

Kurzbericht
zum Forschungsprojekt
„Sol2Pump“

Effizienz von solaren Wärmepumpensystemen



Fördergeber

Das Projekt wird aus Mitteln des

- Forschungs- und Technologieprogramms Haus der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, sowie des
- Landes Niederösterreichs

finanziert.

Förderungswerber

AEE- Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE NÖ Wien
Karolinengasse 32/1
1040 Wien,

Projektpartner

denkstatt
Hietzinger Hauptstrasse 28
1130 Vienna, Austria

Projektleiter

Daniel Reiterer M.A. Ing.
Tel:01-710 75 23
E-Mail: reiterer@ae-e-now.at

Inhalt

1	Einleitung & Ziel	3
2	Marktsituation & Stand der Technik	3
3	Motivation	3
4	Innovationsgehalt	3
5	Ergebnisse	4
5.1	Verbräuche und Arbeitszahlen	4
5.2	Synergie von PV und Wärmepumpe in Bezug auf die Eigenlastdeckungsfähigkeit des Gebäudes	6
5.3	Dimensionierungsempfehlung für PV Anlagen zur Optimierung des Eigenverbrauchs	7
6	Empfehlungen für künftige Anlagenplanungen	8
	Anhang	11

1 Einleitung & Ziel

Beim Projekt Sol2Pump handelt es sich um 2 Forschungsarbeiten, welche die folgenden Ziele verfolgen:

- 1) Erstes Ziel ist die detaillierte messtechnische Erfassung der Energieflüsse in 4 Einfamilienhäusern in NÖ mit solarunterstützten Wärmepumpensystemen. Die Kernfrage, die beantwortet werden soll ist: Wie viel des Lastganges für Wärmepumpe und auch Haushaltsstrombedarf kann selbst solar gedeckt werden. Es wird vordergründig keine Bilanzbetrachtung sondern eine kontinuierliche Lastprofilanalyse durchgeführt.
- 2) Als zweites Ziel steht auch die Systemeffizienz im Mittelpunkt. Es soll eine Aussage über die Jahresarbeitszahlen von Luftwärmepumpen im Feld getroffen werden. Photovoltaik und Solarthermie als Energiequelle werden gegenübergestellt.

Das Projekt wird aus Mitteln des

- Forschungs- und Technologieprogramms Haus der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie sowie des
- Landes Niederösterreichs

finanziert.

2 Marktsituation & Stand der Technik

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:

- a) Solarthermie
- b) Photovoltaik (PV)

3 Motivation

Gerade Luftwärmepumpen (LWP) 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.

4 Innovationsgehalt

Der interessante Aspekt im Projekt ist das Zusammenspiel aus solarem Energieangebot, Verbrauch für Wärmepumpe und Haushaltsstromverbrauch auszuloten. Von diesen Größen

erfolgt eine kontinuierliche Lastgangvermessung über 2 Jahre. In Abbildung 1 ist das Messschema (im Vollausbau) ersichtlich, nach dem die zu vermessenden Objekte ausgestattet wurden. Nicht in allen vermessenen Häusern sind alle Systeme vorhanden.

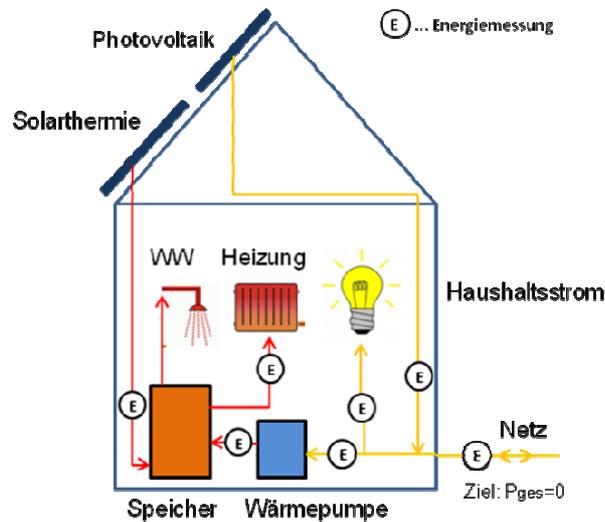


Abbildung 1: Messschema

Weiters werden die folgenden Aspekte untersucht:

- Wie gut laufen Luftwärmepumpen in der Praxis wirklich (JAZ)?
- Was bringt eine Solarthermieanlage in Kombination mit einer LWP (Diese Kombination wird dzt. oft verkauft bzw. gerne eingesetzt)
- Ist eine PV Anlage in Kombination mit WP besser als eine Solarthermieanlage?
- Nur wenn die Solarthermieanlage Vorteile hat, dann ist eine Kombination mit PV auch aus dem Gesichtspunkt der Deckung des Haushaltsstromverbrauches eine interessante Variante, und wird näher betrachtet
- Welche Einsparungen bringen Optimierungsmaßnahmen in Form von Heizungseinregulierung und Laufzeitoptimierung der Wärmepumpe bezüglich des PV Angebotes.

