, das bisher für Flexibilisierungsmaßnahmen bei der Stromnachfrage wenig genutzt wird, da es bisher auch nicht unbedingt erforderlich war.²¹ Zu beachten ist jedoch, dass es sich hier um sehr viele Kleinanlagen und Kleinstverbraucher handelt, die nicht einfach zentral gesteuert werden können bzw. wo das tatsächliche Potenzial auch nur schwer zu erfassen ist. Daher sind direkte elektrische Verbraucher wie Waschmaschine, Geschirrspüler usw. nicht im Fokus dieser Studie, da deren Potential für das Lastmanagement bereits in früheren Projekten als gering eingestuft wurde, zumindest bei einer reinen Stromtarif-Betrachtung.²² Eine Betrachtung unter Systemsicherheitsaspekten könnte wiederum differenzierter ausfallen.

¹⁸ Energieinstitut an der JKU Linz, Load Shift: Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur Potenzialanalyse für Smart Grids, Lastverschiebung in Haushalten, Österreichische Begleitforschung zu Smart Grids, 2015, Seite 5

¹⁹ <http://www.umweltberatung.at/themen-wohnen-spartipps>

²⁰ Ecofys / Prognos: Potenziale der Wärmepumpe zum Lastmanagement im Strom und zur Netzintegration erneuerbarer Energien. Berlin, Oktober 2011, Seite 40

²¹ Jürgen Hürner, Wolfgang Woyke, Fundamentalmodell und Potenzial zeitlich verschiebbarer Lasten in Österreich

²² BFE-Projekt „Kraftwerk Haus im ländlichen Raum, Umsetzung von Strom-Lastmanagement im Gebäude mit Eigenerzeugung aus Photovoltaik“, Vertrags-/Projektnummer 154392/103330, Schlussbericht, 31. August 2012

Wie verschiedene Studien zeigen²³, stellen insbesondere Wärmepumpen ein bedeutendes Potential für ein Lastmanagement und für die Speicherung (power-to-heat) dar, da diese schon heute in großer Anzahl zur Verfügung stehen (im Gegenteil zur E-Mobilität) und sie sind auch technisch soweit ausgereift, dass sie meist extern steuerbar wären. Die dezentrale Wärmespeicherung kann zudem günstiger als eine Stromspeicherung realisiert werden und zugleich wird rund die Hälfte des Energieverbrauchs im Haushalt für Wärme aufgewandt (Abbildung 12). Damit dieses Potenzial auch tatsächlich genutzt werden kann, ist jedoch eine dezentrale Kommunikation und Regelung zwischen der lokalen Stromerzeugung und den Verbrauchern bzw. der Wärmepumpe erforderlich. Seit einigen Jahren werden Wärmepumpen auch als "Smart Grid Ready" angeboten. Von einem wirklich funktionierenden Smart Grid System mit Wärmepumpen ist man jedoch noch weit entfernt. Daher sollen hier einfache Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie mit einer Lastverschiebung, die Eigenstromverbrauchsoptimierung und eine Kostenreduktion, sowie eine netzdienliche Lastverschiebung, zu erreichen sind.

Grundsätzlich gibt es ein deutliches elektrisches Lastverschiebungspotential im Bereich Warmwasser und Heizung. Diese Bereiche haben jeweils ein Verschiebungspotential von rund 13%, wie aus einer Auswertung der Statistik Austria 2013 hervorging.²⁴

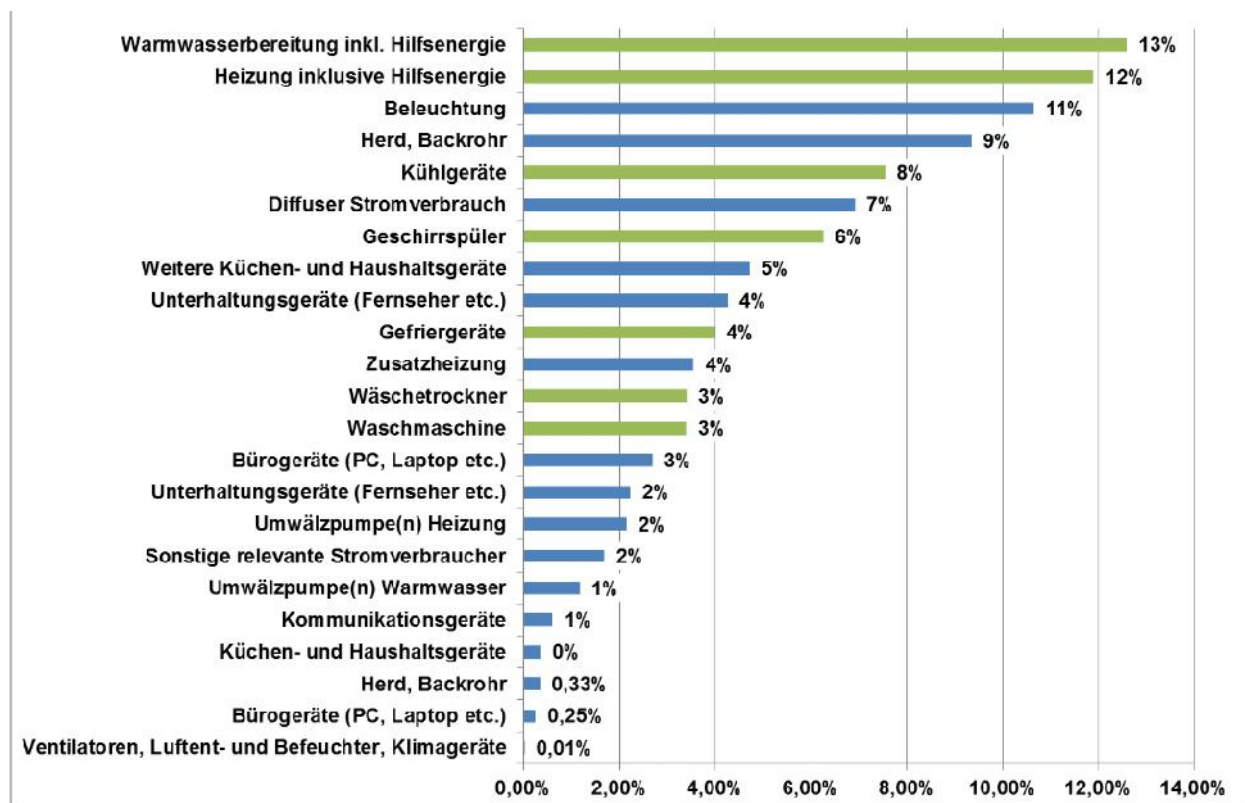


Abbildung 13: Lastverschiebungspotentiale relativ in Haushalten²⁵

²³ https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2016/files/lf/Session_F2/LF_Knop.pdf

²⁴ http://eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/events/iewt/iewt2015/uploads/presentation/Pr_262_Kolmann_Andrea.pdf (Stand 20.6.2016)

Der Fokus wird daher in dieser Studie auf das Potenzial von Wärmepumpen im Haushaltsbereich gelegt, wenngleich diese hauptsächlich in der kalten Jahreszeit relevant sind. Durch die hohe Trägheit von Wärme- und Kältesystemen hat eine Lastverschiebung gegenüber anderen Anlagen deutliche Vorteile, weil sich die Lastverschiebung kaum spürbar auf das Nutzerverhalten auswirkt.

Mit Hilfe der thermischen Speicherkapazität der Gebäudemasse kann eine zeitliche Flexibilität erreicht und zur Verfügung gestellt werden, wodurch der Wärmepumpenbetrieb weitgehend an die Stromerzeugung angepasst werden kann. Es gibt dazu auch verschiedene Studien, wie sich hier die Nachfrage anhand von Preissignalen etc. verschieben lassen könnte.²⁶ Hier hat sich jedoch gezeigt, dass Preissignale eine hohe Bandbreite haben müssten, damit eine deutliche Lastverschiebung durch die Energienutzer angenommen wird. Dies hat sich etwa auch bei diversen Praxistests mit intelligenten Stromzählern („Smart Meter“) gezeigt, wonach das Einsparpotential mit rund 3,5% sehr gering ausfällt.²⁷ Das Lastverschiebungspotenzial wird daher bei dem derzeit geringem Preissignal nicht angenommen, da der Komfortanspruch der Nutzer höher ist. Daher erscheint eine sinnvolle Lastverschiebung nur dort möglich zu sein, wo möglichst wenig Eingriffe in das Nutzerverhalten bzw. in das Komfortempfinden erforderlich sind.

Daher soll hier aufgezeigt werden, wie durch einfache Änderungen in der Regelstrategie und der Nutzung der Speichermassen von Einfamilienhäusern der Eigennutzungsgrad beim selbsterzeugten PV-Strom maximiert werden kann. Dabei wird bewusst auf komplexere Regeleinheiten verzichtet. Der Gebäudenutzer soll unter Berücksichtigung einiger einfacher Regeln die Luftwärmepumpe in Kombination mit einer Fußbodenheizung zur Lastverschiebung und zur Eigenenergieverbrauchsoptimierung nutzen können.

So kann etwa die Last der Wärmepumpe unter Einhaltung technischer Parameter und der Komfortgrenzen der Bewohner bis zu einem gewissen Ausmaß auf energietechnisch vorteilhaftere Zeitpunkte verschoben werden.

Die daraus resultierende Flexibilisierung wirft dennoch einige Fragen auf, etwa wie sich ein häufiges Ein- und Ausschalten der Anlagen auf die Lebensdauer dieser auswirken könnte. Diese Problematik kann evtl. mit der Invertertechnologie bei Wärmepumpen begegnet werden, weil damit ein lastvariabler Betrieb der Anlagen möglich ist. Mittlerweile ist von vielen namhaften Herstellern diese Technologie am Markt verfügbar und können einfach innerhalb einer gewissen Leistungsbandbreite betrieben werden.

Nachgereiht sollen weitere Faktoren greifen, die ein Lastmanagement über die Gebäudegrenzen hinaus möglich machen und wo Wärmepumpen auch als Überschuss-

25

http://eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/events/iewt/iewt2015/uploads/presentation/Pr_262_Kolmann_Andrea.pdf (Stand 20.6.2016)

²⁶ Modellierung der Eigenversorgung mit Elektrizität für verschiedene Akteure, 2016

https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2016/files/lf/Session_D5/LF_Oehler.pdf

²⁷ <http://futurezone.at/science/smart-meter-kosten-durch-messentgelt-gedeckt/24.572.228>

stromsenke dienen könnten. Bereits untersuchte Modelle wie z.B. die Model Based Predictive Control (MBPC)²⁸-Theorie zeigen, dass sich durch ein vorausschauendes Lastmanagement die Nutzung von erneuerbarem Überschussstrom beim Wärmepumpenbetrieb signifikant erhöhen lässt. Außerdem zeigen die Ergebnisse der Simulationsrechnungen deutlich, dass die längeren Prognoseintervalle einen flexiblen Betrieb der Wärmepumpe ermöglichen, der den Anteil von erneuerbarem Überschussstrom an dem elektrischen Hilfsenergieverbrauch erhöht. Der Grund liegt im Wesentlichen in der hohen zeitlichen Lastverschiebung der Wärmebedarfsdeckung durch die Wärmepumpe, was bei vielen anderen Haushaltsstromverbrauchern nicht in diesem Ausmaß und vor allem ohne Komfortverlust möglich ist. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass auch bei der Lastverschiebung mittels Wärmepumpe eine Veränderung bei der Raumtemperatur eintritt, die unter Umständen, wenn diese etwa zu hoch ausfällt, zu einer Reduktion der Akzeptanz führen kann.

Das hohe Speicherpotential von Gebäuden zeigt sich an der hohen thermischen Speicherkapazität von Gebäuden, wenn diese in massiver Bauweise ausgeführt sind. So beträgt die Speicherkapazität bei einem Gebäude mit 140m² Wohnfläche und einer Temperaturerhöhung von 3K ca. 60 kWh. Demgegenüber ist die Speicherkapazität eines Pufferspeichers mit 400l und einer Temperaturerhöhung von 30K mit etwa 15 kWh²⁹ nur ¼ so hoch. Hinzu kommt, dass die Effizienz der Wärmepumpe bei einer solch deutlichen Temperaturerhöhung deutlich abnimmt.

Eine Studie aus dem Jahr 2013, wo das Lastverschiebungspotenzial für rund 1.000 durchschnittliche österreichische Haushalte mit Wärmepumpe modelliert wurde, ergab ein mögliches Lastverschiebungspotenzial von 1,3 MW.³⁰ Bei einer linearen Hochrechnung anhand der aktuellen Bestandszahlen von Wärmepumpen bestünde ein theoretisches Potential von 203 MW, gemäß diesen Ergebnissen.

Am Strommarkt werden eigene Wärmepumpentarife angeboten, die bei Erzeugungslastspitzen vertraglich eine Stromlieferungsunterbrechung von bis zu zwei Stunden vorsehen und dem Kunden mittels eines Preisvorteils schmackhaft gemacht werden.³¹ Die Abschaltung erfolgt dabei über einen zusätzlichen Zähler, welcher direkt mit den Wärmepumpen verbunden sind. Diese zentrale Steuerung von Verbraucher birgt jedoch auch Risiken. So könnte etwa bei einem großflächigen Einsatz durch eine Fehlsteuerung oder durch eine gezielte Sabotage (Cyber-Angriffe) eine unbeherrschbare Situation

²⁸ Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) M.Sc. Young Jae Yu- Demand Side Management with heat pumps for single family houses

²⁹ David Zogg, Institut für Automation (IA), Fachhochschule Nordwestschweiz Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden, Schlussbericht 2015

³⁰ Energieinstitut an der JKU Linz, Load Shift: Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur Potenzialanalyse für Smart Grids, Lastverschiebung in Haushalten, Österreichische Begleitforschung zu Smart Grids, 2015, Seite 22f / Aktuelle Bestand eigene Berechnung bis 2015 von 156.357 WP-Anlagen in AT

³¹ Beispiel Wien Energie, Verbund, AAE bzw.

<http://stromliste.at/strompreis/tarifarten/unterbrechbar/waermepumpe>

entstehen. Derartige Erfahrungen gab es in der Vergangenheit immer wieder. Diese potenzielle Verwundbarkeit sollten daher nicht außer Acht gelassen werden.³²

Mit Wärmepumpen lässt sich bei einem erhöhten Stromangebot die Raumtemperatur geringfügig über den Sollwert anheben und bei Knappheit etwas absenken. Dies ist ohne Komforteinbußen möglich, da der Mensch Temperaturunterschiede von 0,5 Grad nicht wahrnimmt.³³ Auch längere Speicherzeiten sind bei gut gedämmten Häusern bzw. größeren Pufferspeichern möglich. Damit verlängert sich die Überbrückungszeit, in der die Wärmepumpe keinen Strom benötigt, und der Nutzen für das Lastmanagement steigt.

Durch höhere Speichertemperaturen erhöhen sich zwar die Speicherverluste und die Anlageneffizienz sinkt geringfügig – jedoch bleibt die Gesamtbilanz im Vergleich zur Abschaltung der erneuerbaren Energiequelle weiterhin positiv. Schon heute gibt es Warmwasser-Wärmepumpen, die Hersteller als „Komplettpaket“ zusammen mit einer Photovoltaik-Anlage anbieten. Während diese Kombilösungen vor allem auf den Verbrauch des Eigenstroms abzielen, wird die Bedeutung des Wärmepumpeneinsatzes für die Netzstabilität in Zukunft steigen.

3.3 Kosten der Lastverschiebung in Haushalten

Eine deutsche Studie hat mögliche Kosteneinsparpotentiale bei Wärmepumpen im Haushaltsbereich durch eine stromgeführte Betriebsweise mit 8-23Euro/Jahr abgeschätzt.³⁴ Das ist mit Sicherheit ein zu geringes Kosteneinsparpotential, um Energienutzer aus finanziellen Gründen zu einer Verhaltensänderung oder zu möglichen Investitionen (z.B. Nachrüstung Smart Grid Steuergeräte für eine ältere Wärmepumpe) zu bewegen. Daher erfolgt in diesem Projekt auch keine Betrachtung auf Basis eines externen Strompreises, sondern rein im Hinblick auf die Optimierung des Eigenstromverbrauchs und des Eigennutzens.

In einem Wettbewerbsmarkt ist der an den Endkunden zu entrichtende Preis für die Durchführung der Lastverschiebung gleich den Kosten (z.B. Automatisierung, neue Stromzähler, Visualisierung, etc.), die dem Endkunden für die Ermöglichung der Lastverschiebung anfallen, wie im Projekt Loadshift festgestellt wurde.³⁵

³² Vgl. Leittechnikstörung 2013 unter URL: http://www.saurugg.net/vernetzung-komplexitaet/leittechnikstoerung_oder_das_50,2_Hertz_Problem unter URL: <http://www.vde.com/de/fnn/arbeitsgebiete/tab/seiten/50-2-hz.aspx>

³³ ENERGIESPEICHERUNG UND STROMNETZREGELUNG MIT HOCHEFFIZIENTEN GEBÄUDEN, Bayerisches Landesamt für Umwelt, M.Pommer, 2014

³⁴ Potenziale der Wärmepumpe zum Lastmanagement im Strom und zur Netzintegration erneuerbarer Energien, Ecofys + Prognos im Auftrag BMWi, Seite 73

³⁵ Kollmann A., de Bruyn K., Moser S., Schmidthaler M., Amann C., Elbe C., Schmutzger E., Kraußler A., Reinhofer -Gubisch M., Pucker J., Frantes B. (2014): LoadShift – Lastverschiebung in Haushalten, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur – Potenzialanalyse für Smart Grids. Endbericht, 7g/2015, Seite 47ff

Da Wärmepumpen bereits standardmäßig an einem Zweitzähler installiert werden, über den üblicherweise ein günstigerer Nacht- bzw. Wärmepumpentarif verrechnet wird, entstehen für eine etwaige Abschaltung derzeit keine Zusatzkosten beim Netzbetreiber.

Eine Fernsteuerung ist nur mit einer entsprechenden Schnittstelle möglich. Aufgrund des vergleichsweise höheren Verbrauchs einer Wärmepumpe im Verhältnis zu anderen Haushaltsgeräten und durch die leichter möglichen Einsparungen wurden im Projekt Loadshift Realisierungskosten für die erforderliche Schnittstelle von 30 EUR angenommen.³⁶

Die Kosten pro verschobene kW wurden anhand mehrerer Parameter bestimmt, wobei die Anzahl der Schalthäufigkeit einen bedeutenden Einfluss auf die Kosten hat.

Tabelle 1: Kosten Lastverschiebung Bereich Wärmepumpe³⁷

Gerät	Kosten pro Haushalt und Jahr	kW pro Gerät	Angenommene Schalt-Häufigkeit pro Jahr	Zusätzliche Kosten in Euro pro kW
Wärmepumpe	Abschaltung 0,- Euro	1,3 kW	Abschaltung zu Zeiten hoher Netzlasten: täglich, nur Winter = 182x	0,00 Euro / kW
	Zuschaltung 30,- Euro		Zuschaltung zu windstarken Tageszeiten (nur Winter): 25x	0,92 Euro / kW

Abbildung 14 stellt die zusammengefassten Kosten und den Nutzen von Lastverschiebungsmaßnahmen in Form einer Kostenkurve dar. Die Kostenkurve gilt für Lastverschiebungen, die realistischer Weise zwischen 15 und 60 Minuten andauern. Kürzere Zeiten sind nicht empfehlenswert, da sich diese negativ auf die Lebensdauer der Anlagen auswirken. Dabei wurde für den Bereich Wärmepumpe ein Lastverschiebungspotential von 255 kW von Seiten des Projekts Loadshift angenommen. Bei einer Zuschaltung fallen hier deutliche Kosten bei Wärmepumpen an, allerdings nicht bei einer Abschaltung.

³⁶ Kollmann A., de Bruyn K., Moser S., Schmidthaler M., Amann C., Elbe C., Schmutzger E., Kraußler A., Reinhofer -Gubisch M., Pucker J., Frantes B. (2014): LoadShift – Lastverschiebung in Haushalten, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur – Potenzialanalyse für Smart Grids. Endbericht, 7g/2015, Seite 39

³⁷ Kollmann A., de Bruyn K., Moser S., Schmidthaler M., Amann C., Elbe C., Schmutzger E., Kraußler A., Reinhofer -Gubisch M., Pucker J., Frantes B. (2014): LoadShift – Lastverschiebung in Haushalten, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur – Potenzialanalyse für Smart Grids. Endbericht, 7g/2015, Seite 41

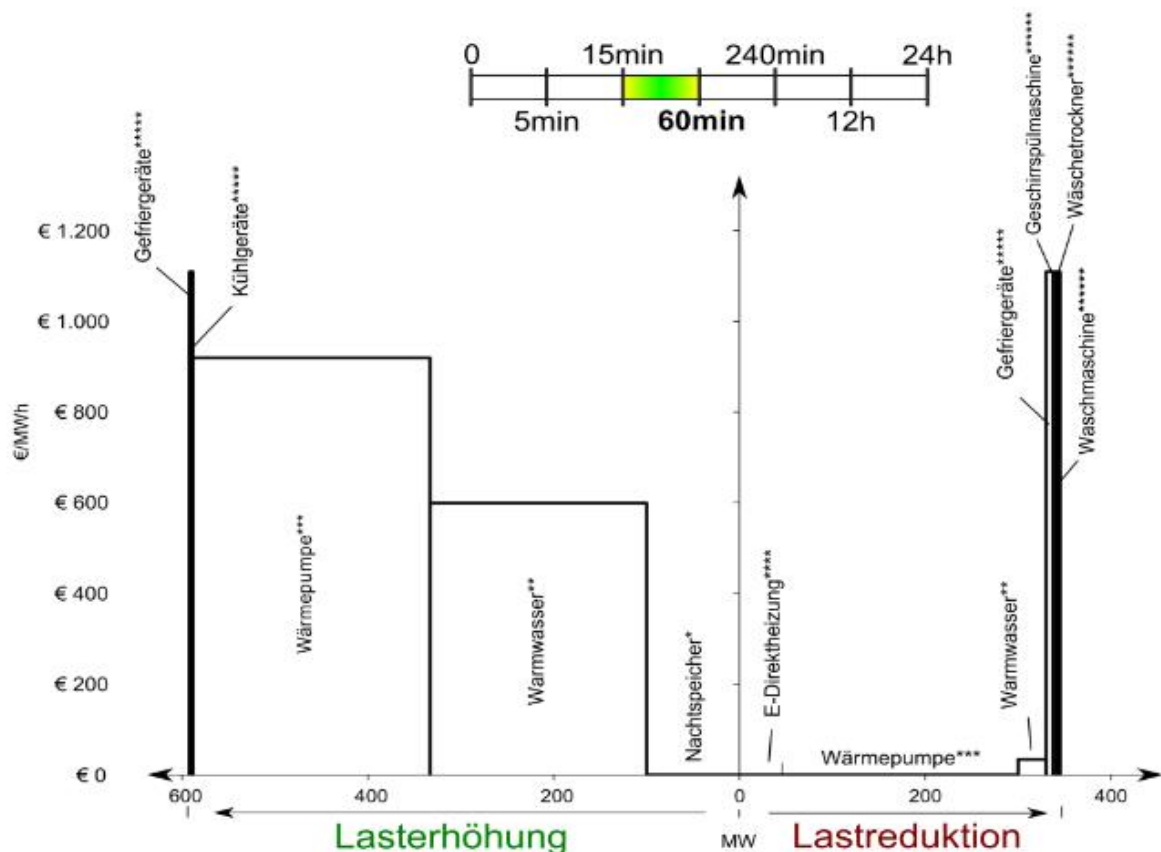


Abbildung 14: Kostenkurve für den Sektor Haushalte (16-59 min)³⁸

Seit Jahren gibt es Überlegungen zum Thema flexible Stromtarife im Haushaltsbereich, allerdings ist das Angebot aktuell noch sehr beschränkt. So gibt es derzeit nur einen Wärmepumpentarif, der einen günstigeren Tarif zu einer bestimmten Nachtzeit anbietet. Hier muss aber berücksichtigt werden, dass sich gerade in der Nachtzeit die Heizung im Absenkbetrieb befinden sollte und es durch die gewöhnlich tieferen Außenlufttemperaturen in den Nachtstunden gerade bei Luft/Wasserwärmepumpen zu einer geringeren Effizienz der Anlagen kommt, da ein höherer Temperaturhub durch die Wärmepumpe zu überwinden ist.³⁹ Darüber hinaus ist durchaus zu erwarten, dass sich die derzeitigen Nachtstromüberschüsse in Zukunft verringern werden, da immer mehr konventionelle Kraftwerke aus dem Markt gehen werden. Besonders bei Sonnenschein sind daher künftig vor allem am Nachmittag hohe Überschussproduktionen zu erwarten. Ein weiterer Aspekt, der beim Thema flexible Stromtarife nicht berücksichtigt wird, ist ein mögliches Schwarmverhalten bzw. dass die regionale Netzbelastung durchaus anders aussehen kann, als ein globaler Strompreis/marktsituation:

The average economic agent is often used to model the dynamics of simple markets, based on the assumption that the dynamics of a system of many agents can be

³⁸ Lastverschiebungspotentiale in Haushalt, Industrie, und kommunaler Infrastruktur- LOADSHIFT, im Rahmen der 9. IEWT 2015, Andrea Kollmann, Energieinstitut an der JKU Linz

³⁹ vgl. AIT, L.Leimgruber etc. 14. Symposium Energieinnovation, 2016 Wirtschaftliches Potential der Aggregation von Wärmepumpen in Österreich, Seite 10

averaged over in time and space. A popular idea that is based on this seemingly intuitive notion is to dampen electric power fluctuations from fluctuating sources (as, e.g., wind or solar) via a market mechanism, namely by variable power prices that adapt demand to supply. The standard model of an average economic agent predicts that fluctuations are reduced by such an adaptive pricing mechanism. However, the underlying assumption that the actions of all agents average out on the time axis is not always true in a market of many agents. We numerically study an econophysics agent model of an adaptive power market that does not assume averaging a priori. We find that when agents are exposed to source noise via correlated price fluctuations (as adaptive pricing schemes suggest), the market may amplify those fluctuations. In particular, small price changes may translate to large load fluctuations through catastrophic consumer synchronization. As a result, an adaptive power market may cause the opposite effect than intended: Power demand fluctuations are not dampened but amplified instead.⁴⁰

Darüber hinaus war es bisher nicht üblich, die Verteilnetzebene umfangreich zu monitoren. Daher fehlen auf dieser Ebene auch entsprechende Daten und Einblicke über den Netzstand und es erfolgt bisher auch keine Differenzierung in der Netzbelastung. Die Abrechnung erfolgt verursacherunabhängig zu einem global fixen Netzentgelt.

3.4 Kostenoptimierung von Seiten des Haushaltes

Dennoch werden aktuell auch „unterbrechbare Tarife“ angeboten, die dem Netzbetreiber eine Flexibilisierung der Netzsteuerung ermöglichen sollen. Als unterbrechbar wird die Leistung nach der Legaldefinition dann bezeichnet, wenn der Netzbetreiber berechtigt und technisch dazu in der Lage ist, die Nutzung des Netzes jederzeit oder zu vertraglich vorherbestimmten Zeiten zu unterbrechen. Dieser Tarif kann auf Wunsch des Nutzers in allen Netzbereichen der Netzebene 7 verrechnet werden, sofern eine unterbrechbare Lieferung beim jeweiligen Nutzer möglich ist (z.B. für Wärmepumpen). Im Gegenzug dazu erhält der Verbraucher einen anreizfördernden und damit günstigeren Netztarif. Ob der Netzbetreiber tatsächlich auf die Verbrauchseinrichtung zugreift, ist nicht ausschlaggebend für die Verrechnung des Tarifs, da es nur auf die Einräumung des möglichen Zugriffs ankommt. Allerdings rechnet sich dieser Tarif aufgrund der Kosten für einen weiteren Zähler erst ab einem gewissen Mindestverbrauch.⁴¹ Hier können Kosten mit 30 EUR/Jahr und Haushalt (ein separater Zähler mit einem Messentgelt von ca. 2,5 EUR/Monat) angenommen werden, bzw. gibt es auch zusätzlich Tarifschaltgeräte mit 13,5 EUR/Jahr.⁴²

⁴⁰ Econophysics of adaptive power markets: When a market does not dampen fluctuations but amplifies them siehe unter URL: <http://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.92.012815>

⁴¹ Energieinstitut an der JKU Linz, Kathrin de Bruyn, Rechtliche Aspekte des nachfrageseitigen Lastmanagements in Österreich inkl. eines Ausblicks auf die deutsche Rechtslage, 2015, Seite 13f

⁴² <http://www.wienenergie.at/eportal3/ep/channelView.do?pageTypeld/67825/channelId/-48626>

Ein Kosten/Nutzenvergleich (Tabelle 2) zeigt, dass ein positives Ergebnis unter den gegebenen Annahmen erst bei Ausnutzung des Wärmepumpentarifs bei mindestens 5,26 h/Tag innerhalb der Heizperiode (182 Tage und von 22:00 – 06:00Uhr) zu erwarten ist - bei einem durchschnittlichen Preisvorteil von 1,18 €cent/kWh.⁴³

Tabelle 2: Kosten/Nutzenvergleich unterbrechbarer Tarif

	WP Tarif
Tage	182
Stunde	2,67
kW	1,75
kWh über alt.Tarif	849,33
Preis- unterschied Tarif* €cent/kWh	0,0179
Einsparung durch Verschiebung EUR	15,20

Beim Entgelt für unterbrechbare Lieferung schwanken die arbeitsabhängigen Entgelte nur in den Netzbereichen Niederösterreich, Salzburg, Steiermark, Graz, Tirol und Wien: Es gibt einen Entgeltansatz für die Sommer/Winter-Hochtarifzeiten (SHT und WHT) und einen (niedrigeren) Entgeltansatz für die Niedertarifzeiten (SNT und WNT), da sich die derzeitigen Parameter noch an dem alten System mit einem billigeren Überschuss-/Nachtstrom orientieren, obwohl sich die Rahmenbedingungen schon wesentlich verändert haben. Eine gesetzliche Verankerung einer lastvariablen Gestaltung der Entgelte für die Haushaltsebene gibt es derzeit nicht.⁴⁴

Nachfolgende Berechnung zeigt zudem einen realistischen Wert der tatsächlich genutzten Betriebsstunden innerhalb der Zeitperiode für den Wärmepumpentarif, welcher meist zwischen 22:00 – 06.00 Uhr liegt. Dabei wurde auch die mittlerweile am häufigsten eingesetzte Wärmepumpentype mit bis 10 kW thermischer Leistung angenommen. Dies entspricht einer durchschnittlich angenommen Leistung von 1,75 kW_{el}. In diesem Beispiel ergibt sich bei den üblichen Grundgebührekosten von 2,5 EUR/Monat für den Zusatzzähler ein Kostennachteil von 14,8 EUR/Jahr. Somit müsste sich der Kostenvorteil beim Wärmepumpentarif im Durchschnitt verdoppeln, damit hier für den Nutzer ein positiver Kostenanreiz erreicht wird bei der Inanspruchnahme des Wärmepumpentarifs in Kombination mit einem zusätzlichen Zähler. Hier scheint für potenzielle Kunden kein wirklicher Anreiz oder Nutzen zu bestehen, was einmal mehr darauf hinweist, dass die derzeitigen Preisanreize nicht dazu geeignet sind, um eine Verhaltensänderung auch im Sinne der Netzsicherheit herbeizuführen.

⁴³ Quelle Homepage Wien Energie, Verbund und AAE

⁴⁴ Energieinstitut an der JKU Linz, Kathrin de Bruyn, Simon Moser, Flex-Tarif: Entgelte und Be-
preisung zur Steuerung von Lastflüssen im Stromnetz, Seite 29

Alles in allem spricht daher aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht wenig für eine Flexibilisierung der Lastverschiebung aus der Perspektive des Haushaltes.

3. Barrieren der Erschließung dieses Potenzials zu identifizieren

Damit eine ferngesteuerte Lastverschiebung (Ab- und Zuschaltung) einer Wärmepumpe überhaupt möglich ist, muss die technische Voraussetzung vorhanden sein. Diese kann entweder durch eine technische einfache Rundsteuerung oder aber durch eine IT-Datenverbindung realisiert werden, um eine zentrale Fernsteuerung zu ermöglichen. Diese birgt jedoch einige Risiken, die je nach Verbreitungsgrad auch systemgefährdend werden können.⁴⁵

In Deutschland wurde bzgl. der Installation und Nutzung von Fernwirktechnik bei Wärmepumpen eine Umfrage durchgeführt. Nach den Ergebnissen der Befragung von Mitgliedsunternehmen des Verbands wird gegenwärtig nur bei jeder vierten Wärmepumpe eine Fernwirktechnik eingesetzt und genutzt. Ein weiteres gutes Drittel könnte mit gewissem Aufwand aktiviert werden, wozu es allerdings voraussichtlich eine intensive Marktbearbeitung bedarf, damit diese Anlagen zur Nutzung des Lastverschiebungspotentials aktiviert werden können (Abbildung 15). Somit sollte das aktuelle Potential für Österreich auch nur auf max. 2/3 der Anlagen geschätzt werden.

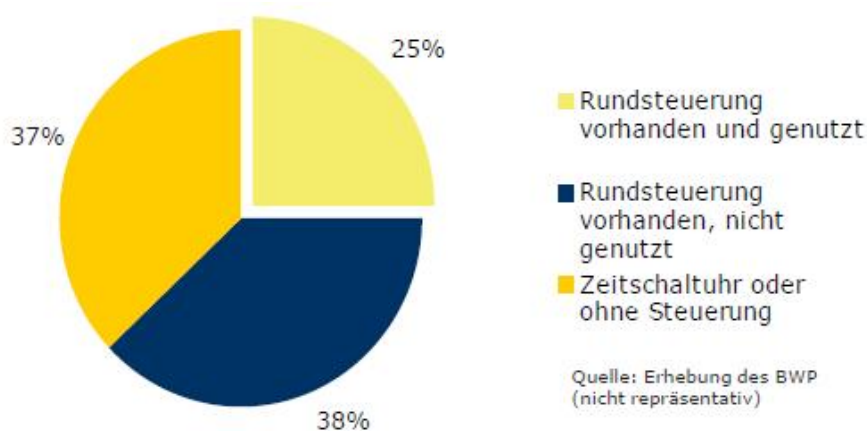


Abbildung 15: Aufteilung der Steuereinrichtungen für Wärmepumpen Quelle BWP

Potenzial zur Energie- und Leistungsverschiebung

Im Jahresverlauf der Leistung ist die über Wärmepumpen nutzbare Lastverschiebung sehr deutlich ausgeprägt. So ist die mögliche Lastverschiebung im Sommer sehr gering, da nur ein geringer Teil der Wärmepumpen auch gleichzeitig zur Warmwasserbereitung eingesetzt werden. Dies auch deshalb, da derartige Haushalte häufig auch eine solare

⁴⁵ Vgl. Orchestrierung statt Steuerung von außen unter URL:
<http://www.saurugg.net/2015/blog/energiezellensystem/orchestrierung-statt-steuerung-von-aussen-2>

Warmwasserbereitung nutzen. Von den vier am Projekt teilnehmenden Gebäuden verfügen drei über eine thermische Solaranlage. Das vierte Haus verfügt allerdings über eine Photovoltaikanlage. Nimmt man an, dass von der derzeit installierten elektrischen Wärmepumpenleistung im Einfamilienhausbereich nur 50% im Sommer mit der Wärmepumpe auch das Warmwasser bereiten, so besteht außerhalb der Heizperiode (185 Tage) pro Tag für max. 1h/Haushalt (abgeschätzte Dauer der durchschnittlichen Speicheraufheizung*) ein Lastverschiebungspotential mit negativer Regelleistung = Zuschaltung Last von theoretisch 158,6 MW.

4. Entwicklungshintergrund Wärmepumpenmarkt in Österreich mit Fokus Haushalte

Der Absatz von Wärmepumpen gesamt in Österreich erfährt seit einigen Jahren ein kontinuierliches Wachstum und stieg im Jahr 2015 abermals um 9,8% gegenüber dem Vorjahr. Allerdings wuchs das Leistungssegment bis 10 kW am deutlichsten mit einem Wachstum von 21,1% bzw. von 6.965 auf 8.434 Stück (siehe Tabelle 4). Dieses Leistungssegment ist auch im Fokus dieser Studie. Durch die hohe Verbreitung und die sich daraus ergebende Möglichkeiten für eine Potentialverschiebung bzw. Umsetzungsbreite, werden hier die besten Potentiale vermutet.⁴⁶

Der Hintergrund dieser Entwicklung liegt einerseits in den geringeren Investitionskosten von Luft/Wasser Wärmepumpensystemen, andererseits ist die Wärmequelle Luft einfacher zu erschließen als das Erdreich oder das Grundwasser. Für die Wärmepumpe als Technologie ist diese Entwicklung jedoch zum Teil auch kritisch zu bewerten, da die Verwendung von Luft als Wärmequelle bei einer konventionellen Anwendung (kein Niedertemperaturabgabesystem) automatisch mit systembedingt geringeren Jahresarbeitszahlen verknüpft ist (niedrige Wärmequellentemperaturen in der Heizperiode, energetischer Aufwand für Abtaumaßnahmen etc.). Allerdings werden heute Luft/Wasserwärmepumpen nur mehr bei thermisch hochwertigen Gebäuden forciert und mit einer Flächenheizung. In diesem Einsatzgebiet bietet die Luft/Wasserwärmepumpe durchaus eine ökologisch vorteilhafte Wärmebereitstellungsform.⁴⁷

Abbildung 16 zeigt sehr deutlich den Anstieg der Wärmepumpen seit 2006 und der in Folge hohen Anlagenbestand in Betrieb, welcher sich insgesamt auf über 220.000 Anlagen im Jahr 2015 erhöht hat.

⁴⁶ BMVIT, Innovative Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung 2015 Vorauswertung Wärmepumpen, TU WIEN Autor: Dr. Peter Biermayr

⁴⁷ Marek Miara Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Studienergebnisse und Langzeitmonitoring von Wärmepumpen, Präsentation erhalten am 20.4.2016

* Beobachtung bei den teilnehmenden Häusern über mehrere Wochen durch Ewald Sarugg

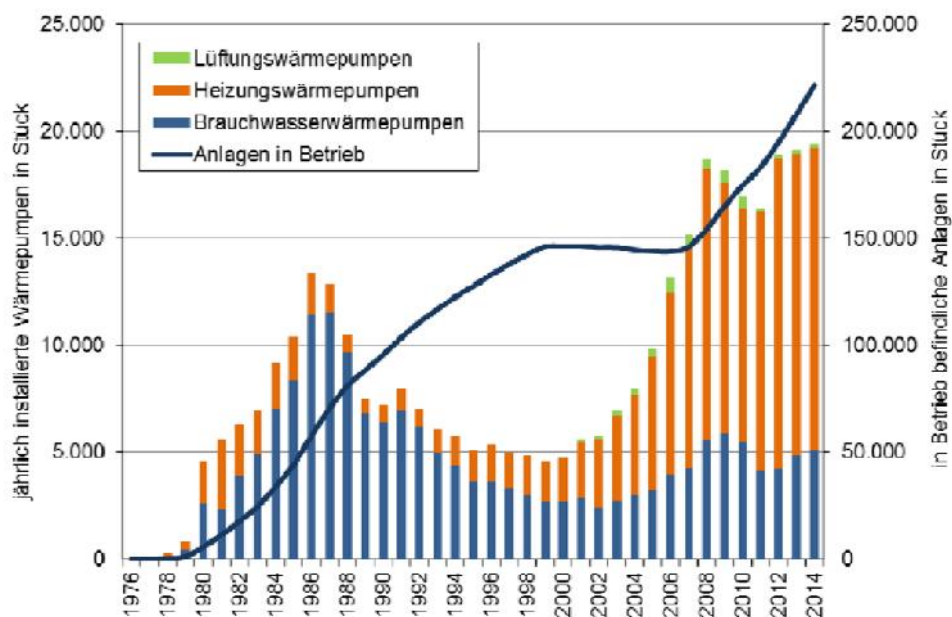


Abbildung 16: Die Marktentwicklung der Wärmepumpentechnologie in Österreich bis 2014⁴⁸.

Wie Tabelle 3 zeigt, ist der Anstieg gerade bei den Luft/Wasserwärmepumpen im Leistungssegment bis 10 kW am stärksten, mit 30,7%.

Tabelle 3: Detail Verkaufszahlen Leistungssegment bis 10 kW⁴⁹

Leistungsklassen	Typ	AT 2014 Stück	AT 2015 Stück	Veränderung 2014/2015
bis 10 kW	Luft/Luft	60	49	-18,30%
	Luft/Wasser	4.738	6.192	30,70%
	Wasser/Wasser	246	255	3,70%
	Sole/Wasser	1.597	1.574	-1,40%
	Direktverdampfung	324	364	12,30%
	Summe	6.965	8.434	21,10%

Gemäß den aktuellen Gesamtauswertungen waren bis Ende 2014 (1995-2014) ca. 140.380 Heizungs- und Brauchwasserwärmepumpen in Betrieb. Mit den Zuwachszahlen 2015 und dem Abzug der installierten Anlagen 1995 (max. 20 Jahre Betriebszeit) würde sich ein aktueller Bestand von ca. 156.357 Heizungs- und Brauchwasserwärmepumpen ergeben.⁵⁰

Davon sind in etwa 40% LW-WP wie in Tabelle 4 ersichtlich. Dies ist eine Auswertung der Marktstatistiken, welche in den letzten Jahren veröffentlicht wurden.

⁴⁸ Biermayr Peter, Manuela Eberl, Monika Enigl, Rita Ehrig, Hubert Fechner, Christa Kristöfel, Kurt Leonhartsberger, Florian Maringer, Stefan Moidl, Christoph Strasser, Werner Weiss, Manfred Wörgetter (01/2015) Innovative Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung 2014, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 26/2014.

⁴⁹ BMVIT, Innovative Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung 2015 Vorauswertung Wärmepumpen, TU WIEN
Autor: Dr. Peter Biermayr

⁵⁰ Zuwachs 2015 Anzahl 17.451 Stück und Abzug 1995 Anzahl 1.474 Stück

Tabelle 4: Übersicht über die in den letzten 10 Jahren installierten LW WP in AT⁵¹

LW WP	Anteil gesamt	Anzahl LW WP
2015	66%	11550
2014	62,70%	10000
2013	57,80%	8423
2012	53,60%	7850
2011	43,40%	5399
2010	38,50%	4417
2009	36,60%	4450
2008	32,70%	4294
2007	20,00%	2177
2006	18,00%	1663
2005	15%	981
	Summe	61204

Aus Tabelle 5 geht hervor, dass 2015 erstmals die kleinste Klasse an Wärmepumpen mit der Leistungsklasse bis 10 kW die nächst höhere Klasse bis 20 kW in der Absatzmenge überholt hat. Dies liegt vorrangig an den besseren Baustandards und den höheren Anforderungen an den spezifischen Heizwärmebedarf aufgrund der Wohnbauförderungen bzw. auch dem vermehrten Einsatz von Niedertemperaturwärmeverteilsystemen allgemein, die zu einer höheren Effizienz (COP) der Anlagen führte und wodurch hier die Anlagen kleiner dimensioniert werden können.

Vor dem Hintergrund, dass derzeit ca. 17.000 Einfamilienhäuser pro Jahr⁵² errichtet werden, ergibt sich hier auch ein hohes unmittelbares Umsetzungs- bzw. Nutzungspotential der Projektergebnisse. Weitere Einsatzbereiche mit hohem Potential sind Gebäude die durch thermische Sanierung auf einen Gebäudeenergiestandard gebracht werden, wo der Einsatz einer Wärmepumpe sinnvoll werden kann, wenn diese in Kombination mit einer Flächenheizung erfolgt.

Für eine etwaige Abschätzung von möglichen Lastverschiebungspotentialen werden hier insbesondere neuere Anlagen im kleineren Leistungsbereich (bis 10 kW) im Bereich LW-WP herangezogen, weil diese den größten Anteil haben und auch hier zukünftig die größten Wachstumsraten erwartet werden.

Bis 2020 könnten demnach jährlich 15.000 neue Wärmepumpen installiert werden, d.h. im Jahr 2020 könnte ein Potenzial von 230.000 Stück zur Verfügung stehen.⁵³

⁵¹ BMVIT, Innovative Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung 2009-2015 Schriftreihe

⁵² <http://oesterreich.orf.at/m/stories/2510118/>

⁵³ Energieinstitut an der JKU Linz, Load Shift: Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur Potenzialanalyse für Smart Grids, Lastverschiebung in Haushalten, Österreichische Begleitforschung zu Smart Grids, 2015, Seite 22

Aus diesen Zahlen wurde dann auch die durchschnittliche elektrische Leistung der jeweiligen Wärmepumpen abgeschätzt und hochgerechnet. Daraus ergibt sich für die Luftwärmepumpen bis zu einem Leistungsbereich von max. 20 kW eine gesamte elektrische Leistung aus den letzten 8 Jahren von ca. 317 MW. Rechnet man die Jahre bis 2005 grob zurück, kann man bei den heute noch in Betrieb befindlichen Anlagen in dieser Leistungskategorie mit etwa 365 MW rechnen. Wahrscheinlich wurde ein Teil der älteren Anlagen auch schon wieder ausgetauscht. Somit stellt diese Leistung das theoretisch maximal verfügbare Potential dar.

