



Heizkostensimulation

Einleitung

Die Energiewende in Deutschland findet auf regionaler Ebene statt. Eine Herausforderung in Ulm ist dabei der Umgang mit den Überschüssen aus über 100 MW installierter Photovoltaikleistung im Netzgebiet der Stadtwerke Ulm.

Heutige Technologien bieten wirtschaftliche Möglichkeiten für private Gebäude, sich von den steigenden Energiekosten teilweise unabhängig zu machen und aktiv an der Transformation des Energiesystems in Deutschland teilzunehmen.

Im Forschungsbereich wird unter dem Begriff **Sektorkopplung** derzeit die verstärkte Nutzung der überschüssigen Energie aus Photovoltaik (PV)-Anlagen für Heizungszwecke, Elektromobilität und zur Erhöhung des Eigenverbrauchs untersucht.

Gebäudesimulation

Das „ProjektHaus Ulm“, ein seit Anfang 2014 bewohnter Neubau eines Einfamilienhauses (KfW-Effizienzhaus 70), bietet hochaufgelöste Verbrauchsdaten im Strom- und Wärmebereich. Die Gebäudetechnik umfasst eine 9 kW PV-Anlage, einen 4 kWh Batteriespeicher, eine Luftwärmepumpe mit Direktkondensation, eine Pellet-Heizung und eine Lüftung mit Wärme- und Feuchterückgewinnung.

Die Steuerung schaltet die Wärmepumpe bevorzugt ein wenn viel Strom von der PV-Anlage zur Verfügung steht, d.h. die Wärme wird zu wirtschaftlichen Zeiten produziert. Anstelle des, in der Praxis häufig installierten, elektrischen Heizstabs steht der Pelletofen als weiterer unabhängiger Wärmeerzeuger zur Verfügung. Oberhalb einer festgelegten Abschalttemperatur erfolgt die Wärmebereitstellung ausschließlich über die Luftwärmepumpe. Unterhalb der Abschalttemperatur wird der Pelletofen betrieben, der die gesamte Heizwärme bereitstellen kann. Das bedeutet, an kalten Tagen wird die Luftwärmepumpe nicht betrieben.

Durch die Nutzung des ProjektHaus Ulm als Wohnhaus einer Familie lassen sich reale Daten

Moderne und durchdachte Gebäude bieten viele Möglichkeiten zur Nutzung von erneuerbaren Energien und zur Optimierung ihres Verbrauchs. Im Rahmen des Plusenergie Projekt Hauses Ulm für nachhaltige Energienutzung wurde in ein neu errichtetes Niedrigenergiehaus Messtechnik und eine Datenaufzeichnung installiert.

Durch Publikationen und Tagungsbeiträge werden diese Daten einer breiten Untersuchung der Kosten verschiedener Heizsysteme für moderne Einfamilienhäuser in der Region Ulm der Öffentlichkeit zugänglich gemacht und können Anreize sowie Ideen für zukünftige Projekte und Entscheidungen bieten.

Welche Kosten der verschiedenen Heizsysteme in Neubauprojekten für die Region Ulm anfallen, wird nachfolgend in einem Vergleich dargestellt.

hoher Qualität generieren und untersuchen. Die in der Begleitforschung durchgeführten Untersuchungen decken die Bereiche technischer Einfluss und Korrelation mit Umweltbedingungen, Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Wiederverwertbarkeit ab.

Es werden sieben verschiedene Varianten von Gebäudeheizungen untersucht [1]. Dazu zählen die reinen Heizsysteme Luft-Wärmepumpe, Pelletheizung, Fernwärme, Gasheizung, Ölheizung, sowie die Kombination einer Luft-Wärmepumpe mit PV-Anlage und die Kombination der Luft-Wärmepumpe mit PV-Anlage und einem Pelletofen. Dabei werden 40% des Strombedarfs der Wärmepumpe durch die PV-Anlage gedeckt.

