

# Wärmepumpen zur Deckung des Wärmebedarfs mit regenerativem Strom

Marc Schumann<sup>\*‡</sup>, Maik Plenz<sup>‡</sup>, Detlef Schulz

*Elektrische Energiesysteme*

*Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg*

Hamburg, Deutschland

\*marc.schumann@hsu-hh.de

<sup>‡</sup>Diese Autoren haben in gleichem Maße an diesem Beitrag mitgewirkt

**Kurzfassung** – Während der Anteil an erneuerbaren Energien zur Deckung des Strombedarfs stetig und rasant steigt, ist dies bei der Deckung des Wärmebedarfs bisher nur sehr langsam der Fall. Wärmepumpen sind geeignete Heizsysteme zur Deckung des Wärmebedarfs. Dabei nutzen Wärmepumpen hauptsächlich natürliche Wärmequellen, wie die Umgebungsluft, das Grundwasser oder das Erdreich, und zusätzlich noch elektrische Energie. Die elektrische Energie stammt idealerweise aus erneuerbaren Energiequellen, sodass das Gesamtsystem umweltfreundlich und nachhaltig heizt. Zunächst erfolgt eine Erklärung des allgemeinen Funktionsprinzips einer Wärmepumpe und eine Vorstellung der verschiedenen, in Deutschland üblichen Wärmequellen. Anschließend wird eine vereinfachte Methode zur Abschätzung der benötigten Wärmepumpenleistung eines Hauses vorgestellt. Aktuelle Forschungshemen schließen den Beitrag ab.

**Stichworte** – Wärmepumpe, Sektorkopplung, Power-to-Heat, Wärmepumpendimensionierung

## NOMENKLATUR

$COP$	Leistungszahl (engl.: Coefficient of Performance)
EM	Elektromotor
EZFH	Ein- und Zweifamilienhaus
JAZ	Jahresarbeitszahl
WP	Wärmepumpe
$A$	Fläche
$f$	Zusätzlicher Faktor
$H_T$	Transmissionswärmeverlustkoeffizient
$N_{Bew}$	Anzahl der Bewohner
$Q_{th}$	Thermische Energie
$t$	Zeit
$U_{WT}$	Wärmedurchgangskoeffizient
$\dot{V}_L$	Luftvolumenstrom
$V_R$	Volumen eines Raumes
$W_{el}$	Elektrische Arbeit
$\Phi$	Thermische Leistung / Heizlast
$\theta$	Temperatur

## I. EINLEITUNG

Die nach dem Klimaschutzplan 2050 aufgestellten Ziele im Gebäudesektor weisen einen geplanten CO<sub>2</sub>-Ausstoß von maximal 72 Mio. t bis 2030 auf [1]. Zur Umsetzung dieser Ziele wird aktuell an einer neuen Verschärfung der Regelung gearbeitet (GEG 2019 - GebäudeEnergieGesetz 2019), die zukünftig noch effizientere Heizungssysteme beim Neubau fordert [2]. Im Gebäudebestand dominieren gegenwärtig Gas- und Ölheizungen. Beim Austausch ineffizienter, alter Beheizungssysteme wird derzeit zu 5 % auf Wärmepumpen (WP) umgestiegen, beim Neubau entscheiden sich mindestens 35 % der zukünftigen Ein- und Zweifamilienhausbesitzer (EZFH-Besitzer) für eine WP. Der Bestand beläuft sich (Stand 2018) auf 0,8 Mio. Anlagen [3]. Prognostiziert wird ein Anstieg bei EZFH auf bis zu 7,9 Mio. Anlagen (siehe TABELLE I).

TABELLE I: SZENARIEN ZUR ENTWICKLUNG DER ANZAHL INSTALLIERTER WÄRMEPUMPEN IN DEUTSCHLAND.

Szenario	Prognose	Quelle
Trend	2,0 Mio.	[4], [5]
Szenario 80%	5,4 Mio.	[1], [6]
Szenario 95%	7,0 Mio.	[1]
dena (Min-Max)	1,6 - 7,9 Mio.	[7]

## II. FUNKTIONSPRINZIP

Im Kreislauf einer Kompressionswärmepumpe zirkuliert ein Kältemittel, welches dabei abwechselnd den Aggregatzustand flüssig und gasförmig annimmt [8]. Hierfür wird ein Kältemittel anstelle von Wasser genutzt, da es einen geringeren Siedepunkt aufweist und so bereits bei geringeren Umgebungstemperaturen verdampft. Das Kältemittel durchläuft periodisch die folgenden vier Schritte: Verdampfung, Verdichtung, Kondensation und Expansion [8]. In der ABBILDUNG 1 wird das Funktionsprinzip dargestellt. Zur Verdampfung nimmt das flüssige Kältemittel die Wärme des Umgebungsmediums, also der Wärmequelle, auf und wechselt in den gasförmigen Zustand. Bei der anschließenden Verdichtung wird dem Verdichter elektrische Energie zugeführt und damit das Kältemittel auf ein höheres Druck- und Temperaturniveau angehoben. Im idealen Fall wird hierbei elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen genutzt und so der Anteil erneuerbarer Energien an der Deckung des

Wärmebedarfs gesteigert. Nach der Verdichtung gibt das Kältemittel die Energie z. B. an einen Heizkreislauf ab und kondensiert dabei. Abschließend wird das Kältemittel über eine Drossel entspannt und der Kreislauf beginnt erneut [8].

