

VON DER WÄRMEPUMPE UND DER WÄRMEWENDE

ECKPUNKTEPAPIER ZUM „AUFBAUPROGRAMM WÄRMEPUMPEN“ DES BMWK



Bild 1: Kernsaniertes Mehrfamilienhaus beheizt mit Wärmepumpe und PVT-Wärmepumpenkollektoren

turen effizient arbeiten und einen möglichst geringen Stromverbrauch haben. Schlecht ausgelegte oder ungünstig betriebene Wärmepumpensysteme führen dazu, dass zu Zeiten der größten Last (kalte feuchte Jahreszeit) die in fast allen Wärmepumpen vorhandenen Elektroheizstäbe aktiviert werden und die Heizleistung der Wärmepumpen ersetzen. Das führt in der Folge zu etwa dreifach erhöhten Strombedarfsspitzen, die – falls zeitgleich in vielen Anlagen auftretend – kritisch für einen stabilen Netzbetrieb werden können.

Um sicher zu stellen, dass die Wärmewende gelingt und zusätzlich zu einer stabilen, sicheren und unabhängigen Versorgung basierend auf 100 % Erneuerbaren Energien führt, wurde von den Unterzeichnenden des Eckpunkteapiers u. a. folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

Effizienzvorgabe unabhängig von EE-Anteil im Stromnetz und von der Quelle der Wärmepumpe

Die Effizienzanforderungen der BEG an Wärmepumpen beziehen sich seit 2020 auf die „jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz“ η_s (= ETAs). ETAs wird aus der jahreszeitbedingten Leistungszahl (JAZ) durch Division mit dem Primärenergiefaktor für Strom errechnet. Problematisch ist dabei, dass bei zukünftig niedrigeren Primärenergiefaktoren Wärmepumpen technisch ineffizienter werden können, ohne dass sich ETAs verschlechtert. Dadurch steigt der Strombedarf insbesondere in der Heizperiode. Das Gegenteil sollte jedoch der Fall sein: die Anforderungen an die Effizienz sollten steigen.

In dem Eckpunktepapier wird eine strikte Orientierung von Zulassungen und Förderungen an der tatsächlichen Effizienz von Wärmepumpen gefordert, unabhängig vom Typ der Wärmepumpe. Das heißt, dass bei den Anforderungen kein Unterschied zwischen Luft- und Erdsonden-Wärmepumpen bestehen sollte. Erdreich-Wärmepumpen belasten bereits bei gleicher Jahresarbeitszahl das Stromnetz weniger als Luft-Wärmepumpen, da ihr Stromverbrauch insbesondere

Experten aus Wissenschaft, Planung, Monitoring, Entwicklung und Vertrieb von Solar- und Wärmepumpensystemen haben ein Eckpunktepapier zum „Aufbauprogramm Wärmepumpe“ des BMWK ausgearbeitet¹⁾. Die Unterzeichnenden des Papiers sehen das Ausbauprogramm als eine große Chance an, die jahrzehntelang verschlafene Wärmewende nun umzusetzen, allerdings sehen sie gleichzeitig auch große Gefahren, falls der Ausbau nicht strategisch zielgerichtet erfolgt. Daher schlagen die Unterzeichnenden eine Flankierung durch regulatorische und förderrechtliche Rahmenbedingungen vor, um sicher zu stellen, dass der heute und in Zukunft mögliche Stand der Technik angewandt wird und die Klimaziele und die angestrebte Energiesouveränität Deutschlands nicht gefährdet werden. Das an Dr. Habeck adressierte Papier wurde am 08.07.2022 beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) eingereicht.

Die Bundesregierung mit dem BMWK strebt den schnellen Ausstieg aus fossil versorgten Heizsystemen an. Laut Veröffentlichung „Energiesparen für mehr Unabhängigkeit“ vom 17.05.2022 „soll es über eine Reform der BEG (Bundesförderung für effiziente Gebäude) zudem verstärkte Anreize für den Wechsel von fossilen Energieträgern auf Erneuerbare geben, also u. a. etwa „weg von der Gasheizung hin zur Wärmepumpe“. Den Wärmepumpenhochlauf soll das „Auf-

bauprogramm Wärmepumpe“ unterstützen. „Ziel ist, die Zahl neu installierter Wärmepumpen bis 2024 auf über 500.000 Stück pro Jahr zu steigern“.