Das empirische Modell der Luftwärmepumpe ist anhand von mittleren täglichen Verbrauchs- und Erzeugungswerten sowie der mittleren Tagestemperatur aus dem Jahr 2015 erstellt. Der gemessene Wärmebedarf des Projekt Hauses wird als konstant für die simulierten 20 Jahre angenommen. Basierend auf der bisherigen Preisentwicklung, werden für die verschiedenen Brennstoffe ähnliche jährliche Preissteigerung von 3,0 % bis 4,8 % angenommen.

ÜBERBLICK

- Gebäudesimulation für Heizungen über 20 Jahre
- Berechnung der Gesteungskosten für sieben Heizsysteme
- Sensitivitätsanalyse der Gesteungskosten für Luftwärmepumpen in Kombination mit PV

GEFÖRDERT MIT
MITTELN DER
SOLARSTIFTUNG
ULM/NEU-ULM



Solarstiftung
Ulm – Neu-Ulm



Ergebnisse

Der klimabereinigte Wärmebedarf des Projekthauses lag im Mittel bei 15.430 kWh, inklusive der Warmwasserbereitung.

In den Jahren 2015 bis 2017 lag die Wärmeenergie, die durch den Pelletofen bereitgestellt wurde, durchschnittlich bei 26 %. Die verbleibende, benötigte Wärmemenge wird durch die Luft-Wärmepumpe mit anteiligem PV-Strom bereitgestellt.

Alle Preise und Kosten sind im Folgenden ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben.

Für die Kosten der Heizungssysteme werden nur die reinen Investitionskosten der Heizungsanlage ohne Heizflächen und Leitungssysteme berücksichtigt. Dies führt zu geringeren Gestehungskosten im Vergleich zu [2]. Werden die Kosten für die Heizflächen und Rohre mit berücksichtigt, sind die Ergebnisse vergleichbar.

Im Sinne der jährlichen Brennstoffkosten sind die Gasheizung und Pelletheizung am günstigsten. Beide verlaufen über mehrere Jahre parallel. Erst in der zweiten Hälfte des Betrachtungszeitraums sind die Brennstoffkosten der Gasheizung etwas höher als für die Pelletheizung.

Gestehungskosten

Die Gestehungskosten umfassen die gesamten Kosten einer Anlage. Sie setzen sich aus dem Verhältnis der durchschnittlichen jährlichen Kosten und Wärmeenergien zusammen. Hierbei fließen neben den jährlichen Brennstoffkosten auch die Kosten für die Investition, sowie Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten in die Berechnung ein.

Die Gestehungskosten mit den o.g. Simulationsparametern und Anteilen (PV-Stromanteil 40 %) sind in Abbildung 1 dargestellt. Dabei ist eine Ölheizung mit 0,196 €/kWh die teuerste Heizungsvariante. Diese wird gefolgt von der Kombination aus PV-Anlage, Luft-Wärmepumpe und Pelletofen (0,177 €/kWh) und einer Gas-Heizung (0,177 €/kWh), Fernwärmeversorgung (0,171 €/kWh) und Pelletheizung (0,162 €/kWh).

Die Gestehungskosten einer Luft-Wärmepumpe in reinem Netzstrombetrieb sind 0,151 €/kWh. Die günstigste Erzeugungsart (0,131 €/kWh) ist die Kombination aus Luft-Wärmepumpe mit anteiligem Strom einer PV-Anlage.

Bei einer Versorgung durch Fernwärme ist jedoch zu beachten, dass die Kundenanlagen eine sehr hohe Lebenserwartung besitzen. Die Lebensdauer liegt erfahrungsgemäß im Bereich von 30 bis 40 Jahren oder auch noch darüber.

Andere Heizungssysteme müssen nach etwa 15 bis 20 Jahren erneuert werden, was erneute Investitionskosten bedeutet. Diese große Zeitspanne hängt von der Technologie und dem Aufwand für Wartung und Instandhaltung ab. Die Reinvestitionskosten sind in der Simulation über 20 Jahre nicht berücksichtigt.