Abgeleitet von der 2-jährigen Vermessung wird beurteilt, welche Systemkombinationen welche Charakteristika aufweisen, bzw. energetisch am besten abschneiden. Es erfolgt eine Zusammenfassung in Form einer Dimensionierungsempfehlung.

5 Ergebnisse

5.1 Verbräuche und Arbeitszahlen

In den vermessenen Häusern H1 und H3 wurden Optimierungsmaßnahmen durchgeführt, und es wohnen dort energiebewusste Verbraucher. In den Häusern H2 und H4 gab es keine Veränderung zum Normalbetrieb. Die Heizungsanlagen wurden mit Werkseinstellung betrieben. In den folgenden Darstellungen ist deren Performance in der Heizsaison 2014/15 und 2015/16 sichtbar.

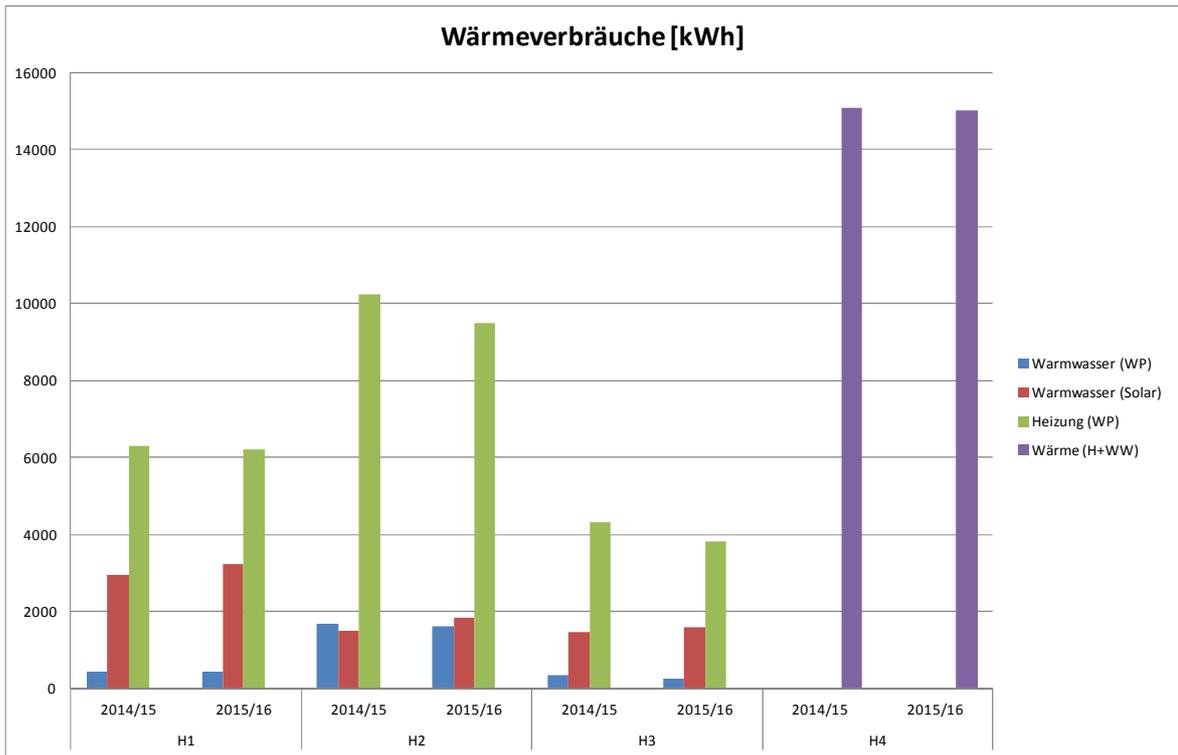


Abbildung 2: Wärmeverbräuche, gemessen

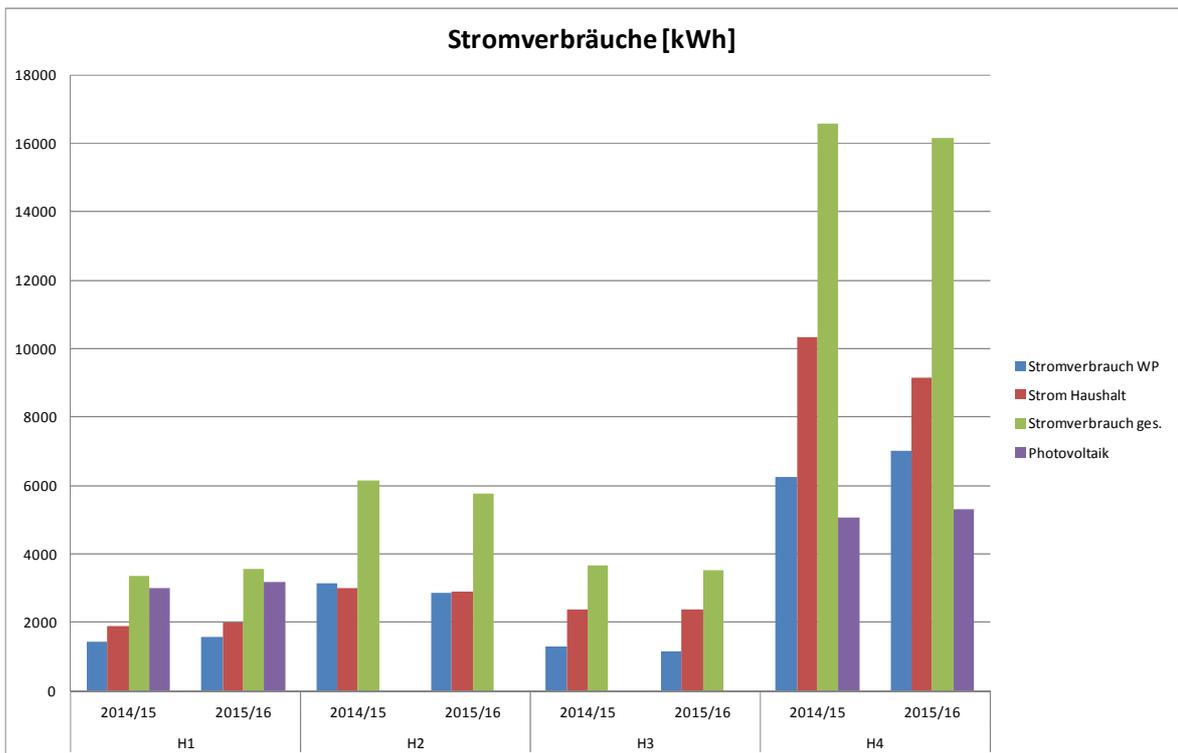


Abbildung 3: Stromverbräuche, gemessen ggf. mit Stromerzeugung durch Photovoltaik

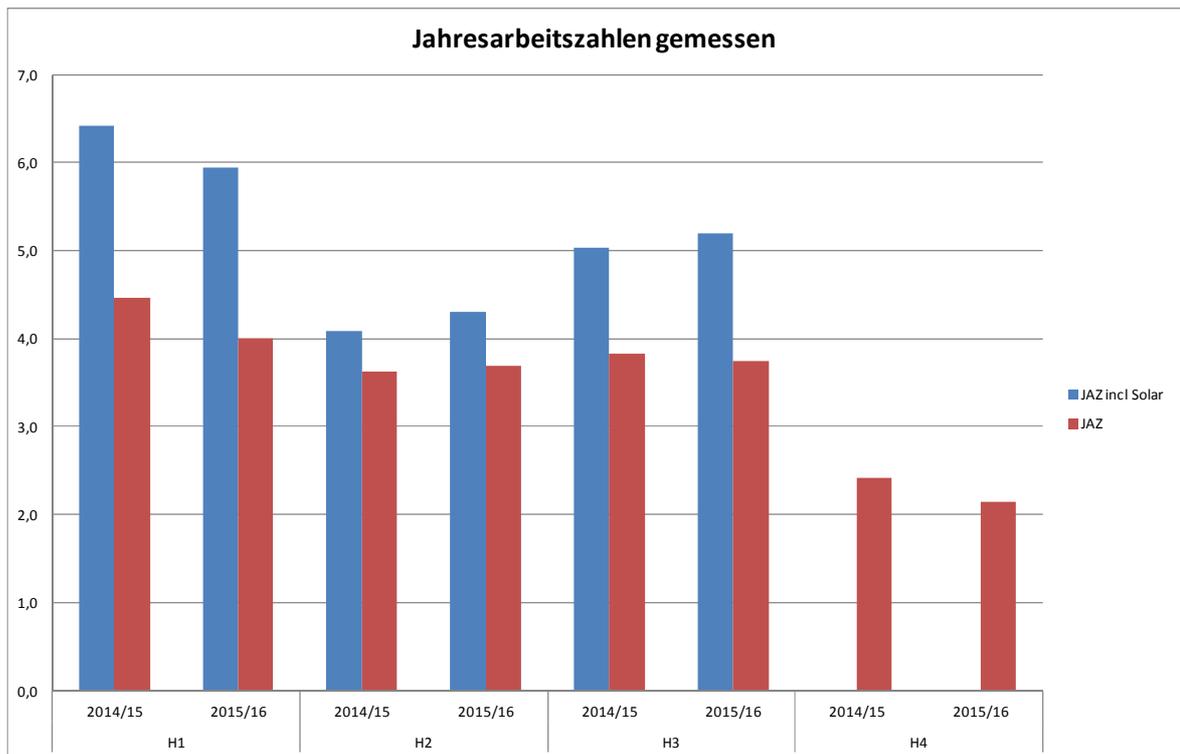


Abbildung 4: Jahresarbeitszahlen, gemessen

5.2 Synergie von PV und Wärmepumpe in Bezug auf die Eigenlastdeckungsfähigkeit des Gebäudes

Es wurden Bilanzberechnungen im
 -Monats-
 -Tages- und
 -5min-Intervall durchgeführt.