Energetisch betrachtet wird bei Verwendung dieser Technologie der größte Teil aus der Umwelt genutzt und nur ein kleinerer Anteil entstammt der zugeführten elektrischen Energie. Umso größer der Anteil aus der Wärmequelle ist, umso effizienter arbeitet die WP. Diese sogenannte Leistungszahl *COP* (engl. für Coefficient of Performance) wird mit Gleichung (1) berechnet

$$COP = \frac{Q_{th}}{W_{el,Verdichter}} \quad (1)$$

und berücksichtigt das Verhältnis aus der nutzbaren thermischen Energie  $Q_{th}$  und der eingesetzten elektrischen Energie des Verdichters  $W_{el,Verdichter}$  [8]. Die erreichbare Leistungszahl ist unter anderem auch von der Wärmequelle abhängig. Moderne Anlagen können unter Laborbedingungen Leistungszahlen von vier bis fünf erreichen. Eine bessere Vergleichbarkeit ergibt sich mit der Jahresarbeitszahl *JAZ* [8]:

$$JAZ = \frac{Q_{th}}{W_{el,Verdichter} + W_{el,Steuerung} + W_{el,Pumpe}} \quad (2)$$

Diese ergibt sich aus dem Verhältnis über dem Jahr abgegebener Heizwärme zur aufgenommenen elektrischen Energie und berücksichtigt neben dem Verdichter auch den Energiebedarf von Hilfsanlagen, wie z. B. Pumpen und der Steuerung. Die Nutzung der *JAZ* ermöglicht eine Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Wärmequellen. Jahresarbeitszahlen von WP liegen meistens zwischen drei und vier. Im Grunde genommen bedeutet dies, dass eine WP den Wärmebedarf zu drei bis vier Anteilen aus einer Wärmequelle und zu einem Anteil aus elektrischer Energie deckt. Damit stellen sie eine sehr effiziente Technik zum Heizen von Gebäuden dar.

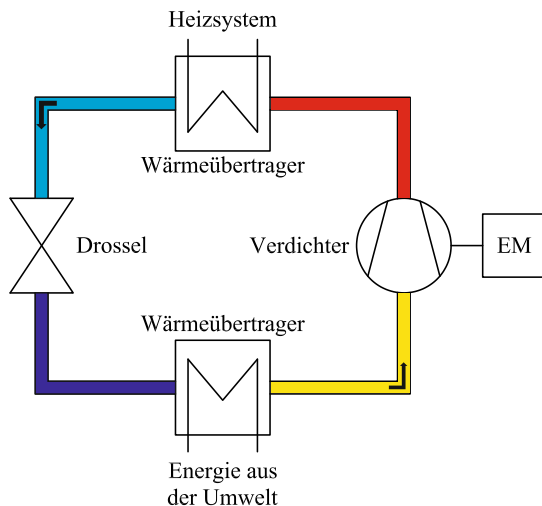


ABBILDUNG 1: FUNKTIONSPRINZIP EINER KOMPRESSIONSWÄRMEPUMPE MIT EINEM ELEKTROMOTOR (EM). Das Farbschema indiziert die Kältemitteltemperatur, von dunkelblau (sehr kalt) bis rot (heiß).

### III. WÄRMEQUELLEN

Im Folgenden werden die Konzepte zur Nutzung der verschiedenen Wärmequellen vorgestellt. Die Benennung von Wärmepumpen erfolgt nach DIN EN 14511-1, in dem an erster Stelle der Wärmeträger für den Außenwärmeüberträger

und an zweiter Stelle der Wärmeträger für den Innenwärmeüberträger angegeben wird [9].

#### A. Luft/Wasser-Wärmepumpe

Bei diesem Typ Wärmepumpe dient (Außen-)Luft als Wärmequelle. Hierbei saugt ein Ventilator die Luft an und leitet sie zu der WP. ABBILDUNG 2 zeigt das Konzept einer Luft/Wasser-Wärmepumpe. Das Kältemittel in der WP entzieht der Außenluft Energie in Form von Wärme und verdampft dabei [10].