Eine Untersuchung im Rahmen des Projekts Load-Shift hat bei Wärmepumpen ein realistisches technisches Potential von 255 MW abgeschätzt, ⁵⁴womit man hier in einer ähnlichen Bandbreite liegt, wenn man vom theoretischen auf das technisch-realistische Potential korrigiert.

Tabelle 5: LW WP innerhalb der Letzten 8 Jahre im Leistungsbereich bis max. 20 kW thermisch⁵⁵

Jahr	Leistungsklassen	Anzahl	Summe	kWel *	kWel gesamt
2015	LW-WP -10kW	8.385	16.070	1,75	14.674
	LW-WP -20kW	7.685		3,00	23.055
2014	LW-WP -10kW	6.905	14.626	1,93	13.292
	LW-WP -20kW	7.721		3,42	26.414
2013	LW-WP -10kW	5.762	12.886	2,13	12.244
	LW-WP -20kW	7.124		3,56	25.373
2012	LW-WP -10kW	5.969	13.182	2,33	13.878
	LW-WP -20kW	7213		3,89	28.051
2011	LW-WP -10kW	5904	13.704	2,53	14.908
	LW-WP -20kW	7800		3,94	30.761
2010	LW WP bis 20kW	9963	9.963	3,38	33.718
2009		10561	10.561	3,63	38.382
2008		11075	11.075	3,83	42.465
		Summe	102.067		317.214
* Abschätzung durchschnittliche Leistungsaufnahme elektrisch					

Bei den untersuchten Anlagen im Projekt bzw. bei ähnlichen Projekten zeigt sich, dass gemäß den heute üblichen Heizlasten bei Einfamilienhäusern derzeit eine LW-WP in einem Leistungsbereich von etwa 6-8 kWth liegt, wenn diese nur für Heiz- und Warmwasserwärmebedarf eingesetzt wird. Dies vorausgesetzt bei einem derzeit üblichen

⁵⁴ Energieinstitut an der JKU Linz, Load Shift: Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur Potenzialanalyse für Smart Grids, Lastverschiebung in Haushalten, Österreichische Begleitforschung zu Smart Grids, 2015, Seite 37

⁵⁵ BMVIT, Innovative Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung 2009-2015 Schriftreihe, Berechnungen denkstatt

Baustandard eines Niedrigenergiehauses, mit einem Heizwärmebedarf von etwa 30-40 kWh/m²a, liegt die elektrische Leistungsaufnahme hier im Schnitt bei etwa 1,75 kW⁵⁶.

Exkurs:

Ein Thema, welches hier in diesem Projekt nicht betrachtet wurde ist, dass Wärmepumpen immer häufiger auch zur Klimatisierung von Wohngebäuden eingesetzt werden sollen. Dadurch kommt es vermehrt zu einem Leistungsbedarf im Sommer, wo einerseits die Gefahr zusätzlicher Lastspitzen durch diese Technologie deutlich steigt, allerdings durch die Nutzung von Eigenerzeugung durch PV deutlich besser begrenzt werden kann, als im Winter. Der Eigenenertrag einer PV Anlage ist nämlich genau dann am höchsten, wenn auch ein Kühlbedarf gegeben ist. Somit können diese beiden Systeme von Produktion und Nachfrage leicht aufeinander abgestimmt werden. Dies ist im Winter, wo die Wärmepumpe zur Beheizung eingesetzt wird, gerade bei der höchsten Leistungsanforderung (tiefe Außentemperaturen und wenig Sonnenschein) häufig nicht gegeben bzw. nicht ausreichend gegeben. Die vermehrte Nutzung von Wärmepumpen im privaten Bereich für die Beheizung und Kühlung und deren Auswirkungen auf das Stromsystem sollten in einem eigenen Forschungsprojekt untersucht werden.

5. Resümee zur Lastverschiebung Wärmepumpe

Wie sich im Laufe des Projektes bestätigt hat, besteht das höchste Laststeuerungspotenzial im Haushaltsbereich im Bereich Wärme-(Kälte-)Versorgung. Jedoch hat die betriebswirtschaftliche Betrachtung ergeben, dass es hier keine wirklichen Anreize für Kunde gibt, dieses Potenzial als Beitrag für die Netzsteuerung anzubieten und dafür tariflich „belohnt“ zu werden.

Ein möglicher finanzieller Vorteil lässt sich nur durch die Kombination einer Eigenstromversorgung mit einer Wärmepumpe realisieren, und das auch nur, wenn man die Anschaffungskosten nicht berücksichtigt.

Dennoch wäre eine Kombination Eigenstromversorgung (PV-Anlage) mit Wärmepumpe aus systemtechnischer Sicht sinnvoll und zielführend. Die Laststeuerung sollte dabei nicht durch eine Fernwirkung, sondern durch eine dezentrale Selbstregulation erfolgen. Im einfachsten Fall durch eine abgestimmte Betriebsführung durch den Anlagenbetreiber. Zielführender wäre jedoch eine lokale Regelung, die aufgrund des Netzzustandes (Frequenz global und Spannung lokal) und möglichen weiteren Parametern (Wettervorhersage) eine Selbstregelung übernimmt. Hierzu müssten aber noch entsprechende Assistenzsysteme entwickelt werden.

Nachdem die finanziellen Anreize für den Einsatz zur Netzsteuerung nicht ausreichen, wäre anzudenken, den Wärmepumpenherstellern generell eine autonome Regelungsfähigkeit

⁵⁶ Tendenziell sind die Anlagen 2011 und 2010 noch etwas über 2kW bzw. in Richtung 10kWth und neuere Anlagen und aufgrund des besseren Baustandard eher schon im unteren Bereich. Im Schnitt kann hier also 2kW elektrische Leistungsaufnahme bei den LW-WP bis 10kW angenommen werden

anhand des lokalen Netzzustandes (Spannung) vorzuschreiben. Damit könnte ohne einen großen organisatorischen und technischen Zusatzaufwand ein Beitrag zur „intelligenten“, dezentralen Netzsteuerung gewährleistet werden.⁵⁷

Eine wichtige Empfehlung an die Förderregime wäre auch, dass Wärmepumpen nur in Kombination mit einer PV-Anlage gefördert werden. Sollte mit der Wärmepumpe auch gekühlt werden, dann sollte für die Förderung eine PV-Anlage auf jeden Fall ein Musskriterium darstellen. Denn gerade wenn die Kühlung erforderlich ist, steht auch die Eigenstromproduktion zur Verfügung. Damit könnte das Gesamtsystem bzw. die zentralisierte Strominfrastruktur entlastet werden. Dabei wäre auch anzudenken, diese Anlagenkombination mit einem Batteriespeicher zu ergänzen. So könnte die Eigenversorgungsfähigkeit weiter erhöht bzw. auch zu einer minimalen Krisenfestigkeit („Resilienz“) der Haushalte beigetragen werden. Eine dezentrale Regelung der Anlagen hätte auch den Vorteil, dass durch die Diversität eine generelle Robustheit der Infrastruktur erreicht wird, bzw. eine einfachere und raschere Umsetzung möglich wäre.

Nachdem leistungsgeregelte Wärmepumpen viele Vorteile für den zukünftigen Energiemarkt bietet, sollten hier die Förderprogramme dies rasch in die Förderrichtlinien integrieren und evtl. nur mehr diese Anlagen fördern, damit die Herausforderungen der zukünftigen Stromversorgung besser gemanagt werden kann, nachdem die Anlagen nach Investition bis zu 20 Jahre in Betrieb sind.

Generelles Ziel sollte dabei sein, die derzeit sehr hohe infrastrukturelle Abhängigkeit bzw. Verwundbarkeit der Infrastruktur durch monokulturelle Entwicklungen wieder zu reduzieren.

Zu berücksichtigen ist auch, dass eine globale Überkapazität bei der Stromerzeugung nicht unbedingt auch eine lokale sein muss bzw. umgekehrt. Daher ist ein genereller Marktpreis nicht als Steuerungssignal geeignet, da dieser die lokalen Bedingungen nicht berücksichtigt.

Aufgrund der gegenwärtigen Entwicklungen sollte bei einer Netzentgelt-Novellierung auch die Möglichkeit von variablen Netzentgelten angedacht werden, die auch die infrastrukturellen Herausforderungen und die erwartbaren Entwicklungen berücksichtigen. Jedenfalls sind hier neue Modelle erforderlich, welche die dezentrale Erzeugung und davon unabhängige Abnahmen berücksichtigen, was die derzeitigen Strombörsen nicht gewährleisten.⁵⁸

Forcierung Invertertechnologie zur Lastverschiebung bzw. Erhöhung Eigenverbrauch

Die Invertertechnologie bei WP im Haushaltsbereich, durch welche eine Leistungsregelung der WP gewährleistet werden kann, bietet zukünftig eine gute Chancen für die Flexibilisierung der Lastenverschiebung und bessere Abstimmung auf z.B. die PV-Produktion. Auch kann davon ausgegangen werden, dass eine Leistungsregelung innerhalb

⁵⁷ Vgl. <http://www.saurugg.net/2014/blog/energiezellensystem/warnung-vor-dem-stromausfall>

⁵⁸ Interview Herbert Saurugg, April 2016

einer Bandbreite eine höhere Akzeptanz bei den Nutzern finden würde, anstatt der bisherigen zweistufigen totalen Abschaltung der Anlagen.

Derzeit ist bereits eine große Bandbreite von leistungsgeregelten Wärmepumpen am Markt verfügbar. Diese Anlagen sind im Teillastbereich optimiert und können mit variabler Last betrieben werden. Dies führt grundsätzlich bei optimalen Einstellungen und Anlagenkonfiguration zu einem gewissen Effizienzvorteil gegenüber den bisherigen getakteten Wärmepumpen (EIN/AUS), weil im Teillastbereich tiefere Vorlauftemperaturen gefahren werden können. Am Forschungsprojekt waren ausschließlich getaktete Wärmepumpen beteiligt, da geregelte Wärmepumpen erst in der jüngeren Vergangenheit mit kompetitiven Preisen auf dem Markt verfügbar sind und vermehrt zum Einsatz kommen.

Wie sich in diversen Untersuchungen gezeigt hat, können diese leistungsgeregelten Anlagen auch die Eigenverbrauchsquote deutlich steigern (auf bis zu über 50% von ursprünglich ca. 25% in ähnlichen Gebäuden wie im gegenständlichen Forschungsprojekt), da die Leistung kontinuierlich an die aktuelle PV-Produktion angepasst werden kann.⁵⁹

Ein weiterer Vorschlag in Richtung Erhöhung der Lastverschiebungsmöglichkeit wäre, das Energieversorgungsunternehmen aktiv beim Kunden z.B. in einen Batteriespeicher investieren bzw. diesen fördern. Damit erhält das Unternehmen die Möglichkeit, diesen Speicher auch aktiv nutzen zu dürfen. Hier wäre z.B. denkbar, dass der Haushalt im Sommer die Batterie über die hauseigene PV-Anlage auflädt und somit zur Lastglättung morgens und abends beitragen kann und im Winter, wo nur geringer PV-Ertrag gegeben ist bzw. dieser nicht den gesamten Bedarf der WP abdecken kann, das EVU bei Produktionsüberschuss bzw. in der Nacht die Batterie aufladen kann und diese dann nur zu den Spitzenzeiten vom EVU freigegeben wird. Somit könnten die EVUs in der Nacht ganz gezielt eine Optimierung des Kraftwerksparks betreiben, weil dieser selbst bestimmt, wann die Batterien geladen bzw. entladen werden. Die rechtlichen Möglichkeiten im Rahmen des ELWOG müssen hier noch abgeklärt werden, in wie weit diese Überlegungen gedeckt sind.

Die Studie von ECOFYS in Deutschland hat ergeben⁶⁰, dass sich der Stromverbrauch bei den Wärmepumpen durch die stromgeführte Betriebsweise um durchschnittlich rund 10% erhöht. Hier stellt sich die Frage, ob durch diesen Anstieg des Stromverbrauchs bei den derzeitigen Stromtarifsmodellen durch die Energieversorgungsunternehmen überhaupt eine Kosteneinsparung lukriert werden kann. Vielmehr muss es daher Ziel sein, die Wärmepumpe auf Eigenverbrauchsoptimierung und hohe Systemeffizienz zu optimieren, was hier zu einer deutlichen Kosteneinsparung führen sollte. Zusätzlich kann vom Energieversorger noch ein Anreiz gesetzt werden, mit fixen Zeiten, wo die Wärmepumpe nicht eingeschaltet wird (z.B. 7-9 und 17-19Uhr).

⁵⁹ David Zogg, Institut für Automation (IA), Fachhochschule Nordwestschweiz Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden, Schlussbericht 2015, Seite 55

⁶⁰ Potenziale der Wärmepumpe zum Lastmanagement im Strom und zur Netzintegration erneuerbarer Energien, Ecofys + Prognos im Auftrag BMWi, Seite 73

Eine Erweiterung eines WP-Systems um eine PV inkl. Batteriespeichersystems bietet jedenfalls zusätzliche Chancen und Möglichkeiten für das Stromnetz. So können bei einem zusätzlichen Regelenenergiebedarf PV-Batteriesysteme im Verbund negative und positive Regelleistung bereitstellen. Wenn hier die Rahmenbedingungen noch weiter optimiert werden, könnte dies auch betriebswirtschaftlich lukrativ sein und gleichzeitig ein Beitrag für eine Aufrechterhaltung der Systemstabilität liefern. Für diesen Fall ist sicherzustellen, dass die Leistung für den vereinbarten Zeitraum vorgehalten wird.⁶¹

In Haushalten mit einer üblichen Verbraucherausstattung können Batterien den Eigenverbrauch stärker beeinflussen als das Demand Side Management (DSM). Sobald größere flexible elektrische Verbraucher vorhanden sind, wie z. B. Wärmepumpen, erhöht sich das durch DSM erschließbare Eigenverbrauchspotenzial.

Studien und Feldtests kommen bisher zu sehr unterschiedlichen Einschätzungen hinsichtlich der anreizbasierten Lastverschiebungspotenziale im Wohnungsbereich. Aus dem Blickwinkel der Energieversorger bieten Tarife mit einem Hochpreis/Niederpreissystem (HT/NT) nur begrenzt Nutzen und die Abrechnung der Endkunden erfolgt über Standardlastprofile, so dass kaum Anreize für eine differenzierte Beschaffung elektrischer Energie für verschiedene Kundengruppen mit angepasstem Lastverhalten bestehen. Kundenseitig ist der individuelle Aufwand für »bewusste« Verbrauchsanpassungen hoch und der finanzielle Anreiz für Einsparungen niedrig.

Demgegenüber wird ein hoher Anreiz zur Verbrauchsanpassung bei Besitzern von Photovoltaik bzw. Batteriesystemen erwartet. Die Identifikation der Besitzer mit ihren Photovoltaik-Anlagen ist meist hoch, der Mechanismus der Anreizgenerierung transparent und der Zusammenhang zur Refinanzierung der Investitionen offensichtlich. Weitere Mehrwerte ergeben sich durch Kombination der Batteriesysteme mit DSM, da dies die Flexibilität erhöht, um beispielsweise Bezugsleistungen zu Spitzenlastzeiten zu reduzieren (Nutzen für Netzbetreiber) oder – zukünftig – auch Einkaufskosten elektrischer Energie einzusparen (Nutzen für Elektrizitätshändler und Kunden). Die erwarteten Anpassungspotenziale sind von Haushalt zu Haushalt sehr unterschiedlich: Bei Vorhandensein von z.B. Wärmepumpen sind diese hoch, bei Standardhaushalten eher gering.⁶²

⁶¹ SPEICHERSTUDIE 2013 - Kurzgutachten zur Abschätzung und Einordnung energiewirtschaftlicher, ökonomischer und anderer Effekte bei Förderung von objektgebunden elektrochemischen Speichern, Raphael Hollinger, Dr. Bernhard Wille-Haussmann, Dr. Thomas Erge, Jan Sönnichsen, Thies Stillahn, Niklas Kreifels, Fraunhofer - Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2013 Seite 9

⁶² SPEICHERSTUDIE 2013 - Kurzgutachten zur Abschätzung und Einordnung energiewirtschaftlicher, ökonomischer und anderer Effekte bei Förderung von objektgebunden elektrochemischen Speichern, Raphael Hollinger, Dr. Bernhard Wille-Haussmann, Dr. Thomas Erge, Jan Sönnichsen, Thies Stillahn, Niklas Kreifels, Fraunhofer - Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2013 Seite 10

3.5 Lebenszykluskosten und Überdimensionierung

Im Projekt wurde auch versucht die Auswirkung einer Überdimensionierung der Wärmepumpe, gegenüber der errechneten Gebäudeheizlastberechnung dazustellen. Bei herkömmlichen Heizungssystemen war bisher bekannt, dass eine deutliche Überdimensionierung zu einer deutlich schlechteren Effizienz der Gesamtanlage führt, durch häufiges Taktverhalten und hohen Abkühlverlusten zwischen den Taktintervallen.

In der Vergangenheit waren Überdimensionierungen von Kesselanlagen von über 100% keine Seltenheit. Im Projekt Sol2PumpEff konnten dazu die folgenden Daten gesammelt werden:

Die beiden installierten Wärmepumpengrößen weisen eine Leistung von 7,4kW und 5,7kW (kleinere Anlage bei H1) auf. Dies entspricht einer Überdimensionierung von 30%. Bei der Installation hat sich gezeigt, dass von den Installateuren immer noch gerne eine Nummer größer genommen wird, um alle Eventualitäten abzudecken. Massive Überdimensionierungen sind heutzutage jedoch glücklicherweise in den meisten Fällen passé.

So hat gemäß dem Datenblatt des Herstellers die richtig dimensionierte Wärmepumpenanlage (mit 5,7kW), welche in H1 im Einsatz ist, eine Leistungszahl von 3,9, während die nächst größere Anlage (7,4kW), welche bei H2 und H3 im Einsatz ist, eine Leistungszahl von 4. Somit hätte grundsätzlich die größere Wärmepumpe gemäß EN14511 eine höhere Effizienz.

Bei den Investitionskosten wirkt sich die Überdimensionierung nur sehr geringfügig aus. So wurde bei den beiden im Projekt vorhanden Modellen Vaillant VWL 61 und VWL 81 ein Preisunterschied von ca. 7% bzw. gut 700EUR bei aktuellen Angeboten festgestellt.⁶³

Im Projekt und den jeweiligen Messungen konnte keine maßgebliche Verschlechterung der Effizienz aufgrund der Überdimensionierung messtechnisch festgestellt bzw. nachgewiesen werden.

Auch ein signifikanter Unterschied in Bezug auf den erreichten COP konnte nicht festgestellt werden. Was allerdings erkennbar war ist, dass die überdimensionierten Anlagen eine höhere Anzahl an Schaltzyklen hatten, also öfters AUS/EIN geschaltet haben. Dies lag zwar maßgeblich an den besseren Regelparametern bei H1, allerdings ist auch die Überdimensionierung für einen Anteil der häufigeren Schaltzyklen verantwortlich. Dies führt mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem höheren Serviceaufwand und vermutlich zu einer statistisch früheren Austauschnotwendigkeit des Kompressors.

⁶³ Aktuelle Angebote Q2 2016 von diversen Installateuren im Internet

Laut Expertenaussagen des Bundesverbandes Wärmepumpe e.V. sollte die Auslegung so erfolgen, dass es wenige Verdichterstartvorgänge aber lange Verdichterlaufzeiten gibt. Diese Konstellation verlängert langfristig die Lebensdauer der Wärmepumpe.⁶⁴ Dies kann Regelungstechnisch durch die Einstellung einer größeren Hysterese beim Sollwert erreicht werden.

Bei den 3 Häusern mit derselben Wärmepumpentype, zeigte sich hier ein deutlicher Unterschied bei den Betriebsstarts von bis zu 265%.

Tabelle 6: Übersicht Schalthäufigkeit Anlagen gleicher Hersteller und ähnliches Nutzerverhalten

Haus	Betriebsstarts gesamt	Abweichung H1
H3	3974	207%
H2	5086	265%
H1	1920	100%

Wie bereits erwähnt, ist ein Großteil davon auf die unterschiedliche Regelungseinstellung zurückzuführen. Es stellt sich nun die Frage, für welchen Anteil eine Überdimensionierung verantwortlich ist. Bei einem Vergleich von 2 Anlagen (H1 und H2) bei denen in einer gewissen Zeit exakt die gleichen Regelparameter eingestellt wurden, ergab sich in der Messperiode 16.1. 2016 bis 18.1.2016 bei H2 insgesamt 20 Starts und bei H1 nur 12 Starts. Dies ergibt einen Unterschied von 66% bei einer Größerdimensionierung von 30%.

Die Anzahl der Kompressormehrstarts entspricht also rund der doppelten Überdimensionierung. Bei massiven Überdimensionierungen ist diese Kenngröße maßgeblich (siehe Tabelle 7)

Tabelle 7: Zusätzliche Kompressorstarts durch Überdimensionierung

	kWth	Faktor der Überdimensionierung	Zusätzliche Kompressorstarts
Anlage1 (Ref)	5,7	1	0%
Anlage2	7,4	1,3	60%
Anlage2	8,55	1,5	100%
Anlage3	11,4	2	200%

⁶⁴ <https://www.waermepumpe.de/service/fragen-sie-die-experten/antworten/details/wie-hoch-ist-die-lebensdauer-einer-waermepumpe-wie-kann-ich-diese-erhoehen/> (12.12.2016)

Überdimensionierte Wärmepumpen verursachen geringe Mehrinvestitionskosten, aber verkürzen durch häufiges Takten (Ein- und Ausschalten) die Lebensdauer der Anlage.⁶⁵

Leider konnten hier keine fundierten Daten über die verkürzte Lebensdauer eruiert werden. Gehen wir von einer verkürzten Lebensdauer von rund 1,5 Jahren aus, welche einer Überdimensionierung geschuldet ist, verkürzt sich die Lebensdauer somit von 13,5 auf 15 Jahre.

Daraus ergeben sich vereinfacht Mehrkosten über die Lebensdauer von 15 Jahren von insgesamt 1.720 EUR bei Überdimensionierung bzw. 16,9% bei den im Projekt eingesetzten Wärmepumpen von Vaillant.

Tabelle 8: Berechnung Lebenszykluskosten Wärmepumpen Vaillant⁶⁶

Mehrkosten Überdimensionierung	EUR
Differenz	
Anschaffungskosten	700
Instandhaltungskosten, verkürztes Lebensdauer 1,5 Jahr	1.020
Summe	1.720
% höhere Lebenszykluskosten	16,9

Dem gegenüber kann eine Überdimensionierung auch gerade in Bezug auf die Eigennutzungsrate und Lastverschiebung bei der Wärmepumpenanlage einige Vorteile mit sich bringen. Dies vor dem Hintergrund, dass bei einem ausreichenden Stromangebot der eigenen PV-Anlage ein temporär besserer Eigennutzungsgrad und/oder eine schnellere Aufheizung des Gebäudespeichers erreicht werden kann. In welchem Ausmaß dies erfolgt, wurde in diesem Projekt nicht ausgewertet. Der Einsatz von modulierenden Wärmepumpen wird das Thema der Überdimensionierung zukünftig entschärfen, weil diese Technologie durch Leistungsanpassung die Kompressorlaufzeit verlängert, sowie die Kompressorstarts vermindert.

⁶⁵ <http://www.staerk-erdwaerme.ch/typo3/index.php?id=95> (12.12.2016)

⁶⁶ Berechnungsgrundlage reine Anlagenkosten von der Vaillant VWL/s 61 mit 10.200 EUR.

3.6 Analyse-Tool für Szenarien-Vergleich und -Bewertung von PV-Strom-versus wärmegeführten WP-Betriebsweise in mehreren Optimierungsstufen

3.6.1 Hintergrund

Im Sinne der Wirkungsmaximierung des Projekts wurde als Ausgangs-Gebäudemodell für das Projekt Niedrig- bzw. Niedrigstenergiehäuser mit einer relativ günstigen Luft/Wasserwärmepumpe gewählt. Solche Systeme werden derzeit bereits häufig gebaut, da sie eine sehr breite Einkommensschicht ansprechen bzw. mittlerweile bzgl. Investitionskosten mit anderen Heizsystemen konkurrieren können.

Konkret stehen für die empirischen Untersuchungen 3 Gebäude aus einem Bauprojekt und einem Einzelhaus in Perchtoldsdorf zur Verfügung, welche Ende 2010 bzw. bis Anfang 2013 fertiggestellt wurden. Es handelt sich dabei um Einfamilienhäuser (mit einer durchschnittlichen Wohnnutzfläche zwischen 150 und 185 m²) in Niedrigenergiebauweise mit einem Heizwärmebedarf (HWB) von ca. 30 kWh/m²/a. Alle Gebäude verfügen über eine Wärmepumpenanlage (Luft/Wasser) und davon 3 mit kombinierter Solaranlage (ca. 5 m²) und einen 400l Warmwasserspeicher der Firma Vaillant. 2 Häuser haben sich für die größere Anlage mit 7,4 kW_{th} entschieden, im Gegensatz dazu hat sich das Haus 1 (optimiertes Haus) bewusst für die Wärmepumpe mit 5,7 kW_{th} entschieden. Das Haus 1 verfügt auch noch zusätzlich über eine Photovoltaikanlage mit 3 kW_{peak}. 3 von 4 Gebäuden sind in Ziegelmassivbauweise errichtet und derzeit hydraulisch nicht eingeregelt. Mit diesem Haus 1 wird ein zusätzlicher Referenzwert geschaffen, da hier die Wärmepumpe ohne Überdimensionierung (Sicherheitsaufschlag Heizlastberechnung) eingesetzt wird. Außerdem soll hier auch der Eigenverbrauch der PV Anlage optimiert und die Speicherfähigkeit des Gebäudes genutzt werden (Betonkern- bzw. Estrichaktivierung „Power to Heat“). Somit sollen die Gebäudemassen als Kurzzeitspeicher für die thermische Energie Wärme, welche mittels der Wärmepumpe zur Verfügung gestellt wird, genutzt werden. Dadurch soll im Winter bei Sonnenschein (Ertrag durch PV) das Gebäude aufgeheizt, und die Wärme gespeichert werden, sowie die Wärmepumpe im optimalen Bereich betrieben werden.

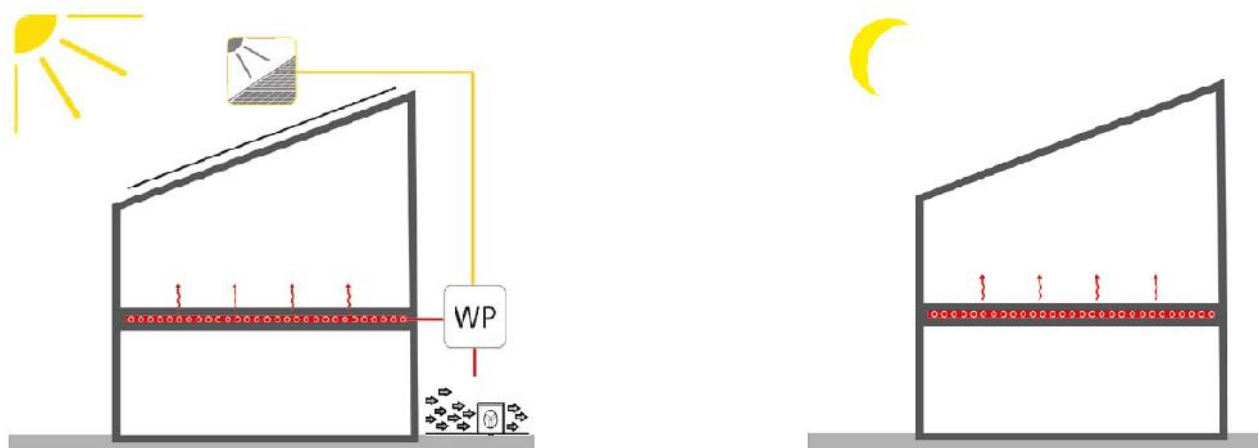


Abbildung 17: Aufheizen Gebäude über Tag Bild 1 - Entladen des Gebäudes während der Nacht Bild 2

Tabelle 9: Übersicht teilnehmende Häuser und Merkmale

	Besondere Merkmale	Haushaltsstromverbrauch	Betriebsweise WP
Haus 1 (H1)	PV Anlage 3 kWp, thermische Solaranlage 5m ²	optimiert	WP bzgl. Zeit und PV Lastgang optimiert
Haus 2 (H2)	thermische Solaranlage 5m ²	Durchschnittlich	Auf Automatik, keine Optimierung
Haus 3 (H3)	thermische Solaranlage 5m ²	guter Durchschnitt	Betriebszeiten angepasst
Haus 4 (H4)	PV Anlage 5 kWp	überdurchschnittlich	Auf Automatik, keine Optimierung

Wichtiges Ziel des Projektes war es, die Möglichkeiten einer Lastverschiebung (Load-Shifting) zu untersuchen. Dies könnte zu einem doppelt positiven Effekt führen. Einerseits zu einer Reduktion der Abhängigkeit des Systems „Haus“ von der öffentlichen Stromversorgung und andererseits die Entlastung des öffentlichen Stromnetzes durch die Nutzung des Gebäude als Pufferspeicher, indem die Wärmepumpe tagsüber bei meist höheren Außentemperaturen und mit dem selbstproduzierten Strom aus der PV Anlage betrieben wird.

Wichtig ist nun, dass ein solches Load-Shifting leistungsbezogenen und zeitlichen Restriktionen unterworfen ist, die dem Flexibilisierungspotential der Wärmepumpen entsprechen. Es ergeben sich zwei leistungsbezogene Restriktionen:⁶⁷

1. Die Abregelung der Wärmepumpen im stromgeführten Betrieb ist durch das Einsatzniveau im wärmegeführten Betrieb begrenzt. Die Wärmeerzeugung der Wärmepumpeneinheiten kann daher in keiner Stunde grösser als die im wärmegeführten Betrieb verwendete Leistung sein.
2. Die verstärkte Nutzung der Wärmepumpen ist durch deren installierte elektrische Leistung begrenzt. Das „Speichern“ von Strom durch Wärmepumpeneinheiten ist daher niemals grösser als der Spielraum zwischen der installierten Leistung und der eingesetzten Leistung im wärmegeführten Betrieb.

Eine dritte, zeitübergreifende Restriktion ergibt sich aus dem Temperaturhaushalt. Die Abregelung bzw. verstärkte Nutzung der Wärmepumpen führt zu einer sinkenden bzw. zunehmenden Raumtemperatur. Das Verhältnis zwischen Abregelung (Hochregelung) und Temperaturabfall (Temperaturanstieg) lässt sich über die thermische Kapazität des Gebäudes und den Wirkungsgrad der Wärmepumpe ermitteln.

1. Der sich durch den verstärkten Einsatz der Wärmepumpeneinheiten ergebende Temperaturanstieg muss unterhalb der Maximaltemperatur bleiben, welche vom Nutzer akzeptiert wird.
2. Der sich durch die Abregelung der Wärmepumpeneinheiten ergebende Temperaturabfall muss oberhalb der Minimaltemperatur bleiben.

Auch hier gibt es noch wichtige Einflussfaktoren. Im Falle, dass die Wärmepumpe bzgl. Heizleistung überdimensioniert wurde. So kann diese in relativ kurzer Zeit den Wärmespeicher Haus aufladen, während eine Wärmepumpe ohne Überkapazität hier länger benötigt, den Speicher zu beladen. Dies kann in der Übergangszeit dazu führen, dass der Eigennutzungsgrad an PV bei einer kleineren WP niedriger liegt, als bei einer überdimensionierten Anlage. Dem gegenüber liegen die Nachteile in einem häufigeren Schaltspiel (EIN/AUS) der Anlage, evtl. höheren Investitionskosten und in Zeiten, wo die PV-Produktion eher geringer ist, eher zu einem höheren Stromnetzbezug.

Neben der Verschiebung des durchschnittlichen Raumtemperaturniveaus hat vor allem der Zeitpunkt der Raumtemperaturänderung einen wesentlichen Einfluss den Energieverbrauch. So wurde im Projekt bei den untersuchten Gebäuden festgestellt, dass es bzgl. der Aktivierung der Wärmepumpe und einem spürbaren Wärmeeintrag in das Gebäude eine zeitliche Verschiebung von etwa 5-6 Stunden gab. Dabei wurde nicht unbedingt gleich ein Anstieg der Raumtemperatur festgestellt. Vielmehr wurde die Asymmetrie der

⁶⁷ David Zogg, Institut für Automation (IA), Fachhochschule Nordwestschweiz Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden, Jahresbericht 2013

Strahlungstemperatur⁶⁸ im Fußbodenbereich reduziert, die schon zu einer höheren Behaglichkeit führte, obwohl die Raumtemperatur erst geringfügig angestiegen war.

Darüber hinaus haben zahlreiche weitere Faktoren, wie z.B. die thermische Gebäudemasse sowie die Tagesverlauf der solaren und internen Lasten einen Einfluss auf die Änderung des Energieverbrauchs.

Die nachfolgende Regelstrategie wurde im Haus 1 verfolgt, wo der Betrieb der WP primär auf die Tageszeit verschoben wurde, wo potentiell ein Ertrag bei der PV Anlage gegeben ist, um hierdurch den Eigenverbrauch zu optimieren. Ein Nebeneffekt der dadurch auch auftrat ist, dass der durchschnittliche COP der Anlage deutlich höher ist, als bei den Vergleichsanlagen, was sich aus der durchschnittlich höheren Quelltemperatur ergibt.

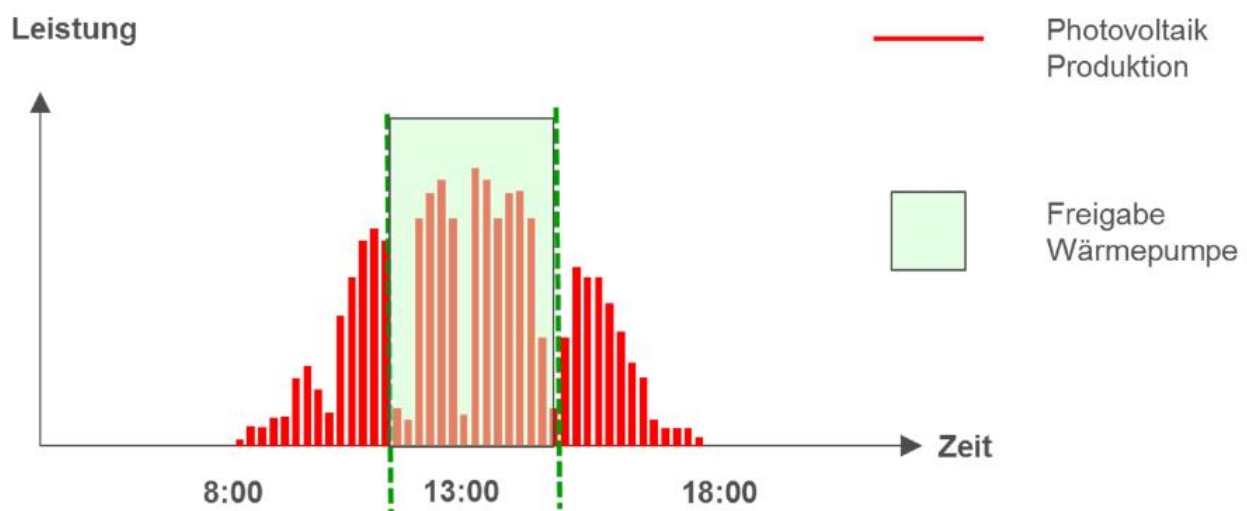


Abbildung 18: Regelung der Wärmepumpe über die AUTO Einstellung mit fixer Zeiteinstellung auf Tageszeit (Quelle Grafik)⁶⁹

Diese durchschnittlich höhere Quelltemperatur, mit dem Ziel der Eigenverbrauchsoptimierung, führte gleichzeitig auch zu einer höheren Effizienz der Anlage. Dies liegt daran, dass im Forschungsprojekt die Durchschnittstemperatur um 14:00Uhr Nachmittag im Schnitt um 2,1°C höher lag (Messstelle im Nachbarort Brunn am Gebirge), als um 19Uhr abends bzw. um 3,9°C höher als um 07:00Uhr morgens.

Station	Parameter	Jän.15	Feb.15	Mär.15	Okt.15	Nov.15	Dez.15	Durchschnitt
Brunn am Gebirge	Mittelwert der Lufttemperatur um 07 MEZ (°C)	1,9	-0,2	3,6	8	6,9	2,5	3,8
Brunn am Gebirge	Mittelwert der Lufttemperatur um 14 MEZ (°C)	4,2	4,3	9,5	11,9	10,7	5,6	7,7
Brunn am Gebirge	Mittelwert der Lufttemperatur um 19 MEZ (°C)	2,6	1,8	6,8	10	8,6	3,6	5,6
Brunn am Gebirge	mittleres Maximum der Lufttemperatur (°C)	5,7	4,9	11,1	12,7	12,1	6,8	8,9
Brunn am Gebirge	mittleres Minimum der Lufttemperatur (°C)	-0,2	-0,9	2,4	7,1	5,5	0,9	2,5

Abbildung 19: Durchschnittliche Außentemperaturen ZAMG Standort Brunn am Gebirge⁷⁰

⁶⁸ vertikalen Temperaturunterschiede im Bereich zwischen Kopf und Fußgelenken und der Fußbodenoberflächentemperatur

⁶⁹ David Zogg, Institut für Automation (IA), Fachhochschule Nordwestschweiz Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden, Jahresbericht 2013

3.6.2 Einflussfaktoren bei WP in Bezug auf Eigenverbrauch

Zu wie viel Prozent die Wärmepumpe mit der PV-Eigenproduktion betrieben werden kann, hängt von vielen Faktoren ab. Einige davon betreffen bereits die Planung der Anlage, andere die Einstellungen im laufenden Betrieb. Damit eine WP und PV-Anlage optimal abgestimmt sind auf die Eigenverbrauchsmaximierung, ist auf folgendes zu achten:

Wärmeverteilsystem:

Je kleiner der Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und Heizungsvorlauftemperatur ist, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Speziell für die Kombination mit einer Photovoltaikanlage bedeutet das, dass die Wärmepumpe kleiner dimensioniert werden kann und somit auch anteilig mehr durch PV-Strom versorgt bzw. die PV-Anlage auch kleiner dimensioniert werden kann. Daher stellt die Vorlauftemperatur des Abgabesystems sowie die Temperatur im Warmwasserspeicher eine wichtige Einflussgröße für den Eigenverbrauch dar.

Vorlauftemperatur

Die Vorlauftemperatur hat einen bedeutenden Einfluss auf die Effizienz der WP und wird über die Heizkurve bestimmt. Dies ist insbesondere bei LWP von Bedeutung, weil hier die Quellentemperatur stark fluktuieren und teilweise hohe Differenzen zur VL-Temp haben kann und somit die Heizleistung stark beeinflusst. Diese wiederum wird stark von den zwei Faktoren Dämmung der Gebäudehülle und Größe der Heizflächen bestimmt. Sie diverse Studien bereits gezeigt haben, sollten LWP nur bei gut gedämmten Gebäude mit Fußbodenheizungen eingesetzt werden. Dies ist auch bei allen im Forschungsprojekt teilnehmenden Gebäuden der Fall.

Pufferspeicher

Ein Heizungsspeicher kann grundsätzlich deutlich zur Speicherung, Lastverschiebung und Eigenverbrauchserhöhung beitragen. Allerdings ist dieser mit deutlichen Zusatzkosten verbunden und die mögliche Speicherung im Vergleich zur Gebäudemasse ist nur sehr gering. Würde man die Speichertemperatur erhöhen, würde dies wiederum zu deutlichen Effizienzeinbußen führen. Daher ist die Sinnhaftigkeit eines Speichers genau zu prüfen unter den derzeitigen Marktbedingungen für die Nutzung von Überschussstrom und dessen Abgeltung.

Wie stark die Speichereffizienz in einem eigenen Heizungsspeicher erhöht wird durch die Möglichkeit einer optimierten VL-Temperatur im Abgabesystem zeigt folgendes Beispiel, mit der Annahme, dass der Speicher ursprünglich auf 60°C aufgeheizt werden würde und danach statt mit einer VL von 40°C mit 30°C im Heizungsverteilsystem abgenommen wird:

⁷⁰ <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimauebersichten/jahrbuch>

Pufferspeicher	400l, VL-Temp 40°C	
speicherbare Wärmemenge	9,304	kWh
Pufferspeicher	400l, VL-Temp 30°C	
speicherbare Wärmemenge	13,956	kWh
	Differenz	150%

Abbildung 20: Erhöhung der speicherbaren Wärmemenge durch Optimierung der VL-Temp⁷¹

Daraus wird ersichtlich, dass sich die speicherbare Wärmemenge um 50% erhöhen lässt, wenn die VL-Temperatur im Abgabesystem um 10K gesenkt werden kann.

Bei einem reinen Warmwasserspeicher wäre hier aus Effizienzgründen danach zu trachten die Speichertemperatur eher niedriger zu wählen, weil damit die Effizienz der LWP gesteigert werden kann. Sollte allerdings ein deutlicher PV-Überschuss vorhanden sein, kann es hier trotz Effizienzverlusten sinnvoll sein, hier den Warmwasserspeicher zu überheizen, wobei die Speicherverluste im Auge behalten werden müssen. Eine Langzeitspeicherung über Tage hinweg ist aus Gründen der Speicherverluste nicht sinnvoll.

Dimensionierung der Wärmepumpe und PV-Anlage

Die richtige Dimensionierung der WP hat viele nachfolgende Auswirkungen auf Effizienz und Lastverschiebungsmöglichkeiten bzw. auch Eigenverbrauch. Eine richtig ausgelegte Wärmepumpe führt zu geringen Takthäufigkeiten und führt somit grundsätzlich auch zu einer höheren Gesamteffizienz. Allerdings spricht für eine etwas größer dimensionierte Anlage, dass hier rascher und flexibler größere Lasten verschoben werden können bzw. die Aufheizung des Gebäudespeichers schneller erfolgen kann. Dies wirkt sich gerade in der Übergangszeit und einer etwas größeren Wärmepumpe aus, weil dort die volle erzeugte Leistung einer PV auch von der WP abgenommen werden kann in den Stunden wo die PV-Anlage auch ihre maximale Leistung erzeugt. Eine kleiner gewählte WP benötigt zur Aufheizung länger und würde somit auch in Zeiten geringer PV Produktion aktiv sein, was das Potenzial zur Eigennutzung schmälert.

Auch gilt dies nicht für die gesamte Heizperiode, da z.B. teilweise tagsüber nur temporär die Sonne scheint und genügend Leistung von der PV zur Verfügung steht würde, allerdings eine zu kleine WP diese Leistung nicht aufnehmen können und es daher in der kurzen Zeit auch nicht schafft, das Gebäude bzw. auch den Speicher aufzuheizen. In diesem Fall würde der Eigenverbrauch geringer ausfallen.

Nachdem allerdings die maximale Heizleistung nur an wenigen Stunden im Jahr notwendig ist, erscheint wie die Ergebnisse zeigen, eher die kleinere Dimensionierung von Vorteil zu sein. Auch ist die PV-Eigenproduktion im Winter relativ gering, wo die maximale Leistung der WP benötigt wird.

⁷¹ Denkstatt eigene Berechnungen

Zukünftig sollte diese Problematik aber durch die Forcierung von Inverter-WP in Kombination mit einer auf die PV-Produktion abgestimmten intelligenten Regelung gut lösbar sein.