Bereits in der Monatsdarstellung ist deutlich der Überhang des Energiedargebots in den Sommermonaten bzw. des Verbrauchs im Winter zu sehen. Eine hohe Eigenversorgung ist somit nicht zu erwarten. Die Auswertungen der Tagesbilanzen sind im Anhang in verschiedenen Optimierungsszenarien dargestellt.

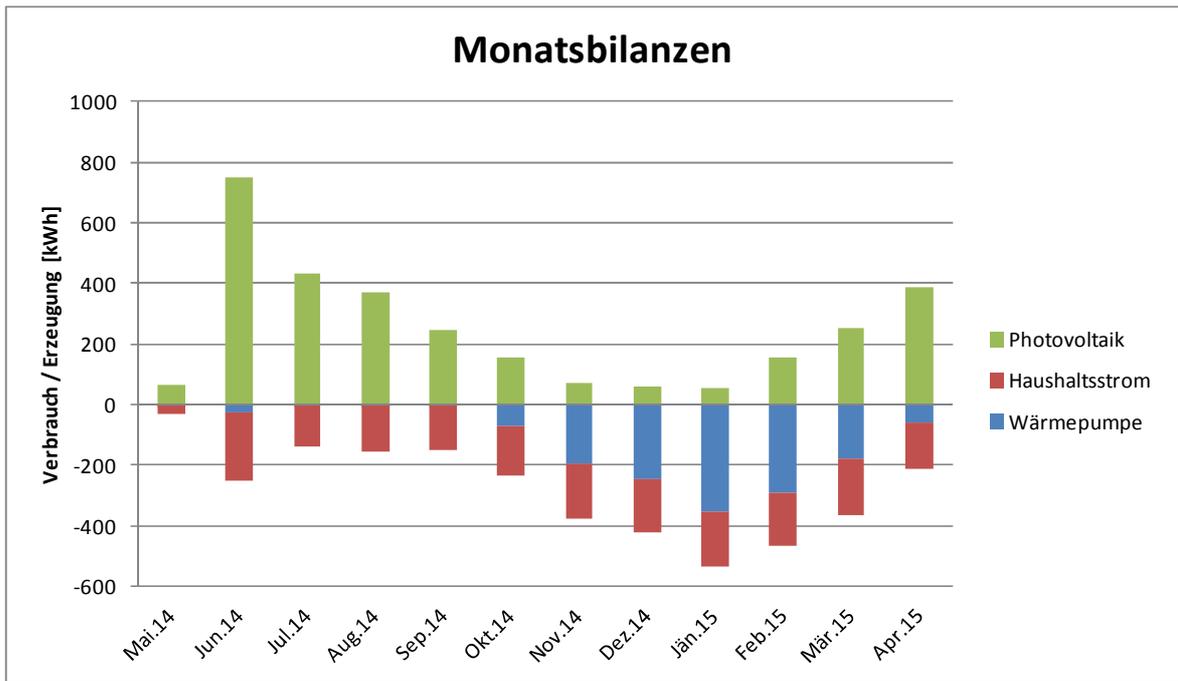


Abbildung 5: Produktion vs. Verbrauch (2014/15) sparsamer Haushalt (Die Messung startete Ende Mai 2014)