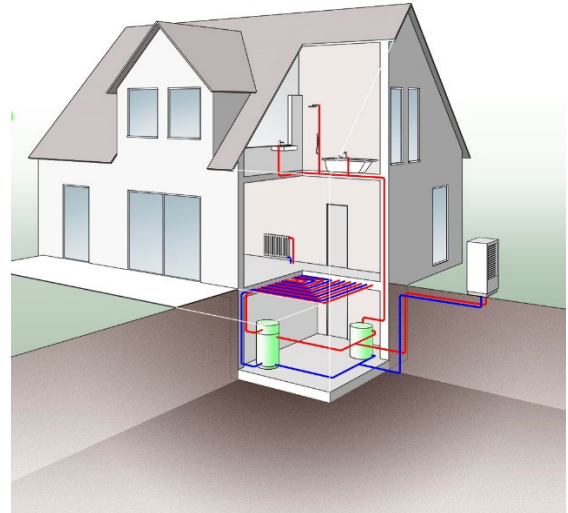


ABBILDUNG 2: DARSTELLUNG EINER LUFT/WASSER-WÄRMEPUMPENANLAGE, ENTNOMMEN AUS [11].

Bei der Wahl des Standortes des Ventilators muss berücksichtigt werden, dass der Betrieb des Ventilators zu erhöhten Schallemissionen führen kann [10]. Prinzipiell kann der Ventilator sowohl innerhalb als auch außerhalb des Gebäudes aufgestellt werden. Wichtig ist, dass ein „Kurzschluss“ im Luftstrom vermieden wird, bei dem der Ventilator die bereits genutzte Luft direkt wieder einsaugt. Um dies zu verhindern, wird die Luft anderenorts ausgeblasen als sie eingesogen wird.

#### B. Wasser/Wasser-Wärmepumpe

Bei einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe wird das Grundwasser als Wärmequelle genutzt. Zur Erschließung dieses werden zwei Brunnen benötigt, ein Förder- und ein Schluckbrunnen. Zwischen den Brunnen sollte ein Abstand von mindestens elf Metern sein. Um hier die Wiederverwendung des bereits genutzten Wassers zu verhindern, muss die Fließrichtung des Grundwassers beachtet werden. In Fließrichtung wird zunächst der Förderbrunnen und anschließend der Schluckbrunnen installiert. Über den Förderbrunnen wird das Grundwasser zur WP gefördert und überträgt im Verdampfer Energie in Form von Wärme an das Kältemittel. Anschließend wird das Grundwasser durch den Schluckbrunnen wieder zurück ins Erdreich geleitet, siehe ABBILDUNG 3. Bei diesem WP-Konzept können hohe Jahresarbeitszahlen erreicht werden, da das Grundwasser eine ganzjährig relativ konstante Temperatur von etwa 10 °C besitzt [11, 12].

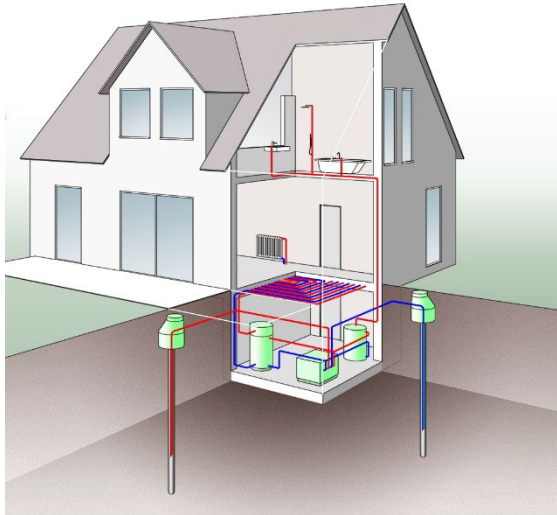


ABBILDUNG 3: DARSTELLUNG EINER WASSER/WASSER-WÄRMEPUMPENANLAGE ZUR NUTZUNG DES GRUNDWASSERS, ENTNOMMEN AUS [11].

Für die Nutzung des Grundwassers als Wärmequelle ist vorab eine kostenpflichtige Überprüfung durch die zuständigen Behörden notwendig. Beim Einsatz einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe ist insbesondere auf die Wasserqualität und die Förderhöhe zu achten. Ist das Grundwasser zu eisen- bzw. manganhaltig, führt dies schnell zu einer „Verockerung“ des Grundwassers und damit zu einer Verschlammung des Wärmeübertragers. Zu tiefe Förderhöhen senken die Jahresarbeitszahlen, da größere Förderpumpenleistungen benötigt werden.

### C. Sole/Wasser-Wärmepumpe

Eine weitere und sehr häufig genutzte Wärmequelle ist das Erdreich. Hier gibt es zwei typische Konzepte zur Nutzung der Erdwärme, die Installation von Erdwärmekollektoren nach ABBILDUNG 4 und die Installation von Erdwärmesonden ähnlich der Darstellung von ABBILDUNG 3.