Der Umbau von einer fossilen zu einer zum großen Teil strombasierten Wärmeversorgung, parallel zur Elektrifizierung der Mobilität, stellt für das zukünftig auf 100 % Erneuerbaren Energien basierende Stromsystem eine hohe Herausforderung dar. Damit Kohlekraftwerke wie im Koalitionsvertrag vorgesehen, rasch abgeschaltet werden können und eine Renaissance der Kernkraftwerke vermieden wird, muss zum einen der Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion insbesondere in Form von Wind und Photovoltaik den wachsenden Strombedarf für den Betrieb von Wärmepumpen zusätzlich zur E-Mobilität deutlich überschreiten. Zum anderen muss gleichzeitig durch klare Effizienzvorgaben eine Begrenzung der Zunahme des Strombedarfs durch Wärmepumpen und E-Mobilität erfolgen. Damit auch Gaskraftwerke für die Spitzenlasten nicht mehr benötigt werden, sind ausgeprägte Bedarfsspitzen im Stromnetz zwingend zu vermeiden.

Wärmepumpen haben den größten Stromverbrauch an kalten Wintertagen, d.h. zu Zeiten, zu denen nur eine geringe Stromerzeugung durch PV-Anlagen vorliegt und teilweise auch Elektroenergie aus On-Shore-Wind-Anlagen nur begrenzt zur Verfügung steht. Sie sollten daher gerade bei tiefen Außentempera-

im Winter geringer ist. Bei den geforderten Mindestjahresarbeitszahlen orientiert sich das Eckpunktepapier an den Ergebnissen des Feldtests WPsmart im Bestand²⁾ des Fraunhofer ISE. Dort wurde für Luft-Wärmepumpen eine mittlere Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3,1 ermittelt, die beste JAZ einer Luft-Wärmepumpe lag bei 3,8. Dementsprechend werden Mindestwerte für eine Zulassung und etwas bessere Werte für eine Förderung vorgeschlagen.

Neben Erdreich, Grundwasser und Luft sowie thermischen Speichern als Wärmequellen für Wärmepumpen sollen innovative effiziente Wärmequellen ohne zusätzliche Hürden eingesetzt werden können. Beispielsweise wurden in den letzten Jahren spezielle PVT-Wärmepumpenkollektoren entwickelt, die als alleinige effiziente Wärmequelle von Wärmepumpen genutzt werden können³⁾, siehe Bild 1. PVT-Kollektoren sind Hybridkollektoren die aus solarer Strahlungsenergie sowohl thermische als auch elektrische Energie produzieren, daher die Abkürzung PVT: Photovoltaik und Solarthermie. Spezielle PVT-Wärmepumpenkollektoren können zusätzlich der Luft Wärmeenergie entziehen. Damit können beispielsweise im dicht bebauten städtischen Bereich effiziente Wärmepumpen installiert werden, was bislang aus Platzgründen (Erdsonden) oder wegen Schallemissionen (Luft-Wärmepumpe) kaum möglich war. Der Einsatz solcher, vielversprechender innovativer Technologien darf nicht durch ungeeignete Vorschriften, Zulassungs- und Nachweisverfahren oder Förderbedingungen behindert werden.

Elektrische Direktheizung vermeiden und unabhängige Kontrolle

Mit dem Stromnetz verbundene Elektroheizstäbe von Wärmepumpen sollten gemäß den Autoren nur manuell über einen Schalter (bzw. eine Reglereingabe) und nur temporär aktiviert werden können, so dass sie als Not- nicht aber als Regelheizung zur Verfügung stehen. Der max. zulässige Anteil des elektrischen Heizstabs am Stromverbrauch sollte bei 1 bis max. 2 % des gesamten jährlichen Stromverbrauchs der Wärmepumpe liegen. Das entspricht gemäß Feldtest des ISE (siehe oben) dem heutigen Stand der Technik (gemessen: 1,9 %).