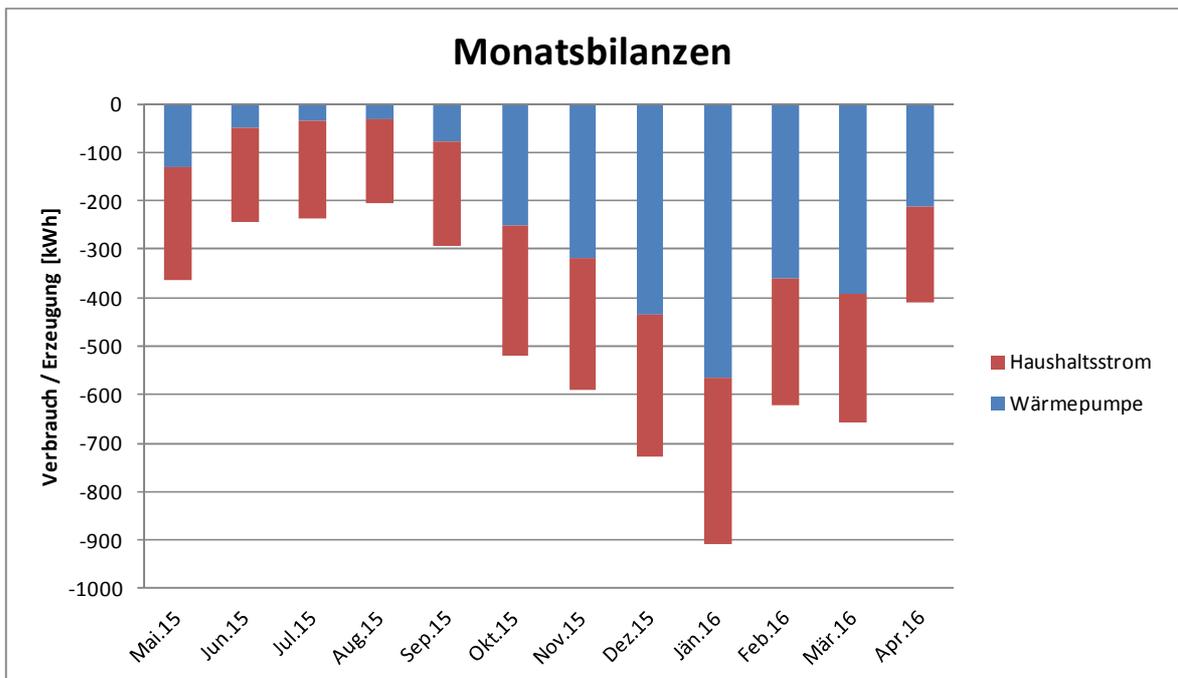


Abbildung 6: Produktion vs. Verbrauch (2014/15) normaler Haushalt (keine Photovoltaikanlage installiert)

5.3 Dimensionierungsempfehlung für PV Anlagen zur Optimierung des Eigenverbrauchs

Es wurde ein Tool (siehe Anlage) erarbeitet, mit dem es möglich ist, Photovoltaikanlagen auf eine optimierte Eigennutzung zu dimensionieren. Dabei zeigt sich, dass bei lastoptimierten Objekten eher kleine Anlagen im Bereich von 2kW für ein durchschnittliches Einfamilienhaus die beste Eigenverbrauchsquote bzw. die beste Wirtschaftlichkeit bieten. Kann der Warmwasserspeicher durch eine Wärmepumpe genutzt werden, so sind Eigenverbrauchsquoten von 90% möglich.

6 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 / Überdimensionierung

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 (vor allem durch Auskühlungsverluste), es ist auch mit einem erhöhten Verschleiß zu rechnen.

Bei der Optimierung der Photovoltaikstromnutzung kann einerseits eine größere Wärmepumpe von Vorteil sein (der gesamte Wärmebedarf kann bei Sonnenschein erzeugt werden). Auf der anderen Seite kann eine kleinere Wärmepumpe auch in Zeiten von weniger Stromproduktion direkt versorgt werden.

Abhilfe dabei können modulierende Wärmepumpen, am besten in Kombination mit einem Pufferspeicher, schaffen. Diese erhöhen auch das Lastverschiebungspotential, indem die Laufzeit der Wärmepumpe verschoben oder die Leistung reduziert wird. So lässt sich Photovoltaik-Eigenstrom am besten 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.

Hydraulischer Heizungsabgleich

In der Auswertung der Messdaten zeigten sich keine signifikanten Unterschiede vor und nach dem Heizungsabgleich bezüglich Energieeinsparung. Der Heizungsabgleich ist im Einfamilienhausbereich vor allem ein Mittel um den Komfort zu steigern. Maßgebliche Energieeinsparungen sind nicht zu erwarten.

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 moduliert 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 Photovoltaikstrom. 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 unter Umständen 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 bereit 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 Warmwasserspeichers 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 auszugleichen, 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.

Anhang

Im Folgenden sind verschiedene Lastgänge 2er Haushalte dargestellt:

sparsam (Abbildung 8 und Abbildung 10) und

normal (Abbildung 7 und Abbildung 9)

Als Energieversorgung wird dabei auf Photovoltaikanlagen in der Größe von

3kWp (Abbildung 7 und Abbildung 8) und

5kWp (Abbildung 9 und Abbildung 10)

zurückgegriffen.

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

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 elektrische 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. Das Verkaufsargument, dass Photovoltaik und Wärmepumpe ein symbiotisches und somit „autarkes“ System darstellen, wie dies von einigen Herstellern beworben wird, kann eindeutig widerlegt werden. Es kann nicht einmal der Haushaltsstrom selbst (ohne Wärmepumpenverbrauch) durch die Photovoltaik gedeckt werden.