Erdwärmekollektoren bestehen aus vielen Rohrkreisen, welche zwischen 1,2 und 1,5 m tief unter der Erde vergraben sind. Damit liegen sie unterhalb der Frostgrenze und sind vor Beschädigungen durch Einfrieren geschützt. Der Abstand zwischen zwei Rohrschleifen liegt typischerweise zwischen 0,3 und 0,8 m. Durch die Rohre fließt meistens eine Sole, ein Gemisch aus Wasser mit bis zu 30-35 % Frostschutzmittel. Während des Durchfließens der Rohre nimmt die Sole Energie aus dem Erdreich auf und erwärmt sich. In der WP wird die Energie dann an das Kältemittel abgegeben. Durch die relativ geringe Tiefe der Kollektoren schwankt die Temperatur in diesem Bereich des Erdreiches über das Jahr gesehen. Damit verbunden sind Schwankungen in der Effizienz der WP [8]. Die maximale Wärmeentzugsleistung ist ortsabhängig und wird beeinflusst durch z. B. den Bodentyp und dem Feuchtegehalt des Bodens. Die Fläche, auf der die Erdwärmekollektoren verlegt sind, sollte nicht versiegelt und nicht mit tief wurzelnden Pflanzen begrünt sein. Für Erdwärmekollektoren besteht eine Anzeigepflicht, eine gesonderte Genehmigung ist nicht notwendig [13].

Beim Konzept mit Erdwärmesonden werden bis zu 100 m tiefe Bohrungen in das Erdreich eingebracht [14] und in diese

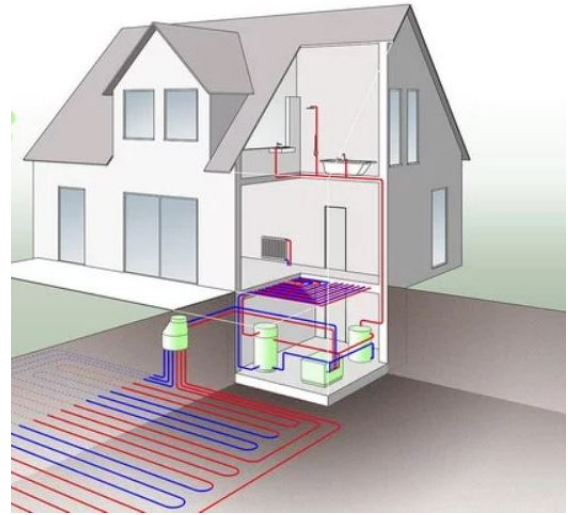


ABBILDUNG 4: DARSTELLUNG EINER SOLE/WASSER-WÄRMEPUMPENANLAGE MIT ERDWÄRMEKOLLEKTOR, ENTNOMMEN AUS [11].

anschließend ein bis zwei U-Rohre aus Kunststoff installiert. Durch diese U-Rohre pumpt eine Solepumpe die Sole, welche die Energie aus dem Erdreich aufnimmt. Zur Verbesserung der Wärmeübertragung werden die Bohrungen mit gut wärmeleitenden Materialien verfüllt [8]. Abhängig von der Heizleistung und den Eigenschaften des Untergrunds werden Tiefe und Anzahl an Bohrungen bestimmt. Bohrungen mit mehr als 100 m Tiefe erfordern bergrechtliche Genehmigungen. Aber auch bei geringeren Tiefen sind Genehmigungen einzuholen, die beispielsweise den Grundwasserschutz betreffen [15].

### IV. VEREINFACHTES VERFAHREN ZUR AUSLEGUNG EINER WÄRMEPUMPE

Die Heizlast  $\Phi_{\text{GES}}$  gibt den Wärmeleistungsbedarf (in W) für Raumheizungen an. Sie setzt sich aus den Transmissions- $\Phi_{\text{T}}$  und Lüftungsverlusten  $\Phi_{\text{L}}$  sowie dem Aufheizzuschlag  $\Phi_{\text{H}}$  zusammen. Bei Bedarf umfasst eine Zusatzleistung  $\Phi_{\text{Z}}$  die Wärmeleistung zur Warmwasserbereitstellung. Die Betragsermittlung in Gleichung (3) stellt sicher, dass die bei hohen Außentemperaturen von der Wärmepumpe erbrachte Kühlleistung nicht zu negativen thermischen und damit elektrischen Lasten führt. Um eine aktive Kühlung realisieren zu können, muss die Wärmepumpe über einen umkehrbaren Kältekreislauf verfügen.

$$\Phi_{\text{GES}} = |\Phi_{\text{T}} + \Phi_{\text{L}} + \Phi_{\text{H}}| (+\Phi_{\text{Z}}). \quad (3)$$

Nach DIN 12831 muss die Heizlast für jeden Raum berechnet und für ein Haus summiert werden. Zur Ermittlung der aus der Heizlast resultierenden elektrischen Last wird ein auf Matlab basierendes Wärmepumpenmodul eingeführt. Da normalerweise zur exakten Ermittlung die Kennwerte (wie Baumaße, Raumzahlen, Baumaterialien) und Anwendungshinweise (wie Flächennutzung, Konditionierung von Räumen) eines jeden Hauses benötigt werden, wird in diesem Beitrag ein demgegenüber vereinfachtes Verfahren vorgestellt und detailliert ausgeführt. Es eignet sich zur vereinfachten Berechnung der Auslegung einer WP und kann, unter Zuhilfenahme weniger zu ermittelnder Größen, für eine schnelle Betrachtung hilfreich sein.