Bei einer Bewertung über einen längeren Zeitraum sinken daher die spezifischen Gestehungskosten der Fernwärme aufgrund der geringeren Investitionskosten im gesamten Betrachtungszeitraum. Gegen einen längeren Betrachtungszeitraum spricht jedoch die steigende Unsicherheit in der Entwicklung der Energiepreise und Technologien.

In den Gestehungskosten der kombinierten Anlage mit PV-Anlage, Luft-Wärmepumpe und Pelletofen schlagen sich die hohen Investitionskosten und Betriebskosten für zwei vollwertige Heizungssysteme nieder.

Nicht kalkulierbar sind jedoch die erhöhte Versorgungssicherheit aufgrund der Redundanz der Heizungsanlage, sowie die Auswirkungen auf die persönliche Lebensqualität eines Pelletofens innerhalb des Wohnraums.

GESTEHUNGSKOSTEN

Der Bezug der Jahresgesamtkosten auf die jährliche Nutzwärme ergeben die **Gestehungskosten für Wärme** je Anlage. Die Jahresgesamtkosten setzen sich aus den folgenden Kosten zusammen:

- kapitalgebundene Kosten (aus Kapital- und Instandhaltungskosten)
- verbrauchsgebundene Kosten (Kosten für Brennstoffe, Hilfsenergie, Ascheentsorgung und sonstige Betriebsstoffe)
- betriebsgebundene Kosten (Kosten für Personal, Emissionsmessungen, Wartungsverträge)
- sonstige Kosten (z.B. Kosten für Versicherung, Pacht, usw.)

Dies ist vergleichbar mit den Kosten für gefahrene Kilometer bei Autos. Hier werden auch nicht nur die Kosten für Kraftstoff berücksichtigt, sondern auch KFZ-Steuer und Versicherung, Kundendienst, sowie Reparaturen.