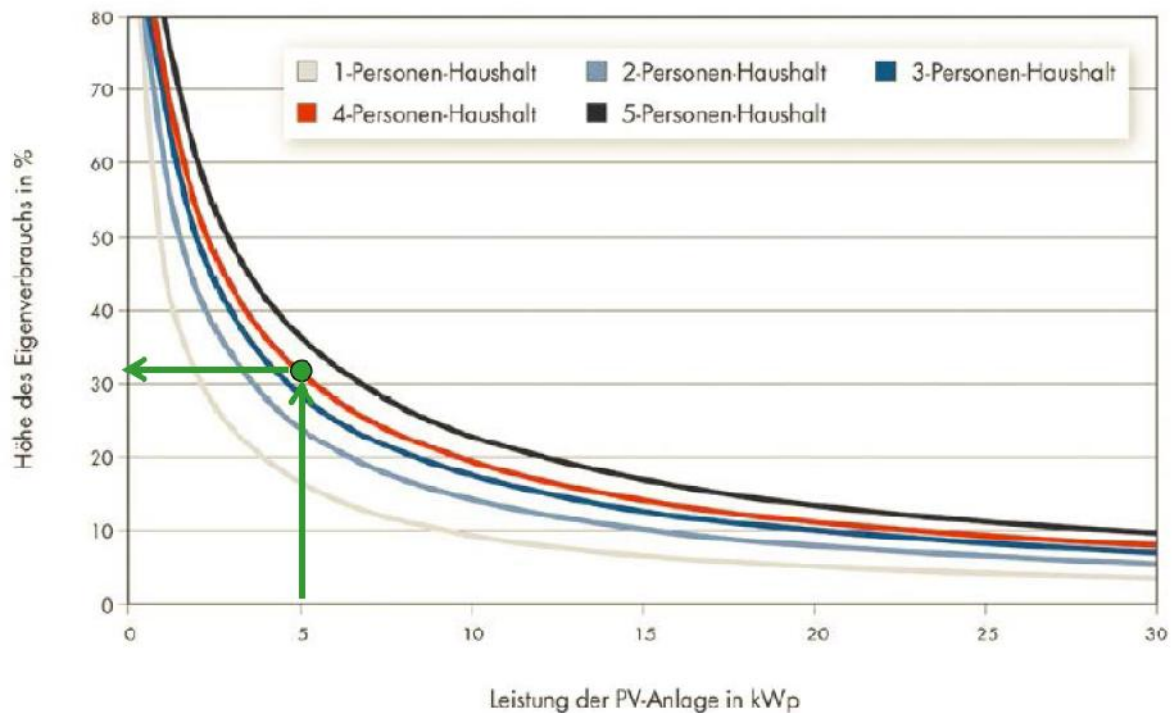


Abbildung 21: Entwicklung Eigenverbrauchsanteil anhand PV-Anlagengröße⁷²

Eine Untersuchung in Deutschland hat bereits gezeigt, dass eine Überdimensionierung der PV Anlage über ein gewisses Optimum hinaus zu höheren jährlichen Gesamtkosten pro m² Wohnfläche führt. Wie im Nachfolgenden Beispiel ersichtlich liegen die Kosten bei einem EFH mit 140m² und einer WP mit 3 kWp PV bei 22 €/m² wfl.a. Demgegenüber steigen diese Kosten um 1 € an, wenn die PV Anlage auf 6 kWp erhöht wird. Die elektrische Anschlussleistung der WP lag hier bei 2,2 kW_{el}.⁷³

⁷² Vortrag Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils: Kombination PV und Wärmepumpe, Thomas Jäggi EES AG, 21.Mai.2014

⁷³ TU Braunschweig, DI Franziska Bockelmann, Studie Betriebsstrategien für EnergiePLUS-Gebäude am Beispiel der Berghalde, 2015

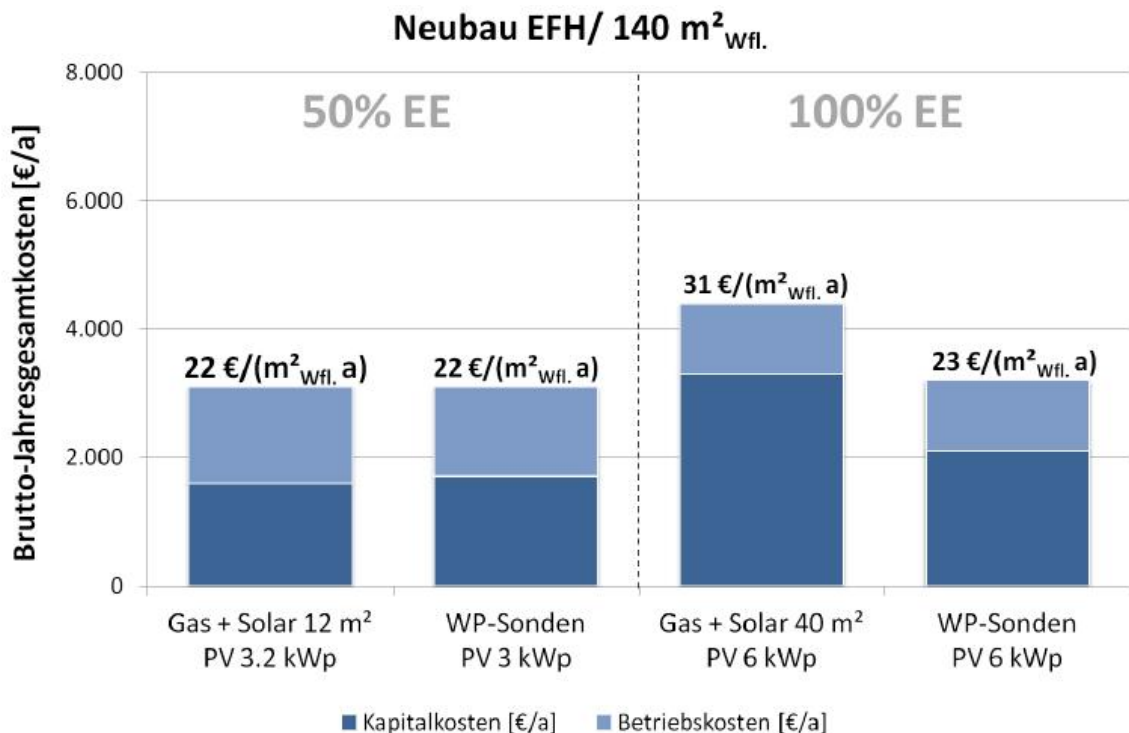


Abbildung 22: Beispiel Jahresgesamtkosten WP+PV⁷⁴

3.6.2.1 Einfluss Wärmepumpentarife

Speziell für Wärmepumpen bieten viele Energieversorger einen separaten Stromtarif an. Dem Vorteil des vergünstigten Strompreises steht eine zweite Grundgebühr gegenüber, die die Miete für den separaten Stromzähler und einen Rundsteuerempfänger enthält. Ein solcher Tarif räumt dem Energieversorger das Recht ein, die Wärmepumpe häufig bis zu 2mal täglich für jeweils zwei Stunden abzuschalten, um Lastspitzen im Stromnetz abzuschwächen. In der Praxis wird von der maximalen Sperrzeit jedoch kaum Gebrauch gemacht. Wer seine Wärmepumpe mit Solarstrom versorgen möchte, entscheidet sich im Normalfall automatisch gegen einen solchen Tarif. Bisher bieten nur wenige Energieversorgungsunternehmen die Möglichkeit an, die Wärmepumpe über einen Wärmepumpentarif und mit PV-Eigenstrom zu betreiben, bzw. machen die Zusatzkosten für einen weiteren Zähler die wirtschaftlichen Vorteile wieder zunichte, wie unter Punkt 3.4 dargestellt.⁷⁵

3.6.3 Eigenverbrauchsoptimierung bei der Systemkombination WP mit PV

Derzeit existiert in Österreich im Haushaltsbereich ein bundesweites Modell zur Förderung von PV-Anlagen. Kleinanlagen bis 5kWp werden über Investitionsförderungen vom Klima- und Energiefonds (KLIEN) des Bundes, Länderförderungen und regionale Förderaktionen unterstützt. Anlagen größer 5 kWp werden mittels Tarifförderungen in Kombination mit Investitionsförderungen seitens der OeMAG (Abwicklungsstelle für Ökostrom AG) bedient.

⁷⁴ Vortrag DI Franziska Bockelmann – PV to Heat im Stromhaus, 6.Mai 2015

⁷⁵ EnergieAgentur.NRW, Leitfaden Wärmepumpe - Kombination von Wärmepumpe und Photovoltaik, Sven Kersten, 2016, Seite 10

Die Tarifförderung beträgt für 2016 nur mehr 8,24 Cent/kWh⁷⁶ und liegt somit in etwa 57% unterhalb eines marktüblichen Strombezugspreises (Annahme 19 €cent/kWh brutto) liegt.

Nach den ersten Erkenntnissen aus diesem Forschungsprojekt, würde eine PV-Anlage größer 5 kWpeak in den wenigsten Fällen die Wirtschaftlichkeit der Anlage erhöhen. Somit sind derzeit noch die Investitionsförderung und ein möglichst hoher Eigenverbrauch die wichtigsten Parameter, die auch gleichzeitig zur Entlastung des Gesamtsystems/der Infrastrukturen beitragen.

Grundsätzlich ist der Eigenverbrauch des durch eine PV-Anlage erzeugten Stroms von der PV-Anlagengröße (kWpeak), des HH-Stromverbrauchs in Kombination mit dem Verbrauchsprofil der Bewohner abhängig. So hat eine Familie die viel tagsüber zu Hause ist tendenziell einen höheren Eigenverbrauch als bei einem Haus ohne Kinder und wo die Nutzer ganztags außer Haus sind. Nachfolgende Darstellung zeigt hier eine vereinfachte Auswertung der möglichen durchschnittlichen Eigenverbrauchsquoten. Hier ist nicht die Nutzung durch eine Wärmepumpe berücksichtigt. Um welchen Faktor hier die Eigenverbrauchsquote erhöht werden sollte, wird hier noch festgelegt.

Durch die fortlaufende Herabsetzung der Einspeisevergütung für PV Strom in Österreich auf mittlerweile 8,24 Cent/kWh⁷⁷ (Ökostromvergütung) bzw. auch bei einer Überschusseinspeisung von Schnitt 3,6-5,24 Cent/kWh⁷⁸ erhöht sich der Anreiz für eine Eigenverbrauchsoptimierung durch den Nutzer.

Zukünftig könnte der vermehrte Einsatz von E-PKWs auch als Batteriespeicher genutzt werden, um den Eigenverbrauch weiter zu optimieren, was allerdings nur dann möglich ist, wenn tagsüber das Auto zu Hause geladen werden kann, was aber sehr häufig nicht der Fall ist, weil der PKW für berufliche Fahrten genutzt wird. Andererseits könnte wie schon an anderer Stelle erwähnt, die Aufladung der PKW Batterie gezielt durch das EVU in einer optimalen Zeit in der Nacht erfolgen.

Die Maximierung des lokalen Eigenverbrauchs soll die Einspeise- und Bezugsspitzen minimieren und dabei mithelfen, das zukünftige Stromnetz zu stabilisieren. Der natürliche Eigenverbrauch entsteht ohne spezielle regelungstechnische Maßnahmen. Dieser kann mit dem Eigenverbrauch nach regelungstechnischer Optimierung verglichen werden, was zum Optimierungsfaktor führt.

Bei der Optimierung des Eigenverbrauchs sollte die Effizienz des Systems nicht außer Acht gelassen werden. Eine Erhöhung der Systemtemperaturen (Raum und/oder Speicher) hat eine Verschlechterung des COP und erhöhte Verluste zur Folge. Darum muss bei der Eigenverbrauchsoptimierung auch die Effizienz des Systems betrachtet werden. Dazu wurde der COP im virtuellen Energiepreis berücksichtigt.

⁷⁶ <http://www.pvaustria.at/forderungen/> (abgerufen am 21. Juni 2016; 13:17)

⁷⁷ Ökostrom – Einspeisetarifverordnung 2016 – ÖSET – VO 2016 http://www.oem-ag.at/fileadmin/user_upload/Dokumente/gesetze/2015_12_23_OESET-VO_2016.pdf

⁷⁸ <http://www.pvaustria.at/wp-content/uploads/UEP-2016-04-19.pdf>, Status Mai 2016

Unter Eigenverbrauch versteht man jene Energiemenge [kWh], die von der PV-Anlage geliefert und direkt von den Verbrauchern vor Ort verbraucht werden kann. Aufgrund der zeitlichen Unterschiede zwischen Angebotskurve der PV - Anlage und Lastkurve der Verbraucher kann dieser Eigenverbrauch nicht beliebig gesteigert werden

Im Wesentlichen gibt es vier unterschiedliche Maßnahmen, die zu einer Steigerung des Eigenverbrauchs führen können und die nachfolgend genauer diskutiert werden:⁷⁹

- Dimensionierung der PV-Anlage
- Ausrichtung der PV-Anlage
- Anpassung des Lastgangs (DSM - Demand Side Management)
- Integration eines Speichers

Im Punkt der Dimensionierung zeigt sich sehr rasch, dass eine zu große PV-Anlage die Eigenverbrauchsquote deutlich sinken lässt und somit zu einem raschen Anstieg der Überschusseinspeisung zu aktuell sehr tiefen Einspeisetarifen.

In Bezug auf die Ausrichtung der PV-Anlage gibt es auch den Punkt der Erzeugungs- oder Eigenverbrauchsoptimierung. Eine optimale ausgerichtete Anlage an grundsätzlich zur Mittagszeit das Ertragsmaximum. Die Verbrauchslasten eines Haushaltes demgegenüber weisen auch in den Morgen-und Abendstunden Leistungsspitzen auf. Dadurch kann durch eine theoretische Ost/Westausrichtung der Anlage eine Erhöhung der PV-Erzeugung zu den Haushaltspitzen erreicht werden und entspricht somit besser dem Haushaltslastprofil. Dabei muss aber auch berücksichtigt werden, dass diese Ost/Westausrichtung der PV-Anlage insgesamt aber zu einer deutliche Reduktion der PV-Gesamtstromproduktion führt.

Nachfolgende Gegenüberstellung zeigt eine PV-Anlage mit einer Leistung von 4 kWp und Südausrichtung, und eine Ost/Westanlage (2 kWp/2 kWp) mit Neigungswinkel der Anlage von 0° bis 90° und die entsprechenden Erträge (Abbildung 23). Der maximal mögliche Ertrag wird bei Südausrichtung und 35° Modulneigung erzielt.

⁷⁹ DI(FH) Franz Jetzinger/Theresa Wohlmuth,BSC/Dr.Johannes Schmid, Alpine-Energie Österreich GmbH, Eigenverbrauch von PV-Energie, Vortrag im Rahmen des 13.Symposium Energieinnovation, 2.-14.2.2014, Graz, Seite 5

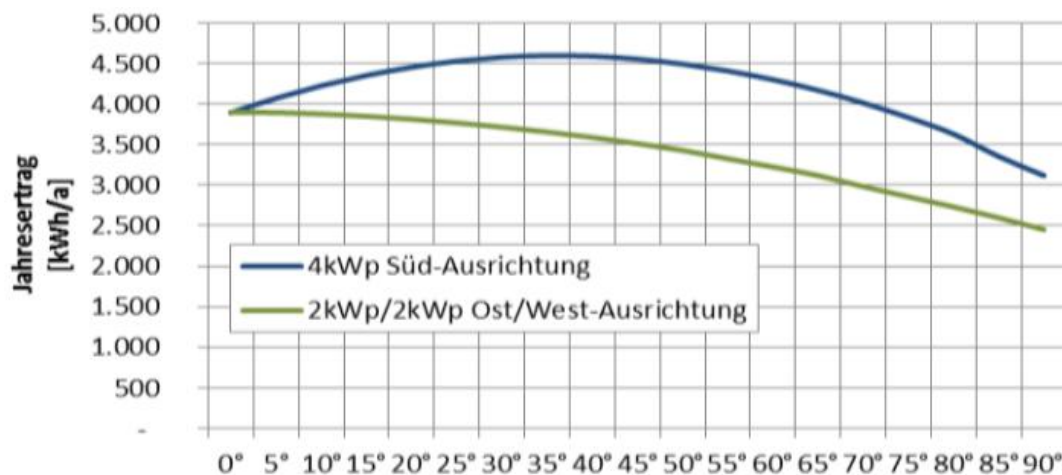


Abbildung 23: Jahresertrag Süd-versus Ost/Westanlage in Abhängigkeit des Neigungswinkels⁸⁰

Abbildung 24 zeigt, dass sich die Ertragsverluste der Ost/Westanlage bei einer Aufstellung von 35° auf ca. 20,5% beläuft.

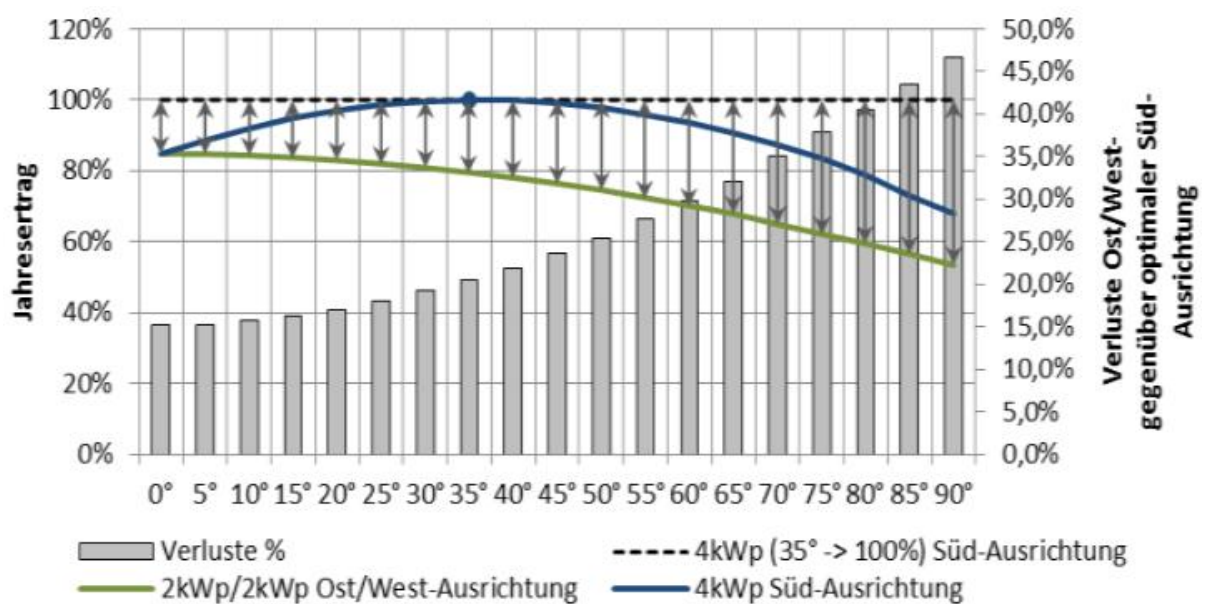


Abbildung 24: Prozentuale Ertragseinbußen durch Ost/West-Ausrichtung⁸¹

Somit beträgt der Minderertrag bei einer Ost/Westausrichtung in diesem Beispiel in etwa 943 kWh (bei 4.600 kWh Baseline und eine Reduktion von 20,5%)

Die nachfolgende **Abbildung 25** zeigt ein Feld von Eigenverbrauchsquoten eines Haushalts bei optimaler Neigung und Südausrichtung. In Abbildung 26 ist ein Feld von

⁸⁰ DI(FH) Franz Jetzinger/Theresa Wohlmuth,BSC/Dr.Johannes Schmid, Alpine-Energie Österreich GmbH, Eigenverbrauch von PV-Energie, Vortrag im Rahmen des 13.Symposium Energieinnovation, 2.-14.2.2014, Graz, Seite 6

⁸¹ DI(FH) Franz Jetzinger/Theresa Wohlmuth,BSC/Dr.Johannes Schmid, Alpine-Energie Österreich GmbH, Eigenverbrauch von PV-Energie, Vortrag im Rahmen des 13.Symposium Energieinnovation, 2.-14.2.2014, Graz, Seite 6

Eigenverbrauchsquoten mit geänderter Ausrichtung (Ost – West - Ausrichtung) zu sehen. Die Ergebnisse entstammen einer Simulation, bei der die EV - Quote bei Änderung des Haushaltsstromverbrauchs und Änderung der PV - Anlagengröße ermittelt wurde.

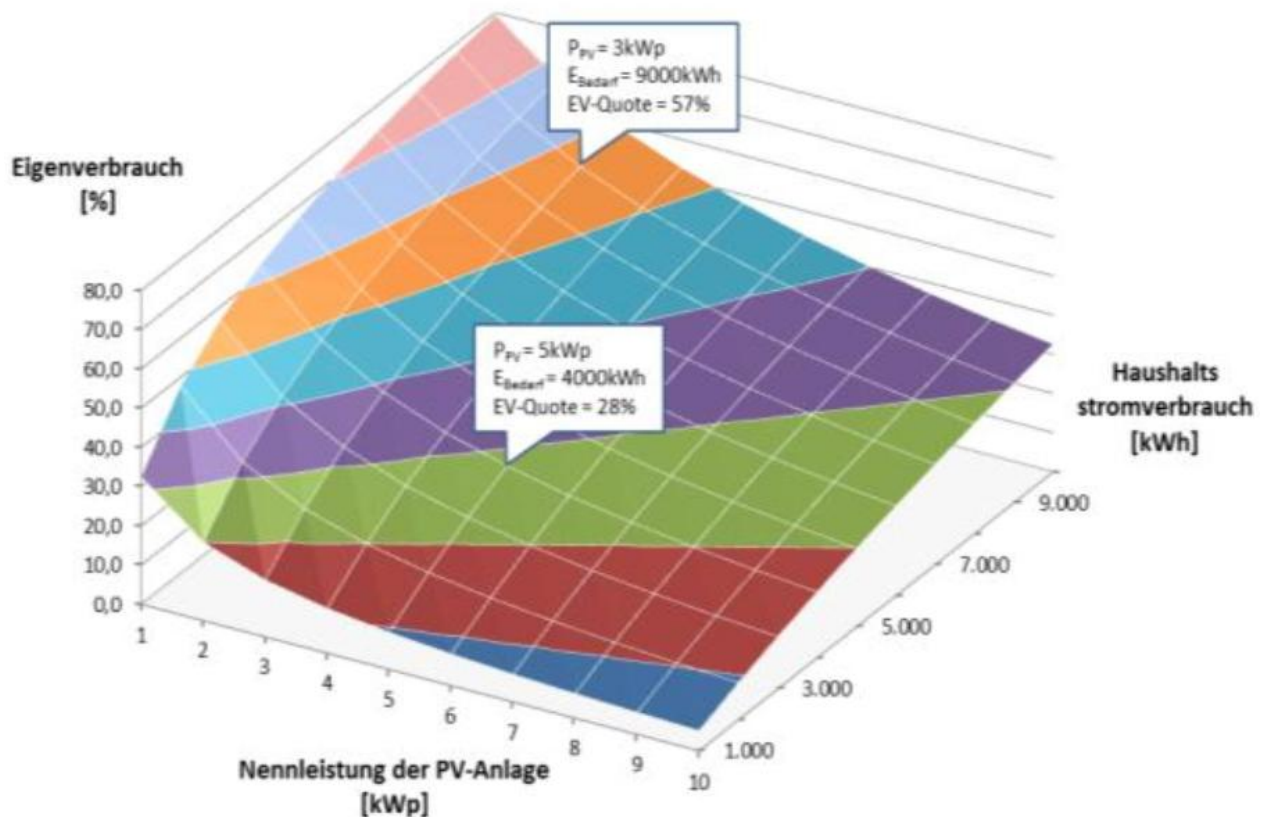


Abbildung 25: Eigenverbrauchsquote in Abhängigkeit der Anlagengröße des Haushaltsstromverbrauchs und der Nennleistung der PV-Anlage bei Südausrichtung: $P_{PV}=5 \text{ kW}_p$; $E_{\text{Bedarf}}=4000 \text{ kWh}$; EV-Quote=28%⁸²

⁸² DI(FH) Franz Jetzinger/Theresa Wohlmuth,BSC/Dr.Johannes Schmid, Alpine-Energie Österreich GmbH, Eigenverbrauch von PV-Energie, Vortrag im Rahmen des 13.Symposium Energieinnovation, 2.-14.2.2014, Graz, Seite 6

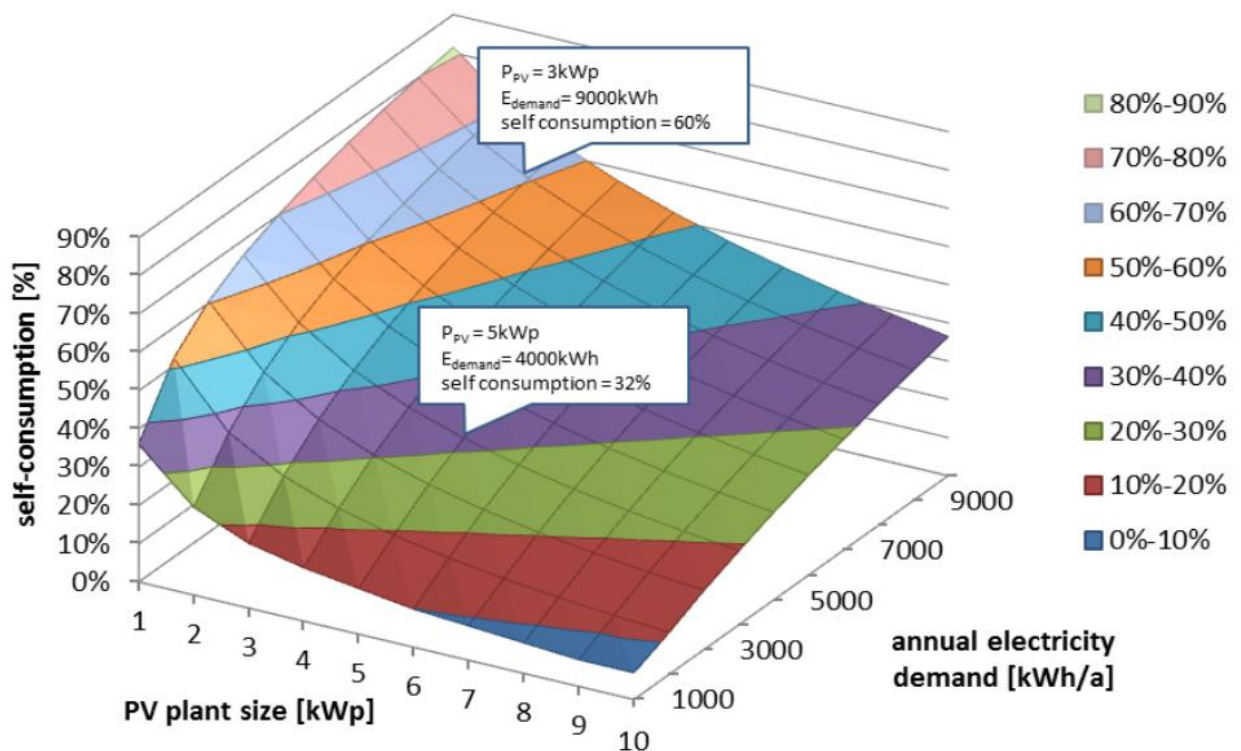


Abbildung 26: Eigenverbrauchsquote in Abhängigkeit der Anlagengröße des Haushaltsstromverbrauchs und der Nennleistung der PV-Anlage bei Ost/West-Ausrichtung: $PPV=5 \text{ kW}_p$; $E_{\text{Bedarf}}=4000 \text{ kWh}$; EV-Quote=32%)⁸³

Wie in den beiden **Abbildung 25** und **Abbildung 26** ersichtlich, wurden 2 unterschiedliche Szenarien betrachtet. Siehe dazu Tabelle 10.

Tabelle 10 : Szenarien Eigenverbrau aufgrund PV Größe und Haushaltsstromverbrauch

Ausrichtung	Süd		Ost/West	
PPV	3 kW _p	5 kW _p	3 kW _p	5 kW _p
E _{Bedarf}	9000 kWh	4000 kWh	9000 kWh	4000 kWh
EV-Quote	57%	28%	60%	32%

Daraus ergibt sich, dass die Ertragskurve der Ost/West-PV-Anlage mittags flacher und in den Morgen- und Abendstunden breiter ist, was zu einer absoluten Verbesserung der EV-Quote in den beiden Fällen um ca. 3 -4% führt.

Nimmt man hier das Szenario von **Abbildung 24** und rechnet es linear auf das Szenario aus Tabelle 10 herauf mit 5kW_p und einem Verbrauch von 5.000 kWh, so ergibt sich eine Produktion von 5.750 kWh bei Südausrichtung. Bei einer Ost/Westausrichtung ergibt sich eine

⁸³ DI(FH) Franz Jetzinger/Theresa Wohlmuth, BSC/Dr. Johannes Schmid, Alpine-Energie Österreich GmbH, Eigenverbrauch von PV-Energie, Vortrag im Rahmen des 13. Symposium Energieinnovation, 2.-14.2.2014, Graz, Seite 6

reduzierte PV-Erzeugung von 4.571 kWh. Aus der nachfolgenden Tabelle und unter Einbeziehung einiger Annahmen ergibt sich bei der Südausrichtung trotz der etwas reduzierten EV-Quote ein Kostenvorteil in diesem Beispiel von 84,7 EUR bzw. 15,7 %.

Bei diesem Szenario wäre erst bei einer EV-Quote von 45,75% bei der Ost/Westausrichtung eine Kostenneutralität gegenüber der Süd-Ausrichtung gegeben. Dies gilt allerdings rein aus der Betrachtung des Hauseigentümers. Die Kosteneinsparung von Seiten des Netzbetreibers (welche durch eine solche Ost/Westausrichtung gegeben wären, sind hier nicht berücksichtigt).

Tabelle 11: Szenario Veränderung Ausrichtung auf die Erträge bei Eigenverbrauch und Überschusseinspeisung

Ausrichtung	PV-Erzeugung	EV-Quote	Ertrag aus Eigenverbrauch (19€cent/kWh)	Ertrag aus Überschusseinspeisung (5,5€cent/kWh)	Gesamtertrag	
Süd	5.750	28%	305,9	227,7	533,6	
Ost/West	4.571	32%	277,9	171,0	448,9	
				Kostendifferenz	84,7 €	
				Differenz	15,9 %	

Ein weiterer wichtiger Punkt den Eigenverbrauch zu erhöhen war das Thema Anpassung des Lastgangs. Dies wurde versucht in diesem Projekt mit der gezielten Steuerung der Wärmepumpe tagsüber zu gewährleisten.

3.6.3.1 Optimierung Eigenverbrauch durch Steuerungsoptimierung

Die Steuerung der Wärmepumpen lassen zu, im Zeitprogramm eine Absenkung oder Anhebung zeitweise zu hinterlegen. Eine Nachtabenkung hat das primäre Ziel, den Energieverbrauch bei schlecht isolierten Gebäuden zu senken. Zusätzlich wird aber durch diese Regelungsart der Eigenverbrauch bei Vorhandensein einer PV-Anlage erhöht, da der Betrieb der WP tendenziell auf den Tag verschoben wird. Zusätzlich wird die Effizienz erhöht, durch die höhere Quelltemperatur bei Luft-Wärmepumpen. Bei Neubauten mit einer thermisch hochwertiger Gebäudehülle, macht aus der Energieverlustbetrachtung heraus, eine solche Regelung nur bedingt Sinn, sondern viel mehr aus der höheren Eigenverbrauchsquote und höheren Effizienz aufgrund höherer Quelltemperatur, wie sich bei den Ergebnissen der Messungen auch eindeutig nachweisen ließ.⁸⁴

⁸⁴ David Zogg, Institut für Automation (IA), Fachhochschule Nordwestschweiz Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden, Schlussbericht 2015, Seite 25

3.6.3.2 Inverter-Technologie zur Eigenverbrauchsoptimierung oder Lastreduktion

Bisher wurden im Wohnbaubereich fast ausschließlich Wärmepumpen eingesetzt, bei denen der Verdichter mit einer konstanten Drehzahl läuft und somit nach der Aufheizphase eine Wärmeleistung erzeugt, welche stets größer ist als diejenige, die tatsächlich im Gebäude benötigt wird. Die Regulierung der Vorlauftemperatur geschieht durch das An- und Abschalten des Wärmeerzeugers. Es wird für wenige Minuten mit voller Leistung geheizt, worauf ein Stillstand folgt. Ein solcher Stop-and-Go- Betrieb bringt Wärmeverluste mit sich, da sich das System ständig aufheizt und wieder abkühlt. Nicht nur für die Effizienz, sondern auch für die Langlebigkeit einer Wärmepumpe ist es aber von Vorteil, wenn sie nach einem Start möglichst lange laufen kann. Zum Vergleich: Ein Auto, das überwiegend für Kurzstrecken genutzt wird, verschleißt schneller als ein Langstreckenfahrzeug. Seit einigen Jahren gibt es neben den On-/Off-Wärmepumpen auch solche, die ihre Heizleistung an den tatsächlichen Wärmebedarf anpassen. Dazu regulieren sie permanent und stufenlos die Drehzahl des Verdichters. Man spricht dabei von Inverter-Technik oder auch von modulierenden Wärmepumpen. Positiver Nebeneffekt: Im Teillastbereich arbeitet die Wärmepumpe effizienter als unter Volllast. Dies bestätigte auch eine Studie über einen Feldtest „Wärmepumpen im Bestand“ des Fraunhofer ISE teilnehmenden Wärmepumpen, die über Inverter-Technik verfügten, überdurchschnittlich hohe Jahresarbeitszahlen im Vergleich zu den On-/Off-Geräten. Speziell für die Kombination mit einer Photovoltaikanlage bietet die variable Drehzahl einen weiteren, entscheidenden Vorteil: Mit reduzierter Drehzahl sinkt auch die elektrische Leistungsaufnahme. Abbildung 27 veranschaulicht das beispielhaft. Die Wärmepumpe mit starrer Drehzahl bezieht schubweise ihre Anschlussleistung von 3 kW. Pausiert die Wärmepumpe, wird ein Großteil des PV-Stroms ins Netz eingespeist. Läuft die Wärmepumpe, muss der Großteil des Stroms vom Energieversorger bezogen werden. Das Inverter-Gerät mit gleicher maximaler Leistung läuft dauerhaft und bezieht durchschnittlich etwa 1,5 kW. Diese Leistung kann zum Großteil durch die PV-Anlage gedeckt werden, sodass nur wenig Strom aus dem Netz bezogen werden muss. Die Inverter-Technik erlaubt dadurch einen höheren Eigenverbrauch und einen besseren Autarkiegrad.⁸⁵

⁸⁵ EnergieAgentur.NRW, Leitfaden Wärmepumpe - Kombination von Wärmepumpe und Photovoltaik, Sven Kersten, 2016, Seite 6f

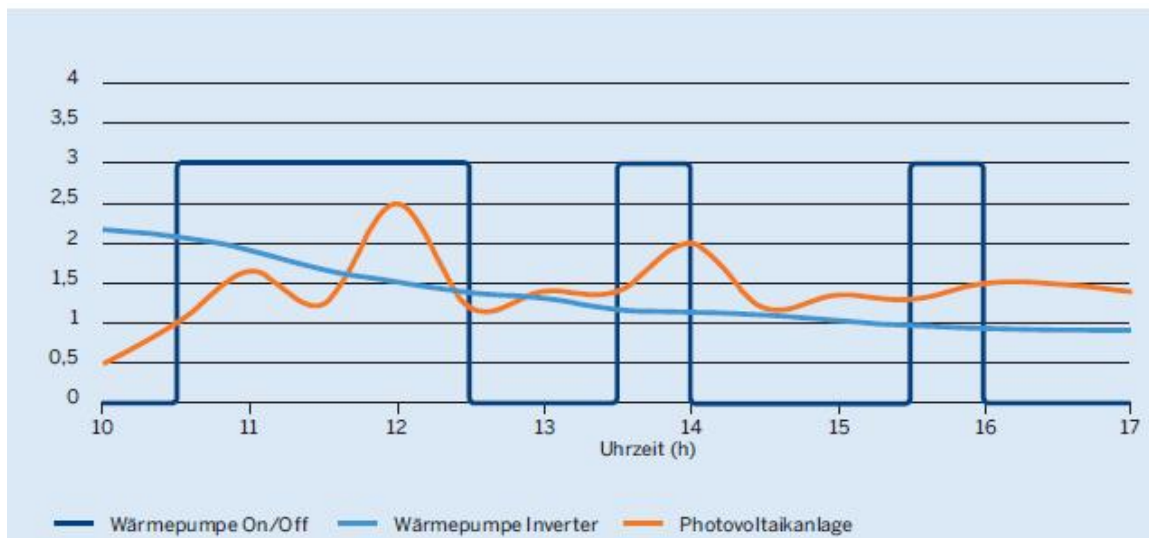


Abbildung 27: Leistungsverläufe im Vergleich: Wärmepumpe mit und ohne Invertertechnik (Angaben in kW)⁸⁶

3.6.3.3 Kombination WP mit PV und Batteriespeichersystem

Die Kombination von PV-Systemen mit Batteriespeichern ermöglicht es, einen höheren Anteil der erzeugten PV-Energie selbst zu nutzen. Dadurch können Haushalte den Strombezug aus dem Netz und die damit verbundenen Ausgaben reduzieren. Ist die Errichtung eines PV-Speichersystems geplant, müssen Aussagen zur Systemauslegung getroffen werden. Wichtige Bewertungsgröße hierzu ist der Eigenverbrauchsanteil.

Die PV-Leistung kann entweder zeitgleich durch die Last direkt verbraucht oder zur Batterieladung genutzt werden. Daher sind auch jeweils die Größen des Batteriespeichers- und PV-Systemgröße entscheidend. Auch der Strombedarf des Haushalts bestimmt die Höhe des Eigenverbrauchsanteils.

Wird in einem Haushalt mit einem Jahresstrombedarf von 4 MWh (4.000 kWh) ein PV-System mit einer Leistung von 4 kWp installiert, entspricht dies einer spezifischen PV-Leistung von 1 kWp/MWh. Bei dieser Systemgröße können Einfamilienhaushalte im Jahresmittel einen Eigenverbrauchsanteil von rund 30 % erzielen.

Wird zusätzlich ein Batteriespeicher mit einer nutzbaren Speicherkapazität von 1 kWh/MWh (zum Beispiel 4 kWh-Batteriespeicher bei einem Jahresstrombedarf von 4 MWh) installiert, kann der Eigenverbrauchsanteil auf 60 % gesteigert werden. Eine Vergrößerung der Speicherkapazität auf über 1,5 kWh/MWh würde den Eigenverbrauchsanteil nur noch wenig steigern. Dies ist darauf zurückzuführen, dass größere Batteriespeicher in der Nacht nicht vollständig entladen werden.⁸⁷

⁸⁶ EnergieAgentur.NRW, Leitfaden Wärmepumpe - Kombination von Wärmepumpe und Photovoltaik, Sven Kersten, 2016, Seite 7

⁸⁷ HTW Berlin zur Dimensionierung und Netzintegration von PV-Speichersystemen (<http://pvspeicher.htw-berlin.de>)

3.7 Messtechnische Analyse und Lastverschiebungspotenziale in der Praxis

Zusätzlich zur Potentialabschätzung, welche auf verschiedenen Vorarbeiten und generalisierten Annahmen basiert, sollte im Projekt Sol2PumpEff immer auch ein enger Bezug zur praktischen Umsetzung gegeben sein. Hierfür wurde in 4 Häusern das Lastverschiebungs- bzw. Optimierungspotential anhand von gemessenen Lastgängen durchgespielt bzw. auf den Punkt gebracht.

3.7.1 Monatsbilanzen & Jahresanalyse

Nach Ablauf des Vermessungszeitraumes von 2 Jahren wurden zuerst Monatsbilanzen für die Gebäude erstellt. Hier zeigt sich schon die Verteilung des Energieverbrauchs über das Jahr hinweg. Vor allem für die BewohnerInnen, bzw. EndverbraucherInnen ist diese Darstellung gut verwendbar. Denn hier ist deutlich die Divergenz zwischen Energieaufkommen durch Photovoltaik und Solarthermie auf der einen Seite, und des Verbrauches in den einzelnen Monaten auf der anderen Seite ersichtlich. Sämtliche Messergebnisse in den folgenden Darstellungen beziehen sich auf die Messperiode 05/2014-04/2016.

3.7.1.1 Haus 1

Im Haus 1 wurden von Beginn an Optimierungsmaßnahmen umgesetzt um darzustellen welche Potentiale mit einfachen (Lowtech-) Maßnahmen erreichbar sind. Diese beinhalteten neben einem sparsamen und bewussten Verbrauchsverhalten, vor allem

- Konsequente Bevorrangung der Solarthermie
- Absenkung der Minimaltemperatur des Warmwasserspeichers: Um auch zwei bis drei Tage ohne solaren Ertrag überbrücken zu können, wurde die Solltemperatur des Warmwassers gesenkt. Dadurch können die Erträge aus Solarthermie optimal genutzt werden, ohne dass die Wärmepumpe im Sommer anspringen muss.
- Wärmepumpe sollte nur Tagsüber arbeiten: Ziel ist die Erhöhung des Eigenverbrauchs von Photovoltaikstrom und Nutzung der höheren Umgebungstemperatur tagsüber. Als Speicher wurden die vorhandenen Speichermassen im Gebäude genutzt. Es hat sich gezeigt, dass diese bei Niedrigstenergiebauten ausreichen um die Nacht zu überbrücken ohne wesentliche Temperaturschwankungen im Wohnbereich festzustellen.

Nach der Vermessung ergab sich ein solarer Deckungsgrad von 87% im ersten bzw. 88% im zweiten Jahr. Es wurde vom Frühjahr bis spät in den Herbst solarthermisch Warmwasser

bereitet. Teilweise waren auch im Winter signifikante Erträge zu verzeichnen. Dies entspricht einem Solarertrag von 568 bzw. 621 kWh/m²a. Diese Werte sind ausgezeichnet und stellen einen realistisch erreichbaren Referenzwert dar.

In der Aufschlüsselung des Wärmeverbrauchs zeigt sich, dass die Wärmepumpe kaum für die Warmwasserbereitung verwendet wurde. Der gesamte Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung liegt ungefähr bei der Hälfte des Heizwärmebedarfs. Der reale Heizwärmebedarf liegt mit ca. 6.000 kWh/a nur knapp über dem im Energieausweis errechneten Wert von 30 kWh/m²a.

Stromseitig wurde ein Gesamtstromverbrauch von etwa 3.500 kWh erreicht. Dieser gliedert sich in Haushaltsstrom und Wärmepumpenstrom auf.

Schon bei der monatsweisen Betrachtung fällt auf, dass sich der Energieverbrauch für die Wärmepumpe vor allem auf die Heizperiode in den Wintermonaten konzentriert. Wie viel Energie für die Wärmebereitstellung verwendet wurde, ist in Abbildung 31 und Abbildung 32 dargestellt.

Als solare Erzeuger sind in Haus 1 sowohl Solarthermie als auch Photovoltaik verfügbar. Interessant dabei ist, dass sowohl die solarthermische, als auch die Photovoltaikanlage im Monatsmittel etwa gleich viel Energie liefern. Wobei die Photovoltaikfläche etwa um einen Faktor 4 größer als jene der Solarthermie ist. Bemerkenswert ist, dass auch im Winter Warmwasser durch die Solarthermie bereitgestellt werden kann. Die Ergebnisse deuten auf eine optimale Konfiguration bzw. Arbeitsweise von Solarthermie und Photovoltaik hin.

Geht man einen Schritt weiter und stellt den verbrauchten Strom der Eigenerzeugung aus Photovoltaik gegenüber, so zeigt sich, dass in den Monaten April – September eine positive Bilanz (Energie wird ins Netz eingespeist) besteht. In den Wintermonaten muss jedoch Energie aus dem Netz bezogen werden. Dies bedeutet jedoch nicht, dass in den Sommermonaten kein Netzbezug notwendig ist. Eine Detailanalyse auf Tagesmittelwerten bzw. 5-min.-Werten erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln.