Das Verfahren benötigt nur einzelne zusätzliche Kennwerte, wie Baujahr des Hauses, Grundfläche, Wohnraum oder Sperrzeiten des Netzbetreibers, um eine Bestimmung der elektrischen Bedarfslast der Wärmepumpe (auf 15-min-Basis) zu ermöglichen. Hierfür wird auf die bestehende Gleichung (3) zurückgegriffen und die Zusammensetzung einzelner Größen nachfolgend ausgeführt.

Die Transmissionsverluste  $\Phi_T$  setzen sich zusammen aus den Transmissionswärmeverlustkoeffizienten  $H_T$  des Raumes sowie der Temperaturdifferenz (innen  $\theta_i$  und außen  $\theta_a$ ). Die Indizierung für beheizte Räume hat folgende Bedeutung:

- ia: Wärmeverlust nach außen (a),
- iu: Wärmeverlust in unbeheizte oder weniger beheizte Räume (u) und
- ie: Wärmeverlust in Richtung des Erdreiches (e).

$$\Phi_T(t) = H_T \cdot (\theta_i(t) - \theta_a(t)) \quad (4)$$

$$H_T = H_{T_{ia}} + H_{T_{iu}} + H_{T_{ie}} \quad (5)$$

Die direkten Wärmeverluste an die Umgebung  $H_{T_{ia}}$  ermitteln sich aus den mittleren Bauteilflächen  $A_{BT}$ , deren Wärmedurchgangskoeffizienten, auch U-Werte genannt,  $UW_{BT}$ , und einem Zuschlagsfaktor für Wärmebrücken ( $f_{ia} = 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

$$H_{T_{ia}} = \sum (A_{BT} \cdot (UW_{BT} + f_{ia})) \quad (6)$$

Die Grundflächen der zu analysierenden Wohnhäuser können ggf. aus den GIS-Daten des Netzbetreibers, den Informationen des Statistischen Bundesamtes oder auch direkt bei Google Maps entnommen werden. Diese werden dann mittels Umrechnungsfaktoren auf typische Raumgestaltungen und -flächen verschiedener Häusertypen angepasst. Die zugehörigen U-Werte für z. B. Dächer, Außenwände oder Fenster werden je nach Bau- und Renovierungsjahr ermittelt und mit dem Faktor beaufschlagt [16]. Das gleiche Vorgehen findet bei unbeheizten Räumen  $H_{T_{iu}}$  und dem Erdreich  $H_{T_{ie}}$  statt. Hierfür können ggf. auch feste Faktoren zum Verhältnis bewohnter Fläche/unbewohnter Fläche oder Mittelwerte angenommen werden.

Der Lüftungswärmeverlust  $\Phi_L$  definiert die Wärmemenge, die durch temporäre Zirkulation  $t_L$  eines Luftvolumenstroms  $\dot{V}_L$  in einem Raum mit dem Volumen  $V_R$ , mit der Außenwelt verloren geht.

$$\Phi_L(t) = \dot{V}_L \cdot 0,34 \cdot \left( \frac{1}{t_L} \cdot \sum_{n=1}^{t_n} (\theta_i(t_n) - \theta_a(t_n)) \right) \quad (7)$$

$$\dot{V}_L = 0,8 \cdot V_R \cdot t_L \quad (8)$$

Die Mindestluftwechseldauern für verschiedene Raumtypen sind integriert und finden sich ebenfalls in DIN 12831. Der Aufheizzuschlag  $\Phi_H$  gilt nur in Gebäuden mit unterbrochenem Heizbetrieb, ausgelöst durch z. B. Sperrzeiten, Abwesenheit oder aus ökonomischen Gründen. Sogenannte Sperrzeiten sind vom Verteilnetzbetreiber (VNB) festgelegte Abschalt Dauern, an denen die WP aufgrund einer prognostizierten Netzhöchstlast abgeschaltet werden muss.

Im Falle eines typischen Mitteldeutschen Flächennetzbetreibers lag dieser Zeitraum im Jahr 2017 zwischen 11:30 - 12:30 Uhr und 17:45 - 19:15 Uhr ( $t_S$ ). Für eine Gebäudebetrachtung müssen zusätzlich Verteilungsverluste eingepreist werden, die die Luftzirkulation darstellen. Abgedeckt wird dies durch einen Aufschlagsfaktor ( $0,15 \leq f_A \leq 0,5$ ), der abhängig vom Baujahr des Hauses ist.

$$\Phi_H = (\Phi_T \cdot \Phi_L) \cdot f_A \quad (9)$$

Unter der Annahme einer monovalenten Betriebsweise  $t_d = 24 \text{ h}$  führen Sperrzeiten des VNB und der Warmwasserbedarf zu einer Erhöhung der zu installierenden Heizleistung (Zusatzleistung:  $\Phi_Z$ ). Die benötigte Wärmeleistung zur Warmwasserbereitstellung hängt von der Anzahl der Bewohner im Haushalt  $N_{Bew}$  und dem gewünschten Warmwasserkomfort ab. Überschlägig wird pro Person bei ca. 50 l Warmwasser mit 45 °C mit einer Wärmeleistung von 0,25 kW gerechnet [3].