Netto-Gestehungskosten pro kWh über 20 Jahre

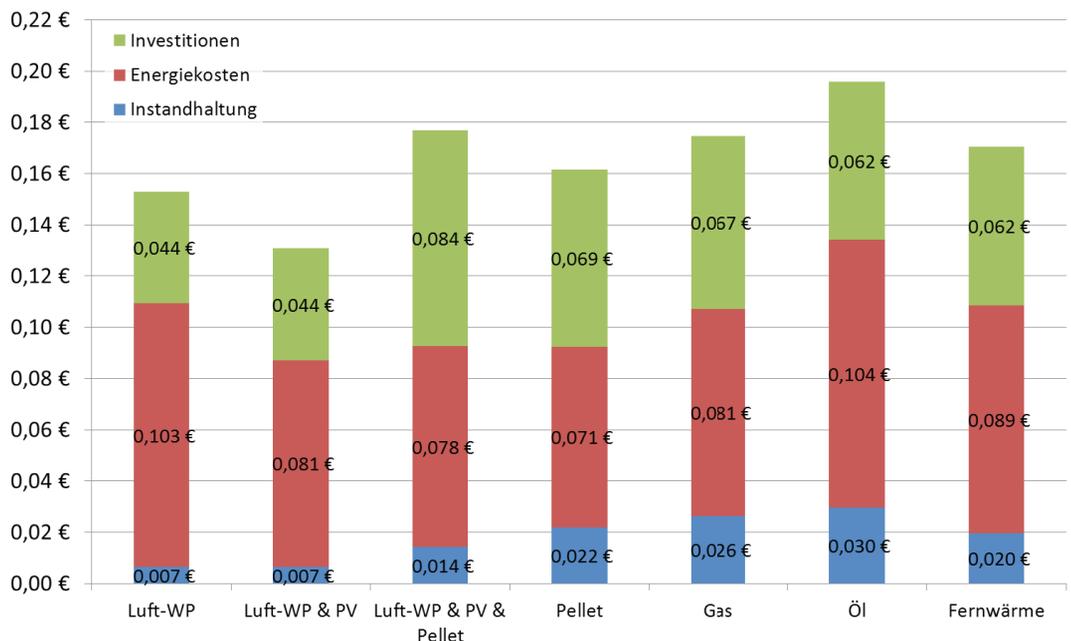


Abbildung 1: Gestehungskosten pro kWh Wärmeenergie für verschiedene Heizungssysteme für einen Zeitraum von 20 Jahren. Es werden die jährlichen Brennstoffkosten sowie Wartungs- und Instandhaltungskosten berücksichtigt. Es werden 40 % des PV-Stroms genutzt.

Sensitivität der Gestehungskosten der Luft-Wärmepumpe mit PV-Strom

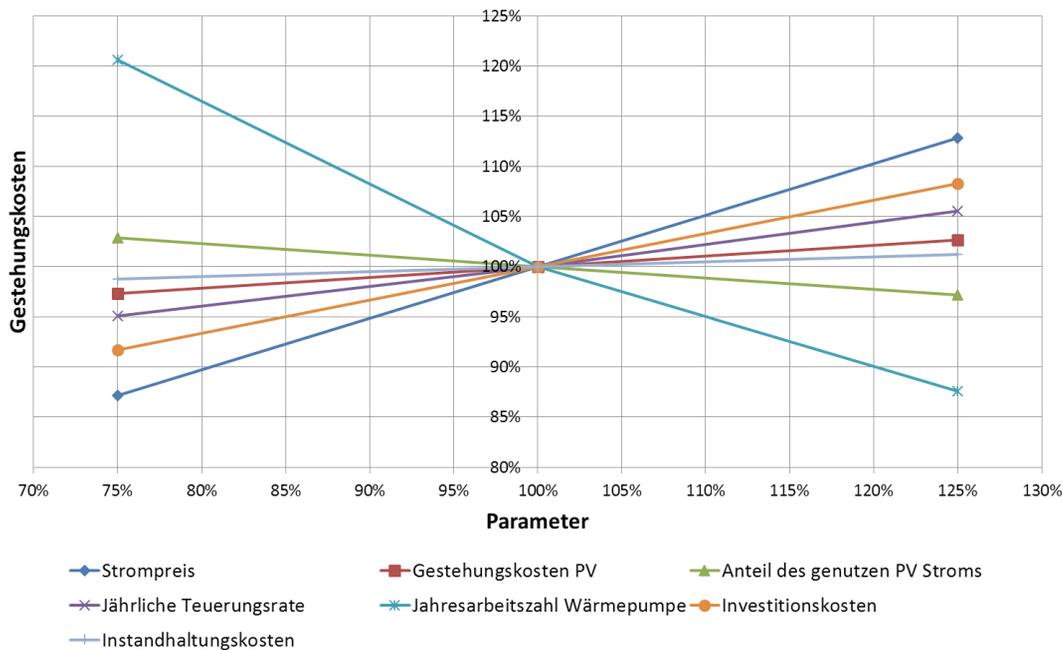


Abbildung 2: Sensitivität der Gestehungskosten pro kWh Wärmeenergie für die Kombination aus Luft-Wärmepumpe und PV-Anlage bei Änderungen der Eingangsparameter um 25 %.

„Die Jahresarbeitszahl hat den größten Einfluss auf die Gestehungskosten.“

Sensitivitätsanalyse für Luftwärmepumpen in Kombination mit PV

Die Sensitivitätsanalyse untersucht die Empfindlichkeit der Gestehungskosten auf Änderungen der Eingangsparameter. Diese Untersuchung wird nur für die Kombination aus Luft-Wärmepumpe und PV-Anlage durchgeführt.