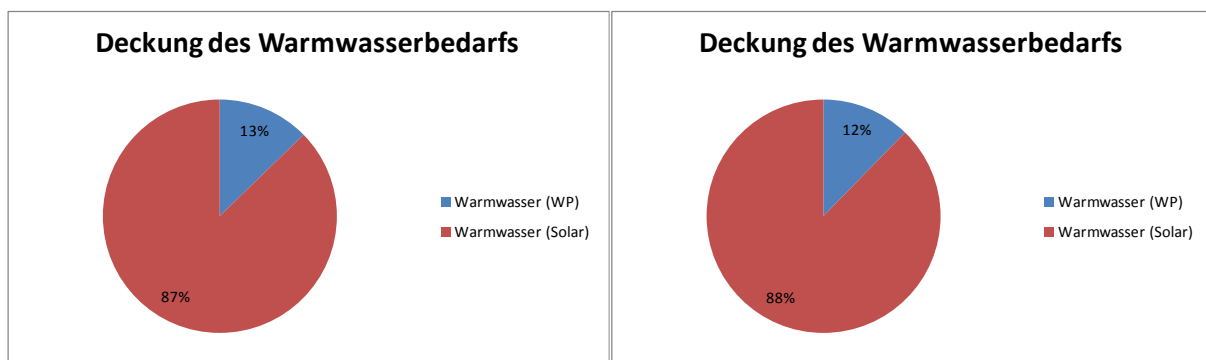


Abbildung 28: Aufgewendete Energie zur Deckung des Warmwasserbedarfs 2014/15 (links) und 2015/16 (rechts)

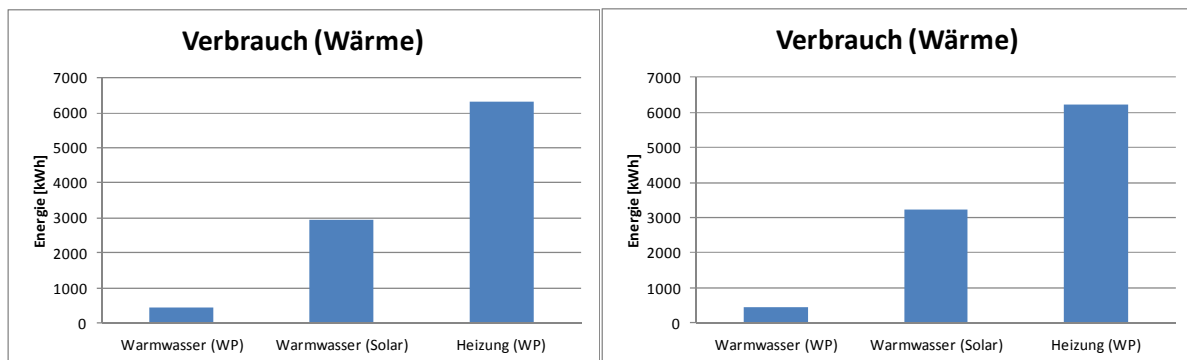


Abbildung 29: Wärmeverbrauch 2014/15 (links) und 2015/16 (rechts)

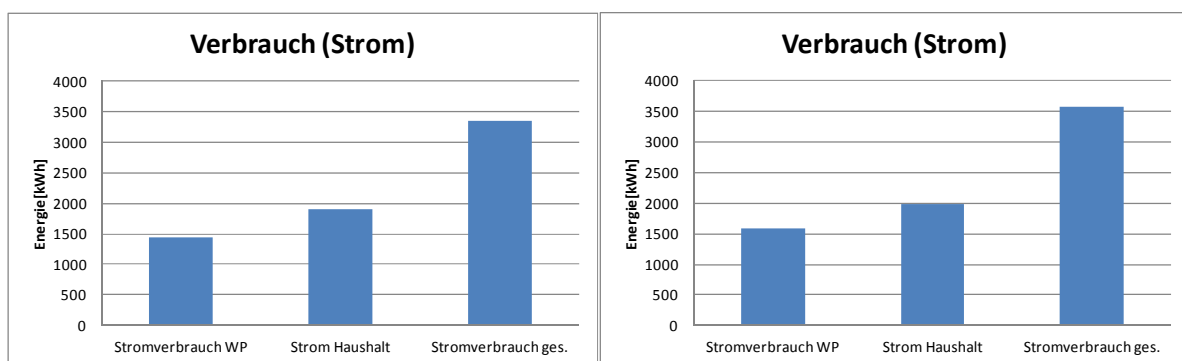


Abbildung 30: Stromverbrauch 2014/15 (links) und 2015/16 (rechts)

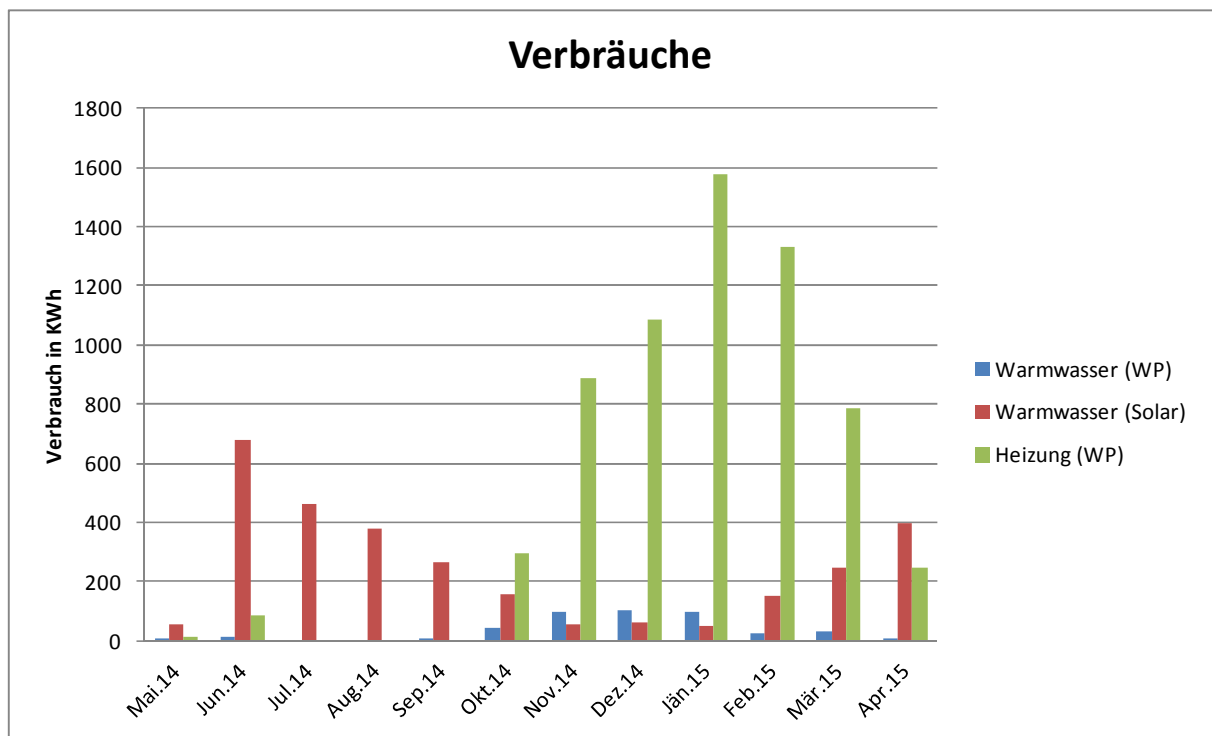


Abbildung 31: Monatsmittel der Verbräuche (2014/15)

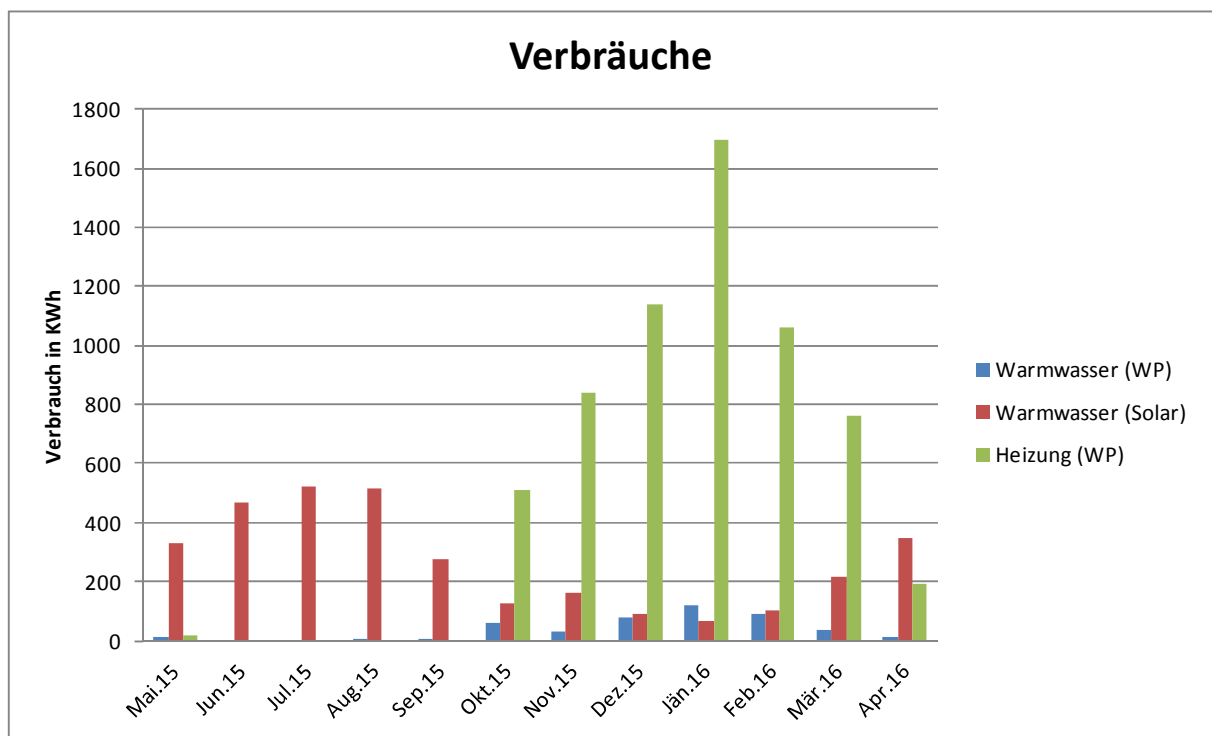


Abbildung 32: Monatsmittel der Verbräuche (2015/16)

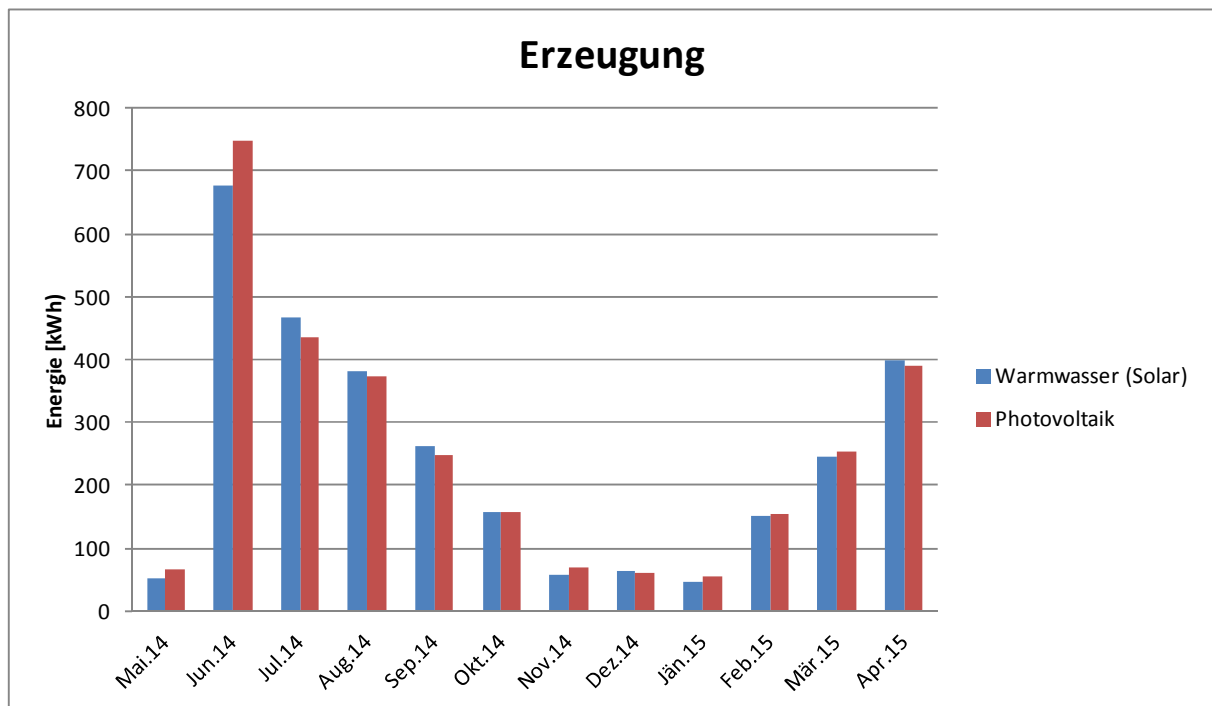


Abbildung 33: Monatsmittel der Energieerzeugung (2014/15)

Die Vermessung startete Ende Mai 2014

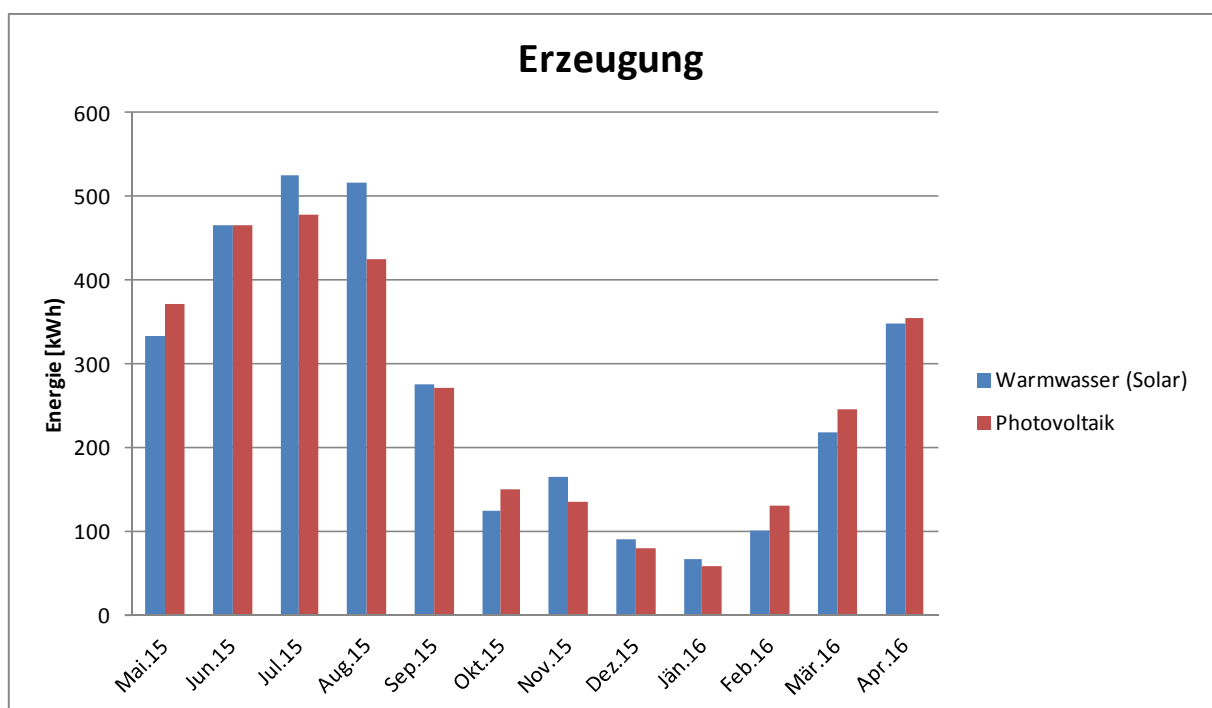


Abbildung 34: Monatsmittel der Energieerzeugung (2015/16)

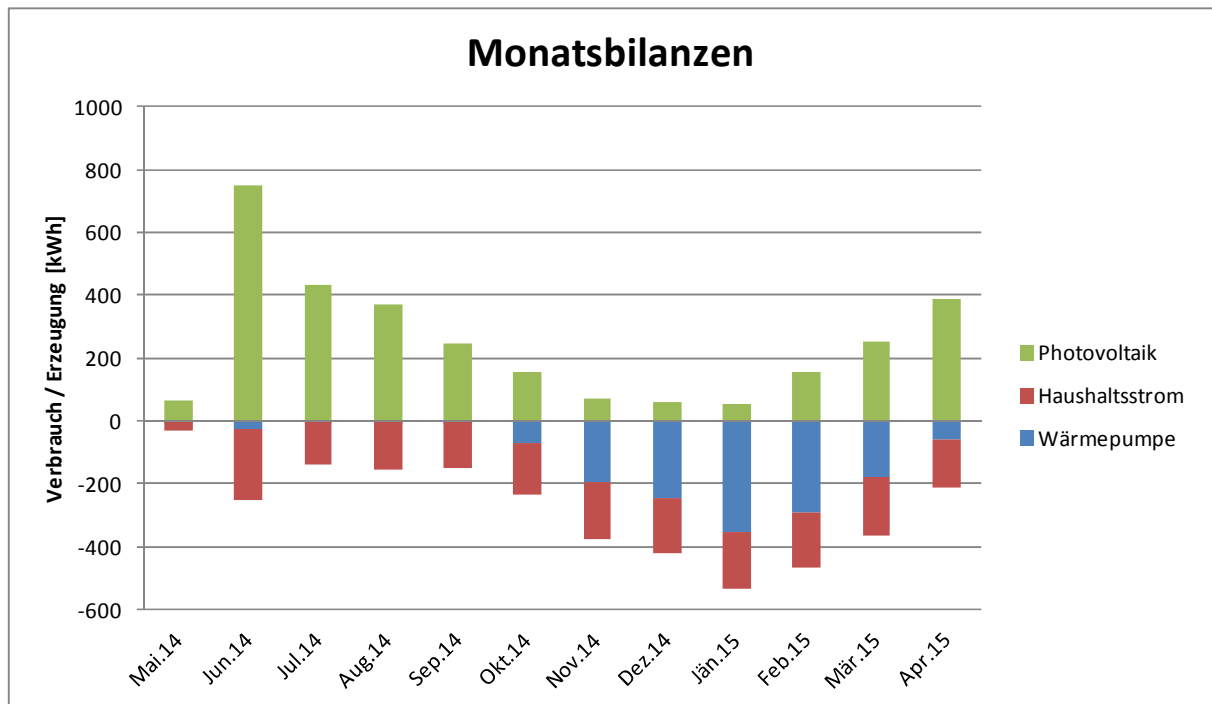


Abbildung 35: Produktion vs. Verbrauch (2014/15)

Die Vermessung startete Ende Mai 2014

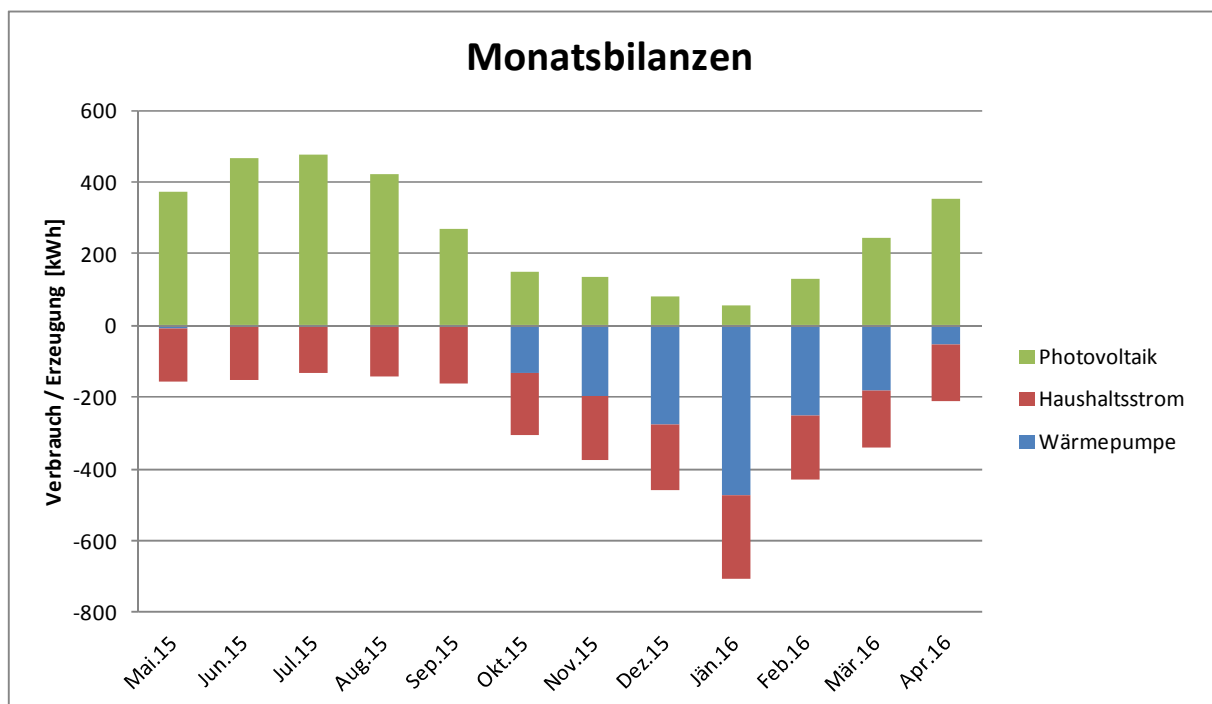


Abbildung 36: Produktion vs. Verbrauch (2015/16)

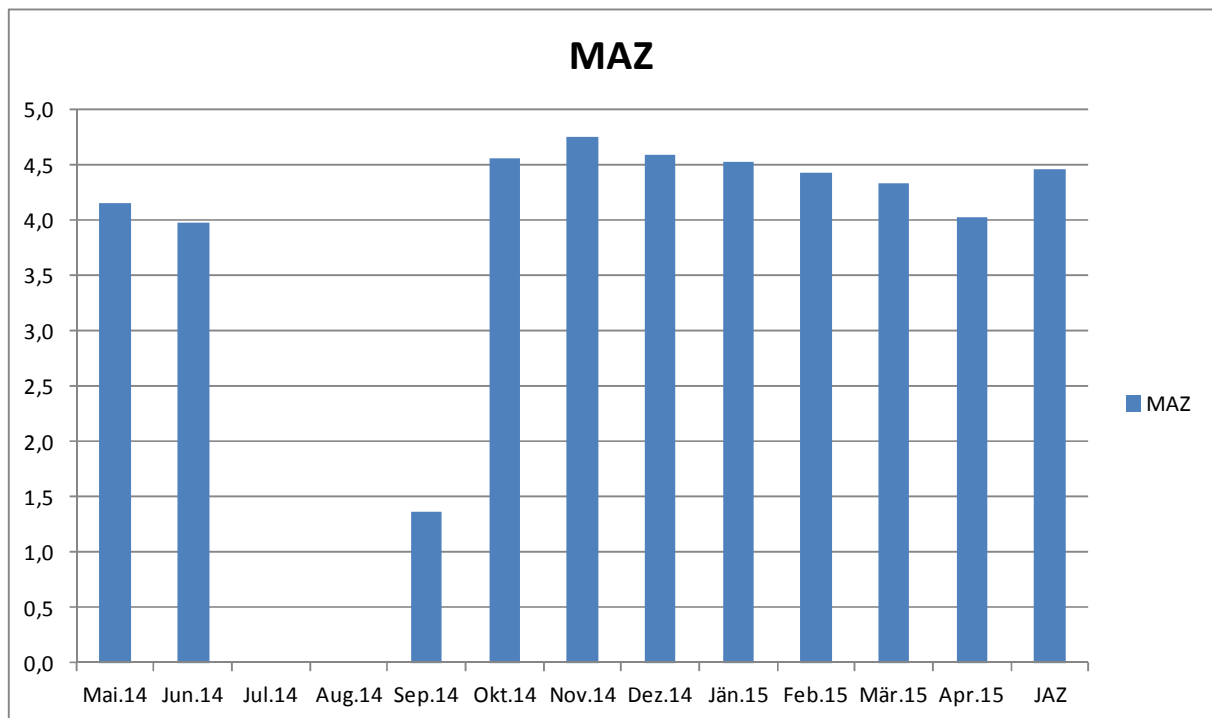


Abbildung 37: Arbeitszahlen, monatsweise (2014/15)

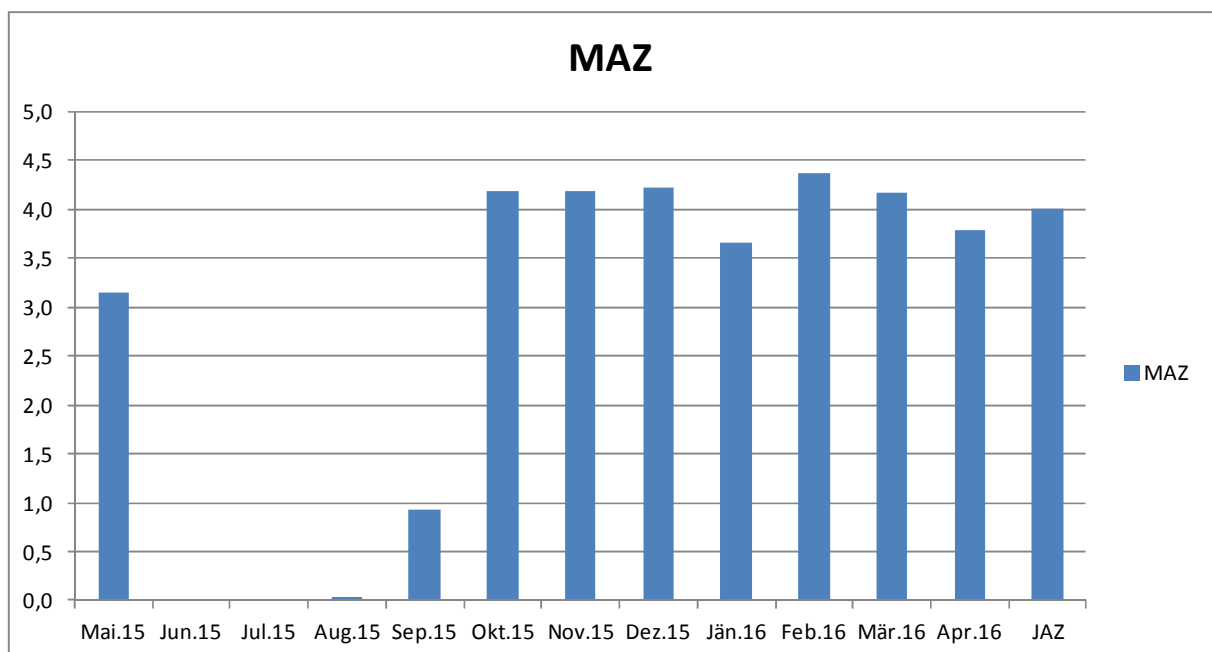


Abbildung 38: Arbeitszahlen, monatsweise (2015/16)

3.7.1.2 Haus 2

Das Haus 2 spiegelt einen Haushalt mit durchschnittlichen Verbrauchsverhalten wider. Es wurden keine Optimierungsmaßnahmen vor Beginn der Messung durchgeführt. Im Folgenden wird dieser Haushalt auch als „normal“ bezeichnet.

Neben dem allgemein höheren Verbrauch fällt zu Beginn der geringe Beitrag der Solarthermie zur Deckung des Warmwasserbedarfs im Vergleich zu Haus 1 auf. 300 und 366 kWh/m²a betrug hier der solare Ertrag.

Der Wärmeverbrauch liegt bei 10.000 kWh/a. Dies entspricht ungefähr dem doppelten des errechneten Wertes im Energieausweis und deckt sich mit den Erfahrungswerten des durchschnittlichen Haushaltsverbrauchs.

Mit einem Gesamtstromverbrauch von ca. 6.000 kWh sticht das Gebäude nicht wesentlich hervor. Dieser verteilt sich jeweils zu ca. 50% auf Haushaltsstrom und Wärmebereitung.

Die Winterspitze im Verbrauch ist in diesem Fall noch ausgeprägter. Auch in den Sommermonaten wurde immer wieder Warmwasser mit der Wärmepumpe bereitet. Hier gibt es Optimierungspotential.

Die Monatsbilanzen zeigen deutlich: Im Winter besteht ein wesentlich größerer Strombedarf als in den Sommermonaten. So liegt der Verbrauch im Jänner 2015 beispielsweise beim 5-fachen wie im Juli 2014.

Die Wärmeerzeugung durch Solarthermie konzentriert sich auf die Sommermonate. Im August 2014 gab es einen Ausfall der Solaranlage (Luft im System) weswegen der Ertrag in diesem Monat geringer ausfällt.

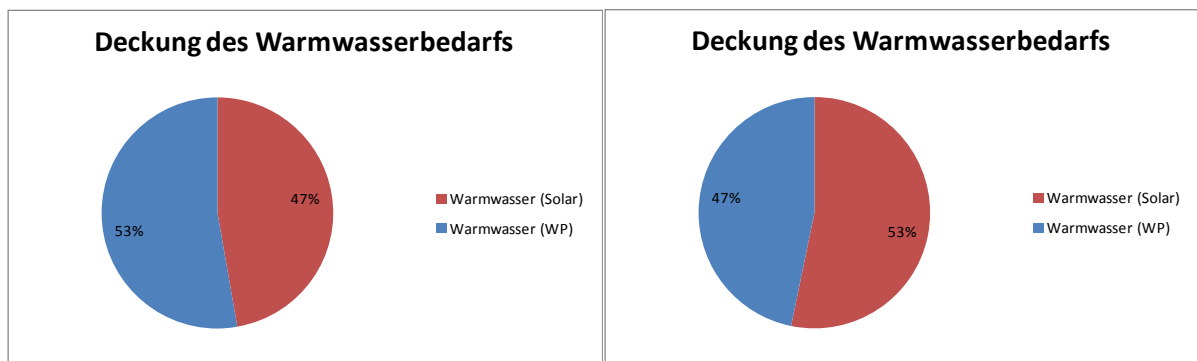


Abbildung 39: Aufgewendete Energie zur Deckung des Warmwasserbedarfs 2014/15 (links) und 2015/16 (rechts)

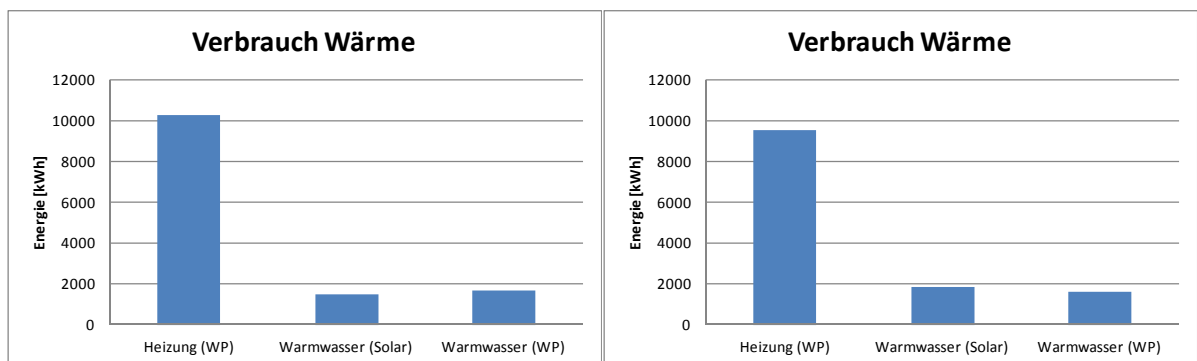


Abbildung 40: Wärmeverbrauch 2014/15 (links) und 2015/16 (rechts)

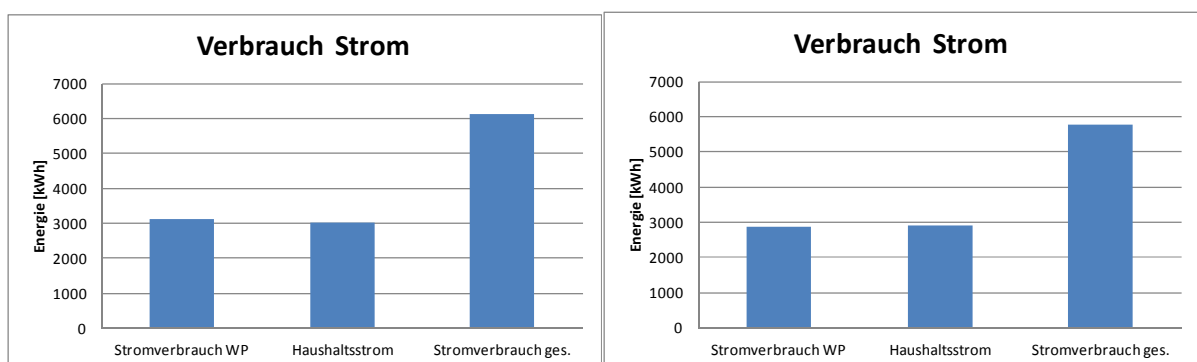


Abbildung 41: Stromverbrauch 2014/15 (links) und 2015/16 (rechts)

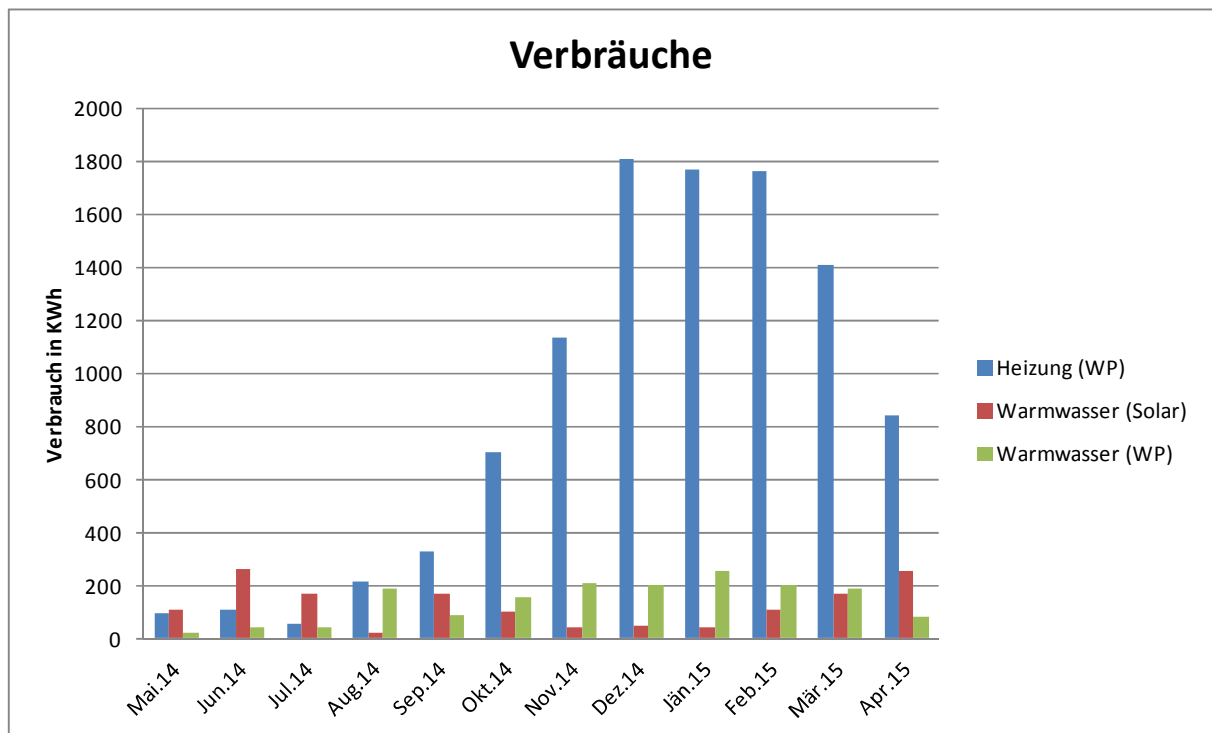


Abbildung 42: Monatsmittel der Verbräuche (2014/15)

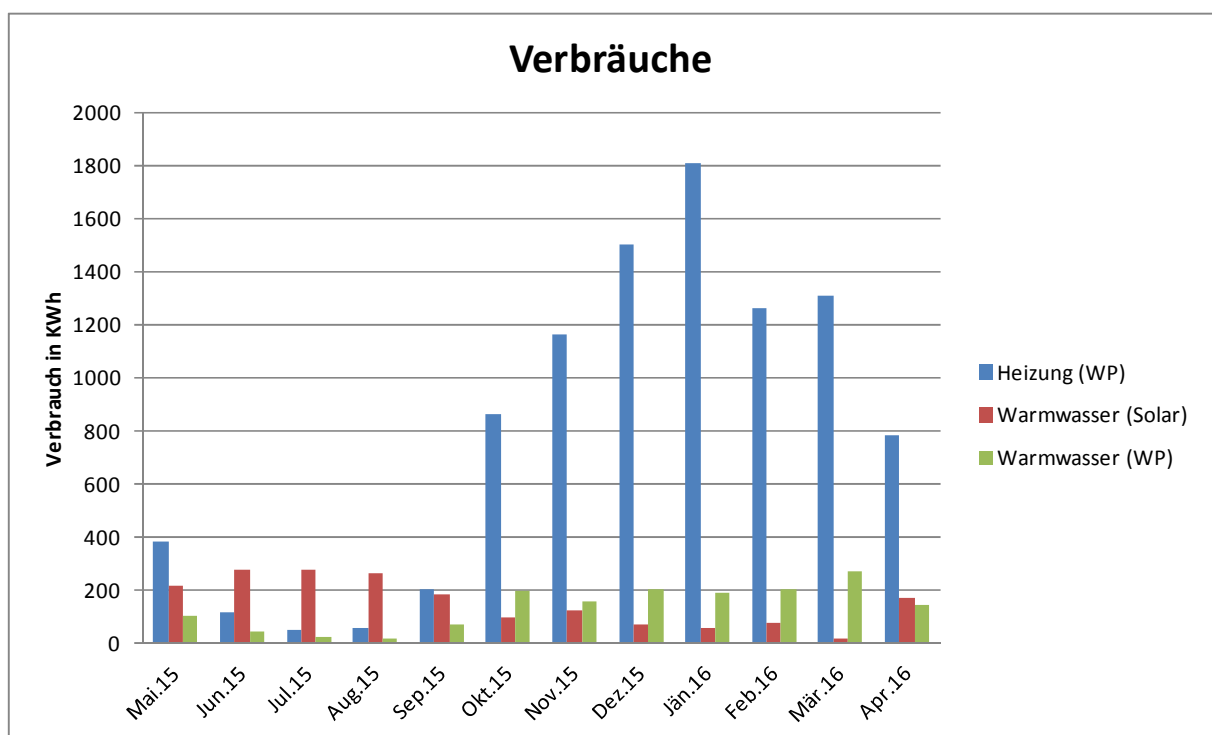


Abbildung 43: Monatsmittel der Verbräuche (2015/16)

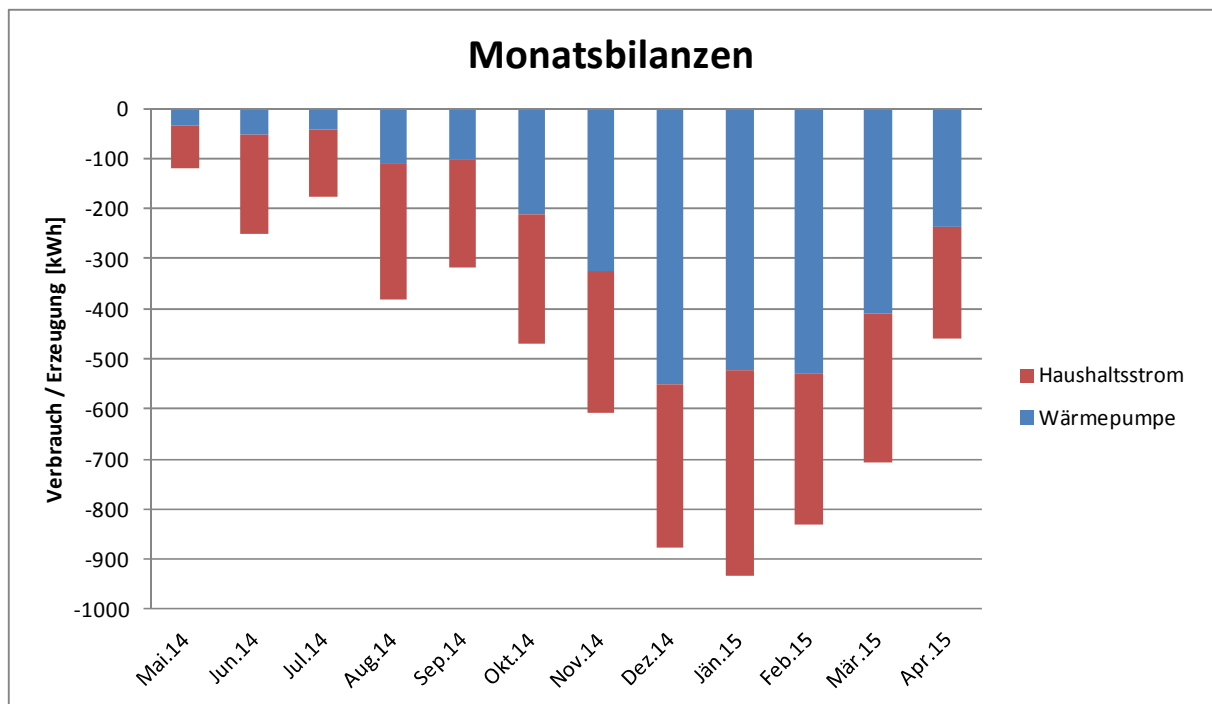


Abbildung 44: Produktion vs. Verbrauch (2014/15)

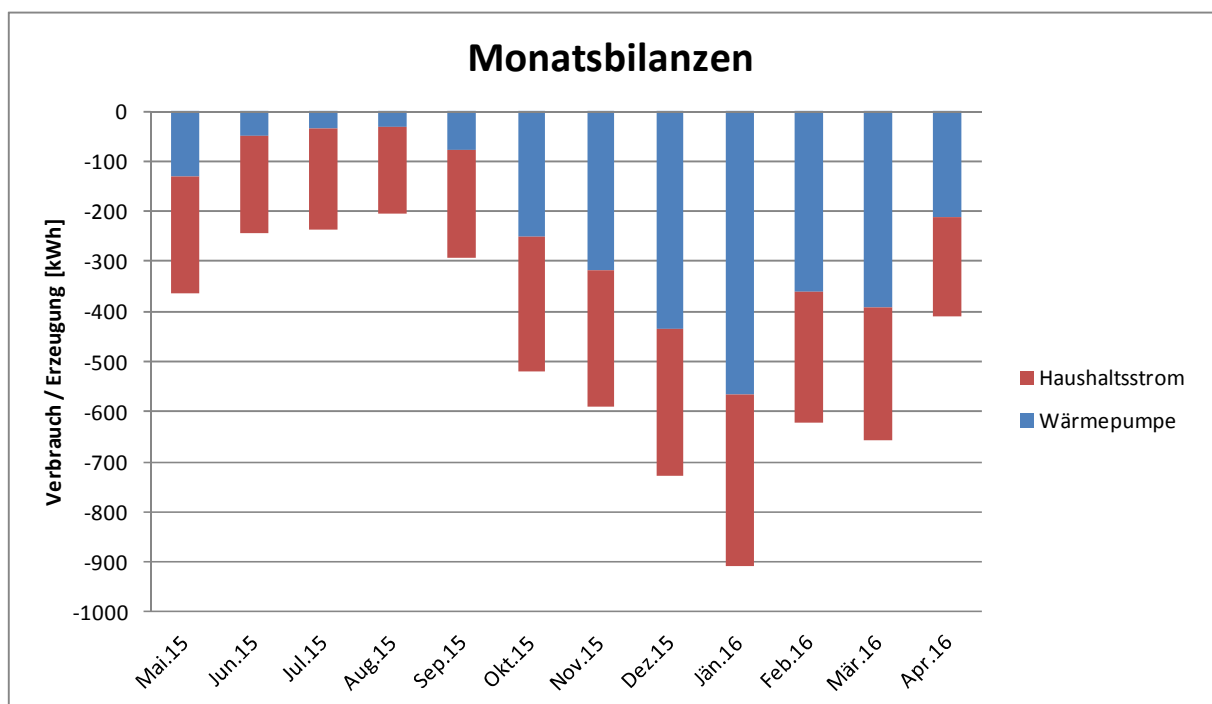


Abbildung 45: Produktion vs. Verbrauch (2015/16)

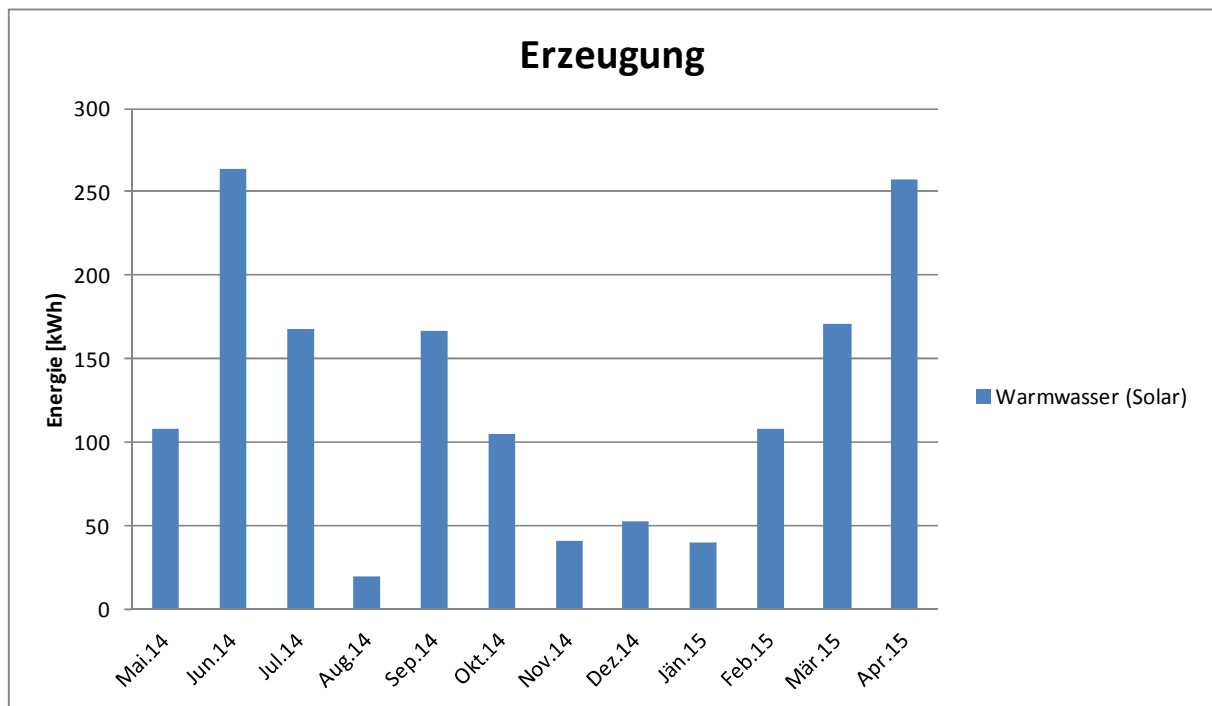


Abbildung 46: Monatsmittel der Energieerzeugung (2014/15)