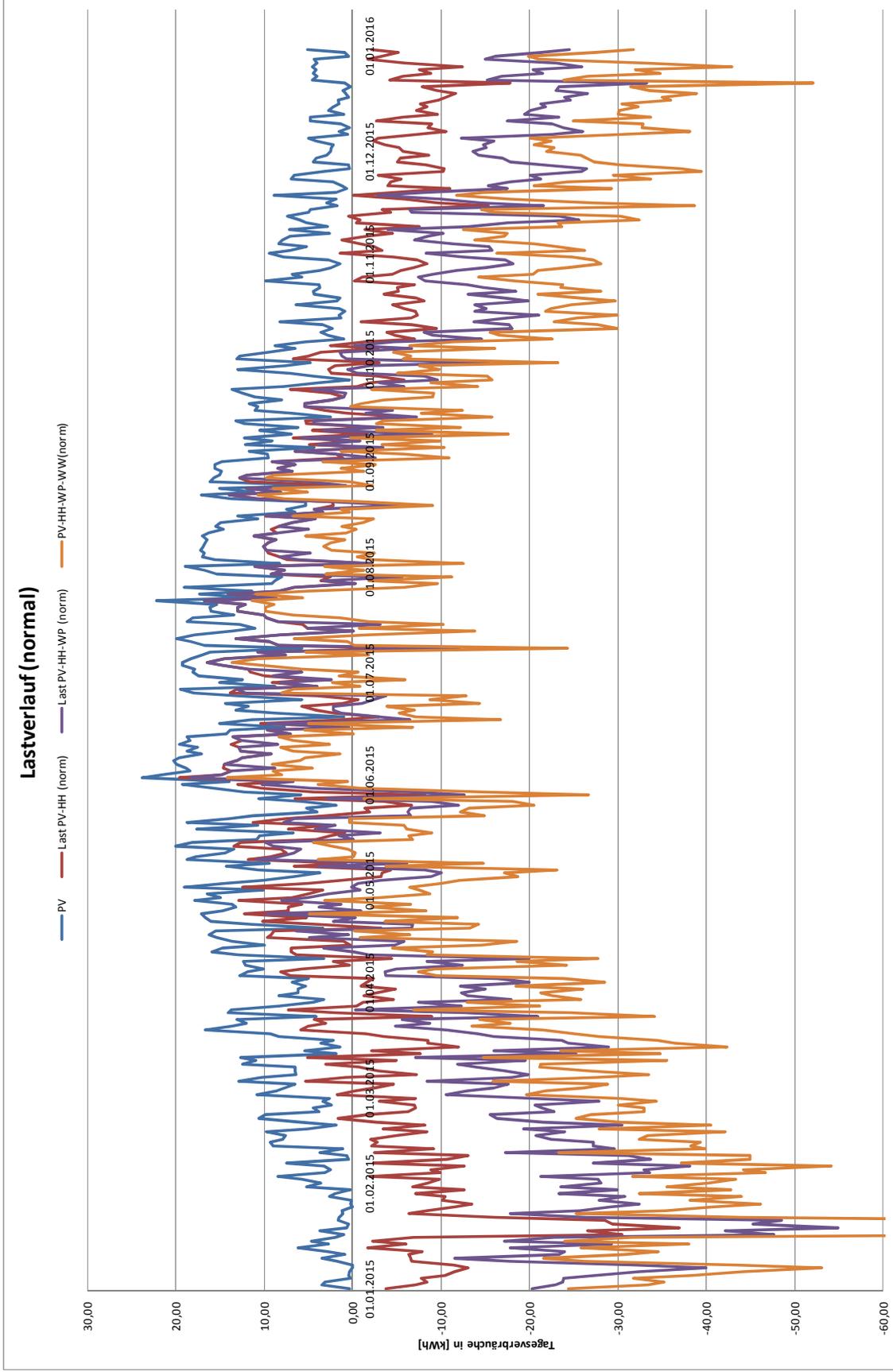


Abbildung 7: Tagesmittel des Lastverlaufs eines durchschnittlichen Haushaltes mit 3 kWp Photovoltaik