Als Eingangsparameter der Simulation zählen der Strompreis des Versorgungsunternehmens, die Gestehungskosten der PV-Anlage, der Anteil des genutzten PV-Stroms am gesamten Strombedarf der Wärmepumpe, die jährliche Teuerungsrate des Stroms, die Jahresarbeitszahl, die Investitionskosten und die jährlichen Instandhaltungskosten. Ausgehend von der o.g. Simulation, die dem 100%-Fall entspricht, wurde jeder einzelne Eingangsparameter um 25 % erhöht und gesenkt, während die anderen Eingangsparameter konstant gehalten wurden (Abbildung 2).

Es zeigt sich, dass der Eingangsparameter mit dem größten Einfluss die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ist. Eine um 25 % höhere Jahresarbeitszahl senkt die Gestehungskosten um 12 % während sich eine um 25 % niedrigere Jahresarbeitszahl mit einer

Erhöhung der Gestehungskosten um 21 % auswirkt. Dies zeigt auch den überproportionalen Einfluss der Jahresarbeitszahl auf die Gestehungskosten.

Der Eingangsparameter mit dem zweitgrößten Einfluss ist der Arbeitspreis für elektrische Arbeit. Eine Änderung um 25 % wirkt sich proportional mit 13 % auf die Gestehungskosten aus.

Der drittgrößte Eingangsparameter sind die Investitionskosten, welche bei einer Parameteränderung um 25 % eine Änderung der Gestehungskosten um 8 % bewirken. Eine Änderung der jährlichen Teuerungsrate des Arbeitspreises um 25 % verändert die Gestehungskosten um etwa 5 %.

Der Anteil des genutzten PV-Stroms und die Gestehungskosten der PV-Anlage wirken sich nur mit Änderungen von 3 % auf die Gestehungskosten der Wärmeenergie aus. Die Instandhaltungskosten wirken sich mit etwa 1 % nur minimal auf die Gestehungskosten aus.

EIGENVERBRAUCH PV-ANLAGE

Im Projekthaus Ulm wird nur 40% des Stromes aus der PV-Anlage direkt von der Wärmepumpe genutzt. Da kann man sich die Frage stellen, warum nicht mehr genutzt wird?

Das grundlegende Problem ist die **Gleichzeitigkeit** von PV-Strom-Erzeugung und Strombedarf der Wärmepumpe.

Zum Einen erzeugt die PV-Anlage im Sommer viel Strom, während der Wärmebedarf, und damit der Strombedarf der Wärmepumpe, gering ist. Der überschüssige Strom wird anderweitig im Haus genutzt oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist.

Umgekehrt ist der Wärmebedarf im Winter groß, aber die PV-Anlage liefert wenig bis keinen Strom aufgrund der geringen solaren Einstrahlung, schlechtem Wetter oder gar Schnee auf den PV-Modulen. Der benötigte Strom für die Wärmepumpe wird dann aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen.

Auch während des Tages kann die Wärmepumpe zu Zeiten Strom benötigen, zu denen die PV-Anlage nicht arbeitet (z.B. Morgens vor Sonnenaufgang) oder die PV-Anlage liefert Strom, allerdings hat die Wärmepumpe bereits den gesamten Wärmebedarf und Wärmespeicher gefüllt und kann diesen Strom nicht mehr in Wärme umwandeln.

IMPRESSUM

Projekträger

unw - Ulmer Initiativkreis
nachhaltige
Wirtschaftsentwicklung e.V.
Olgastraße 82
89073 Ulm

Förderkennzeichen

Projekt AxIOME_BAR
2017-01

Herausgeber

Ingenieurbüro Holger Ruf
Dornstädter Straße 15
89081 Ulm

Layout und Design

Michael Ruf (Medienfachwirt Print)

Autoren

Dr.-Ing. Holger Ruf
Patrick Kober

Urheberrecht

Titelbild: TBIT/Pixabay.com
Foto S. 2: avantrend/Pixabay.com
Abb. 1, 2: Projekthaus Ulm
(Ruf, Kober)

Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung
- Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen
4.0 International Lizenz (CC
NY-NC-ND 4.0).