Aus dem gleichen Grund sind elektrische Direktheizungen (z. B. Infrarotheizungen) massenhaft eingesetzt problematisch für das Stromnetz, auch wenn sie in Verbindung mit einer PV-Anlage oft als „grüne Heizung“ verkauft werden. Den größten Teil ihres Strombedarfs beziehen sie i. d. R. vom öffentlichen Netz.

Daher sollten gemäß Eckpunktepapier solche Direktheizungen nur bis zu einer sehr geringen Heizleistung pro m² Wohnfläche zugelassen werden.

Gemäß BEG müssen alle Energieverbräuche sowie alle erzeugten Wärmemengen eines förderfähigen Wärmeerzeugers messtechnisch erfasst werden. Die Autoren schlagen vor, hierauf aufbauend einen Schwerpunkt auf die real erreichten Effizienzwerte und Stromverbräuche zu legen. Einfache und kostengünstige Monitoringtools⁴⁾ ermöglichen neben einer Selbstkontrolle durch den Betreiber eine breite übergeordnete unabhängige Anlagenüberwachung, siehe Bild 2.

Schornsteinfeger könnten als neues Tätigkeitsfeld die Effizienzkontrolle von Wärmepumpen erhalten und gleichzeitig eine beratende Funktion zur ggf. notwendigen Optimierung des Anlagenbetriebs übernehmen. Weiterhin könnte der unabhängige Effizienznachweis als Basis für eine Bonus-Förderung dienen, die bei deutlich über den Mindestanforderungen liegenden Anlageneffizienzen vergeben würde.

Mehrstufige Maßnahmen zur Umstellung auf Wärmepumpen

Vielfach lässt sich die Umstellung des Heizsystems vom fossil befeuerten Heizkessel auf eine Wärmepumpe effizient nur in mehreren Stufen realisieren.

Mit Solarthermieanlagen kann der Energieverbrauch von Systemen zur Warmwasserbereitung und Heizung rasch und auch bei Radiatorenheizungen ohne Anpassungen am Heizsystem signifikant reduziert werden. Ebenso erfordert der Einbau von thermischen Solaranlagen keinen Ausbau der elektrischen Infrastruktur wie Netze, Trafostationen und Kraftwerke. Voraussetzung für die

Installation einer thermischen Solaranlage sollte aber die ausreichende Wärmedämmung des Daches sein, soweit diese nicht später von innen möglich ist, sowie die zeitgleiche oder spätere Installation einer PV- bzw. PVT-Anlage auf der restlichen Dachfläche.

Alternativ zu einer Solarthermieanlage kann eine Wärmepumpe in Kombination mit einer PVT-Anlage installiert werden, mit der ca. 80 % des Wärmebedarfs gedeckt wird, während der bereits vorhandene Kessel weiter genutzt wird, um die Leistungs- und Temperaturspitzen abzudecken (siehe Bild 3). Die Auslegung sollte so erfolgen, dass nach Wärmedämmmaßnahmen am Gebäude der verbleibende Energiebedarf durch die Wärmepumpe vollständig gedeckt werden kann⁵⁾.

Kältemittel

Die in den Wärmepumpen verwendeten Kältemittel können die gewünschte Klimaschutzwirkung deutlich beeinträchtigen. Dies ist insbesondere bei Split-Luft-Wärmepumpen der Fall, die vor Ort gefüllt werden; ebenso bei qualitativ niederwertigen Wärmepumpen, bei denen mit höherer Wahrscheinlichkeit Serviceeinsätze und auch eine vergleichsweise geringe Lebensdauer zu erwarten sind.

Austretendes Kältemittel hat beim heute noch weit verbreiteten R410A ein Treibhauspotential, dass mehr als 2.000mal höher ist als das von CO₂. Im Rahmen der europäischen F-Gas-Verordnung soll eine deutliche Reduktion des Treibhauspotentials von Kältemitteln erreicht werden. Dies sollte daher auch eine technische Voraussetzung für eine Förderung sein, insbesondere die Verwendung von sogenannten natürlichen Kältemitteln wie Propan mit einem Treibhauspotential von 3.