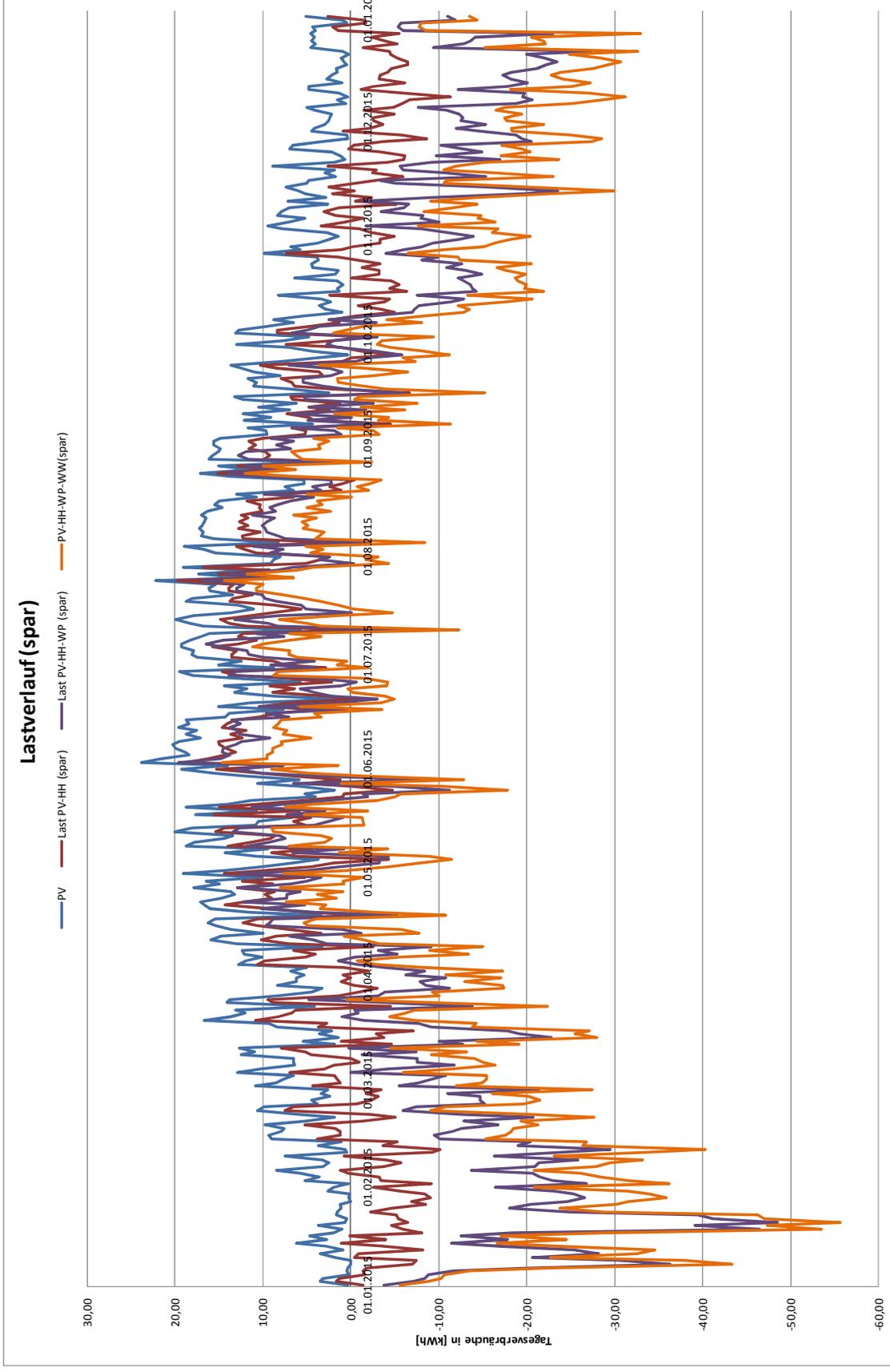


Abbildung 8: Tagesmittel des Lastverlaufs eines sparsamen Haushaltes mit 3 kWp Photovoltaik