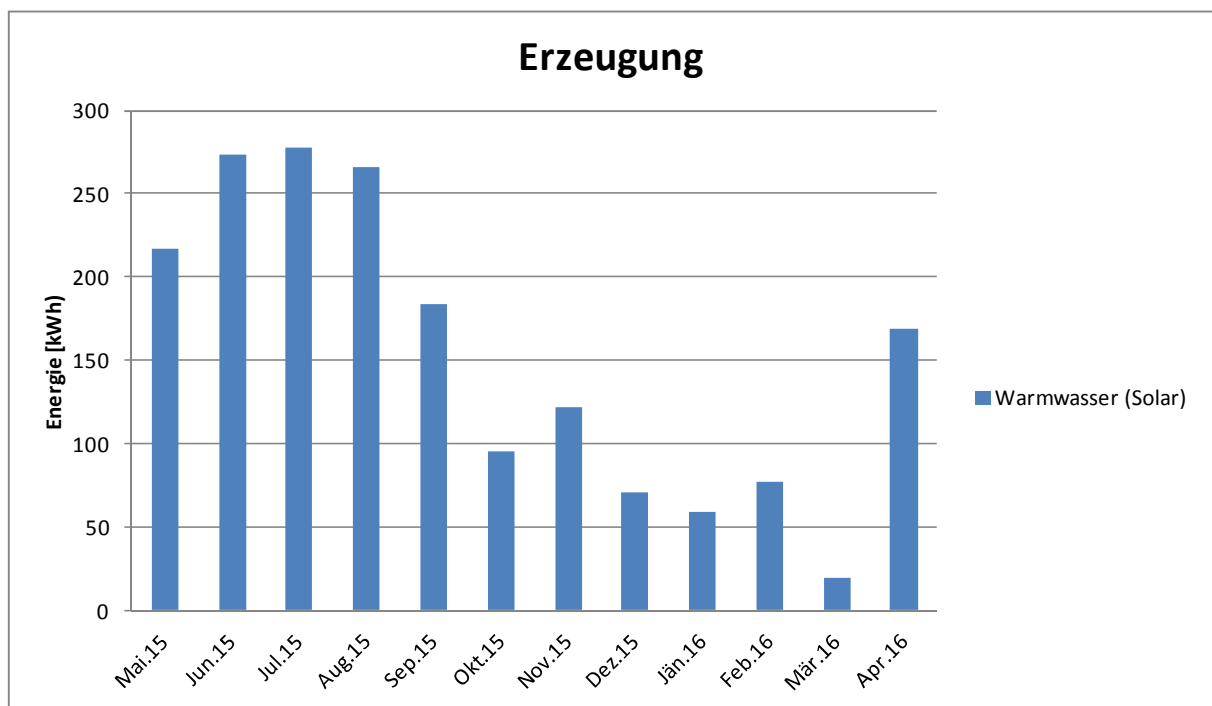


Abbildung 47: Monatsmittel der Energieerzeugung (2015/16)

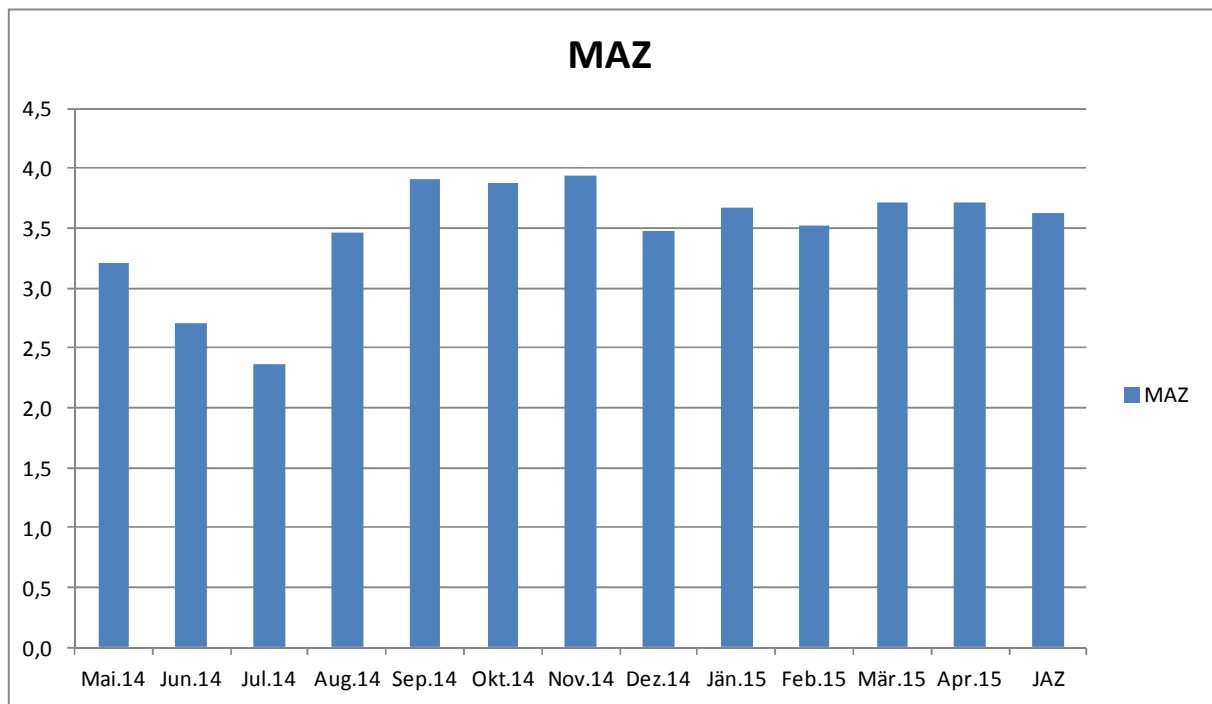


Abbildung 48: Arbeitszahlen, monatsweise (2014/15)

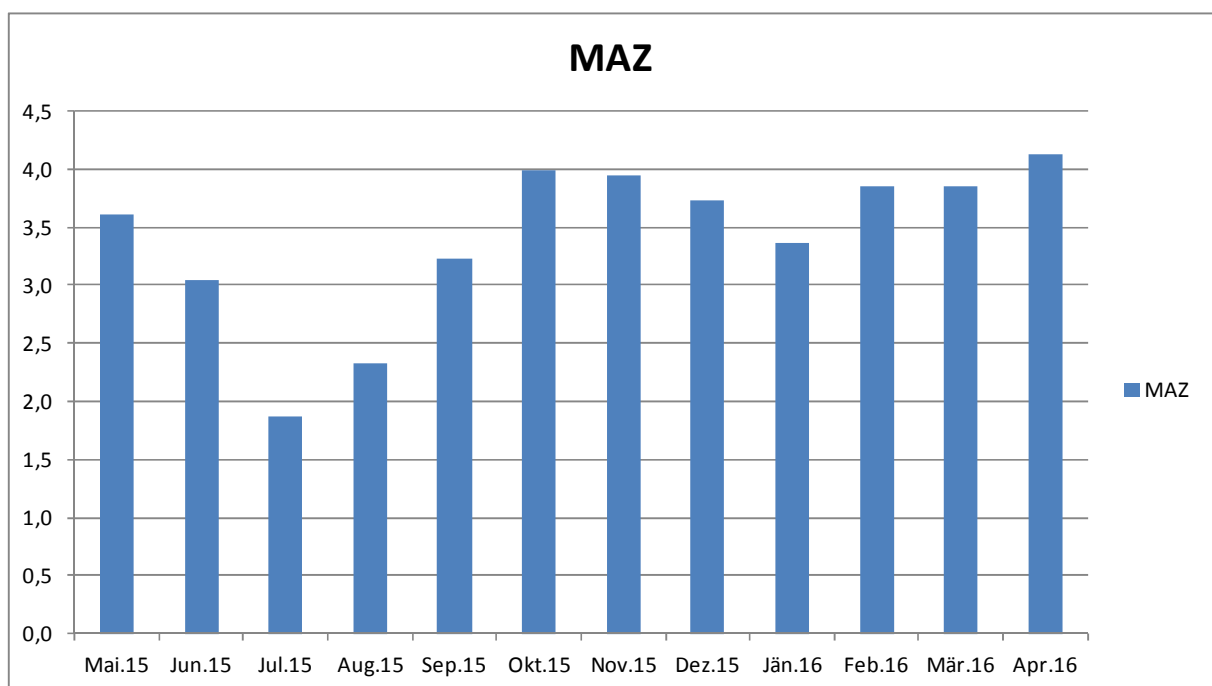


Abbildung 49: Arbeitszahlen, monatsweise (2015/16)

3.7.1.3 Haus 3

Das Haus 3 steht für einen energiebewussten Haushalt, der größtenteils verbrauchsseitig einspart. An Optimierungsmaßnahmen ist hier eine Bevorzugung der solaren Warmwasserbereitung zu nennen, weshalb ein sehr hoher solarer Anteil an der Warmwasserbereitung erreicht wird.

Der Verbrauch für Heizenergie fällt mit 4.000 kWh sehr moderat aus. Er liegt nur geringfügig über dem errechneten Wert lt. Energieausweis.

Der gesamte Strombedarf von 3.500 kWh ist ebenfalls als sehr gering einzuordnen.

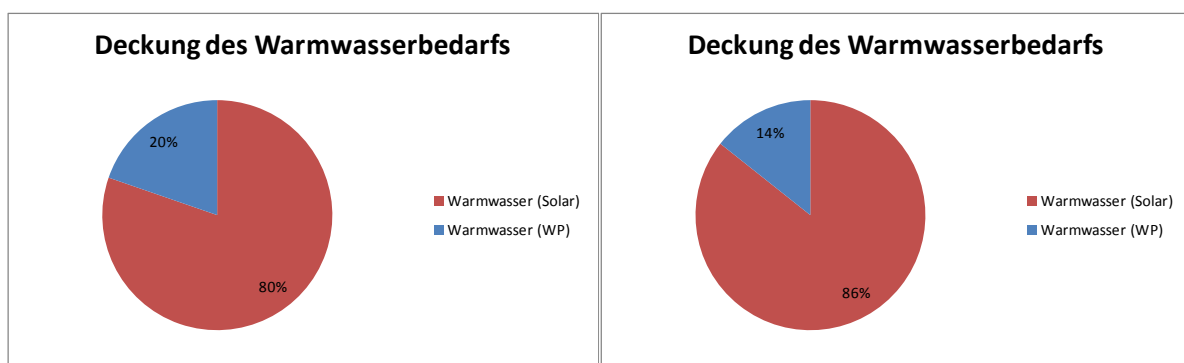


Abbildung 50: Aufgewendete Energie zur Deckung des Warmwasserbedarfs 2014/15 (links) und 2015/16 (rechts)

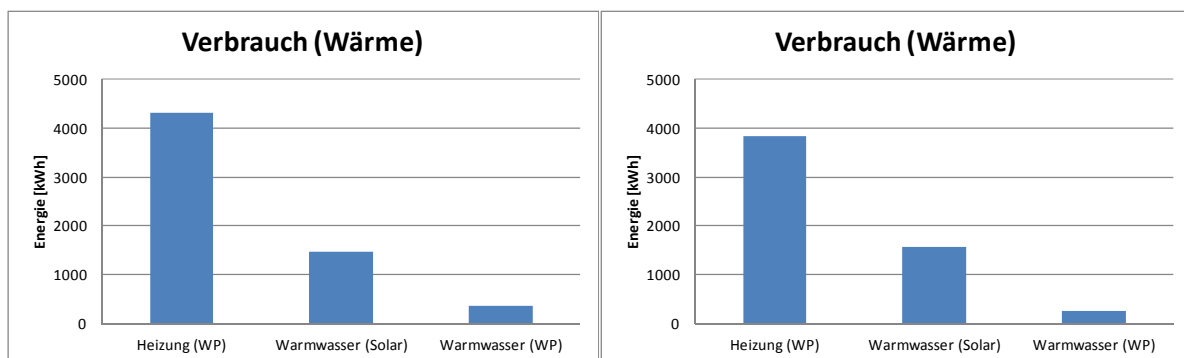


Abbildung 51: Wärmeverbrauch 2014/15 (links) und 2015/16 (rechts)

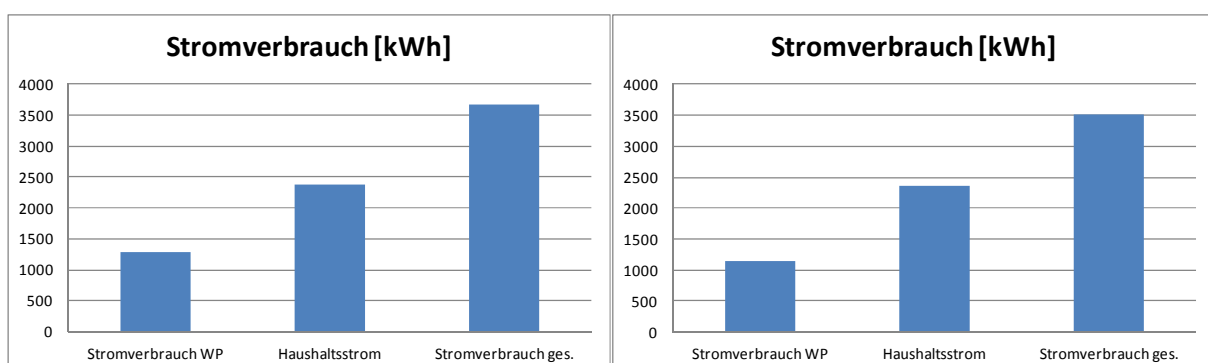


Abbildung 52: Stromverbrauch 2014/15 (links) und 2015/16 (rechts)

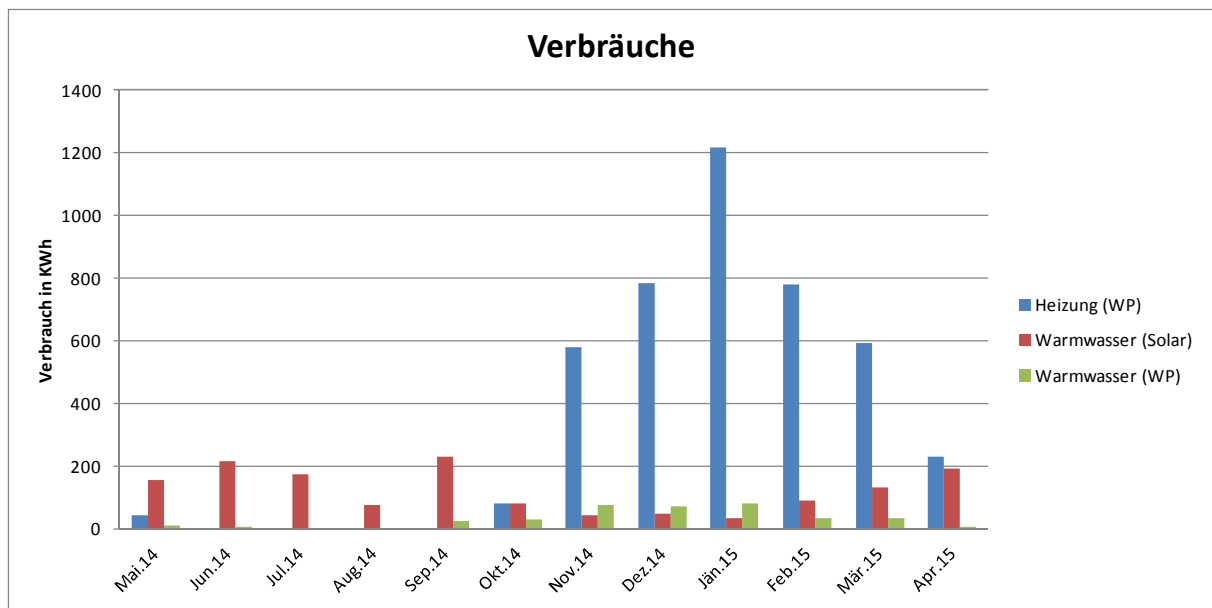


Abbildung 53: Monatsmittel der Verbräuche (2014/15)

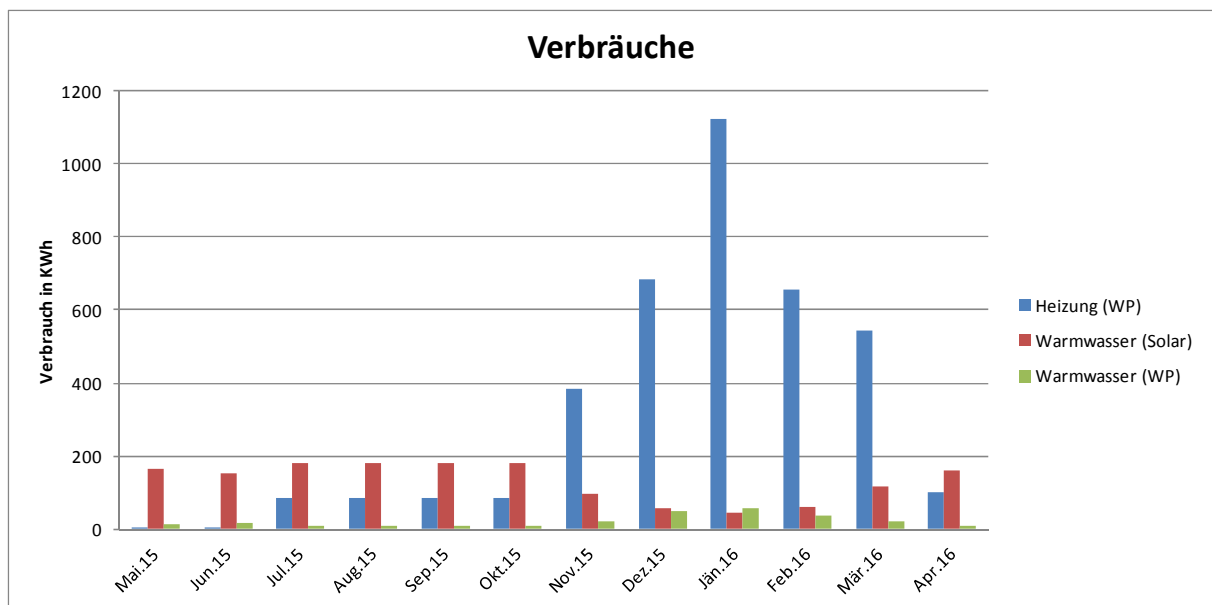


Abbildung 54: Monatsmittel der Verbräuche (2015/16) In den Monaten Juli bis Oktober gab es Probleme bei der Messdatenaufzeichnung, weshalb keine Monatswerte zur Verfügung stehen; die erfassten Summenwerte wurden gleichmäßig auf diese Monate verteilt.

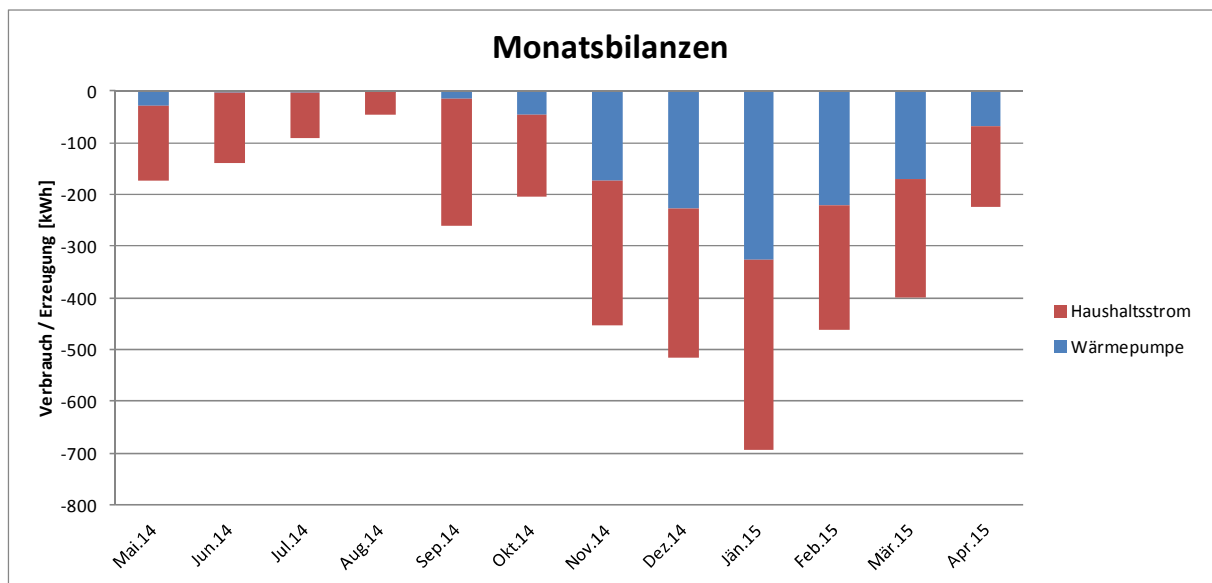


Abbildung 55: Produktion vs. Verbrauch (2014/15)

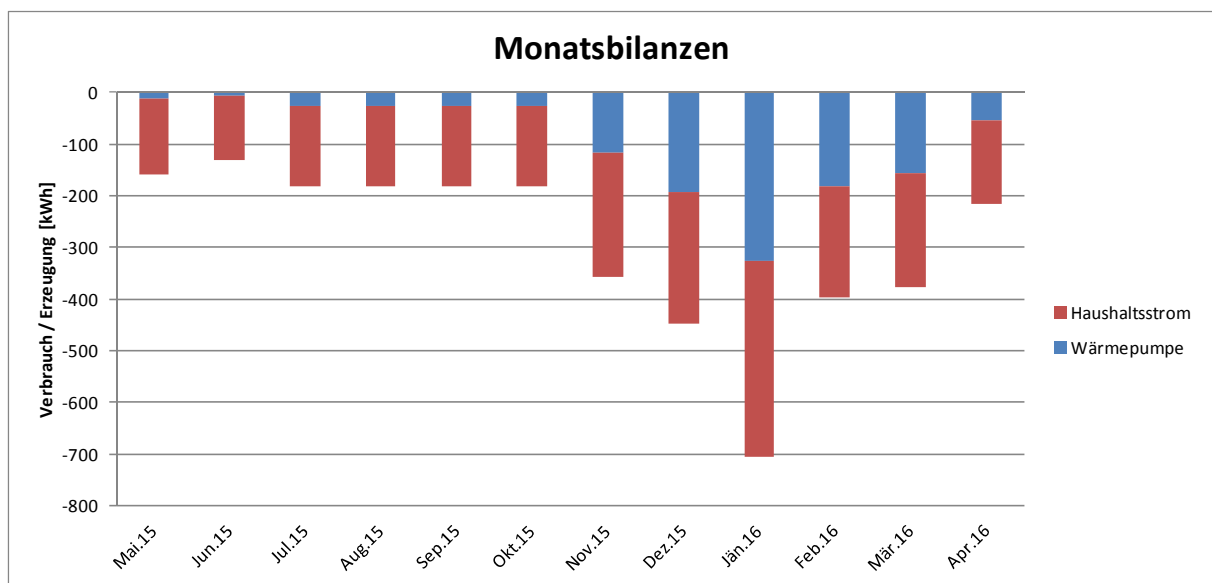


Abbildung 56: Produktion vs. Verbrauch (2015/16)

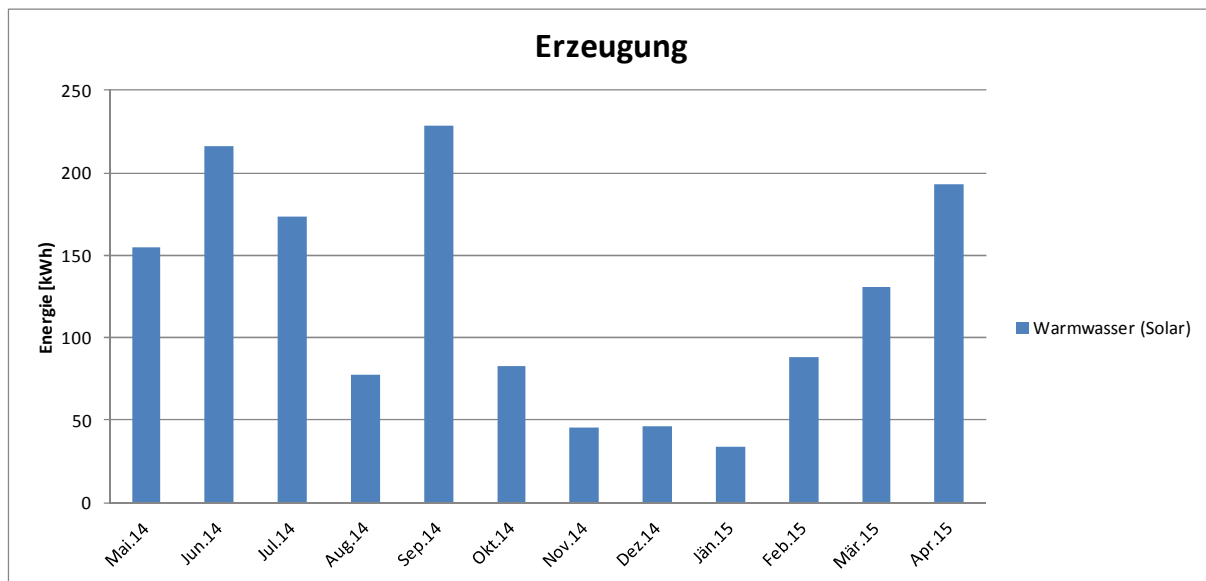


Abbildung 57: Monatsmittel der Energieerzeugung (2014/15)

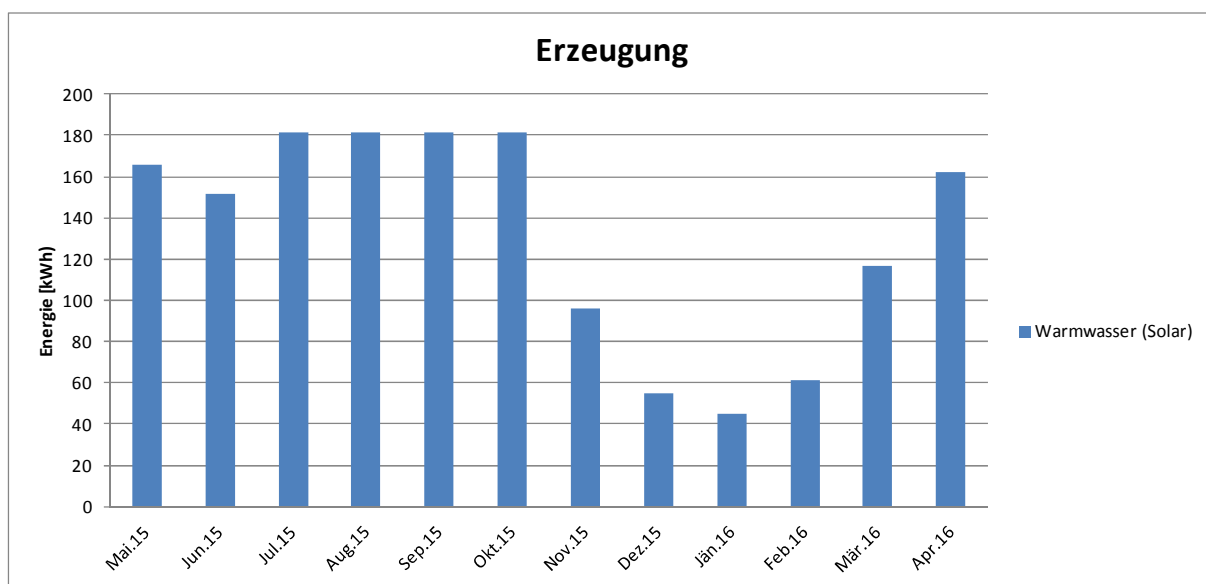


Abbildung 58: Monatsmittel der Energieerzeugung (2015/16)

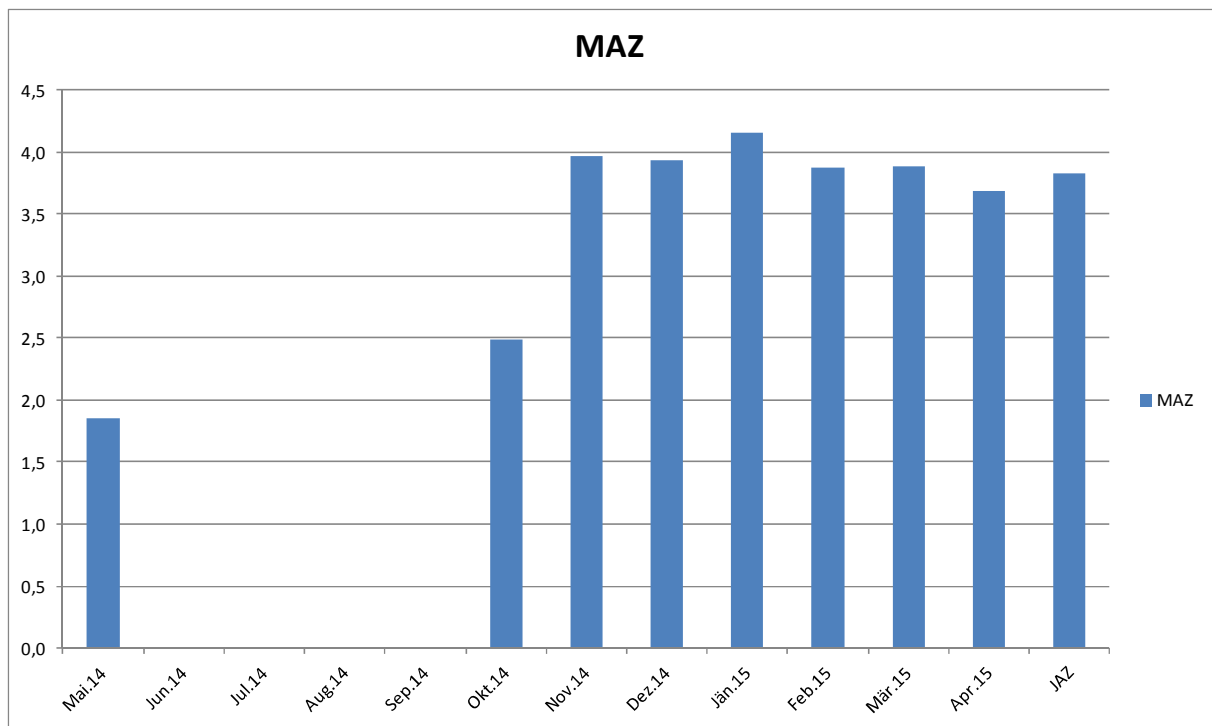


Abbildung 59: Arbeitszahlen, monatsweise (2014/15)

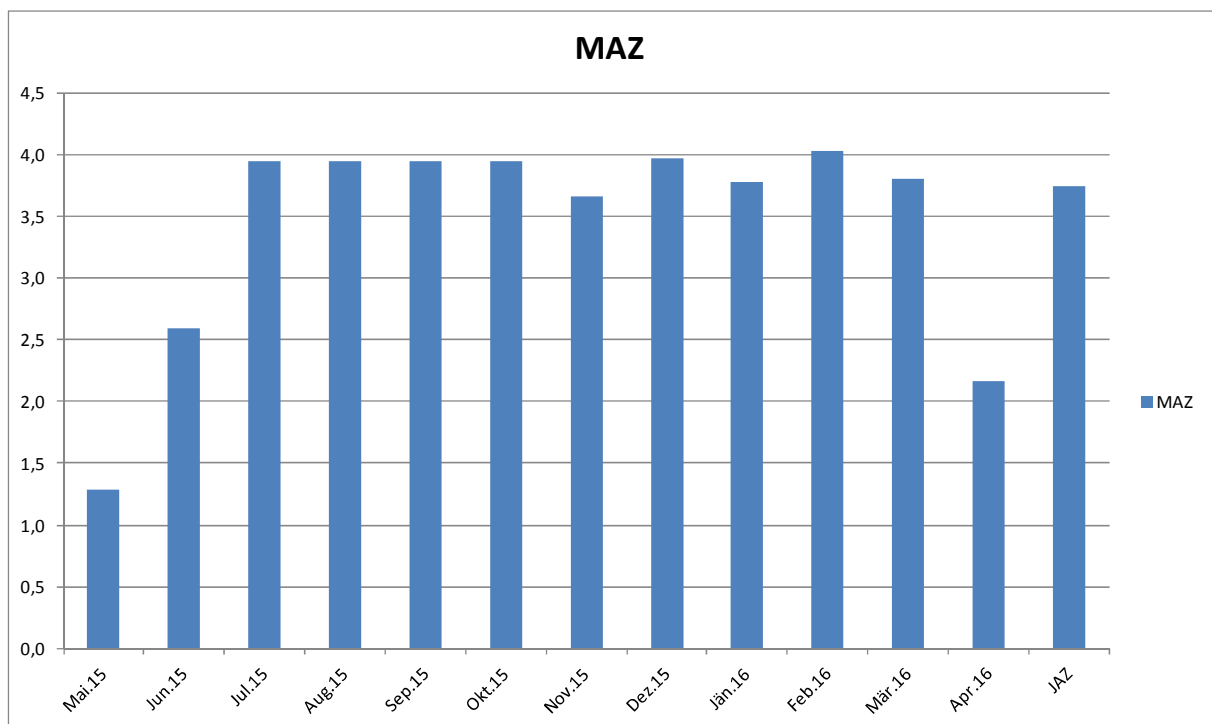


Abbildung 60: Arbeitszahlen, monatsweise (2015/16) In den Monaten Juli bis Oktober gab es Probleme bei der Messdatenaufzeichnung, weshalb keine Monatswerte zur Verfügung stehen, deshalb ist die durchschnittliche Arbeitszahl in diesen Monaten dargestellt.

3.7.1.4 Haus 4

Im Haus 4 finden wir einen Haushalt mit überdurchschnittlichem Verbrauch. Einerseits ist das Gebäude thermisch etwas schlechter ausgeführt als die anderen. Dies ist jedoch nur für einen geringen Teil des höheren Verbrauchs verantwortlich. Vor allem fällt hier der sehr hohe Haushaltsstromverbrauch ins Auge. Dies hat mit den verwendeten Geräten sowie dem Nutzungsverhalten zu tun. Insbesondere zu erwähnen ist hierbei, dass ein Swimmingpool sowie eine kontrollierte Wohnraumlüftung vorhanden sind. Der Swimmingpool wird ebenfalls mit der Wärmepumpe beheizt. In Summe ist der Wärmeverbrauch nicht als extrem hoch einzustufen, wenn man dies bedenkt. Kritisch ist jedoch die Arbeitsweise der Wärmepumpe, welche mit einer Arbeitszahl von 2 bis 2,5 in einem sehr ungünstigen Bereich arbeitet. Auch das Konzept der direkten Versorgung der Wärmepumpe mit Photovoltaikstrom geht nicht auf. In der Konzeption der Anlage liegen einige Schwachstellen (zum Teil hydraulisch, zum Teil regelungstechnisch), welche die Ursache für diese schlechte Performance darstellen. Eine nachträgliche Optimierung ist hier zum Teil möglich, zum Teil jedoch nur mit massiven Eingriffen in das hydraulische System.

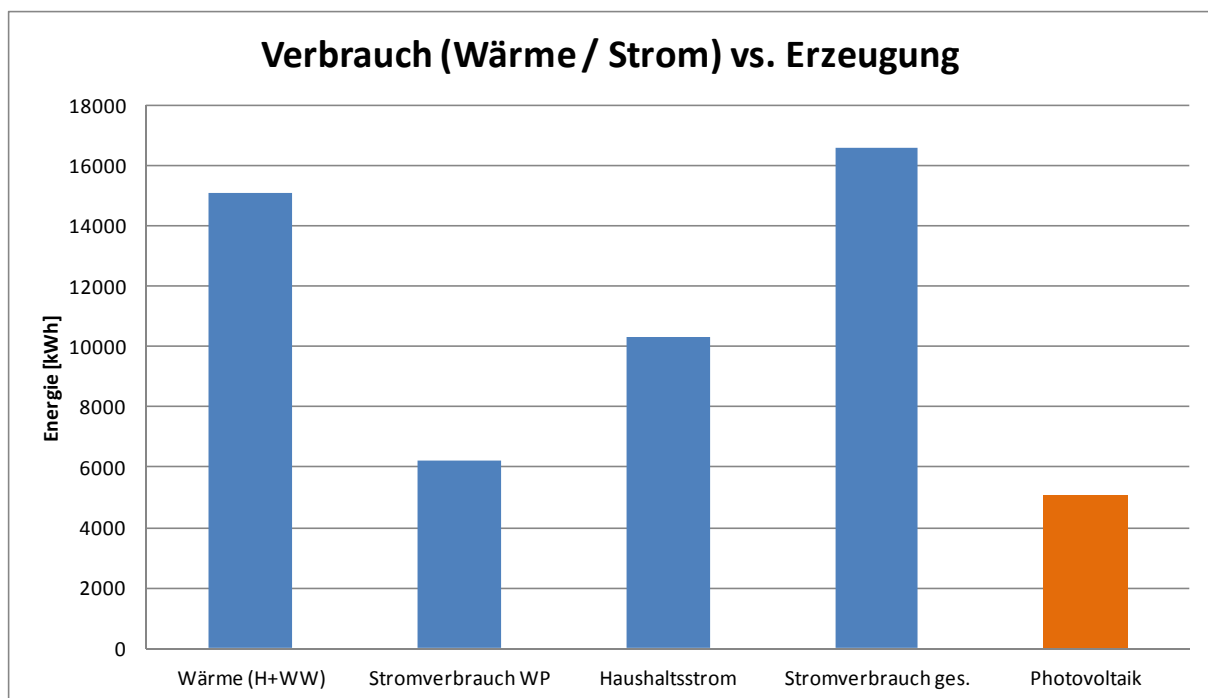


Abbildung 61: Wärme und Strombrauch 2014/15

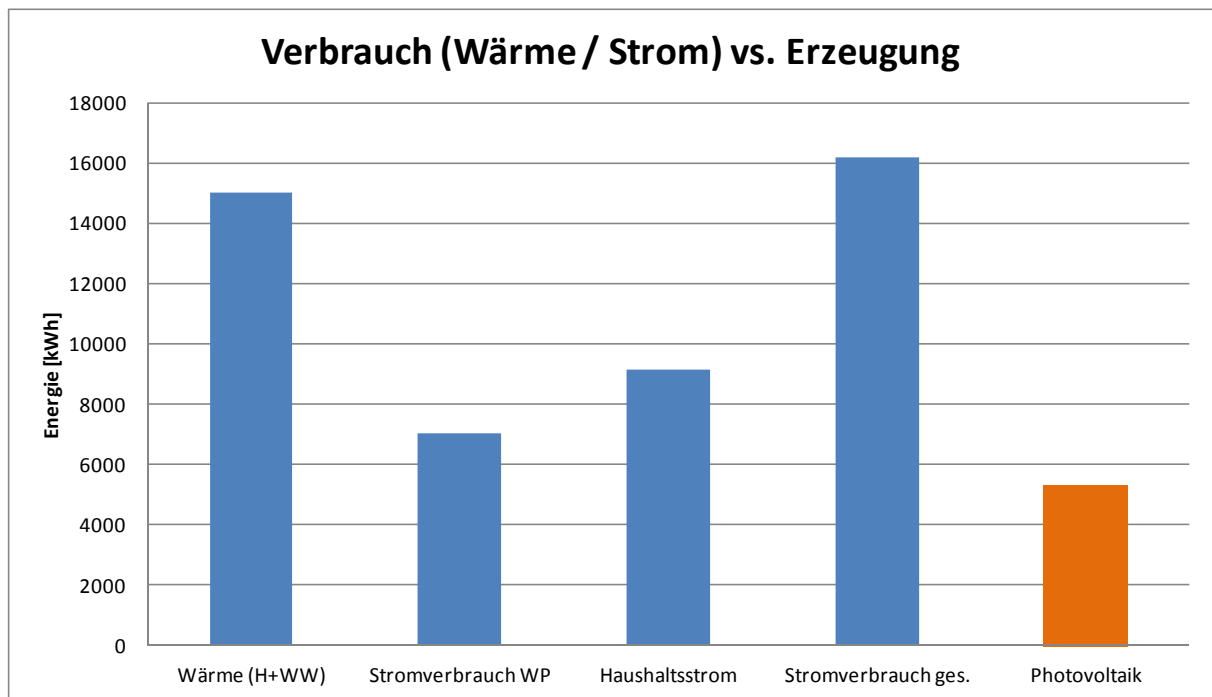


Abbildung 62: Wärme und Strombrauch 2015/16

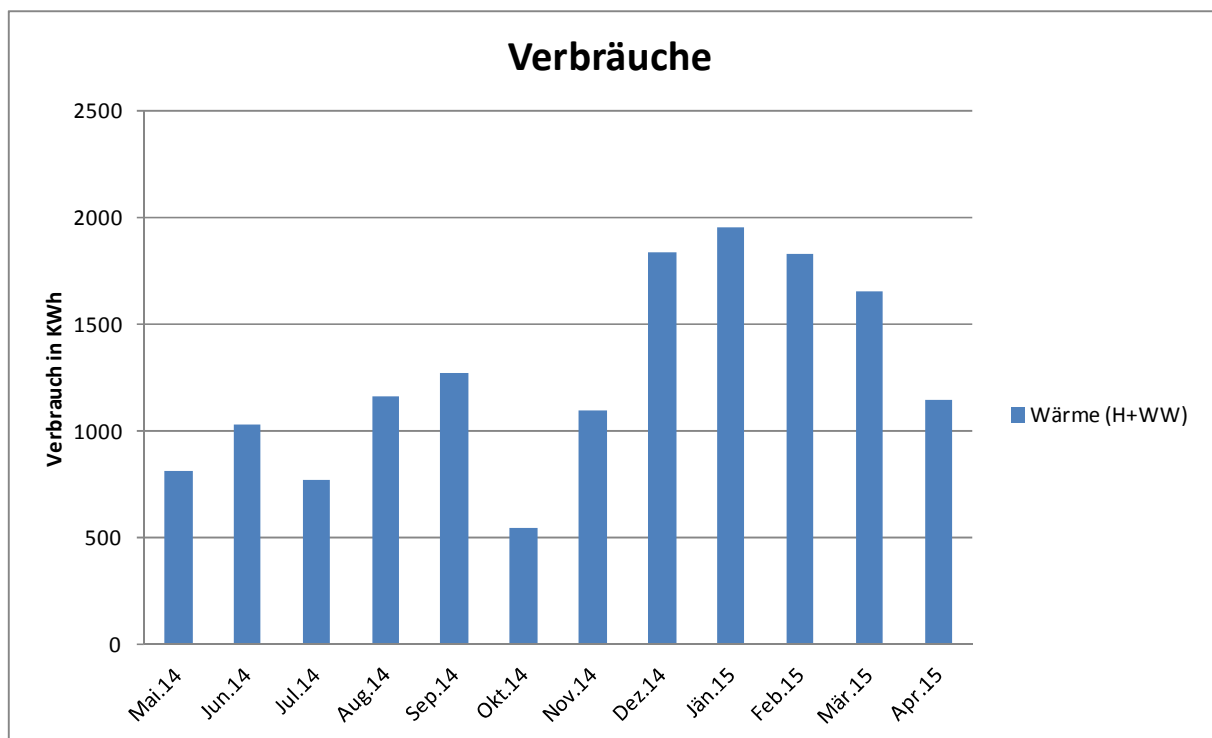


Abbildung 63: Monatsmittel der Verbräuche (2014/15)

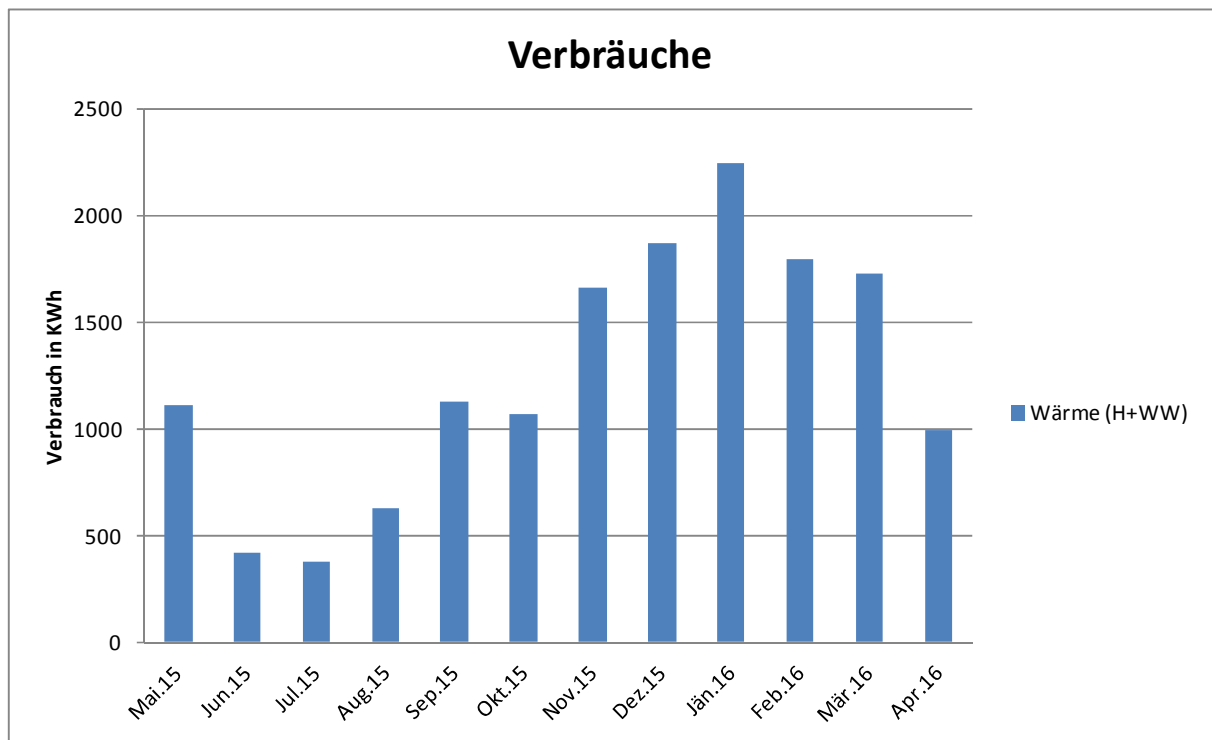


Abbildung 64: Monatsmittel der Verbräuche (2015/16)