$$\Phi_Z = \begin{cases} N_{Bew} \cdot 250 \text{ W, falls Warmwasser} \\ 0 \text{ W, falls kein Warmwasser} \end{cases} \quad (10)$$

Zur einfachen, schnellen Bestimmung der Heizlast und zum Vergleich der komplexen Berechnungsmethode nach Gleichung (3) kann Gleichung (11) verwendet werden. Hierbei wird die spezifische Bebauungsfläche  $A_{Grund}$  als Grundlage mit einem Dimensionierungsfaktor  $f_{HH}$ , auszugsweise in Gleichung (12), herangezogen [17].

$$\Phi_{GES(\text{Schätzung})} = \Phi_{S1} + \Phi_{S2} \quad (11)$$

$$\Phi_{S1} = A_{Grund} \cdot f_{HH} \quad (12)$$

$$f_{HH} = \begin{cases} 15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}, \text{Passivhaus} \\ 30 - 50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}, \text{Neubau (EnEV 2016)} \\ 50 - 70 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}, \text{Altbau (WSchVO 1995)} \\ 70 - 90 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}, \text{Altbau (Dämmung)} \\ > 90 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}, \text{Altbau (ohne Dämmung)} \end{cases}$$

$$\Phi_{S2} = \Phi_{S1} \cdot \left( \frac{t_d}{t_d - \sum t_S} - 1 \right) + \Phi_Z \quad (13)$$

Diese Grobschätzung führt im Vergleich zur vorgeschlagenen Berechnungsweise nach Gleichung (3) zu Abweichungen bis maximal 15 %. Es muss erwähnt werden, dass beide Vorgehen nicht zur Bestimmung des dynamischen Heizlastbedarfes für ein spezifisches Gebäude dienen können, da hierfür komplexere Berechnungsschritte und eine genauere Datengrundlage notwendig sind. Da eine monovalent betriebene WP deutlich größer ausgelegt werden muss, kann zu Optimierungszwecken eine zusätzliche Heizspirale implementiert werden. Diese dient als Unterstützung bei sehr kalten oder stark schwankenden Außentemperaturen und bei einem hohen Warmwasserbedarf. Der Deckungsanteil der Wärmepumpe wird so gewählt, dass die Zusatzheizung an weniger als 5 % aller Tage genutzt wird [16]. Bei Bedarf ermöglicht ein angeschlossener Wärmespeicher eine temporäre Entkopplung vom Strombezug, was ein Potential für Lastverlagerungen bietet.



Für ein Beispielhaus mit den folgenden Angaben, wird eine Darstellung der 15-min elektrischen Last einer Luft/Wasser-WP sowie der Heizlast mittels eines selbstentwickelten Wärmepumpentools (auf Basis von Mathworks Matlab) berechnet:

- Rauminnentemperatur: 20 °C
- Auslegungstemperatur: -16 °C (Region: SA, BB, TH, SN)
- Typ: Einfamilienhaus
- Baujahr: 1987
- Geschosse: 2
- Wohnfläche: 100 m<sup>2</sup>
- Bewohner: 4
- Warmwasserbedarf
- Monovalenter Betrieb

Die Sperrzeiten sind die bereits genannten Zeiten des Flächennetzbetreibers,

$$(t_s) = 11:30 - 12:30 \text{ Uhr und } 17:45 - 19:15 \text{ Uhr.}$$

Die Gleichung (11) zur schnellen Schätzung der Heizlast führt zu einem Betrag an maximaler Heizlast von  $\Phi_{\text{GES(Schätzung)}} = 16 \text{ kW}_{\text{th}}$ , währenddessen die Berechnung nach Gleichung (3) zu einer Heizlast von  $\Phi_{\text{GES}} = 16,3 \text{ kW}_{\text{th}}$  führt. In ABBILDUNG 5 wird der resultierende elektrische Leistungsbezug dargestellt.

## V. OFFENE FORSCHUNGSFRAGEN

Im Bereich der WP zur Wärmeversorgung in Haushalten werden in [18] verschiedene Forschungsbedarfe aufgeführt: Ein Fokus liegt bei der Anlagenplanung für die Nutzung natürlicher Kältemittel, wie z. B. Ammoniak, da diese einen