Heizungsanlage	Mittlere Jahreskosten	Gesamtkosten	Einsparung gegenüber Ölheizung
Ölheizung	3.020 €	60.413 €	-
Gasheizung	2.732 €	54.640 €	5.772 €
Pelletheizung	2.494 €	49.882 €	10.530 €
Fernwärme	2.632 €	52.631 €	7.781 €
Luft-Wärmepumpe	2.332 €	46.644 €	13.768 €
Luft-Wärmepumpe und PV-Anlage	2.017 €	40.339 €	20.074 €
Luft-Wärmepumpe, PV-Anlage, Pelletofen	2.730 €	54.606 €	5.806 €

Tabelle 1: Gesamtkosten für Heizungsenergie basierend auf den Gestehungskosten über 20 Jahre kalkuliert. Die gesamte Heizenergiemenge beträgt 303.660 kWh.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Kosten von verschiedenen Heizungssystemen für moderne Einfamilienhäuser wurden über einen Zeitraum von 20 Jahren simuliert. Die Ergebnisse der Prognose zeigen die geringsten Gestehungskosten für Luft-Wärmepumpen mit anteiligem Strom aus Photovoltaik-Anlagen. Die höheren jährlichen externen Brennstoffkosten (Strom) werden durch geringere Investitions- und Instandhaltungskosten kompensiert. Bei den angenommenen Kosten und Preisentwicklungen lassen sich mit der Kombination von Luft-Wärmepumpen und Photovoltaik-Anlagen fast 20.000 € gegenüber einer Ölheizung einsparen (Tabelle 1).

Die Kombination aus Luft-Wärmepumpe, PV-Anlage und einem Pelletofen, wie sie im Projekthaus Ulm verbaut ist, verursacht zusätzliche Kosten, bietet jedoch auch eine höhere Versorgungssicherheit.

Momentan sind einige Parameter wie z.B. der Jahresheizenergiebedarf und die Instandhaltungskosten in der Simulation noch als konstant angenommen. Diese sollen zukünftig auch einer zeitlichen Veränderung und Entwicklung unterliegen. Einige angenommenen Parameter (z.B. Jahresarbeitszahl, Anteil der PV-Nutzung) sind durch Messdaten oder genauere Modelldaten ersetzt worden. Weiterhin wird die Simulation um weitere Heizsysteme wie z.B. Erd-Wärmepumpen ergänzt werden. Durch die Erfassung der Energiebedarfszeitreihen der Luft-Wärmepumpe durch die Smart Meter im Projekthaus Ulm lassen sich zukünftig auch noch Analysen hinsichtlich zeitvariabler Stromtarife durchführen.

Weitere Informationen

Der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) hat ebenfalls im Jahr 2016 eine Vergleichsstudie zu Heizungssystemen im Neubau durchgeführt. Verglichen wurden die jährlichen Kosten von über 5 Heizsystemen in fünf Gebäudevarianten.

Der Heizkostenvergleich kann kostenlos abgerufen werden: www.bdew.de/energie/bdew-heizkostenvergleich-neubau-2016/

Der jeweils aktuelle und ausführliche Bericht zur **Kostenanalyse** für die Region Ulm/Neu-Ulm, sowie weitere Veröffentlichungen und Informationen zum Projekthaus Ulm, sind frei zugänglich auf www.projekthaus-ulm.de



Quellen

- [1] H. Ruf und P. Kober, "Untersuchung der Kosten verschiedener Heizsysteme für moderne Einfamilienhäuser in der Region Ulm: Version 1.1," Online, 2018. Verfügbar unter: https://www.projekthaus-ulm.de/downloads/AxIOME_BAR_Bericht_Gestehungskosten.pdf.
- [2] B. Mailach und B. Oschatz, "BDEW-Heizkostenvergleich Neubau 2016: Ein Vergleich der Gesamtkosten verschiedener Systeme zur Heizung und Warmwasserbereitung im Neubau," Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), Online, 2016. Verfügbar unter: <https://www.bdew.de/energie/bdew-heizkostenvergleich-neubau-2016/>