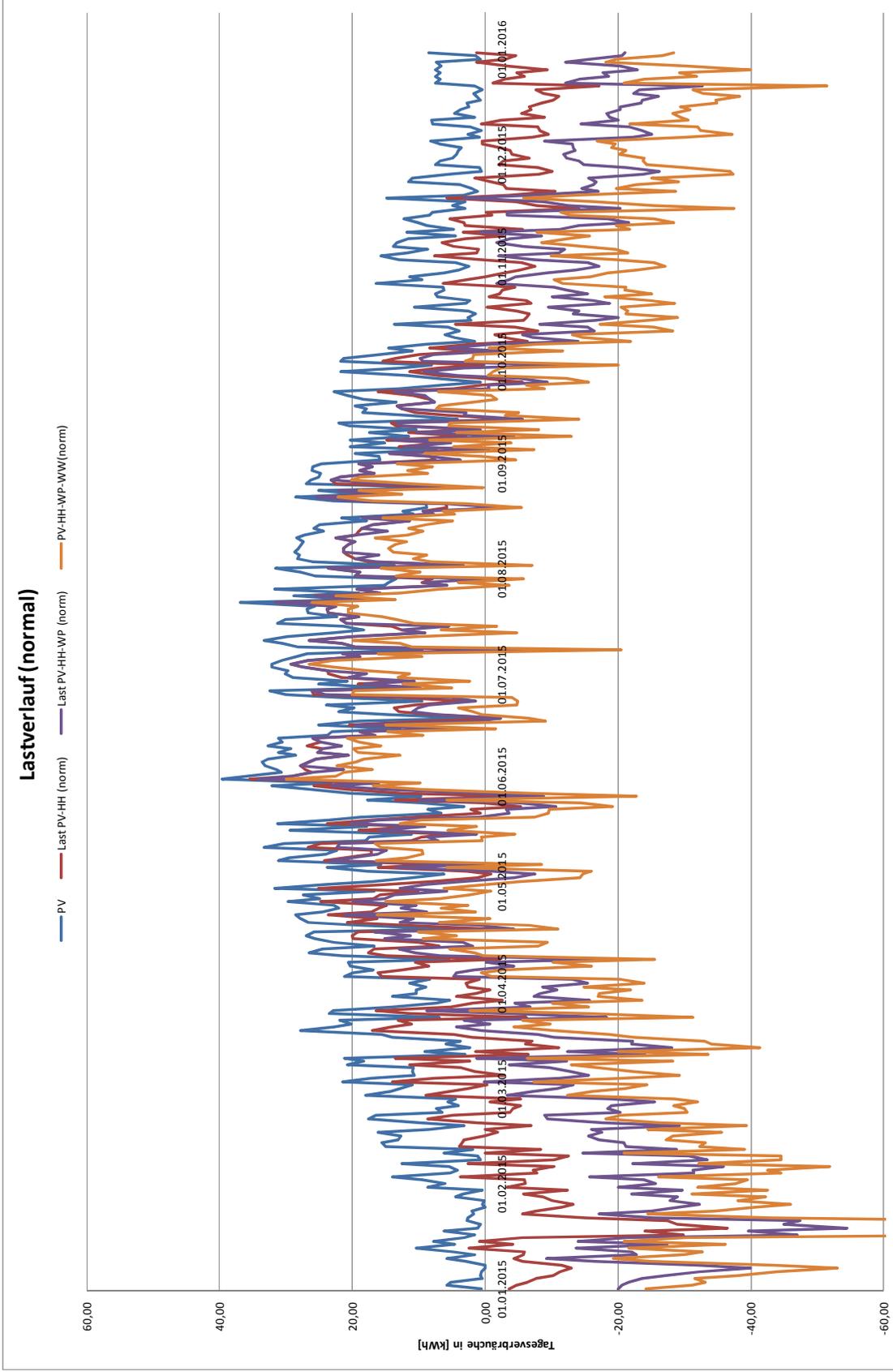


Abbildung 9: Tagesmittel des Lastverlaufs eines durchschnittlichen Haushaltes mit 5 kWp Photovoltaik

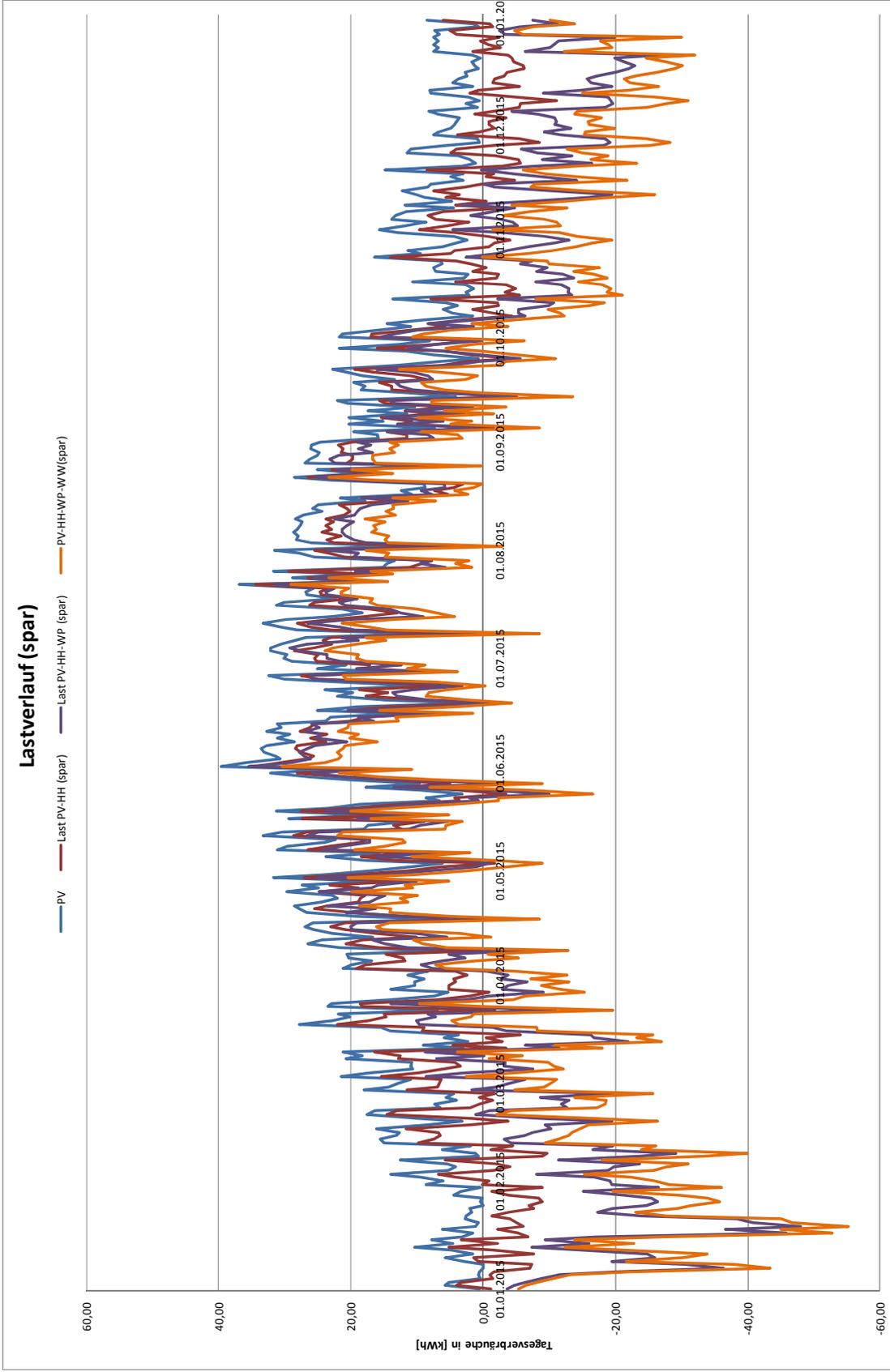


Abbildung 10: Tagesmittel des Lastverlaufs eines sparsamen Haushaltes mit 5 kWp Photovoltaik