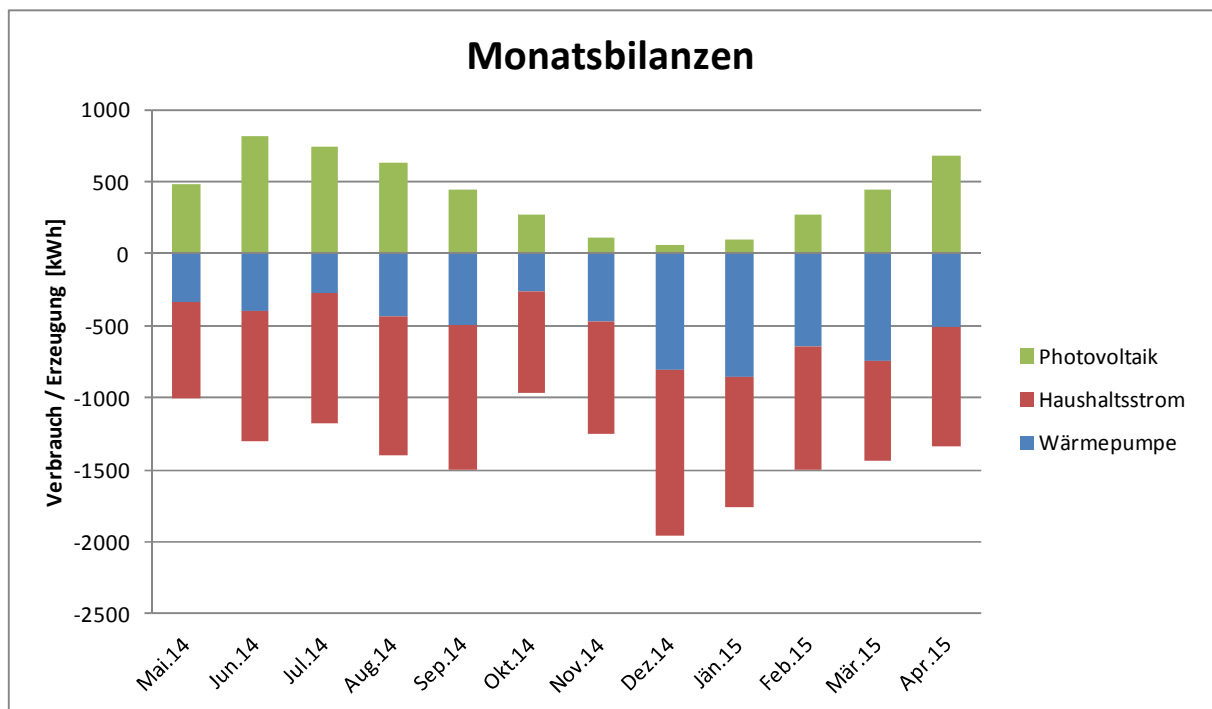


Abbildung 65: Produktion vs. Verbrauch (2014/15)

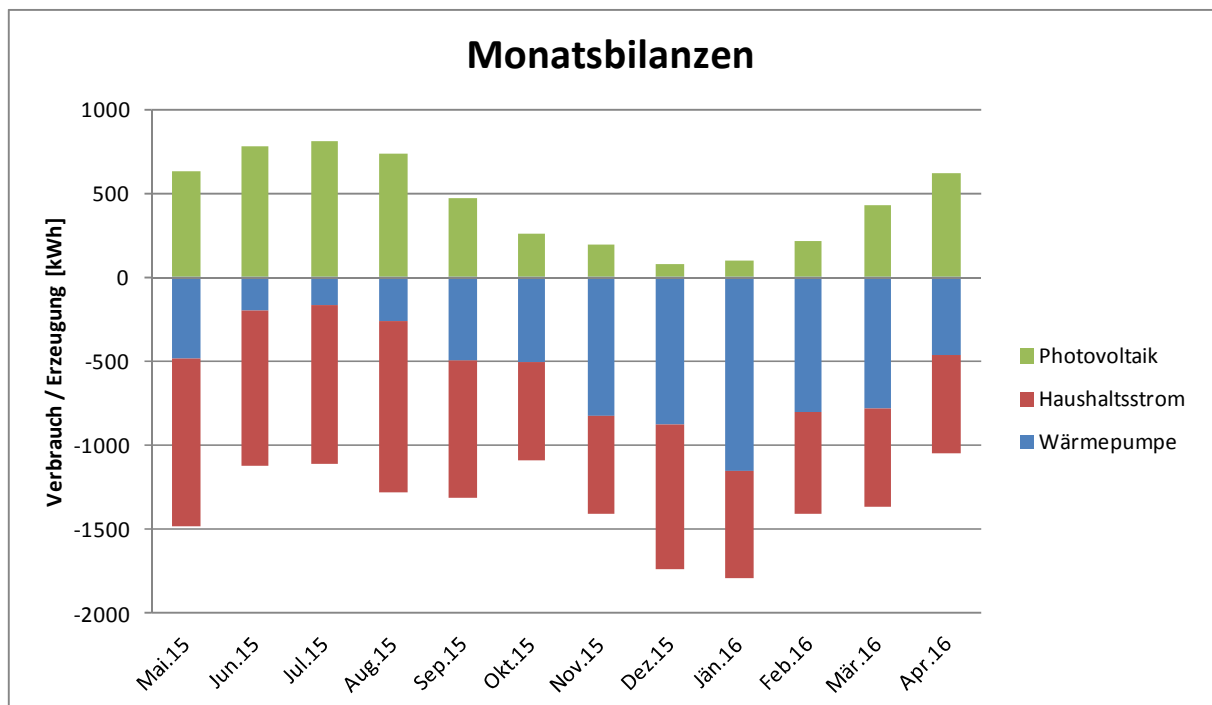


Abbildung 66: Produktion vs. Verbrauch (2015/16)

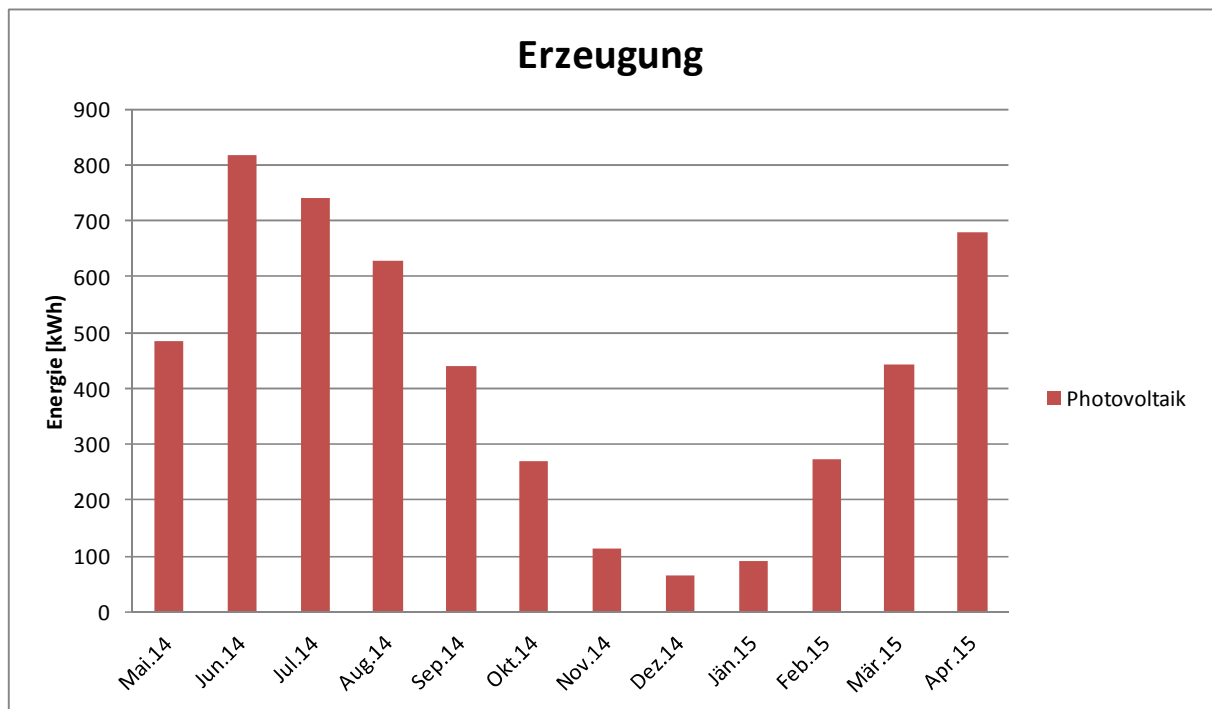


Abbildung 67: Monatsmittel der Energieerzeugung (2014/15)

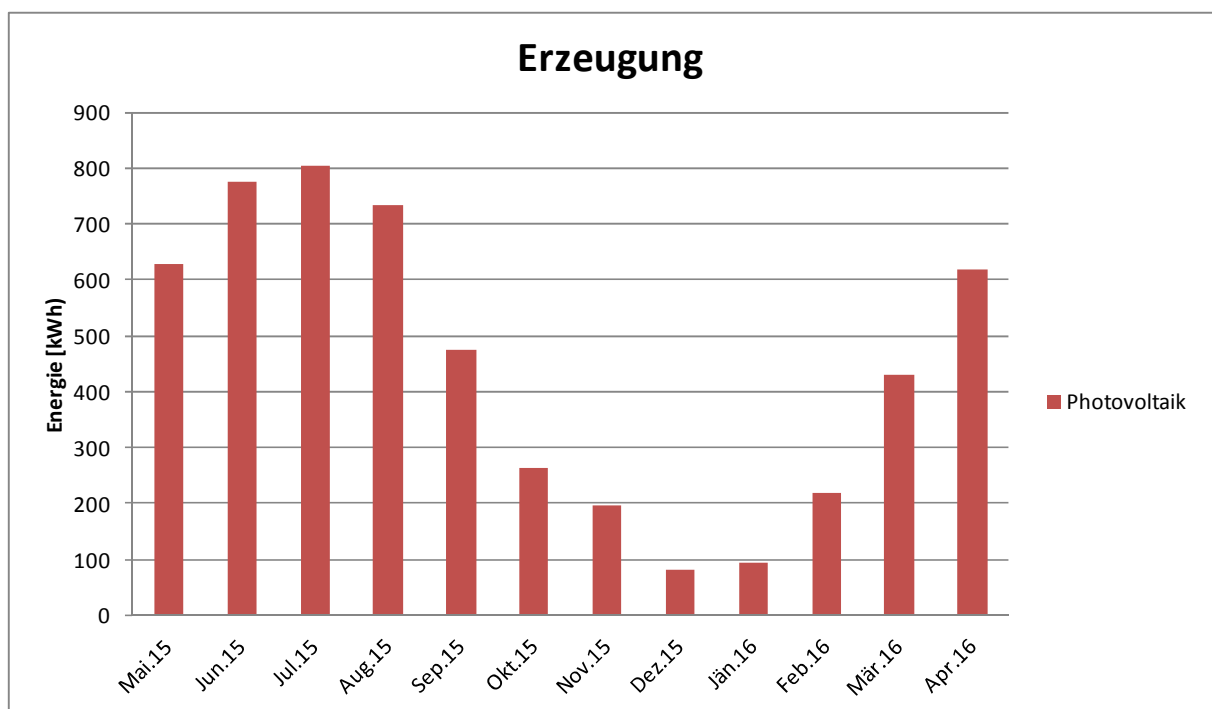


Abbildung 68: Monatsmittel der Energieerzeugung (2015/16)

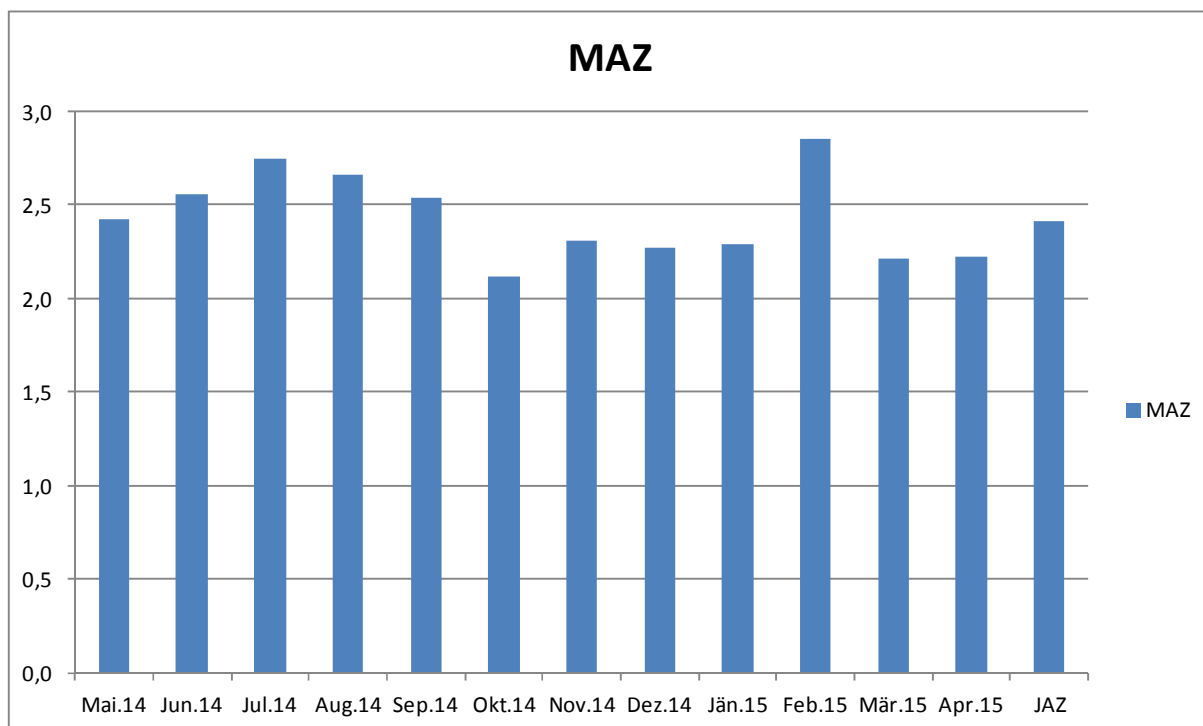


Abbildung 69: Arbeitszahlen, monatsweise (2014/15)

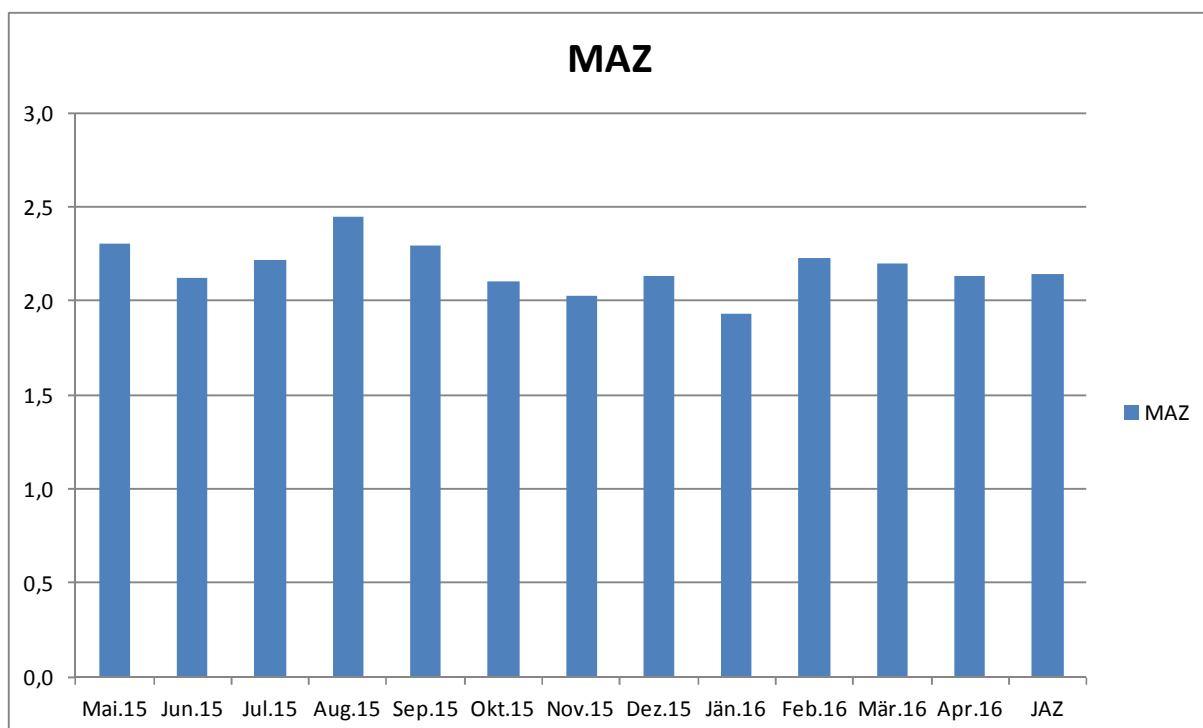


Abbildung 70: Arbeitszahlen, monatsweise (2015/16)

3.7.2 Lastganganalyse im Tagesverlauf

Die Analyse auf Tagesmittelwerten gibt einen wesentlich aufschlussreicheren Einblick in das Thema Last- und Erzeugungsprofil. Es kann aber noch immer nicht davon gesprochen werden, dass bei positiver Tagesbilanz eine 100%ige Eigendeckung erfolgt, denn während des Tages kommt es zu Bezug aus dem / Einspeisung in das Netz. Eine Aufschlüsselung in 5-min-Mittelwerten wurde in Kapitel 3.7.3 durchgeführt.

Jahresverlauf Standard & spar mit 3 kWp Photovoltaik

Im ersten Schritt wurden die gemessenen Verbräuche aus dem „sparsamen“ Haushalt und dem „normalen“ Haushalt der Erzeugung aus einer 3 kWp Photovoltaik Anlage gegenübergestellt.

In Abbildung 71 und Abbildung 72 sind dabei unterschiedliche Lastprofile aufgeführt. Jeweils werden vom erzeugten Photovoltaikstrom Energie für Haushalt, dann Heizung und dann Warmwasser abgezogen. Somit erhält man einen „Netto Last“-Verlauf.

Es ist ersichtlich, wie sich die Lastverläufe in einem normalen und einem sparsamen Haushalt darstellen. Hierbei ist schnell zu erkennen, dass in den Sommermonaten eine Eigendeckung des Stromverbrauchs mit einer 3 kWp Photovoltaikanlage auf Basis von Tagesmittelwerten gegeben ist. D.h. es würde genügen relativ kleine Speicher vorzusehen, um diese Monate autark vom Netz überbrücken zu können. Der notwendige thermische Speicher ist dabei in fast allen Fällen ohnehin in Form eines Warmwasserspeichers vorhanden. Der sparsame Haushalt kann diese Periode bis in das Frühjahr bzw. den Herbst ausdehnen.

Deutlich zu erkennen sind die Unterschiede zwischen dem sparsamen und dem normalen Haushalt. Es wird nicht nur die absolute Energieeinsparung sichtbar, sondern auch das wesentlich größere Potential zur Eigendeckung mittels Photovoltaik.

Die große Herausforderung stellt jedoch der Winterbetrieb dar: insbesondere in Haushalten mit Wärmepumpe, welche in diesen Monaten verstärkt elektrische Energie verbrauchen. An eine Eigendeckung, sei es auch nur für Tage, ist hier nicht zu denken. Dies zeigt sich hier bereits bei der Darstellung der Tagesmittelwerte. Das Verkaufsargument, dass Photovoltaik und Wärmepumpe ein symbiotisches und somit „autarkes“ System darstellen, wie dies von einigen Herstellern beworben wird, ist somit eindeutig widerlegt. Es kann nicht einmal der Stromverbrauch im Haushalt selbst (ohne Wärmepumpenverbrauch) durch die Photovoltaik gedeckt werden.

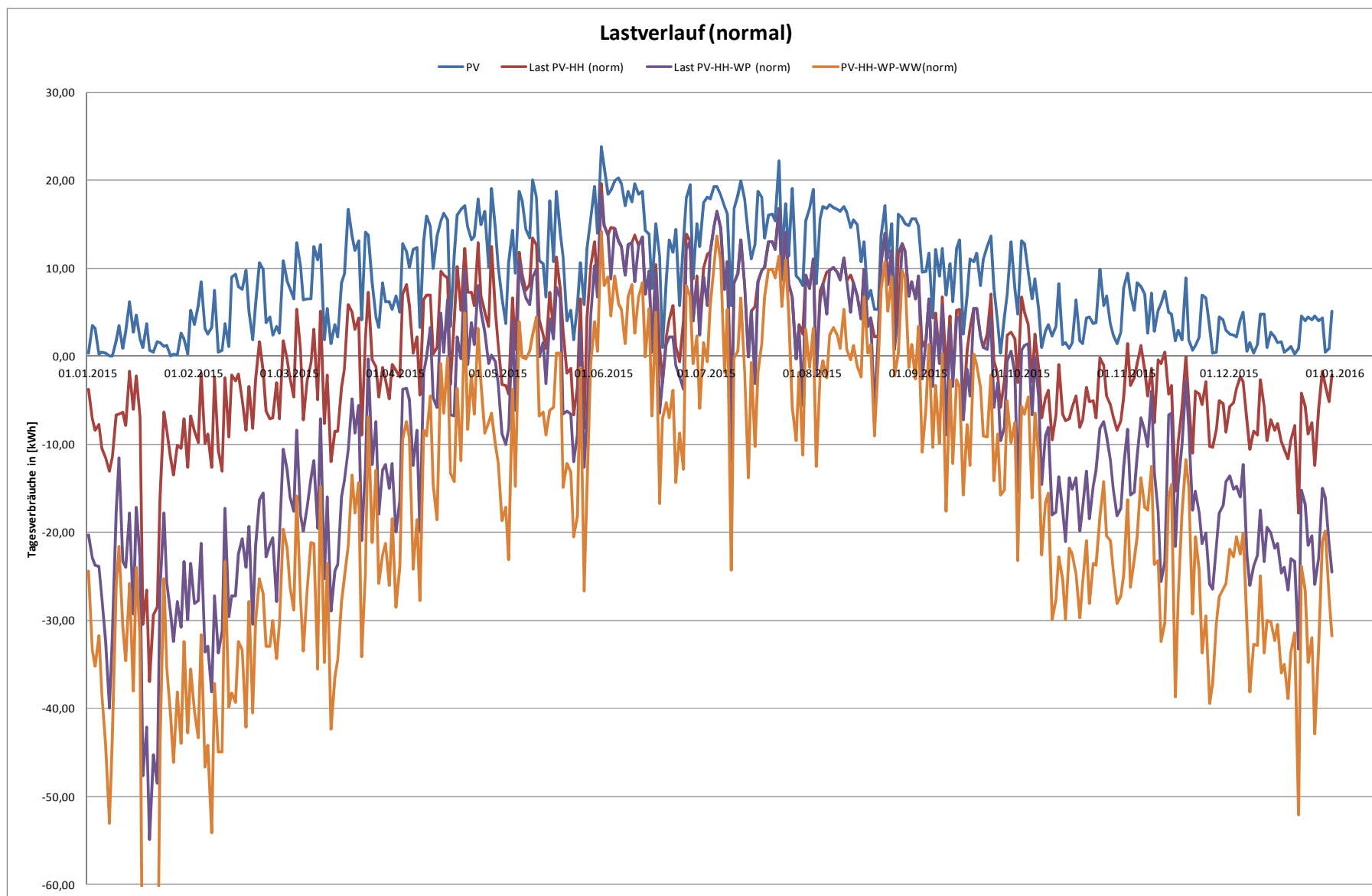


Abbildung 71: Tagesmittel des Lastverlaufs eines durchschnittlichen Haushaltes mit 3 kWp Photovoltaik

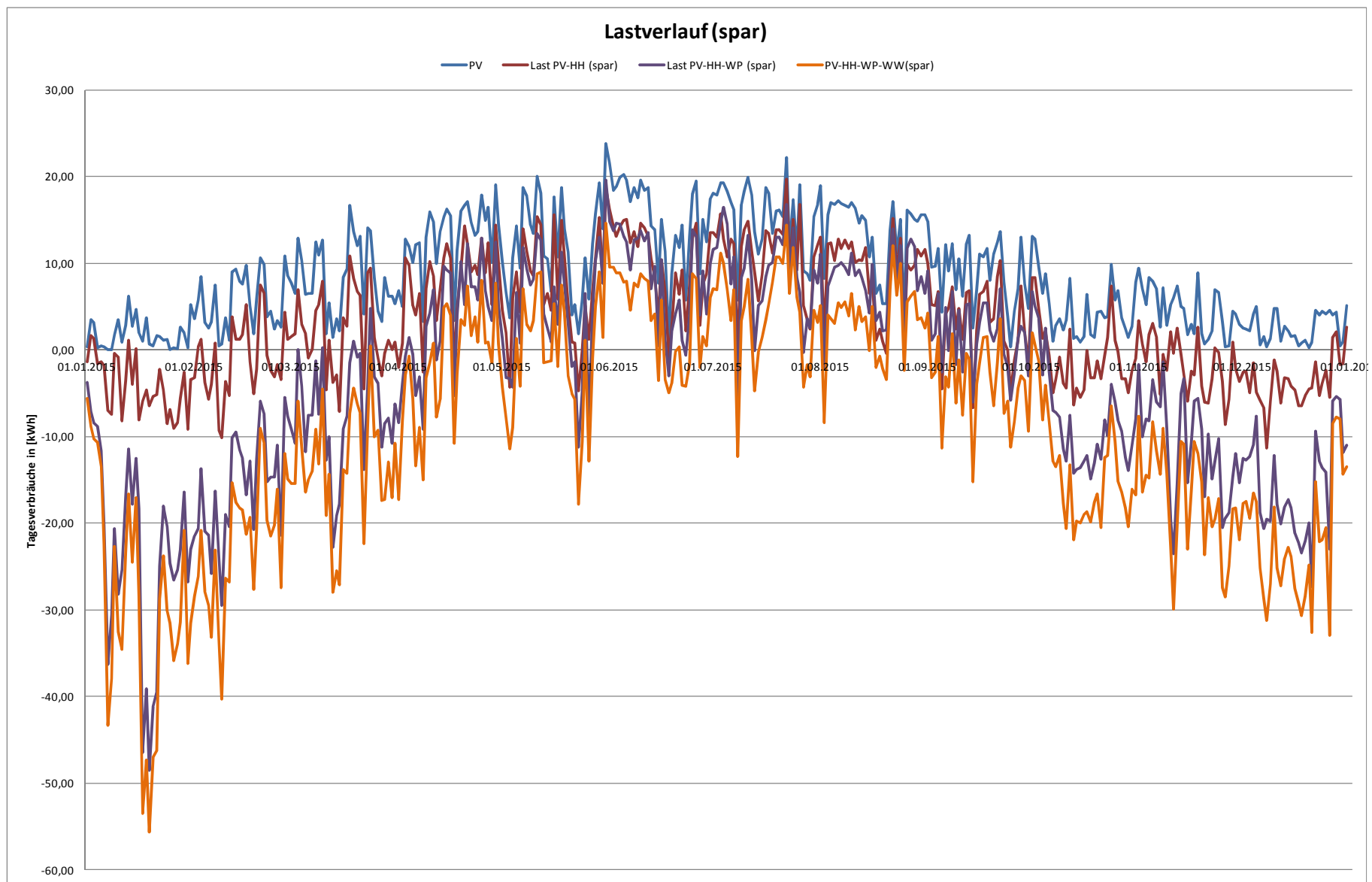


Abbildung 72: Tagesmittel des Lastverlaufs eines sparsamen Haushaltes mit 3 kWp Photovoltaik

Lastganganalyse im Tagesverlauf mit 5 kWp

Nun mag eine Schlussfolgerung sein, dass die Photovoltaikanlage mit 3 kWp zu klein ist, um die gewünschte Eigendeckung zu erreichen, somit eine größere Anlage alles ändern würde. Auch dieses Szenario wurde mit einer 5 kWp Anlage durchgerechnet. Es kommt zwar zu einer deutlichen Verschiebung des Nettoverbrauches nach oben, jedoch sind insbesondere beim Betrieb von Wärmepumpen für Warmwasserbereitung bzw. Heizung starke Defizite im Winter zu beobachten. Nicht einmal der Haushaltsstromverbrauch im sparsamen Haushalt kann gedeckt werden. Auf der anderen Seite ergeben sich in den Sommermonaten signifikante Energieüberschüsse aus der Photovoltaik-Anlage, die ins Netz eingespeist werden müssen, was vor allem wirtschaftlich schlecht darstellbar ist.

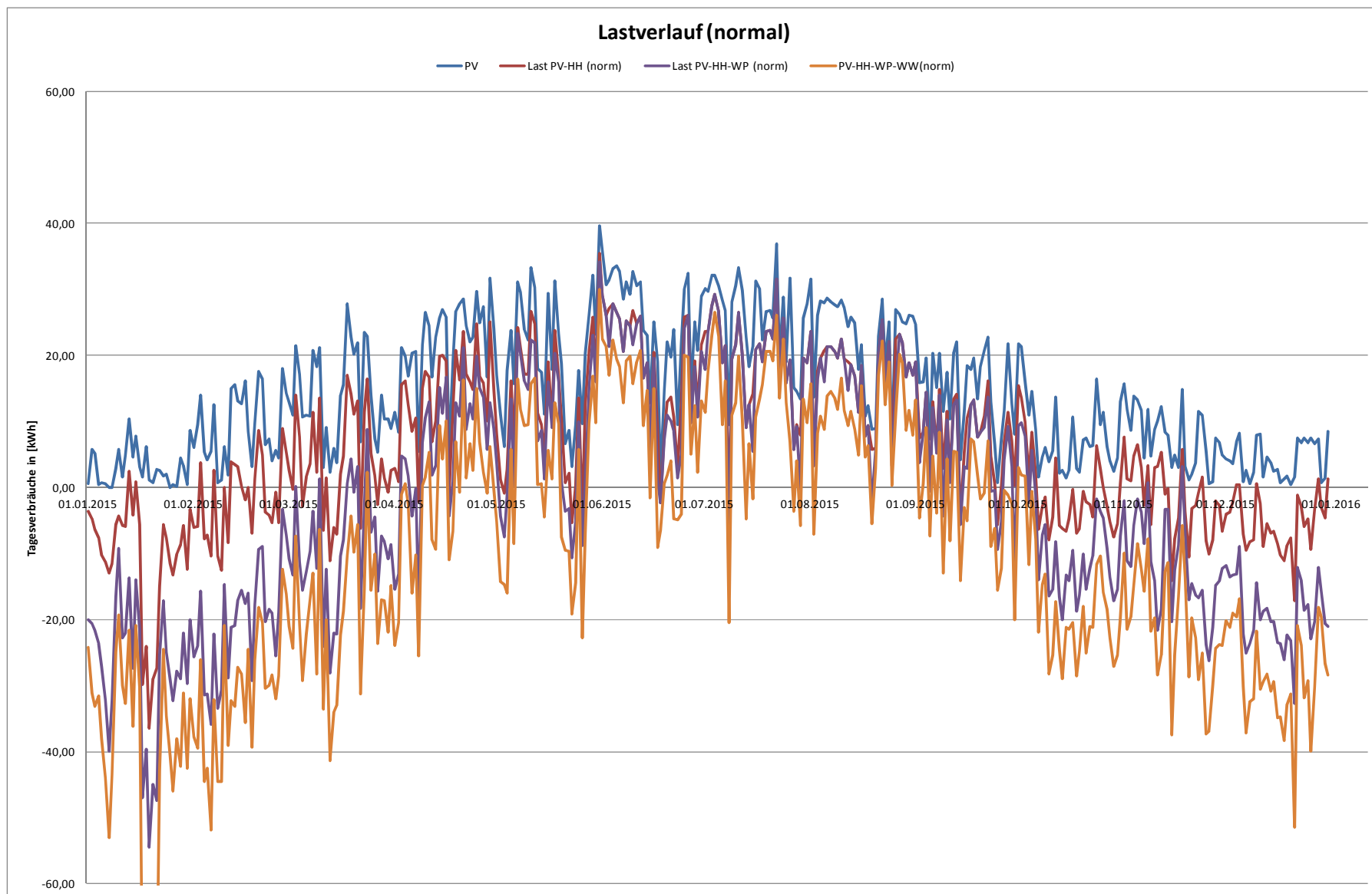


Abbildung 73: Tagesmittel des Lastverlaufs eines durchschnittlichen Haushaltes mit 5 kWp Photovoltaik

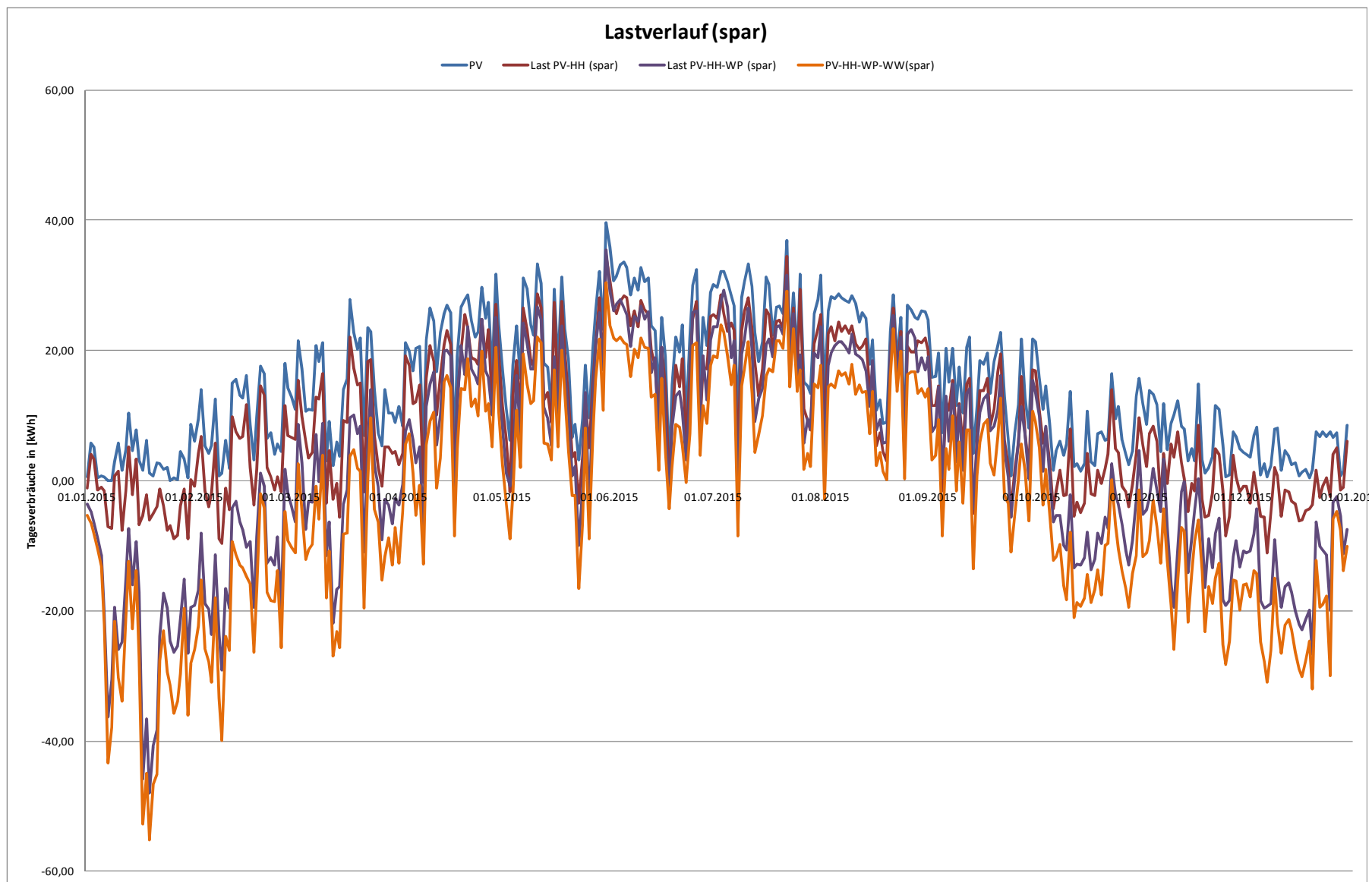


Abbildung 74: Tagesmittel des Lastverlaufs eines sparsamen Haushaltes mit 5 kWp Photovoltaik

3.7.3 Lastanganalyse im 5min-Intervall

In der letzten und feinsten Analysestufe wurden die Last- und Erzeugungsprofile im 5-min-Intervall betrachtet. Dies gibt Auskunft über den tatsächlichen Netzbezug bzw. Einspeisung. Ziel war es, durch Optimierungsmaßnahmen den Netzbezug so gering wie möglich zu halten bzw. den Eigenverbrauchsanteil an selbst erzeugten Photovoltaikstrom zu erhöhen. Als Basisszenario wurden wieder die beiden Haushalte (normal) und (spar) gegenübergestellt. Die realen Lastverläufe sollten durch Photovoltaik gedeckt werden.

Es gibt 2 Parameter auf die die Eigennutzung von Photovoltaikstrom optimiert werden kann.

Dies ist einerseits der Eigenverbrauch von selbst erzeugtem Strom. D.h. wie viel seines erzeugten Stromes kann der Bewohner direkt selbst verbrauchen

Auf der anderen Seite steht die Eigendeckung des im Haushalt verbrauchten Stroms. D.h. wie viel des benötigten Stromes kann direkt aus PV gedeckt werden.

In den folgenden Darstellungen wurde betrachtet, wie sich unterschiedliche Heizungssysteme auf das elektrische Lastverhalten von Gebäuden auswirken.

Tabelle 12: Legende

Kürzel	Erläuterung	Entspricht
PV-HH	Erzeugung Photovoltaik abzüglich Haushaltsstrom	Haushalt ohne Wärmepumpe
PV-HH WP	Erzeugung Photovoltaik abzüglich Haushaltsstrom und Strom für Heizung (+ Warmwasserbereitung im Winter)	Haushalt mit Wärmepumpe und Solarthermie
PV-HH-WP-WW	Erzeugung Photovoltaik abzüglich Haushaltsstrom und Strom für Heizung und Warmwasserbereitung	Haushalt mit Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse für den möglichen Eigenverbrauch bzw. die Eigendeckungsfähigkeit aus einer 3 kWp Photovoltaik Anlage zu sehen.

Tabelle 13: Eigenverbrauch bei 3 kWp Photovoltaik

Eigenverbrauch		
	normal	spar
PV-HH	26%	20%
PV-HH WP	29%	31%
PV-HH-WP-WW	45%	54%

Tabelle 14: Eigendeckung des Stromverbrauchs mit einer 3 kWp Photovoltaik

Eigendeckung		
	normal	spar
PV-HH	27%	32%
PV-HH WP	15%	29%
PV-HH-WP-WW	21%	39%
PV-HH WP + WW (inkl. Solarthermie)*	25%	57%

*Solarthermie als Energiequelle berücksichtigt

Im nächsten Schritt wurde analysiert, was es bedeuten würde, wenn eine größere Photovoltaikanlage installiert wäre. Die Eigendeckung erhöht sich, da jetzt vor allem in der Übergangszeit mehr Strom direkt aus der Photovoltaikanlage verbraucht wird. Durch die erhöhte Energieerzeugung wird jedoch der Eigenverbrauchsanteil gesenkt. Dies wirkt sich vor allem negativ auf die Wirtschaftlichkeit aus, da man für eingespeisten Strom nur wenig vergütet bekommt.

Tabelle 15: Eigenverbrauch bei 5 kWp Photovoltaik

Eigenverbrauch		
	normal	spar
PV-HH	18%	14%
PV-HH WP	21%	23%
PV-HH-WP-WW	31%	40%

Tabelle 16: Eigendeckung des Stromverbrauchs mit einer 5 kWp Photovoltaik

Eigendeckung		
	normal	spar
PV-HH	31%	37%
PV-HH WP	18%	36%
PV-HH-WP-WW	25%	48%
PV-HH WP-WW (inkl. Solarthermie)*	28%	64%

*Solarthermie als Energiequelle berücksichtigt

3.7.4 Optimierungspotential durch Ausnutzung vorhandener Speichermassen

Wie in nachfolgenden Auswertungen gezeigt wird, kann bei einem heute gängigen Baustandard (HWB von ca. 31 kWh/m²) die gespeicherte Temperatur in einem Haus für 10 Stunden gehalten werden, obwohl es wie in einem Extremfall eine Außentemperatur von -12°C gab. In diesem Szenario wurde beim Haus 2 die Wärmepumpe am Abend deaktiviert und erst wieder am nächsten Morgen um 08:00 Uhr in Betrieb genommen. Nach der

Deaktivierung stieg zuerst die Innenraumtemperatur noch für ca. 4 Stunden weiter an (verzögerte Wärmeabgabe durch die Fußbodenheizung) und erreichte dann nach weiteren ca. 5 Stunden das Ausgangsniveau. Auch blieb während dieser gesamten Stunden die Innenraumtemperatur in einer Bandbreite von 21-22°C bzw. war die Außentemperatur in dieser Zeit zwischen -12,2 - 10°C. Erhöht man also wie bei Haus 2 die Raumtemperatur um 0,5°C, so kann die Last theoretisch für ca. 4-5 Stunden verschoben werden, wenn man etwaige Strompreisschwankungen oder mögliche Eigenversorgung nicht berücksichtigt.

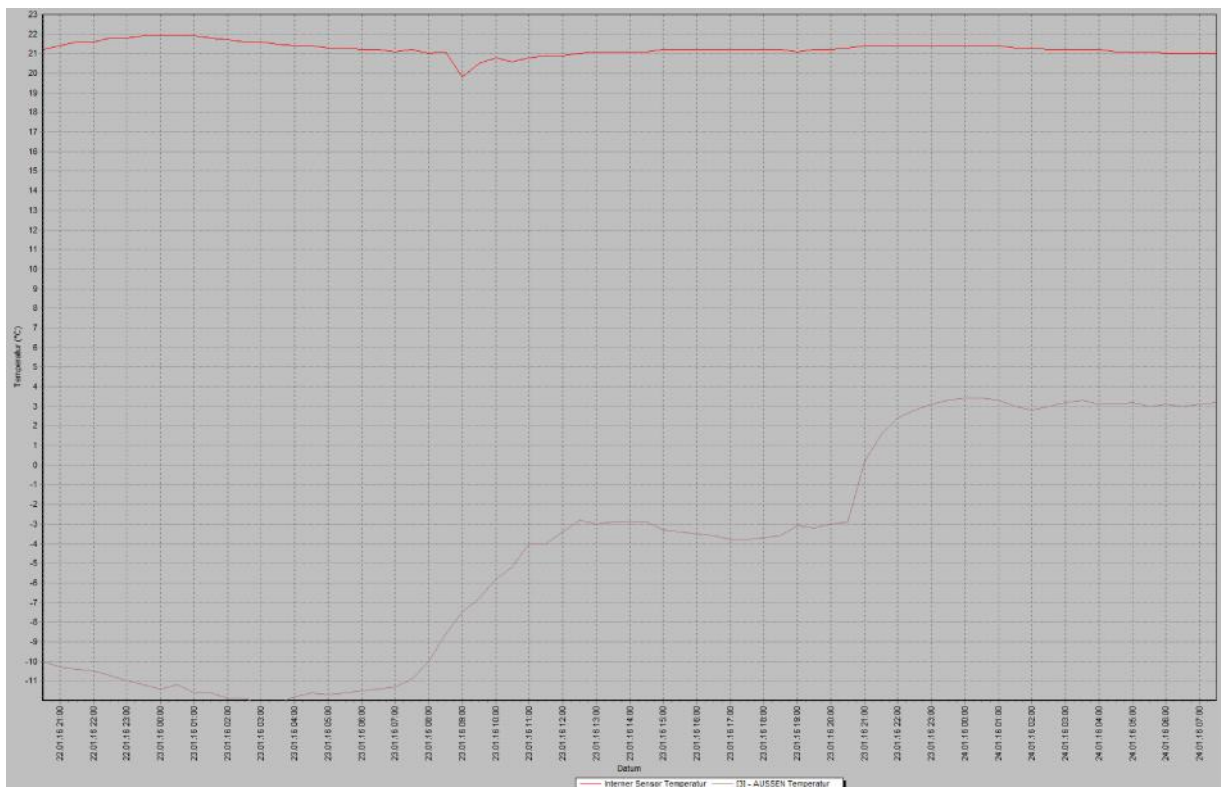


Abbildung 3-75: Verlauf Außentemperatur und Innenraumtemperatur bei Deaktivierung der Wärmepumpe bei sehr tiefen Außentemperaturen

Dasselbe Szenario bei Außentemperaturen rund um den Gefrierpunkt bewirkte, dass die Schwankungsbreite der Innenraumtemperatur nur mehr eine Schwankungsbreite von ca. 0,5°C aufwies. Somit würde bei einer Erhöhung der Innenraumtemperatur um 0,5°C die Ausgangstemperatur erst nach ca. 9-10 Stunden erreicht werden, wenn die Außentemperatur knapp um bzw. über dem Gefrierpunkt liegt. Dabei ist allerdings auch immer zu bedenken, dass es bei neuerlicher Aktivierung der WP zu einer sehr deutlichen Verzögerung bei der Wiederaufheizung kommt.

Durch die Nutzung dieser, ohnehin vorhandenen, Speichermassen ergibt sich ein großes Potential für den elektrischen Lastausgleich, welcher durch das EVU nutzbar gemacht werden könnte, und zur Netzentlastung beitragen könnte.