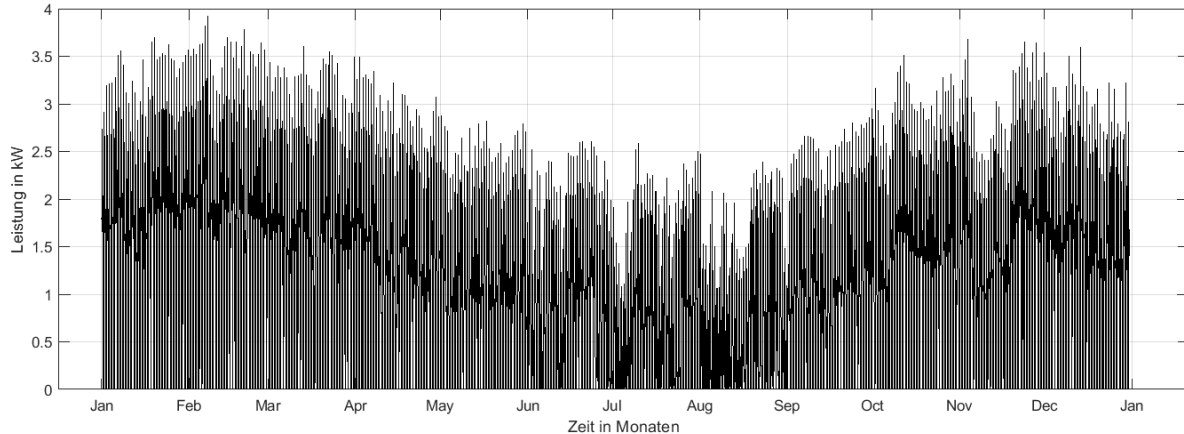


ABBILDUNG 5: ENERGETISCHER VERBRAUCH DES BEISPIELHAUSES ÜBER EIN JAHR.

geringeren Einfluss auf das Klima haben. Allerdings müssen hier Anpassungen an erhöhte Sicherheitsanforderungen durchgeführt werden. Zudem gibt es bei der WP selbst, insbesondere noch bei den Kompressoren und deren Regelung, Verbesserungspotential. So kann beispielsweise eine adaptive Regelung von WP Fehleinstellungen bei der Inbetriebnahme ausgleichen und somit zur Effizienzsteigerung beim Betrieb führen. Für eine zukünftige „intelligente“ Steuerung spielt auch der Aspekt der Digitalisierung eine große Rolle. Die Entwicklung geeigneter Standards und Schnittstellen ermöglicht z. B. ein intelligentes Lastmanagement.

Darüber hinaus werden heute verschiedene Geschäftsmodelle zur Einbindung vieler einzelner Anlagen zu einem

„virtuellen Kraftwerk“ (oder besser virtuelle Last eines „Flexumers“) im Zuge einer stromgeführten Betriebsweise getestet. Die Leistung einer Anlage spielt auf dem Energiemarkt eine unwesentliche Rolle, doch durch die gemeinsame Regelung einer Vielzahl an WP ergibt sich eine relevante Last. Für diese Fernsteuerung übergibt der WP-Besitzer die Kontrolle zur Regelung der WP einem externen Dienstleister, der dann den gemeinsamen Auftritt vieler WP auf dem Energiemarkt übernimmt. Damit die stromgeführte Betriebsweise nicht zu einem Problem in der Wärmeversorgung der einzelnen Hausbesitzer führt, sollte ein Speicher Wärmezeugung und -verbrauch entkoppeln. [19], [20], [21]

Im Bereich der zentralen Wärmeversorgung werden aktuell WP im Megawattbereich (bspw. Viessmann: 2 MW) geplant. Hierbei handelt es sich noch um individuelle Anlagen, die speziell für einen Anwendungsfall, ein Gewerbe und den Aufstellort geplant und designt werden. Insbesondere stehen hier die Frage nach der geeigneten Wärmequelle und die Temperaturerhöhung für Fernwärme, unter Einsatz natürlicher Kältemittel, im Mittelpunkt. Häufig stoßen dabei die verwendeten Materialien an ihre Grenzen, da sie großen Temperaturen und Drücken ausgesetzt sind.

Aus Sicht des Stromnetzes trägt der weitere Zubau von Wärmepumpen, gemeinsam mit dem Zubau der Elektromobilität, zu einer starken Veränderung des elektrischen Lastgangs bei. Hierfür müssen Steuerungsmechanismen im elektrischen Netz entwickelt werden, die den Zubau von Wärmepumpen und Elektromobilitätslösungen nicht behindern und den sicheren Netzbetrieb ermöglichen [22].

## LITERATUR

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Hrsg.), „Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung.“ [Online]. Available: [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf). [Zugriff am 11 Mai 2017].
- [2] Bundesregierung, „Gesetzentwurf der Bundesregierung - Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude.“ [Online]. Available: [www.energie-m.de/images/energie/GEG-Entwurf\\_2018-11-01.pdf](http://www.energie-m.de/images/energie/GEG-Entwurf_2018-11-01.pdf). [Zugriff am 19 März 2019].
- [3] J. Adolf, U. Schabla, A. Lücke, et. al, „Klimaschutz im Wohnungssektor-Wie heizen wir morgen?“, Hamburg, Köln, [Online]. Available: <https://www.hwwi.org/fileadmin/hwwi/>