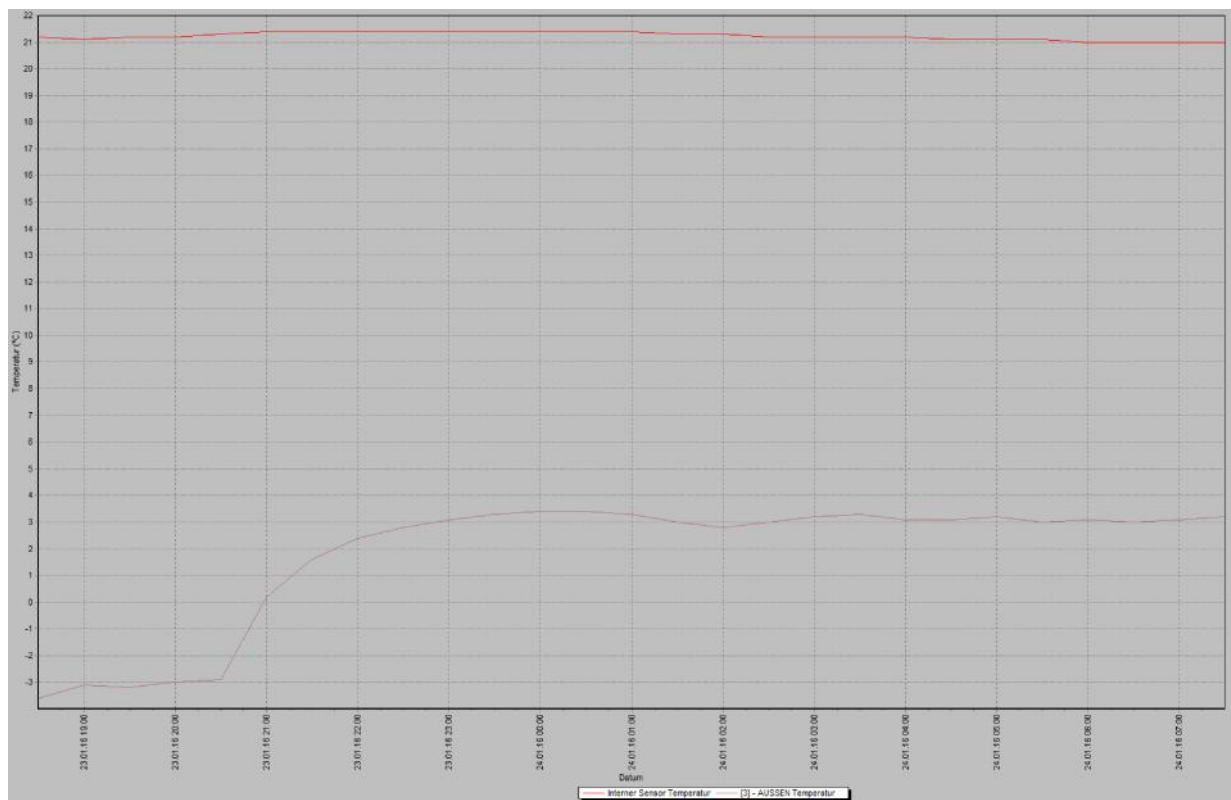


Abbildung 3-76: Verlauf Außentemperatur und Innenraumtemperatur bei Deaktivierung der Wärmepumpe und bei Außentemperaturen um den Gefrierpunkt

Eine Möglichkeit, um Eigenverbrauch und Eigendeckung gleichzeitig zu optimieren, ist es, die Betriebszeiten der Wärmepumpe für Warmwasserbereitung und Heizung in die Zeiten der Photovoltaikproduktion zu verschieben. Diese Maßnahme wurde in einfachem Umfang durch Freigabe eines Zeitfensters tagsüber im sparsamen Haushalt von Beginn an umgesetzt und ist bereits in der vorangegangenen Analysen beinhaltet. Doch auch hier ist eine weitere Optimierung möglich, wozu es allerdings einer automatischen Freigabe der Wärmepumpe bei Sonneneinstrahlung bedarf. Auch eine in der Leistung modulierende Wärmepumpe ist Voraussetzung, um dieses Potential vollends auszuschöpfen.

Tabelle 17: Eigenverbrauch bei 3 kWp Photovoltaik nach Optimierung

Eigenverbrauch		
	normal	spar
PV-HH	26%	20%
PV-HH-WP	54%	35%
PV-HH-WP-WW	67%	62%

Tabelle 18: Eigendeckung des Stromverbrauchs mit einer 3 kWp Photovoltaik nach Optimierung

Eigendeckung		
	normal	spar
PV-HH	27%	33%
PV-HH WP	29%	33%
PV-HH-WP-WW	33%	45%
PV-HH-WP-WW (incl. Solarthermie)*	39%	62%

*Solarthermie als Energiequelle berücksichtigt

In der Lastverschiebung von Heizzeiten liegt ein großes Potential mit dem eine nennenswerte Last innerhalb eines Tages verschoben werden kann. Die Speicherwirkung des Gebäudes selbst in Kombination mit einer Fußbodenheizung reicht dabei im Normalfall aus, um im Niedrigstenergiehausbereich die Temperatur ganztägig auf dem gewünschten Niveau zu halten. Bei der Warmwasserbereitung ist die erforderliche Speicherwirkung ohnehin durch den vorhandenen Speicher gegeben. In der Warmwasserbereitung liegt auch das größte Potential zur Steigerung der Eigennutzung und der Eigendeckung.

In der letzten Variante wurde auch im lastoptimierten Szenario eine größere Photovoltaikanlage eingesetzt.

Tabelle 19: Eigenverbrauch bei 5 kWp Photovoltaik nach Optimierung

Eigenverbrauch		
	normal	spar
PV-HH	18%	14%
PV-HH WP	43%	27%
PV-HH-WP-WW	52%	44%

Tabelle 20: Eigendeckung des Stromverbrauchs mit einer 5 kWp Photovoltaik nach Optimierung

Eigendeckung		
	normal	spar
PV-HH	32%	38%
PV-HH WP	38%	41%
PV-HH-WP-WW	42%	53%
PV-HH-WP-WW (incl. Solarthermie)*	48%	70%

*Solarthermie als Energiequelle berücksichtigt

Vor allem beim normalen Haushalt ist festzustellen, dass sich durch die Möglichkeit der optimierten Heizungs- und Warmwasserbereitung durch die Nutzung von vorhandenen

Speichermöglichkeiten ein enormes Potential in Bezug auf die Steigerung der Photovoltaiknutzung und Eigenstromdeckung ergibt.

3.8 Die Erkenntnisse bezüglich des Zusammenhangs zwischen Größe der Photovoltaikanlage und Verbrauch eines Haushaltes (in verschiedenen Konfigurationen) sind weiters in „3.5 Lebenszykluskosten und Überdimensionierung

Im Projekt wurde auch versucht die Auswirkung einer Überdimensionierung der Wärmepumpe, gegenüber der errechneten Gebäudeheizlastberechnung dazustellen. Bei herkömmlichen Heizungssystemen war bisher bekannt, dass eine deutliche Überdimensionierung zu einer deutlich schlechteren Effizienz der Gesamtanlage führt, durch häufiges Taktverhalten und hohen Abkühlverlusten zwischen den Taktintervallen.

In der Vergangenheit waren Überdimensionierungen von Kesselanlagen von über 100% keine Seltenheit. Im Projekt Sol2PumpEff konnten dazu die folgenden Daten gesammelt werden:

Die beiden installierten Wärmepumpengrößen weisen eine Leistung von 7,4kW und 5,7kW (kleinere Anlage bei H1) auf. Dies entspricht einer Überdimensionierung von 30%. Bei der Installation hat sich gezeigt, dass von den Installateuren immer noch gerne eine Nummer größer genommen wird, um alle Eventualitäten abzudecken. Massive Überdimensionierungen sind heutzutage jedoch glücklicherweise in den meisten Fällen passé.

So hat gemäß dem Datenblatt des Herstellers die richtig dimensionierte Wärmepumpenanlage (mit 5,7kW), welche in H1 im Einsatz ist, eine Leistungszahl von 3,9, während die nächst größere Anlage (7,4kW), welche bei H2 und H3 im Einsatz ist, eine Leistungszahl von 4. Somit hätte grundsätzlich die größere Wärmepumpe gemäß EN14511 eine höhere Effizienz.

Bei den Investitionskosten wirkt sich die Überdimensionierung nur sehr geringfügig aus. So wurde bei den beiden im Projekt vorhanden Modellen Vaillant VWL 61 und VWL 81 ein Preisunterschied von ca. 7% bzw. gut 700EUR bei aktuellen Angeboten festgestellt.

Im Projekt und den jeweiligen Messungen konnte keine maßgebliche Verschlechterung der Effizienz aufgrund der Überdimensionierung messtechnisch festgestellt bzw. nachgewiesen werden.

Auch ein signifikanter Unterschied in Bezug auf den erreichten COP konnte nicht festgestellt werden. Was allerdings erkennbar war ist, dass die überdimensionierten Anlagen eine höhere Anzahl an Schaltzyklen hatten, also öfters AUS/EIN geschaltet haben. Dies lag zwar maßgeblich an den besseren Regelparametern bei H1, allerdings ist auch die Überdimensionierung für einen Anteil der häufigeren Schaltzyklen verantwortlich. Dies führt

mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem höheren Serviceaufwand und vermutlich zu einer statistisch früheren Austauschnotwendigkeit des Kompressors.

Laut Expertenaussagen des Bundesverbandes Wärmepumpe e.V. sollte die Auslegung so erfolgen, dass es wenige Verdichterstartvorgänge aber lange Verdichterlaufzeiten gibt. Diese Konstellation verlängert langfristig die Lebensdauer der Wärmepumpe. Dies kann Regelungstechnisch durch die Einstellung einer größeren Hysterese beim Sollwert erreicht werden.

Bei den 3 Häusern mit derselben Wärmepumpentype, zeigte sich hier ein deutlicher Unterschied bei den Betriebsstarts von bis zu 265%.

Tabelle 6: Übersicht Schalthäufigkeit Anlagen gleicher Hersteller und ähnliches Nutzerverhalten

Haus	Betriebsstarts gesamt	Abweichung H1
H3	3974	207%
H2	5086	265%
H1	1920	100%

Wie bereits erwähnt, ist ein Großteil davon auf die unterschiedliche Regelungseinstellung zurückzuführen. Es stellt sich nun die Frage, für welchen Anteil eine Überdimensionierung verantwortlich ist. Bei einem Vergleich von 2 Anlagen (H1 und H2) bei denen in einer gewissen Zeit exakt die gleichen Regelparameter eingestellt wurden, ergab sich in der Messperiode 16.1. 2016 bis 18.1.2016 bei H2 insgesamt 20 Starts und bei H1 nur 12 Starts. Dies ergibt einen Unterschied von 66% bei einer Größerdimensionierung von 30%.

Die Anzahl der Kompressormehrstarts entspricht also rund der doppelten Überdimensionierung. Bei massiven Überdimensionierungen ist diese Kenngröße maßgeblich (siehe Tabelle 7)

Tabelle 7: Zusätzliche Kompressorstarts durch Überdimensionierung

	kWth	Faktor der Überdimensionierung	Zusätzliche Kompressorstarts
Anlage1 (Ref)	5,7	1	0%
Anlage2	7,4	1,3	60%
Anlage2	8,55	1,5	100%
Anlage3	11,4	2	200%

Überdimensionierte Wärmepumpen verursachen geringe Mehrinvestitionskosten, aber verkürzen durch häufiges Takten (Ein- und Ausschalten) die Lebensdauer der Anlage.

Leider konnten hier keine fundierten Daten über die verkürzte Lebensdauer eruiert werden. Gehen wir von einer verkürzten Lebensdauer von rund 1,5Jahren aus, welche einer Überdimensionierung geschuldet ist, verkürzt sich die Lebensdauer somit von 13,5 auf 15Jahre.

Daraus ergeben sich vereinfacht Mehrkosten über die Lebensdauer von 15Jahren von insgesamt 1.720EUR bei Überdimensionierung bzw. 16,9% bei den im Projekt eingesetzten Wärmepumpen von Vaillant.

Tabelle 8: Berechnung Lebenszykluskosten Wärmepumpen Vaillant

Mehrkosten Überdimensionierung	EUR
Differenz	
Anschaffungskosten	700
Instandhaltungskosten, verkürztes Lebensdauer 1,5 Jahr	1.020
Summe	1.720
% höhere Lebenszykluskosten	16,9

Dem gegenüber kann eine Überdimensionierung auch gerade in Bezug auf die Eigennutzungsrate und Lastverschiebung bei der Wärmepumpenanlage einige Vorteile mit sich bringen. Dies vor dem Hintergrund, dass bei einem ausreichenden Stromangebot der eigenen PV-Anlage ein temporär besserer Eigennutzungsgrad und/oder eine schnellere Aufheizung des Gebäudespeichers erreicht werden kann. In welchem Ausmaß dies erfolgt, wurde in diesem Projekt nicht ausgewertet. Der Einsatz von modulierenden Wärmepumpen wird das Thema der Überdimensionierung zukünftig entschärfen, weil diese Technologie durch Leistungsanpassung die Kompressorlaufzeit verlängert, sowie die Kompressorstarts vermindert.

Analyse-Tool für Szenarien-Vergleich und -Bewertung von PV-Strom-versus wärmegeführten WP-Betriebsweise in mehreren Optimierungsstufen“ eingeflossen.

3.8.1 Nutzens eines nachträglichen hydraulischen Abgleichs für die Systemeffizienz mittels „mywarm“

Ziel in diesem Punkt war die Durchführung eines standardisierten hydraulischen Abgleichs im Wärmeverteilsystem, und die Auswirkung auf den Verbrauch darzustellen. Die Umsetzung erfolgte mit einem standardisierten und etablierten computergestützten System (mywarm)⁸⁸. Der hydraulische Abgleich wurde damit durchgeführt, um hier eindeutig die Einsparung (Vergleich Vorher - Nachher) zu messen und darzustellen. Um eine klarere Aussage treffen zu können, sollte dies bei mindestens 3 Häusern erfolgen, um eine gewisse Ungenauigkeit bzw. spezielle Einflussfaktoren zu minimieren.

Im Gegensatz zur bisherigen Praxis der theoretischen Berechnung von Soll-Durchflussmengen für jede Heizfläche mit der daran anschließenden Berechnung von hydraulischen Widerständen, der darauf aufbauenden theoretischen Berechnung von Durchflussmengenbegrenzungen und der darauf folgenden richtigen manuellen Einstellungen an jeder Heizfläche, die unüberprüft bleibt, werden mit mywarm die tatsächlich an jeder Heizfläche zur Verfügung stehenden Vorlauf- und Rücklauftemperaturen zeitgleich gemessen und die Durchflussmengen an allen Heizflächen computergesteuert einmalig so reguliert, dass alle Heizflächen bei voller Anforderung die richtigen Mitteltemperaturen und damit die richtigen Leistungen aufweisen. Durch diese Vorgangsweise, werden im Gegensatz zum Berechnungsverfahren auch die unterschiedlichen Temperaturverluste im Verteilsystem am Weg zum Heizkörper ausgeglichen und ein präzises und durch Messung gesichertes Einstellerggebnis auch ohne Berechnungen bzw. Pläne erreicht.

Beim Vergleich der Auswertungen des hydraulischen Abgleichs zeigen sich deutlich die Unterschiede bei der Streuung der Mitteltemperatur bei den Heizkreisen der 3 teilnehmenden Häuser. Dieser Umstand ist für den Komfort im Gebäude und den Betrieb der Wärmepumpe suboptimal. Jedenfalls konnte hier durch den Abgleich die Mitteltemperatur bei allen Häusern deutlich verbessert werden und die Streuung auf 0,8-1,5°K reduziert werden.

Haus	Streuung der Mitteltemperatur	Verbesserung °K nach hydr. Abgleich
Haus 1	4.8 K	-3.9 K
Haus 2	2 K	-1.2 K
Haus 3	6.4 K	-4.9 K

⁸⁸ <http://www.mywarm.at/>

Grundsätzliches Ergebnis beim Abgleich war es somit, dass bei allen 3 Anlagen die Heizkurve auf ein Minimum ($=0,1$) reduziert werden kann. Des Weiteren kann die Heizkreispumpe auf 70% reduziert werden, was zu einer leichten Einsparung beim Pumpenstrom führt. Um die Taktung der WP zu reduzieren ist eines der Ergebnisse auch, dass der Energie-Integral auf $220^\circ/\text{min}$ eingestellt werden soll. Dies bedeutet, dass das Zeitintervall verlängert wird, in der die WP nach Abschaltung wieder aktiviert wird, wenn die VL-Temperatur unterhalb der Soll-Temperatur liegt. Dabei wird die WP zweidimensional geregelt, nach dem Produkt aus Temperatur-Differenz und Zeit - den sogenannten Gradminuten. Je höher also diese Hysterese, angegeben in Gradminuten, umso länger dauert es, bis die WP wieder einschaltet. Somit beeinflusst dies deutlich die Takte pro Tag und ist somit ein wichtiger Parameter für einen schonenden und effizienten Betrieb der Anlage.

Grundsätzlich blieben die VL- und RL-Temperaturen bei der Messung im Rahmen des Forschungsprojektes relativ konstant. Auffällig war nur, dass bei Haus 1 die Durchflussmenge konstant blieb, während diese bei Haus 2 um 5% reduziert werden konnte.

Schlüsse auf eine Effizienzsteigerung lassen sich davon nicht ableiten. Es kommt aber zu einer Steigerung des Komforts (durch gleichmäßigere Temperaturen in den Räumen) bei zumindest gleichbleibender Effizienz.

Grundsätzlich wurde versucht, den hydraulischen Abgleich mit einer signifikanten Energieeinsparung beim WP-System in Verbindung zu bringen. Die Kosten pro Haushalt lagen brutto bei 1.672 EUR. Die Einsparung liegt vermutlich im unteren einstelligen Bereich. Unter der optimistischen Annahme, dass die Einsparung bei 5% liegt, können pro Jahr in etwa 80 kWh Strom eingespart werden im Fall von Haus1. Dies entspricht somit einer Kosteneinsparung von ca. 16 EUR/Jahr. Erst wenn die relative Einsparung verdoppelt und die Einsparung auf das Haus 4 bezogen wird (Stromverbrauch WP knapp über 6.000 kWh), ergibt sich hier eine Einsparung von 600 kWh bzw. 120 EUR. Daraus lässt sich eine statische Amortisationszeit von ca. 14 Jahren ableiten, was hier für den Haushalt evtl. unter Hinzunahme des Aspektes einer Komfortverbesserung, wozu der hydraulische Abgleich definitiv auch führt, durchaus die Umsetzung unter realen Marktbedingungen attraktiv machen könnte. Eine Umsetzung bei den Häusern 1-3 (relativ geringer Stromverbrauch für die Heizung) erscheint aus betriebswirtschaftlicher Sicht eher unrealistisch.

3.8.2 Optimierungspotential durch Tagbetrieb

Luftwärmepumpen haben die Besonderheit, dass die Quelltemperatur (der Außenluft) stark schwanken kann. Dabei sind im Jahresverlauf Bandbreiten von -20°C bis zu $+40^\circ\text{C}$ möglich. Grundsätzlich gilt die Regel: Je höher die Quelltemperatur, desto effizienter kann die Wärmepumpe arbeiten. Es gilt die grobe Formel, dass pro K steigender Verdampfertemperatur der COP um 2,5% steigt.

Dieser Effekt lässt sich insofern nutzen, dass der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht oft 10 K und mehr beträgt. In Abbildung 77 ist deutlich der Unterschied zwischen Tag- und Nachttemperatur sichtbar. Wird die Wärmepumpe nur tagsüber betrieben, so erhöht sich die Arbeitszahl und unter Umständen kann sogar der Betrieb des Zusatzheizstabes bzw. der Verdampfer Enteisung damit vermieden werden, was besonders viel Energie spart.

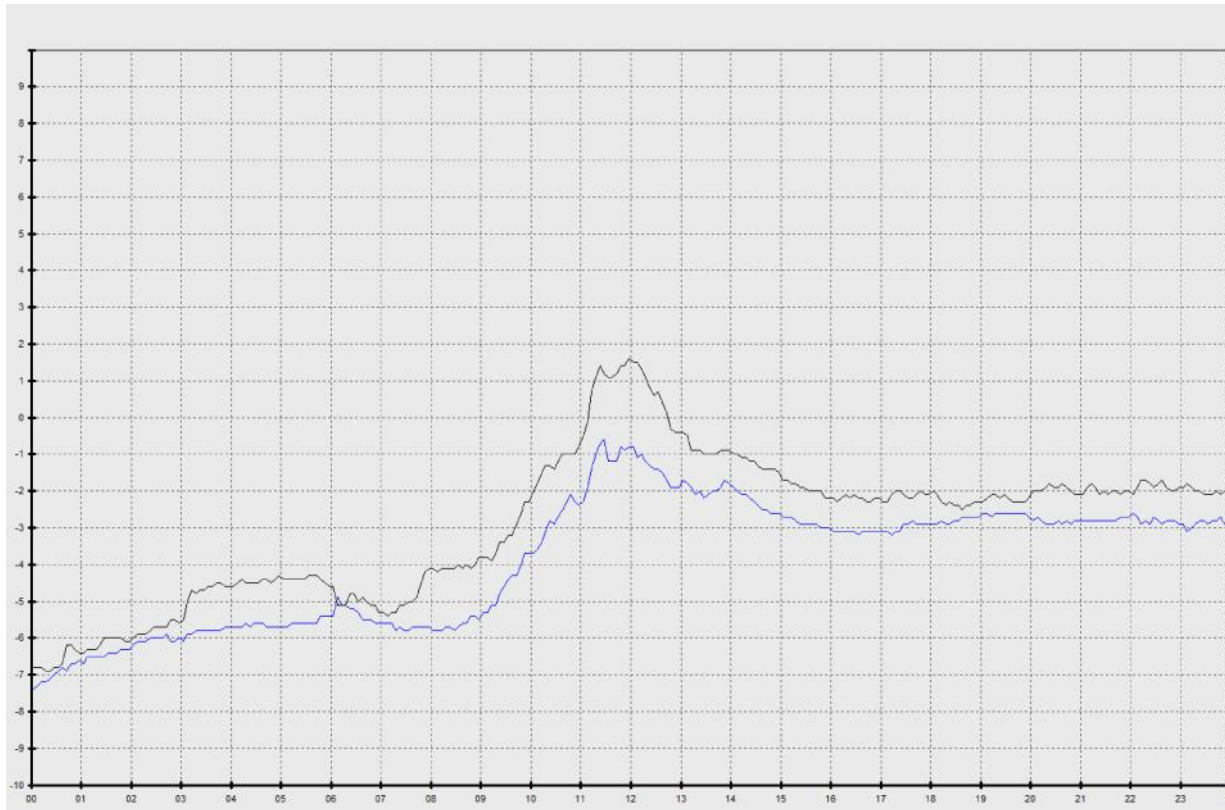


Abbildung 77: Temperatur am Verdampfer im Tagesverlauf

Nun stellt sich die Frage woher die Heizenergie kommt, wenn in der Nacht Wärme benötigt wird. Hierbei hat sich im Projekt gezeigt, dass Häuser in Massivbauweise ein ausgezeichnetes Speichervolumen aufweisen, das für diese Zwecke der Lastverschiebung genutzt werden kann. Unterstützt durch die Trägheit der vorhandenen Fußbodenheizung konnte in einem Haus während der gesamten Projektlaufzeit fast gänzlich auf eine „Nachtheizung“ verzichtet werden und die Wärmepumpe nur tagsüber in Betrieb sein. Dies hat neben der effizienteren Arbeitsweise auch den Vorteil, dass Photovoltaikstrom besser genutzt werden kann.

3.8.3 Optimierungspotential durch Aufstellung der Außeneinheit

In eine ähnliche Richtung zur Systemoptimierung geht die Frage nach dem richtigen Aufstellungsort für die Außeneinheit der Wärmepumpe. Diese ist am besten so zu platzieren, dass die Umgebungstemperatur möglichst hoch, und der Luftstrom möglichst ungehindert ist. In der Abbildung 78 ist ein nicht optimaler sowie ein guter Aufstellungsort dargestellt. Im

abgeschlossenen Raum kann sich Kälte sammeln, und auch die Ansaugung von bereits abgekühlter Luft wird durch die Installation in diesem nach 4 Seiten geschlossenen Raum begünstigt. Bei der Aufstellung sind jedoch auch einige andere Aspekte zu beachten, welchen oft jenen der Energieeffizienz der Vorrang gegeben wird:

- Lärmbelästigung der Nachbarn und des eigenen Umfeldes
- Platzsparende Aufstellung
- Ästhetische Aspekte
- Etc.



Abbildung 78: Suboptimaler Aufstellungsort (links), guter Aufstellungsort (rechts) für Außeneinheit

Dadurch liegt die Vermutung nahe, dass die Wärmepumpe im vorliegenden Fall nicht ihr volles Potential ausschöpfen kann. Um dies zu belegen, wurde die Ansaug- und Ablufttemperatur am Verdampfer vermessen und mit einer anderen Einheit, welche freistehend montiert war, verglichen. Dabei zeigte sich, wie in Abbildung 79 ersichtlich ist, dass die Zulufttemperatur bei der freistehenden Einheit unbeeinflusst vom Betrieb der Wärmepumpe ist. Bei der eingeschlossenen Außeneinheit sinkt die Zulufttemperatur beim Betrieb merklich ab. D.h. es wird abgekühlte Luft angesaugt, was die Effizienz der Anlage reduziert.

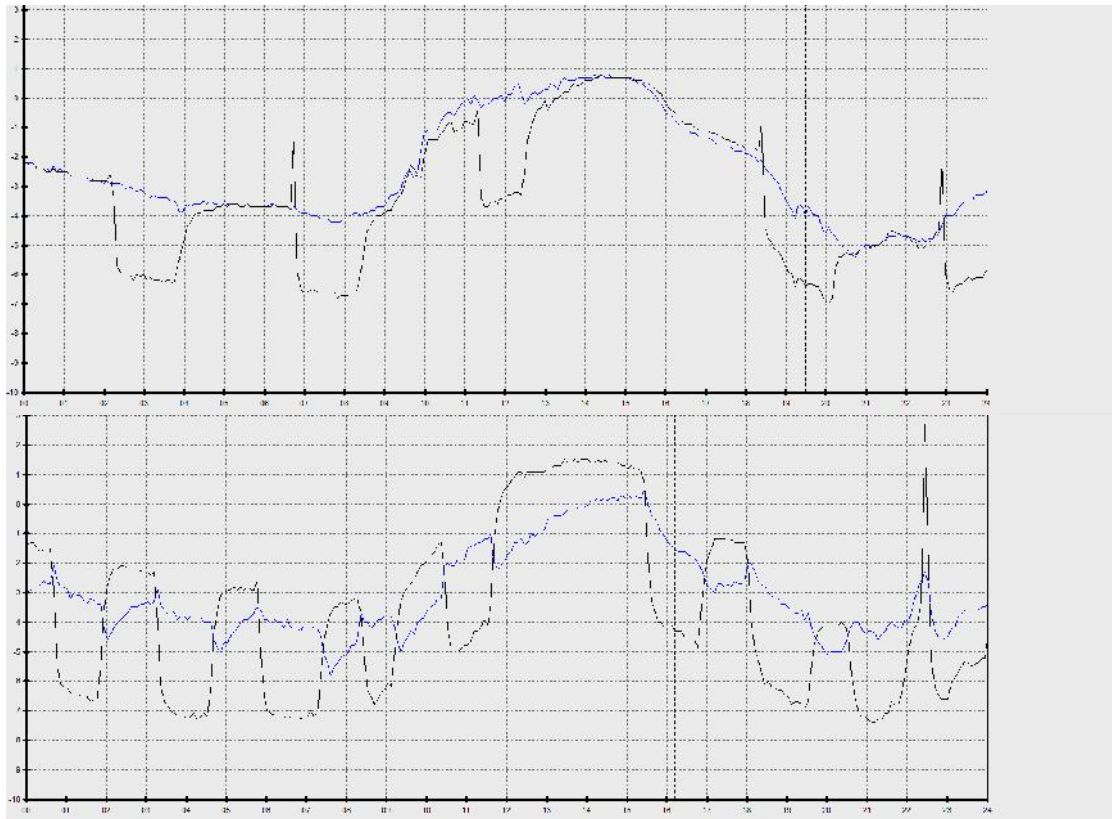


Abbildung 79: Zuluft (Blau) und Ablufttemperatur (schwarz) am Verdampfer (freistehend - oben; eingeschlossen –unten)

3.8.4 Auswirkung des Aufstellungsortes und der Betriebsweise

In der Abbildung 80 und Abbildung 81 ist zu sehen, wie sich die Zu- und Ablufttemperaturen aufgrund von unterschiedlichem Aufstellungsort und Betriebsweise beeinflussen lassen. Bei Haus 1 wurde die Wärmepumpe vornehmlich tagsüber betrieben und die Außeneinheit freistehend aufgestellt. Bei Haus 2 wurde sie auch während der Nacht betrieben, und der Aufstellungsort wurde eher eingeschlossen gewählt. Vor allem die Zulufttemperatur ist bei Haus 1 merklich höher. Dies trifft auch für die Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Abluft zu. Die Wärmepumpe in Haus 1 konnte daher effizienter arbeiten, was sich auch in der erreichten Arbeitszahl widerspiegelte.

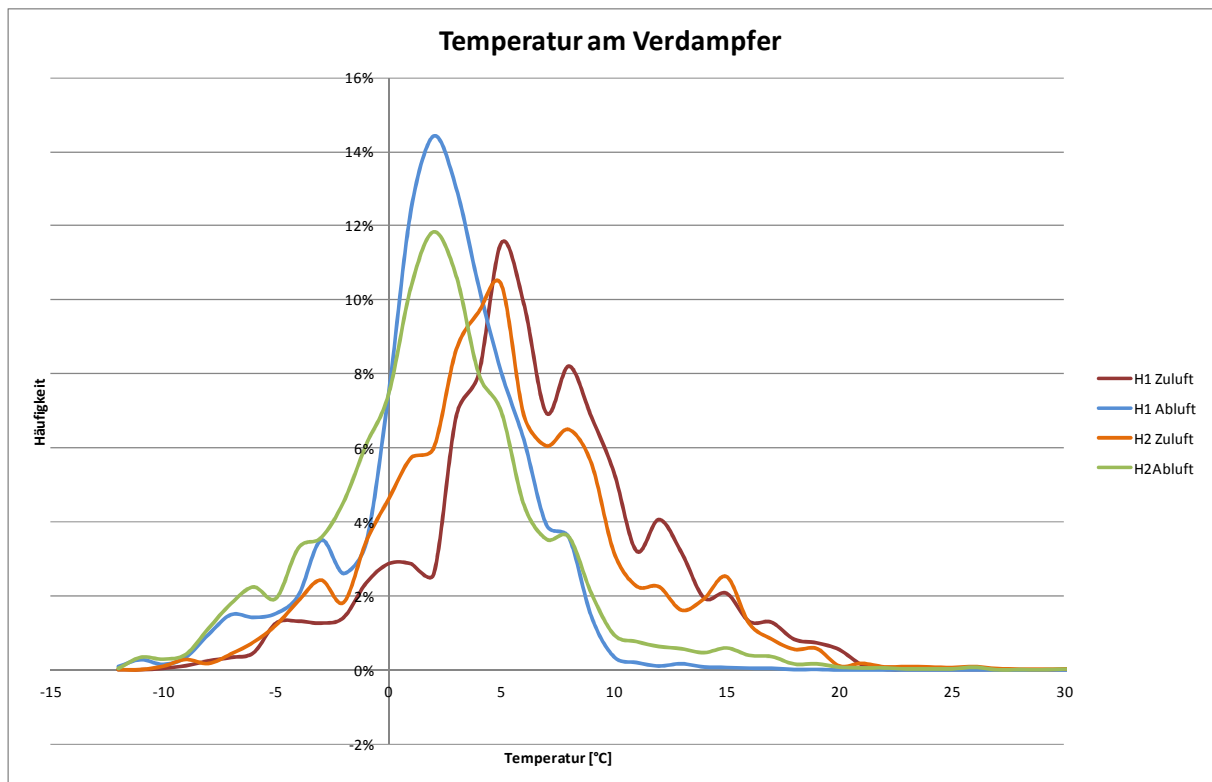


Abbildung 80: Verdampfertemperatur in 2 Anwendungsfällen

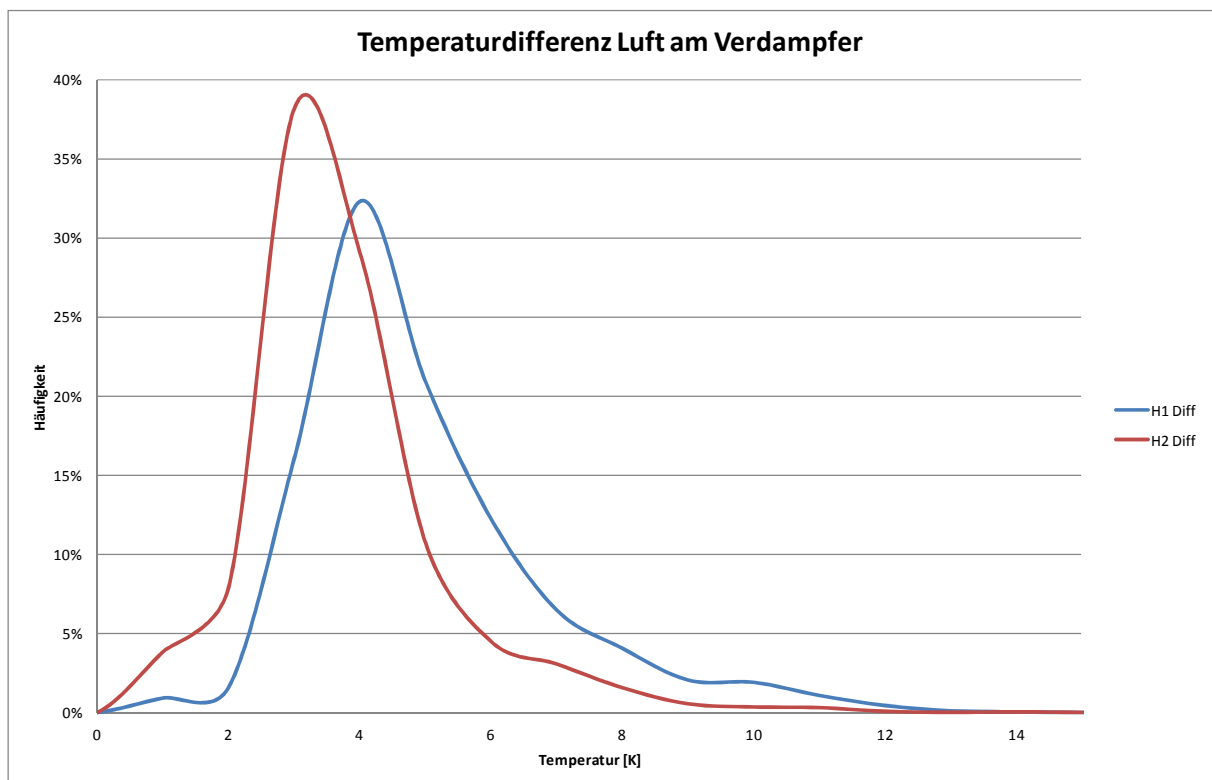


Abbildung 81: Temperaturdifferenz in 2 Anwendungsfällen

3.8.5 Fazit

Ein nennenswerter betriebswirtschaftlicher Nutzen für den Haushalt ist durch die Wahl der Systemkombination aus PV-Anlage und Wärmepumpe gegenüber den Systemen ohne PV-Anlage jedoch aus den Ergebnissen des Forschungsprojektes nicht abzuleiten. Die Einbeziehung eines Energiemanagementsystems und der Einsatz eines größeren Wärmespeichers könnten aber zu einem höheren PV-Eigenverbrauch und damit zu einem besseren betriebswirtschaftlichen Ergebnis führen. Durch den Einsatz von Wetter- und Lastprognosen kann bspw. die Wärmepumpe mit dem Ziel der Eigenverbrauchsoptimierung intelligent gesteuert werden, wie aus nachfolgender Abbildung auch ersichtlich ist.⁸⁹

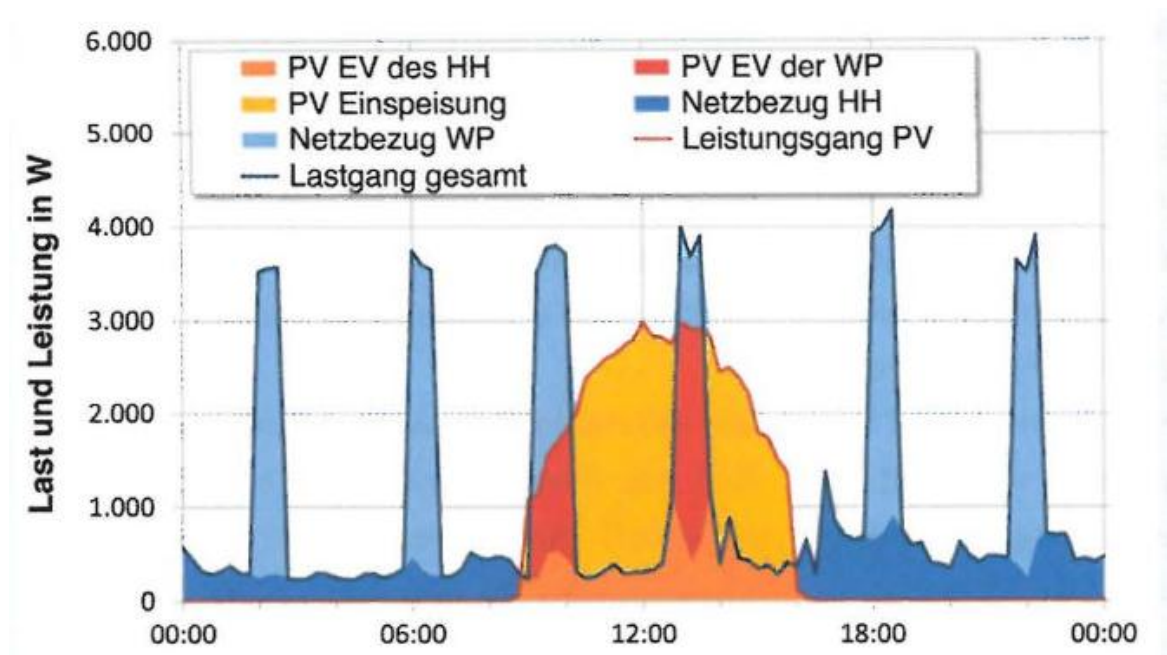


Abbildung 82 Simulierte elektrische Last- und Leistungsgänge für einen Standort in Deutschland⁹⁰

⁸⁹ Forschungsstelle für Energiewirtschaft FfE München, DI T.Staudacher, Heft Energiewirtschaftliche Tagesfragen 64.Jg.(2014) Heft 3, Seite 54

⁹⁰ Forschungsstelle für Energiewirtschaft FfE München, DI T.Staudacher, Heft Energiewirtschaftliche Tagesfragen 64.Jg.(2014) Heft 3, Seite 55

4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

4.1 Einpassung in das Programm

Das gegenständlich beantragte Projekt zielt insbesondere auf einen Gebäudetyp ab, der eine breite Masse an Gebäuden und Heizungssystemen betrifft und somit auch einen Massenmarkt bzw. hohes Potential in Richtung Energie- bzw. CO₂-Einsparung auslösen kann.

Es wird bewusst Abstand davon genommen, hochtechnologische Lösungen mit hohen Investitionskosten zu untersuchen, um – und das ist auch im Sinne der aktuellen Ausschreibungsziele - eine hohe Marktdurchdringung, attraktive Wirtschaftlichkeit, leichte Umsetzbarkeit und ein hohes Potential zur CO₂-Reduktion zu bewirken.

Das übergeordnete Ziel der Ausschreibung ist die Markteinführung oder -verbreitung von innovativen Technologien zu forcieren. Wir sehen dazu hohes Potenzial bzw. einen Schlüssel in einer möglichst sinnvollen Kombination von Komponenten plus optimaler Auslegung und Betrieb und legen daher in diesem Bereich den Forschungsschwerpunkt dieses Projekts.

Detaillierte Ansatzpunkte liegen vor allem in der richtigen Dimensionierung der Komponenten sowie des Gesamtsystems, der optimierten Regelung und dem hydraulischen Abgleich.

4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Wie bereits mehrere Studien wie z.B. von AIT⁹¹ und AEE⁹² gezeigt haben, werden viele Wärmepumpensysteme weit ab von Wirkungsgraden betrieben, die von Förderstellen gefordert sind bzw. von Herstellern angegeben, bzw. auch technisch möglich wären. Dies hat mehrere Gründe wie z.B. falsche Dimensionierung der Anlagen, suboptimale Anlagenparameter bzw. Betriebsweise oder fehlende Schlüsselkomponenten (z.B. Pufferspeicher). Im Projekt sollen Maßnahmen gefunden werden, wie mit Low-Tech-Maßnahmen (z.B. Adaptierung der Regelung) bzw. geringen Investitionsmaßnahmen die Effizienz von Wärmepumpenanlagen (Luft/Wasser) in Kombination mit einer kleinen thermischen Solaranlage (ca. 5m²) und Eigenstromproduktion über eine Photovoltaikanlage gesteigert, sowie die Betriebskosten deutlich gesenkt werden können. Dies soll vor allem in Niedrigstenergiegebäuden untersucht werden, da dies derzeit der am häufigsten gebaute

⁹¹ <http://www.ait.ac.at/departments/energy/research-areas/energy-for-the-built-environment/renewable-heating-and-cooling/sepemo/>

⁹² http://www.aee.at/aee/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=113

Gebäudetyp mit einer Luft-Wasserwärmepumpe ist. Durch Effizienzsteigerung auf der einen Seite, bzw. lokaler Energieaufbringung durch Solarthermie und PV auf der anderen Seite wird die Lücke vom Niedrigstenergie- zum Plus-Energie-Haus geschlossen. Speicher in Form von klassischen Wasserspeichern, aber auch in Form der Bauteilaktivierung sollen Energieangebot und Nachfrage ausgleichen und zur Entlastung der Stromnetze beitragen.

Es sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, inwiefern eine Kombination der drei Technologie Wärmepumpe, thermische Solaranlage und Photovoltaik zu einer deutlichen Energieeinsparung & Erhöhung der Wirtschaftlichkeit führen kann. Daraus ergeben sich wichtige Entwicklungsaufgaben für Anlagenhersteller und Planer, um eine solche funktionierende 3er Kombination zu entwickeln.

Zusätzlich können die Erkenntnisse aus diesem Projekt einen direkten Nutzen für die wirtschaftliche Nutzung von PV-Strom in Gebäuden bringen, ist doch die Maximierung des Eigennutzungsgrades des produzierten PV-Stroms ein Hauptziel im hier geplanten Projekt:

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

Ziel des Projektes ist unter anderem, begleitende Informationen für die Öffentlichkeit zugänglich zu machen, damit hier umgehend und rasch auch private Bauherren den Nutzen daraus ziehen können.

Dazu wurde eine eigene Projektplattform eingerichtet, wo laufend Neuigkeiten öffentlich zugänglich gemacht wurden, um Input für Wärmepumpenheizungen im Neubau zu finden. Insbesondere die Endergebnisse und Leitlinien, welche zur Systemoptimierung erarbeitet wurden, werden dort veröffentlicht:

<http://denkstatt.at/sol2pumpeff/>

Darüber hinaus wurden im Rahmen mehrerer Veranstaltungen für ExpertInnen, Fachpublikum sowie KonsumentInnen Vorträge gehalten.

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

Das Marktpotential ist grundsätzlich vorhanden, da die Zielgruppe (Einfamilienhäuser mit Wärmepumpensystem) groß genug ist.

Ein nennenswerter betriebswirtschaftlicher Nutzen für den Haushalt ist durch die Wahl der Systemkombination aus PV-Anlage und Wärmepumpe gegenüber den Systemen ohne PV-Anlage jedoch aus den Ergebnissen des Forschungsprojektes nicht abzuleiten. Die Einbeziehung eines Energiemanagementsystems und der Einsatz eines größeren

Wärmespeichers könnten aber zu einem höheren PV-Eigenverbrauch und damit zu einem besseren betriebswirtschaftlichen Ergebnis führen.

Bezieht man auch die möglichen Lastverschiebungseffekte mit ein, die Energieversorgungsunternehmen nutzen könnten um ihre Netze zu entlasten, erhöht sich das Potenzial enorm. Wichtig dafür ist jedoch, dass ein geeignetes Marktsystem bzw. Kostenanreize für den Konsumenten geschaffen werden, damit sowohl der Netzbetreiber als auch der Konsument einen Vorteil aus Lastverschiebungsmaßnahmen ziehen können.

5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Wie sich im Projekt gezeigt hat, kann durch sehr einfache Steuerungsanpassung und die Berücksichtigung von einigen Parametern während der Installation der Wärmepumpenanlagen inkl. Außeneinheit, eine erhebliche Effizienzsteigerung erreicht werden. Hierzu benötigt es weniger aufwändige Technik, als vielmehr das Wissen darüber, welchen Einfluss diverse Faktoren haben. Jedenfalls ist es zukünftig notwendig, die umsetzenden Parteien besser zu informieren und sowohl Installateure als auch die Servicefirmen diesbezüglich zu sensibilisieren. Nachdem es sich hierbei um Anlagen handelt, die in etwa 20 Jahre im Einsatz sind, können hier durch eine optimierte Aufstellung, Anlagenkonfiguration und einer effizienten Steuerungseinstellung, über den Lebenszyklus der Anlage bedeutende Energiemengen und somit auch CO₂ eingespart werden. Dies ist insbesondere von Bedeutung, weil der Betrieb von WP-Anlagen immer mehr auch sehr kurzfristig die Strominfrastruktur beeinflusst, was bei anderen Wärmeerzeugern, betrieben durch fossile oder biogene Brennstoffe, nicht gegeben ist.