- Publikationen/Studien/Shell\_BDH\_Hauswaerme\_Studie\_II.pdf. [Zugriff am 18 November 2020].
- [4] BWP - Bundesverband Wärmepumpen, „BWP-Branchenstudie 2015. Szenarien und politische Handlungsempfehlungen,“ [Online]. Available: [www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/details/bwp-branchenprognose-2030-die-waermewende-zwischen-klimazielen-modernisierungssstau-und-oelpreisschock](http://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/details/bwp-branchenprognose-2030-die-waermewende-zwischen-klimazielen-modernisierungssstau-und-oelpreisschock). [Zugriff am 19 März 2019].
- [5] UBA - Umweltbundesamt, „Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung 525/2013/EU (Emissions-Projektionsbericht),“ [Online]. Available: [www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/projektionsbericht-der-bundesregierung-2015/?tx\\_ttnews\[backPid\]=933](http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/projektionsbericht-der-bundesregierung-2015/?tx_ttnews[backPid]=933). [Zugriff am 19 März 2019].
- [6] Fraunhofer ISE, „Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050,“ [Online]. Available: [www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISEstudie-Was-kostet-die-Energiewende.pdf](http://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISEstudie-Was-kostet-die-Energiewende.pdf). [Zugriff am 19 März 2019].
- [7] dena - Deutsche Energie Agentur GmbH, „Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor,“ [Online]. Available: [www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Meldungen/dena\\_Gebaeudestudie.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Meldungen/dena_Gebaeudestudie.pdf). [Zugriff am 19 März 2019].
- [8] J. Bonin, „Handbuch Wärmepumpen: Planung und Projektierung,“ 2. Hrsg., Berlin: Beuth.
- [9] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN 14511-1:2019-07: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen für die Raumbeheizung und -kühlung und Prozess-Kühler mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Teil 1: Begriffe, Berlin: Beuth, 2019.
- [10] vPRESS. GmbH, „Luft-Wasser-Wärmepumpe,“ [Online]. Available: <https://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/hausbau-regenerative-energie/energiebewusst-bauen-wohnen/emission-alternative-heizung/heizen-mit-erdwaerme/arten-von-waermepumpen/luft-wasser-waermepumpe.html>. [Zugriff am 08 Oktober 2020].
- [11] Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V., „Wie funktioniert die Wärmepumpe?,“ [Online]. Available: <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/>. [Zugriff am 07 Oktober 2020].
- [12] vPRESS. GmbH, „Wasser-Wasser-Wärmepumpe,“ [Online]. Available: <https://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/hausbau-regenerative-energie/energiebewusst-bauen-wohnen/emission-alternative-heizung/heizen-mit-erdwaerme/arten-von-waermepumpen/grundwasser-waermepumpe.html>. [Zugriff am 08 Oktober 2020].
- [13] Umweltministerium Baden-Württemberg, „Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmekollektoren,“ Stuttgart.
- [14] M. Miara, D. Günther, T. Kramer, T. Oltersdorf und J. Wapler, „Wärmepumpen Effizienz: Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb,“ Freiburg.
- [15] A. Günther-Pomhoff, „Ganzheitliche Bilanzierung von elektrisch angetriebenen Wärmepumpen als Basis einer Ökobilanz: Endbericht,“ München.
- [16] D. Thiel und D. Riedel, „Typisierte Bauteilaufbauten. Präzisierung der Pauschalwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Bekanntmachung der Regeln der Datenaufnahme im Nichtwohngebäudebestand,“ Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- [17] Solarbayer GmbH (Hrsg.), „Planungshilfe für Wärmepumpen - Auslegung der Wärmepumpenleistung,“ [Online]. Available: <https://www.solarbayer.de/Planungshilfe-Waermepumpen.html>, [Zugriff am 14 Juli 2015].
- [18] B. Wellig, „Wärmepumpen-Forschung: Stand und künftige Herausforderungen,“ in *25. Tagung des BFE-Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kälte*, Burgdorf.
- [19] U. Lenk und I. Pyc, „Flexibilisierung durch Hybridisierung der Energieversorgung,“ *Elektrotech. Inftech.* 133, 216–222, <https://doi.org/10.1007/s00502-016-0411-0>.
- [20] A. Werner, T. Esterl, K. Leonhartsberger, et al., „Eigeninteressen von Endkund/innen mit flexiblen Komponenten – Einbindung von Endkund/innen in die Entwicklung einer Flexibilitätsplattform und adäquater Geschäftsmodelle für den Handel an kurzfristigen Energiemärkten,“ *Elektrotech. Inftech.* 136, 398–399. <https://doi.org/10.1007/s00502-019-00767-8>
- [21] P. Witte und M. Kaltschmitt, „Dezentrale Steuerung eines Pools von Wärmepumpen auf Basis spieltheoretischer Methoden,“ *Z Energiewirtschaft* 41, 237–259. <https://doi.org/10.1007/s12398-017-0201-3>
- [22] S. Darvish, L. Baum, F. Grumm und D. Schulz, „A Smart Charging Management Interface for Electric Vehicles Based on Communication Links Through the Electrical Grid,“ in *4th E-Mobility Power System Integration Symposium*, Virtual Event, 2020.