Die reine Fokussierung auf eine betriebswirtschaftliche Kostenoptimierung rechtfertigt kaum eine Investition oder Maßnahmen im Sinne der Systemsicherheit bzw. berücksichtigt ebenso wenig die externalisierten Kosten durch einen erhöhten Infrastrukturbedarf. Eine Lastverschiebung auf Basis von Preissignalen ist für Kunden derzeit nicht attraktiv. Gleichzeitig würde jedoch eine PV-Eigenstromverbrauchsoptimierung, vor allem in Kombination mit Heiz- und Kühlsystemen, einen wesentlichen Beitrag zur Entlastung des zentralisierten Stromversorgungssystems beitragen bzw. die Basis für ein zukünftiges dezentralisiertes Energiezellensystem schaffen. Daher erscheint es erforderlich, diesen Aspekt auch stärker in die Betrachtungen mit einzubeziehen und regulatorisch bzw. auch bei den Herstellern und Lieferanten zu adressieren. Aber auch bei den Kunden und Energienutzern sollten diese Zusammenhänge stärker thematisiert werden, um eine Verhaltensänderung im Sinne der erforderlichen Energiewende zu erreichen.

Weiters hat sich gezeigt, dass einfache lokale Lösungen im Sinne der Systemsicherheit einer zentralisierten Vernetzung und Fernsteuerbarkeit vorzuziehen sind. Viele derzeit angedachten Smart-Grid-Konzepte gehen von einer zentralen IT-Vernetzung aus, wodurch im Optimalfall durchaus eine höhere Effizienz erreicht werden kann. Ob die damit eingegangenen Risiken (Cyber-Angriffe, mögliche Dominoeffekte, Fehleranfälligkeit) diesen

Vorteil aufwiegen, darf bezweifelt werden. Generell gilt, dass dezentralisierte, fehlerfreundliche Systeme robuster gegen jegliche Störungen sind.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen intensiv mit Energieversorgungsunternehmen diskutiert werden und in Überlegungen von neuen Methoden und Geschäftsmodellen der Netzsteuerung einfließen.

Auch werden die Ergebnisse in die strategischen Entscheidungen bei gewerblichen Einsatzgebieten Eingang finden, wo auch immer häufiger Wärmepumpen eingesetzt werden. Dort können die Erkenntnisse bzgl. Aufstellungsort und Eigenverbrauchsoptimierung durchaus auch übertragen werden, weil dies in der Vergangenheit häufig Thema war. Jedenfalls sollten die Ergebnisse auch diversen Förderstellen im Bereich Wohnbauförderung zugänglich gemacht werden, damit diese mit den Förderungen besser die Implementierung von diversen Systemen, welche einer stabilen Netzinfrastruktur dienlich sind, früh genug steuern können.

5.1 Empfehlungen für künftige Anlagenplanungen

Es folgt eine kurze Zusammenfassung, was der einzelne Konsument und (zukünftige) Betreiber einer Wärmepumpe mit Solarthermie und Photovoltaikanlage tun kann, um sein Gesamtsystem zu optimieren.

Luftwärmepumpen und Gebäudestandard

Der Einsatz von Luftwärmepumpen empfiehlt sich vor allem für Niedrigstenergiegebäude. Ein Heizwärmebedarf von 30-40 kWh/m²a sollte dabei nicht überschritten werden. Fast alle Neubauten entsprechen heutzutage diesem Standard.

Leistung der Wärmepumpe

Wie auch bei der Kesseldimensionierung sollten Wärmepumpen nicht zu groß dimensioniert werden. Vor allem ein häufiges Takten soll dabei vermieden werden. Nicht nur sinkt dabei der Wirkungsgrad des Gesamtsystems, es ist auch mit einem erhöhten Verschleiß zu rechnen.

Abhilfe dabei können modulierende Wärmepumpen oder ein Pufferspeicher schaffen. Diese erhöhen auch das Lastverschiebungspotential, indem die Laufzeit der Wärmepumpe verschoben oder die Leistung reduziert wird. In der Folge lässt sich Photovoltaik Eigenstrom besser nutzen.

Aufstellungsort der Außeneinheit, Luftführung

Der Aufstellungsort der Außeneinheit kann einen wesentlichen Einfluss auf die Arbeitszahl der Wärmepumpe haben. Es gilt die grobe Formel, dass pro K steigender Verdampfertemperatur die Arbeitszahl um 2,5% steigt. Im Projekt konnte über weite Zeiträume ein Temperaturunterschied von 3 K der Ansaugluft beeinflusst durch den Aufstellungsort gemessen werden. Bei einer Arbeitszahl von 4 würde die gleiche Wärmepumpe an diesem schlechten Aufstellungsort also nur mit einer Arbeitszahl von 3,7 arbeiten, was beträchtlich ist.

Regelungstechnische Optimierung

Regelungstechnisch können einige Optimierungen durchgeführt werden, die in Summe wesentlich zur Energieeinsparung beitragen:

- **Konsequente Bevorrangung von Solaranlagen.** Die Speicherladung in den Nacht- und Morgenstunden muss vermieden werden.
- **Tagbetrieb bei der Heizung forcieren.** Schon eine einfache Sperre der Wärmepumpe für die Nachtstunden erhöht den Eigenverbrauch von Photovoltaikstrom.
- **Speicherwirkung von Massivbauten nutzen.** Bei trägen Systemen wie Fußbodenheizungen fällt dies im alltäglichen Betrieb nicht auf. Im Niedrigstenergiestandard können so Stunden ohne Heizbetrieb überbrückt werden, ohne dass der Nutzer einen Komfortverlust bemerkt.
- Im Idealfall wird die Wärmepumpe jedoch mittels **Photovoltaik Monitoringsystem** freigegeben. Dieses arbeitet dann primär, wenn die Sonne scheint und im Idealfall mit jener Leistung, die gerade zur Verfügung steht.
- Bei der **Warmwasserbereitung** ist neben der Bevorrangung von solarthermischen Anlagen vor allem die **Mindesttemperatur** ein Effizienzkriterium. Je niedriger die Temperatur im Boiler sein darf, desto mehr Potential besteht für eine solarthermische Anlage bzw. die Ladung mittels Wärmepumpe und Photovoltaik-Strom. Es kann in der Praxis, je nach Verbrauch und installiertem System, meist mindestens ein Tag ohne Nachladung überbrückt werden.
- Im Allgemeinen ist die **Senkung der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen** im System anzuraten, denn Pro K sinkender Abgabetemperatur steigt die Arbeitszahl um ca. 3%. Bei Sonnenschein ist es jedoch ratsam die Vorlauftemperatur zu erhöhen, um mehr Energie speichern zu können und auch die Eigennutzung von Photovoltaik zu erhöhen. Dies kann mit einer Erhöhung der Hysterese erreicht werden.

Solarthermie oder Photovoltaik zur Warmwasserbereitung?

Die Wahl ob Solarthermie oder Photovoltaik und Wärmepumpe die bessere Alternative zur Warmwasserbereitung darstellen, ist eine Geschmacksfrage. Insbesondere bei der Photovoltaik - Wärmepumpenkombination ist es jedoch extrem wichtig die regelungstechnische Abstimmung sicherzustellen. Hierzu sind unter Umständen gesonderte Geräte für die Freigabe der Wärmepumpe notwendig. Zumindest bedarf es aber einer regelungstechnischen Verknüpfung der beiden Systeme, damit vor allem in den Sommermonaten nur dann Warmwasser bereitet wird, wenn Überschussstrom produziert wird. Bei der Solarthermie lässt sich dies durch die Vorgabe einer Mindesttemperatur und von Sperrzeiten (nachtsüber) für die Wärmepumpe einfacher realisieren.

Möglicher Eigenverbrauch des erzeugten Photovoltaikstroms

1) Heizung

Die Kombination von Photovoltaik und Wärmepumpe ist in aller Munde und wird von vielen Verkäufern und Herstellern beworben. Doch was kann diese Systemkombination wirklich leisten? Die Photovoltaikanlage kann sehr gut in den Sommermonaten die nötige Energie fürs Warmwasser liefern und auch in der Übergangszeit beim Heizen unterstützen. In den Wintermonaten, wenn die meiste Energie für die Heizung benötigt wird, ist der Beitrag der Photovoltaik extrem gering. In der Heizperiode ist es bei durchschnittlichen Haushalten und PV Anlagen im Bereich von 3-5 kWp, nicht einmal möglich den Haushaltsstrombedarf (ohne Wärmepumpe) zu decken.

2) Haushaltsstrom

Beim Haushaltsstrom ist durchaus Potential vorhanden, abhängig davon, wie sehr man sein Verhalten bzw. die Laufzeit seiner Geräte verändert. Doch auch hier ist der größte Bedarf eher in den Morgen- und Abendstunden, sowie im Winter gegeben.

3) Warmwasserbereitung

Das größte Potential, um den Eigenverbrauch zu steigern, bietet die Warmwasserbereitung mittels Photovoltaik-Strom und Wärmepumpe. Je nach Haushaltsgröße kann fast der gesamte Strom einer 1-2 kWp PV Anlage in die Warmwasserbereitung fließen.

Speicher im System

Äußerst positiv auf die Eigendeckung wirken sich Speicher im System aus. Im Projekt wurden thermische Speicher in Form von Wasser- und Massenspeicher in Massivhäusern untersucht. Schon durch die Nutzung der Massenspeicherwirkung und des meist ohnehin vorhandenen Warmwasserpeichers kann ein halber Tag ohne Energieeintrag in das System

problemlos überbrückt werden. Das bedeutet, dass die Energieerzeugung beliebig während eines Tages verschoben werden kann, vorrangig in jene Zeit wenn günstiger Strom vorhanden ist. Dieser kann aus Photovoltaik oder auch aus Windkraft stammen. Insbesondere in der Heizperiode ist das Angebot an Photovoltaikstrom jedoch, wie bereits beschrieben, leider nur begrenzt verfügbar. Um dennoch ein ökologisch verträgliches Heizsystem zu realisieren, ist vor allem die Nutzung von Windenergie erforderlich. Windkraft eignet sich vom Erzeugerprofil gut für die Nutzung in Wärmepumpen, da diese im Winter stark verfügbar ist.

Nun ist es in den meisten Fällen nicht möglich auch nur ein kleines Windrad auf dem eigenen Grundstück zu realisieren. Durch eine Beteiligung an Windparks, lässt sich jedoch der gleiche Effekt erreichen. Die Wärmepumpe als zeitlich unkritischer Verbraucher bietet darüber hinaus die Möglichkeit Schwankungen in der Erzeugungskapazität wirksam ausgleichen, indem die Wärmepumpen dann betrieben werden, wenn viel Windenergie im Stromnetz verfügbar ist. Wie zuvor beschrieben, ist die notwendige Betriebszeit von Wärmepumpen nahezu beliebig während eines Tages verschiebbar. Insgesamt muss daher der Ausbau von Windenergie forciert werden, um zukünftig den steigenden Bedarf an Strom für Wärmeanwendungen aus erneuerbaren Energiequellen decken zu können.

5.2 Anwendbarkeit der Ergebnisse für Sanierungsbauten

Aus den Ergebnissen des Projektes kann allgemein auf Sanierungsvorhaben geschlossen werden. Wie schon in diversen anderen Studien zum Thema Wärmepumpeneinsatz in Sanierungsbauten festgestellt, macht der Einsatz nur bei thermisch gut sanierten Gebäuden mit einem Wärmeabgabesystem auf Niedertemperaturbasis wirtschaftlich und energetisch Sinn. Die gute Speicherwirkung eines gedämmten Gebäudes ist, wie im Projekt bei Neubauten untersucht, übertragbar auf sanierte Gebäude, wenn das Ursprungsgebäude ein Massivgebäude war, welches saniert wurde und somit Speichermassen für die Lastverschiebung nutzbar sind.

Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf Sanierungsgebäude, welche den Niedrigenergiestatus gemäß Energieausweis erreichen, und über Niedertemperatur Wärmeverteilsysteme verfügen, übertragen werden können.

6 Ausblick und Empfehlungen

Der Einsatz von elektrischen Speichern im System wird die Voraussetzungen insbesondere bei der Deckung des Haushaltstromverbrauches verändern, hier werden dann wesentlich höhere Eigendeckungsgrade möglich. Dies gilt jedoch nicht für die Raumheizung. Hier wird selbst beim Einsatz vom Stromspeichern keine hohe Eigendeckung im Winter möglich sein.

In Bezug auf den Betrieb von Wärmepumpen mit erneuerbarem Strom muss im künftigen Strommix verstärkt auf Windenergie gesetzt werden. Der Marketing Gag, dass die eigene Wärmepumpenheizung mit PV-Eigenstrom versorgt werden kann, funktioniert in der Praxis nicht. Windkraft hingegen hat ein Erzeugerprofil (vorrangig im Winter, und auch in der Nacht), welches dieses Ziel erfüllen könnte. Auch die regionale Verfügbarkeit von Windstrom wird dabei eine Rolle spielen. Insbesondere im Osten Österreichs gibt es hier Potenzial.

Mit einer flexiblen und intelligenten Laststeuerung durch EVUs, welche Wärmepumpen dann gezielt freigibt, wenn viel erneuerbarer Strom am Netz ist, können Gebäude als Tagesspeicher genutzt werden. Auch die Chancen die sich durch den vermehrten Einsatz der Invertertechnik bei Wärmepumpen ergeben, und die sich daraus ergebende erweiterte Möglichkeit der Lastverschiebung, sollte neu in die Bewertungen einfließen und ergänzend untersucht werden. Diese Technik kann während des gesamten Tages zu einer aktiveren Laststeuerung von Seiten des Haushaltes aber auch von Seiten des EVUs eingesetzt werden. Welche Faktoren es hierbei ökonomisch und rechtlich bedarf, sollte in weiteren Untersuchungen herausgearbeitet werden.

7 Anhang

7.1 Mess- und Ergebnisprotokolle hydraulischer Abgleich

Vorgang: myWarm® Abgleich
Datum: Durchführungszeitraum:

11 Heizkörper und 1 Stränge
10.11.2015 bis 12.11.2015

1. Ergebnisübersicht:

Außentemperatur

1.Messung 10.11 17:46	12.3°C	2.Messung 12.11 15:28	8.2°C
--------------------------	--------	--------------------------	-------

Legende:

VL°C =Vorlauf, **RL**°C =Rücklauf, **SW**°K=Spreizwert,
MT°C =Mitteltemperatur, **ÜT**°K =Übertemperatur

Strang		VL °C	RL °C	SW K	Regulier Ventil 1	Pumpen- Leistung W	Pumpe F / S	Regelart	Anzahl Heizkörper	Streuung der MTs	
										Absolut	Verbesserung
1	1.Mess.	32.6	30.8	1.8				dp konstant	13	4.8 °K	-3.9 °K
	2.Mess.	35.6	34.4	1.2			100%	dp konstant	13	0.9 °K	

Wärmeerzeugung: Luft-Wasser Wärmepumpe Vaillant geoTherm VWL 81/3 S
Puffer-Speicher für Heizung: Nein
Verteilsystem: Fußbodenheizung

Folgende Vorgänge wurden durchgeführt:
 hydraulischer Abgleich auf gleiche Mitteltemperaturen

Die Pumpeneinstellungen können ebenso wie Heizkurve und Energie-Integral für die Energiebilanzregelung zur Reduzierung der Kompressorstarts nur über den eingebauten Regler der Wärmepumpe durch Eingabe auf Fachhandwerkerebene verändert werden.

Heizkreispumpe: Menü C10
Heizkurve: Menü C2
Energie-Integral: Menü: C4

Wir empfehlen folgende Einstellungen vorzunehmen und im Betriebsverlauf anzupassen:
Heizkreispumpe: 70%
Heizkurve: 0,10
Energie-Integral: 220°/min

Bilvalenzpunkt: -10°
Zusatzheizung: Menü C7: Betrieb Heizung: ZH Ein, Betrieb WW: ZH Ein
Warmwasser Max Temperatur <48°

Sie wurden betreut durch **myWarm®** Fachpartner: Manfred Richter GmbH & CoKG

myWarm gmbh FN 340933y HG Wien	Tel. +43 (0) 1 687 19 21-0 Mail. office@myWarm.at Sitz. Heumühlgasse 11, 1040 Wien	UID. AT 088438578 BIC. RLNWAT33 IBAN. AT28 3200 0000 1511 4119	www.myWarm.at
--------------------------------------	--	--	---------------

2. Übersicht: Strang 1 Whg

Pumpe: Vaillant ?? (Hersteller)
Name/Type:
Nennleistung: W

1.Messung	2.Messung
10.11.2015 17:46	12.11.2015 15:28
Pumpe: Stufe dp konstant	Pumpe: Stufe 100% dp konstant

VL°C = Vorlauf, RL°C = Rücklauf, SW°C = Spreizwert, MT°C = Mitteltemperatur, ÜT°C = Übertemperatur

Heizkörper						MESSWERTE						
Gebäude	Eing.	Et.	Zone	Raum	Ort	MT	SW	ÜT	MT	SW	ÜT	Abw
		0	EG	Küche	4.v.l.	33.6	3	7.9	37.1	4	8.1	0
		0	EG	VR	1.v.l.	33.7	1.4	3.9	37	2.2	3.3	0
		0	EG	WZ1	3.v.l.	33.8	3.3	4.7	37.2	4.1	4.4	0
		0	EG	WZ2	2.v.l.	34.2	4.1	7	36.8	6.7	6.2	0
		1	1.OG	Bad + VR	4.v.l.	32.4	4.3	7.9	36.6	4.5	8.1	0
		1	1.OG	SR	3.v.l.	29.6	1.3	1.6	36.9	5.8	3.4	0
		1	1.OG	Z1	1.v.l.	30.6	7.4	2.2	37.4	3	3.9	0
		1	1.OG	Z/2 SZ	2.v.l.	29.4	3.5	4	37.5	3.1	7.7	0
		2	2.OG	Bad + VR	3.v.l.	33.6	1.4	7.9	37.4	0.9	7.8	0
		2	2.OG	Z1	1.v.l.	33.7	1.7	7.3	37.4	2.4	7	0
		2	2.OG	Z/2	2.v.l.	33	2.2	5.7	37.3	3.3	5.7	0

Streuung der Heizkörper Mitteltemperaturen: 4.8 0.9

Strangreguliertventile					1.Messung	2.Messung
					10.11.2015 17:46	12.11.2015 15:28
Gebäude	Et.	Zone	Raum	Ort	Einstellungen	Einstellungen

Sie wurden betreut durch **myWarm®** Fachpartner: Manfred Richter GmbH & CoKG

myWarm gmbh
 FN 340933y
 HG Wien

Tel. +43 (0) 1 997 14 21 0
 Mail. office@myWarm.at
 Sitz. Raumlöhlgasse 11, 1040 Wien

UID. AT U65428708
 BIC. RLNWAT33
 IBAN. AT28 3200 0000 1511 4119 www.myWarm.at

3. Zusammenfassung je Heizkörper:

Fam?? / -1 / UG

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	HZ		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	1.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	35.3	34.2	34.8 1.1 24.2 10.6	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 14:23	561	-- unbek.	38.2	36.5	37.4 1.7 29.3 8.1	1 35.6 34.4

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	HZ		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	2.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	34.8	31.7	33.3 3.1 24.9 8.4	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 14:23	0	-- unbek.	37.8	35.2	36.5 2.6 29.4 7.1	1 35.6 34.4

Fam?? / 0 / EG

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Küche		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	4.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	35.1	32.1	33.6 3 25.7 7.9	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 15:28	482	-- unbek.	39.1	35.1	37.1 4 29.0 8.1	1 35.6 34.4

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	VR		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	1.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	34.4	33	33.7 1.4 29.8 3.9	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 15:28	429	-- unbek.	38.1	35.9	37 2.2 33.7 3.3	1 35.6 34.4

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	WZ1		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	3.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	35.4	32.1	33.8 3.3 29.1 4.7	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 15:28	612	-- unbek.	39.2	35.1	37.2 4.1 32.8 4.4	1 35.6 34.4

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	WZ2		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	2.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	36.2	32.1	34.2 4.1 27.2 7	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 15:28	466	-- unbek.	40.1	33.4	36.8 6.7 30.6 6.2	1 35.6 34.4

Sie wurden betreut durch **myWarm®** Fachpartner: Manfred Richter GmbH & CoKG

myWarm gmbh
FN 340933y
HG Wien

Tel. +43 (0) 1 997 14 21 0
Mail. office@myWarm.at
Sitz. Baumthilgasse 11, 1040 Wien

UID. AT U65438708
BIC. RLNWAT33
IBAN. AT28 3200 0000 1511 4119 www.myWarm.at

Fam?? / 1 / 1.OG

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Bad + VR		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	4.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	34.5	30.2	32.4 4.3 24.5 7.9	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 15:28	0	-- unbek.	38.8	34.3	36.6 4.5 28.5 8.1	1 35.6 34.4

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	SR		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	3.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	30.2	28.9	29.6 1.3 28.0 1.6	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 15:28	600	-- unbek.	39.8	34	36.9 5.8 33.5 3.4	1 35.6 34.4

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Z1		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	1.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	34.3	26.9	30.6 7.4 28.4 2.2	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 15:28	0	-- unbek.	38.9	35.9	37.4 3 33.5 3.9	1 35.6 34.4

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Z12 SZ		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	2.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	31.1	27.6	29.4 3.5 25.4 4	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 15:28	0	-- unbek.	39	35.9	37.5 3.1 29.8 7.7	1 35.6 34.4

Bemerkungen:

12.11.2015 10:41: (AA) Überprüfung generell nicht möglich

Fam?? / 2 / 2.OG

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Bad + VR		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	3.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	34.3	32.9	33.6 1.4 25.7 7.9	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 15:28	0	-- unbek.	37.8	36.9	37.4 0.9 29.6 7.8	1 35.6 34.4

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Z11		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	1.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 17:46	0	-- unbek.	34.5	32.8	33.7 1.7 26.4 7.3	1 32.6 30.8
	2.Messung	12.11.15 15:28	550	-- unbek.	38.6	36.2	37.4 2.4 30.4 7	1 35.6 34.4

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Z12		unbekannt	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	2.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL

Sie wurden betreut durch myWarm® Fachpartner: Manfred Richter GmbH & CoKG

myWarm gmbh
FN 349933y
HG WienTel. +43 (0) 1 997 19 21 0
Mail. office@myWarm.at
Sitz. Baumhügasse 11, 1040 WienUID. AT U65438708
BIC. RLNWAT33
IBAN. AT28 3200 0000 1511 4119
www.myWarm.at

Vorgang: myWarm® Abgleich
Datum: Durchführungszeitraum:

9 Heizkörper und 1 Stränge
10.11.2015 bis 12.11.2015

1. Ergebnisübersicht:

Außentemperatur	1.Messung 10.11 19:17	17.3°C	2.Messung 12.11 12:42	13.3°C
------------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------

Legende:

VL°C =Vorlauf, **RL**°C =Rücklauf, **SW**°K=Spreizwert,
MT°C =Mitteltemperatur, **ÜT**°K =Übertemperatur

Strang		VL °C	RL °C	SW K	Regulier Ventil 1	Pumpen- Leistung W	Pumpe F / S	Regelart	Anzahl Heizkörper	Streuung der MTs	
										Absolut	Verbesserung
1	1.Mess.	34.8	29.3	5.5				konst. Drehzahlstufen	11	2 °K	-1.2 °K
	2.Mess.	36.0	32.1	3.9			100%	konst. Drehzahlstufen	11	0.8 °K	

Wärmeerzeugung: Luft-Wasser Wärmepumpe Vaillant geoTherm VWL 61/3 S

Puffer-Speicher für Heizung: Nein

Verteilsystem: Fußbodenheizung

Folgende Vorgänge wurden durchgeführt:

1. Hydraulischer Abgleich auf gleiche Mitteltemperaturen

Die Pumpeneinstellungen können ebenso wie Heizkurve und Energie-Integral für die Energiebilanzregelung zur Reduzierung der Kompressorstarts nur über den eingebauten Regler der Wärmepumpe durch Eingabe auf Fachhandwerkerebene verändert werden.

Heizkreispumpe: Menü C10

Heizkurve: Menü C2

Energie-Integral: Menü: C4

Wir empfehlen folgende Einstellungen vorzunehmen und im Betriebsverlauf anzupassen:

Heizkreispumpe: 70%

Heizkurve: 0,10

Energie-Integral: 220°/min

Bilvalenzpunkt: -10°

2. Übersicht: Strang 1 Whg**Pumpe:** Vaillant ?? (Hersteller)

Name/Type:

Nennleistung: W

1.Messung

10.11.2015 19:17

Pumpe: Stufe

konst. Drehzahlstufen

2.Messung

12.11.2015 12:42

Pumpe: Stufe 100%

konst. Drehzahlstufen

VL°C = Vorlauf, RL°C = Rücklauf, SW°C = Spreizwert, MT°C = Mitteltemperatur, ÜT°C = Übertemperatur

Heizkörper						MESSWERTE						
Gebäude	Eing.	Et.	Zone	Raum	Ort	MT	SW	ÜT	MT	SW	ÜT	Abw
		0	EG	Flur	4.v.l.	34.7	2.2	8.5	34.8	4.3	6.6	0
		0	EG	Gäste WC	5.v.l.	34.6	1.3	6.9	35.2	2.4	5.8	0
		0	EG	Küche	1.v.l.	32.7	3	5.4	34.5	2.2	5.1	0
		0	EG	Küche Wohnen	2.v.l.	33.4	4.3	7.8	34.8	3.8	6.9	0
		0	EG	Küche Wohnen	3.v.l.	33.6	3.6	5.5	35.2	3	5.4	0
		1	1.OG	Bad	4.v.l.	34	1.1	6.3	35.3	1.1	5.8	0
		1	1.OG	Eltern SZ	1.v.l.	33.2	3	8.1	34.9	2.6	7.1	0
		1	1.OG	KIZI	2.v.l.	33.1	5.1	5.1	34.6	4.9	4.5	0
		1	1.OG	KIZI	3.v.l.	33.2	4.7	7.4	34.8	4.2	6.6	0

Streuung der Heizkörper Mitteltemperaturen: 2 0.8

Strangreguliertventile					1.Messung	2.Messung
Gebäude	Et.	Zone	Raum	Ort	10.11.2015 19:17 Einstellungen	12.11.2015 12:42 Einstellungen

Sie wurden betreut durch **myWarm®** Fachpartner: Manfred Richter GmbH & CoKGmyWarm gmbh
FN 340933y
HG WienTel. +43 (0) 1 997 19 21 0
Mail. office@myWarm.at
Sitz. Baumhlgasse 11, 1040 WienUID. AT U65438708
BIC. RLNWAT33
IBAN. AT28 3200 0000 1501 4119
www.myWarm.at

3. Zusammenfassung je Heizkörper:

Fam. Sarugg / -1 / 1. UG

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Verteiler		/ Helmeier M30	KVS RLV	0	0	Fußbodenheizkreis	000000
	1.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 19:17	0	-- unbek.	33.9	30.5	32.2 3.4 24.6 7.6	1 34.8 29.3
	2.Messung	12.11.15 12:42	0	-- unbek.	35.7	33.1	34.4 2.6 26.6 7.8	1 36.0 32.1

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Verteiler		/ Helmeier M30	KVS RLV	0	0	Fußbodenheizkreis	000000
	2.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 19:17	0	-- unbek.	34.5	30.7	32.6 3.8 23.6 9	1 34.8 29.3
	2.Messung	12.11.15 12:42	0	-- unbek.	35.5	33.1	34.3 2.4 25.6 8.7	1 36.0 32.1

Fam. Sarugg / 0 / EG

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Flur		unbekannt	KVS RLV	0	0	Fußbodenheizkreis	000000
	4.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 19:17	0	-- unbek.	35.8	33.6	34.7 2.2 26.2 8.5	1 34.8 29.3
	2.Messung	12.11.15 12:42	519	-- unbek.	36.9	32.6	34.8 4.3 28.2 6.6	1 36.0 32.1

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Gäste WC		unbekannt	KVS RLV	0	0	Fußbodenheizkreis	000000
	5.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 19:17	0	-- unbek.	35.2	33.9	34.6 1.3 27.7 6.9	1 34.8 29.3
	2.Messung	12.11.15 12:42	511	-- unbek.	36.4	34	35.2 2.4 29.4 5.8	1 36.0 32.1

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Küche		unbekannt	KVS RLV	0	0	Fußbodenheizkreis	000000
	1.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 19:17	0	-- unbek.	34.2	31.2	32.7 3 27.3 5.4	1 34.8 29.3
	2.Messung	12.11.15 12:42	569	-- unbek.	35.6	33.4	34.5 2.2 29.4 5.1	1 36.0 32.1

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Küche Wohnen		unbekannt	KVS RLV	0	0	Fußbodenheizkreis	000000
	2.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 19:17	0	-- unbek.	35.5	31.2	33.4 4.3 25.6 7.8	1 34.8 29.3
	2.Messung	12.11.15 12:42	552	-- unbek.	36.7	32.9	34.8 3.8 27.9 6.9	1 36.0 32.1

Sie wurden betreut durch **myWarm®** Fachpartner: Manfred Richter GmbH & CoKG

myWarm gmbh
FN 340933y
HG Wien

Tele. +43 (0) 1 997 19 21 0
Mail. office@myWarm.at
Sitz. Raumlühgasse 11, 1040 Wien

UID. AT U65428708
BIC. RLNWAT33
IBAN. AT28 3200 0000 1511 4119 www.myWarm.at

^

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Küche Wohnen		unbekannt	KVS RLV	0	0	Fußbodenheizkreis	000000
	3.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 19:17	0	-- unbek.	35.4	31.8	33.6 3.6 28.1 5.5	1 34.8 29.3
	2.Messung	12.11.15 12:42	700	-- unbek.	36.7	33.7	35.2 3 29.8 5.4	1 36.0 32.1

Fam. Sarugg / 1 / 1.OG

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Bad		unbekannt	KVS RLV	0	0	Fußbodenheizkreis	000000
	4.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 19:17	0	-- unbek.	34.5	33.4	34 1.1 27.7 6.3	1 34.8 29.3
	2.Messung	12.11.15 12:42	549	-- unbek.	35.8	34.7	35.3 1.1 29.5 5.8	1 36.0 32.1

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Eltern SZ		unbekannt	KVS RLV	0	0	Fußbodenheizkreis	000000
	1.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 19:17	0	-- unbek.	34.7	31.7	33.2 3 25.1 8.1	1 34.8 29.3
	2.Messung	12.11.15 12:42	530	-- unbek.	36.2	33.6	34.9 2.6 27.8 7.1	1 36.0 32.1

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	KiZi		unbekannt	KVS RLV	0	0	Fußbodenheizkreis	000000
	2.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 19:17	0	-- unbek.	35.6	30.5	33.1 5.1 28.0 5.1	1 34.8 29.3
	2.Messung	12.11.15 12:42	452	-- unbek.	37	32.1	34.6 4.9 30.1 4.5	1 36.0 32.1

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Austattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	KiZi		unbekannt	KVS RLV	0	0	Fußbodenheizkreis	000000
	3.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	10.11.15 19:17	0	-- unbek.	35.5	30.8	33.2 4.7 25.8 7.4	1 34.8 29.3
	2.Messung	12.11.15 12:42	548	-- unbek.	36.9	32.7	34.8 4.2 28.2 6.6	1 36.0 32.1

Sie wurden betreut durch **myWarm®** Fachpartner: Manfred Richter GmbH & CoKG

myWarm gmbh
FN 340933y
HG Wien

Tel. +43 (0) 1 997 14 21 0
Mail. office@myWarm.at
Sitz. Baumhfigasse 11, 1040 Wien

UID. AT U65428708
BIC. RLNWAT33
IBAN. AT28 3200 0000 1501 4119 www.myWarm.at

Vorgang: myWarm® Abgleich
Datum: Durchführungszeitraum:

20 Heizkörper und 1 Stränge
13.11.2015 bis 15.03.2016

1. Ergebnisübersicht:

Außentemperatur	1.Messung 13.11 06:19	5.2°C	2.Messung 15.03 05:04	3.8°C
------------------------	--------------------------	-------	--------------------------	-------

Legende:

VL°C =Vorlauf, **RL**°C =Rücklauf, **SW**°K=Spreizwert,
MT°C =Mitteltemperatur, **ÜT**°K =Übertemperatur

Strang		VL °C	RL °C	SW K	Regulier Ventil 1	Pumpen- Leistung W	Pumpe F / S	Regelart	Anzahl Heizkörper	Streuung der MTs	
										Absolut	Verbesserung
1	1.Mess.	30.3	30.9	-0.6			3	dp konstant	24	6.4 °K	-4.9 °K
	2.Mess.	31.5	28.3	3.2			2	dp konstant	24	1.5 °K	

Wärmeerzeugung: Luft-Wasser Wärmepumpe Wolf
Puffer-Speicher: Ja
Verteilsystem Fußbodenheizung

Folgende Vorgänge wurden durchgeführt:

1. Hydraulischer Abgleich auf gleiche Mitteltemperaturen aller Heizflächen
2. Monitoring ausgewählter Raumtemperaturen
3. Hydraulischer Abgleich mit gezielter Unter und Überversorgung von Heizflächen
zum Erreichen der vom Kunden gewünschten Versorgungs-Situation der Räume.

Empfehlungen:

Dämmung aller Aufputz verlegten Warmwasser- und HeizungsRohrleitungen im Keller.

Reduzierung der Ein- und Ausschaltzyklen der Wärmepumpe, welche in erster Linie durch die Warmwasser Bereitstellung verursacht werden.

Hierzu wird empfohlen die Hysterese und Speichertemperatur, sowie die Laufzeiten der Warmwasserzirkulationsleitung zu optimieren

2. Übersicht: Strang 1 Whg**Pumpe:** (Hersteller)

Name/Type:

Nennleistung: W

1.Messung

13.11.2015 06:19

Pumpe: Stufe 3
dp konstant**2.Messung**

15.03.2016 05:04

Pumpe: Stufe 2
dp konstant

VL°C = Vorlauf, RL°C = Rücklauf, SW°K = Spreizwert, MT°C = Mitteltemperatur, ÜT°K = Übertemperatur

Heizkörper					MESSWERTE							
Gebäude	Eing.	Et.	Zone	Raum	Ort	MT	SW	ÜT	MT	SW	ÜT	Abw
		-1	UG	Fitness	1.v.l.	32,9	4,2	9,7	30,8	3,5	30,8	-1
		-1	UG	Hauswirtschaft	4.v.l.	33	5,5	7,3	30,1	4,2	30,1	-1
		-1	UG	Sauna	2.v.l.	33	5,6	8,6	30,1	3	30,1	0
		-1	UG	Sauna 2	3.v.l.	30,6	0,2	7,1	30,2	3,8	30,2	-1
		0	EG	Arbeitszimmer	6.v.l.	36,1	5,2	5,1	30,8	2,9	4,6	0
		0	EG	bad	5.v.l.	37	4,3	5,5	31	2,5	5,5	0
		0	EG	gang	3.v.l.	33,9	9,5	3	30,5	5,5	30,5	-1
		0	EG	Küche 1	1.v.l.	35,9	5,5	9,1	30,3	3,2	5,5	0
		0	EG	Küche 2	2.v.l.	35	8	1,5	31,5	3,5	6,7	-1
		0	EG	Vorraum	4.v.l.	34,6	7,4	2	31,6	3	10,5	-1
		0	EG	Wohnzimmer 1	7.v.l.	35,2	7,7	3,1	30,7	1,6	6	0
		0	EG	Wohnzimmer 2	8.v.l.	36,2	4,9	5,8	30,3	2,7	5,5	0
		1	OG	Bad	8.v.l.	34,9	8	6,9	30,9	2,1	6,7	0
		1	OG	Galerie	5.v.l.	35	7,5	4,9	31,6	2,8	6,7	-1
		1	OG	Gästezimmer	6.v.l.	35,7	4,4	2,5	30,6	2,9	7,4	0
		1	OG	Gästezimmer 2	7.v.l.	35,8	4,1	6,7	30,5	2,9	7,3	0
		1	OG	Kinderzimmer	4.v.l.	35,5	5,1	1	30,9	2,5	6,2	0
		1	OG	Kinderzimmer1	3.v.l.	36,3	4,6	8,9	30,7	2,2	6	0
		1	OG	Schlafzimmer	2.v.l.	35,4	6,8	1,6	30,7	2,5	5,8	0
		1	OG	Schrankraum	1.v.l.	34,9	4,4	2,9	31,5	0,9	31,5	-1

Streuung der Heizkörper Mitteltemperaturen: 6.4

1.5

Strangreguliertventile					1.Messung	2.Messung
Gebäude	Et.	Zone	Raum	Ort	13.11.2015 06:19	15.03.2016 05:04
					Einstellungen	Einstellungen

Sie wurden betreut durch **myWarm®** Fachpartner: myWarm GmbHmyWarm gmbh
FN 340933y
1030 WienTel. +43 (0)1 997 18 214
Mail. office@myWarm.at
Sitz. Leumühlgasse 11, 1040 WienUID. A1 UBB43670R
BIC. RLKWAT33
IBAN. AT28 3200 0000 1511 4119 www.myWarm.at

3. Zusammenfassung je Heizkörper:

Haus 3 / -1 / UG

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Fitness		unbekannt / Heizkörper M301V5	nein ja	0	-1		h.b.t. (600.1200.33)
	1.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	0	-- 0 0/12	35	30.8	32.9 4.2 23.2 9.7	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	554	-- 0 0/12	31.5	28	30.8 3.5 0.0 30.8	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Hauswirtschaft		unbekannt / Heizkörper M301V5	nein ja	0	-1		h.b.t. (600.1200.33)
	4.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	0	-- 0 0/12	35.7	30.2	33 5.5 25.7 7.3	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	550	-- 0 0/12	31.2	27	30.1 4.2 0.0 30.1	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Sauna		unbekannt / Heizkörper M301V5	nein ja	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	2.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	0	-- unbek.	35.8	30.2	33 5.6 24.4 8.6	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	434	-- unbek.	31.6	28.6	30.1 3 0.0 30.1	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Sauna 2		unbekannt / Heizkörper M301V5	nein ja	0	-1		h.b.t. (600.1200.33)
	3.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	0	-- unbek.	30.7	30.5	30.6 0.2 23.5 7.1	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	618	-- unbek.	31.1	27.3	30.2 3.8 0.0 30.2	1 31.5 28.3

Haus 3 / 0 / EG

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Arbeitszimmer		unbekannt / Heizkörper M301V5	nein ja	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	6.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	641	-- unbek.	38.7	33.5	36.1 5.2 31.0 5.1	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	658	-- unbek.	32.2	29.3	30.8 2.9 26.2 4.6	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	AZ VL, Bad RT, VR RL		/ Kein Th.-Ventil	KVS RLV	0	0		0000
	30.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein nein	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	19.02.16 13:22	0	-- --	0	0	0 0 0.0 0	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	0	-- --	0	0	0 0 0.0 0	1 31.5 28.3

Sie wurden betreut durch **myWarm®** Fachpartner: myWarm GmbH

myWarm gmbh
FN 340030y
103 Wien

Tel. +43 (0)1 997 18 214
Mail. office@myWarm.at
Sitz. Leumühlgasse 11, 1040 Wien

UID. A1 UBB436708
BIC. RLKWAT33
IBAN. AT28 3200 0000 1511 4119 www.myWarm.at

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	bad		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	5.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	639	-- unbek.	39.1	34.8	37 4.3 31.5 5.5	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	611	-- unbek.	32.2	29.7	31 2.5 25.5 5.5	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	gang		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	-1		h.b.t. (600.1200.33)
	3.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	0	-- unbek.	38.6	29.1	33.9 9.5 30.9 3	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	600	-- unbek.	32.2	26.7	30.5 5.5 0.0 30.5	1 31.5 28.3
	Bemerkungen: Entspricht Vorraum							

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Küche 1		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	0		0000
	1.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	0	-- unbek.	38.6	33.1	35.9 5.5 26.8 9.1	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	597	-- unbek.	31.9	28.7	30.3 3.2 24.8 5.5	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Küche 2		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	-1		h.b.t. (600.1200.33)
	2.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	637	-- unbek.	39	31	35 8 33.5 1.5	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	556	-- unbek.	32.2	28.7	31.5 3.5 24.8 6.7	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Küche RL, WZ 1 RT, WZ2 VL		/ Kein Th.-Ventil	KVS RLV	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	30.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein nein	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	19.02.16 13:22	0	-- --	0	0	0 0 0.0 0	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	0	-- --	0	0	0 0 0.0 0	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Vorraum		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	-1		h.b.t. (600.1200.33)
	4.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	0	-- unbek.	38.3	30.9	34.6 7.4 32.6 2	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	580	-- unbek.	32.1	29.1	31.6 3 21.1 10.5	1 31.5 28.3
	Bemerkungen: Entspricht Gang in Wohnung							

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Wohnzimmer 1		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	7.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	638	-- unbek.	39	31.3	35.2 7.7 32.1 3.1	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	605	-- unbek.	31.5	29.9	30.7 1.6 24.7 6	1 31.5 28.3

Sie wurden betreut durch **myWarm®** Fachpartner: myWarm GmbH

myWarm gmbh
FN 340933y
1161 Wien

Tel. +43 (0)1 997 18 214
Mail. office@myWarm.at
Sitz. Leumühlgasse 11, 1040 Wien

UID. A1 005436708
BIC. RLKWAT33
IBAN. AT28 3200 0000 1511 4119 www.myWarm.at

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Wohnzimmer 2		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	0		0000
	8.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	625	-- unbek.	38.6	33.7	36.2 4.9 30.4 5.8	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	571	-- unbek.	31.6	28.9	30.3 2.7 24.8 5.5	1 31.5 28.3

Haus 3 / 1 / OG

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Bad		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	8.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	0	-- unbek.	38.9	30.9	34.9 8 28.0 6.9	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	0	-- unbek.	31.9	29.8	30.9 2.1 24.2 6.7	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Bad VL, Gästezimmer RT, Galerie RL		Honeywell M3015	RLV	0	0		0000
	30.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	19.02.16 13:22	0	-- unbek.	0	0	0 0 0.0 0	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	0	-- unbek.	0	0	0 0 0.0 0	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Galerie		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	-1		x
	5.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	0	-- unbek.	38.7	31.2	35 7.5 30.1 4.9	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	600	-- unbek.	32	29.2	31.6 2.8 24.9 6.7	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Gästezimmer		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	6.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	590	-- unbek.	37.9	33.5	35.7 4.4 33.2 2.5	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	505	-- unbek.	32	29.1	30.6 2.9 23.2 7.4	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Gästezimmer 2		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	7.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	344	-- unbek.	37.8	33.7	35.8 4.1 29.1 6.7	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	494	-- unbek.	31.9	29	30.5 2.9 23.2 7.3	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Kinderzimmer		unbekannt / Heizkörper M3015	nein ja	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	4.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	628	-- unbek.	38	32.9	35.5 5.1 34.5 1	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	532	-- unbek.	32.1	29.6	30.9 2.5 24.7 6.2	1 31.5 28.3

Sie wurden betreut durch **myWarm®** Fachpartner: myWarm GmbH

myWarm gmbh
FN 340933y
103 Wien

Tel. +43 (0)1 997 18 214
Mail. office@myWarm.at
Sitz. Leumühlgasse 11, 1040 Wien

UID. A1 005436708
BIC. RLKWAT33
IBAN. AT28 3200 0000 1511 4119 www.myWarm.at

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Kinderzimmer1		unbekannt / Honeywell M3015	nein ja	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	3.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	620	-- unbek.	38.6	34	36.3 4.6 27.4 8.9	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	523	-- unbek.	31.8	29.6	30.7 2.2 24.7 6	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Schlafzimmer		unbekannt / Honeywell M3015	nein ja	0	0		h.b.t. (600.1200.33)
	2.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	0	-- unbek.	38.8	32	35.4 6.8 33.8 1.6	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	149	-- unbek.	31.9	29.4	30.7 2.5 24.9 5.8	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	Schrankraum		unbekannt / Honeywell M3015	nein ja	0	-1		x
	1.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	13.11.15 06:19	0	-- unbek.	37.1	32.7	34.9 4.4 32.0 2.9	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	713	-- unbek.	30.9	30	31.5 0.9 0.0 31.5	1 31.5 28.3

Nr	Raum	Heizlast(W)	Ventil/Typ	Ausstattung	P (W)	Abweichung(K)	Heizkörper Art	Type/Maße (hbt)
0000	SZ RT, KIZ VL und RL		/ Honeywell M3015	RLV	0	0		0000
	30.v.links	Entl.: Keine	EVB: ja	nein ja	VL	RL	MT SW RT ÜT	Strang VL RL
	1.Messung	19.02.16 13:22	0	-- unbek.	0	0	0 0 0.0 0	1 30.3 30.9
	2.Messung	15.03.16 05:04	0	-- unbek.	0	0	0 0 0.0 0	1 31.5 28.3

Sie wurden betreut durch **myWarm®** Fachpartner: myWarm GmbH

myWarm gmbh
FN 340333y
103 Wien

Tel. +43 (0)1 997 18 214
Mail. office@myWarm.at
Sitz. Leumühlgasse 11, 1040 Wien

UID. A1 005436708
BIC. RLKWAT33
IBAN. AT20 3200 0000 1511 4119 www.myWarm.at