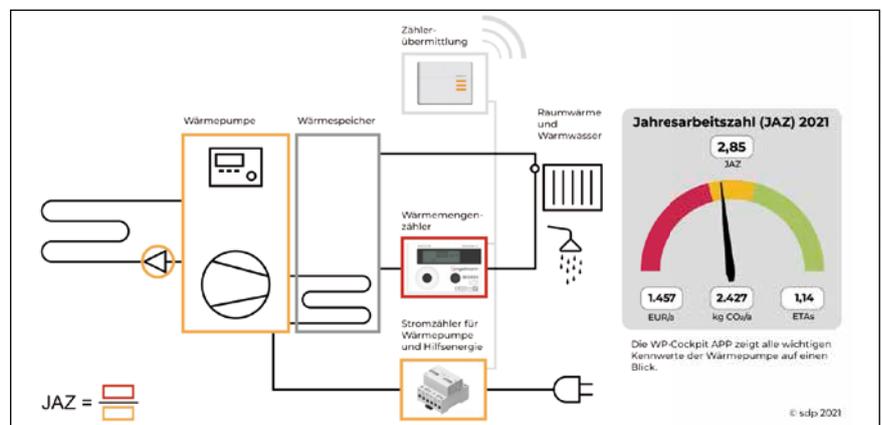


Bild 2: Funktionsschema „WP-Cockpit“: Die über ein kostengünstiges Zähleres erhobenen Daten werden an die WP-Cockpit App übermittelt. Die Messergebnisse werden validiert und anonymisiert bereitgestellt, um es allen Interessierten zu ermöglichen, anhand der gewonnenen Daten die Effizienz von Wärmepumpensystemen zu ermitteln und zu bewerten sowie ggf. zu optimieren.

Bildquelle: susteinbare data platform, Beispiel mit Bilanzgrenze für System-Jahresarbeitszahl

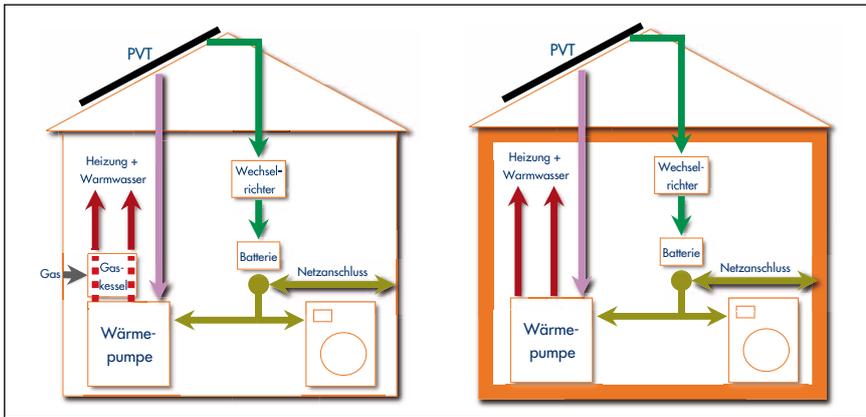


Bild 3: Zweistufige Sanierung: links: unsanierte Gebäudehülle mit erster Sanierungsstufe über PVT-Wärmepumpe kombiniert mit Spitzenlast-Gas- bzw. Ölkessel; rechts gedämmtes Gebäude, vollständige Wärmeversorgung mit PVT-Wärmepumpe

Zubau erneuerbarer Stromproduktion zumindest im gleichen Maße wie zusätzlicher Verbrauch

Soll der zusätzliche Strombedarf, der durch den Austausch einer größeren Zahl fossil beheizter Kessel durch Wärmepumpen entsteht, mit Erneuerbaren Energien bereitgestellt werden, muss die Residualerzeugung durch Wind, Sonne oder Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erhöht werden. Die Autoren schlagen verschiedene Maßnahmen vor, um den Umbau auf Wärmepumpenheizungen so zu steuern, dass hierdurch die kontinuierliche Reduktion der CO₂-Emissionen konform zu den Klimazielen erreicht wird.

Im Rahmen des „Aufbauprogramms Wärmepumpe“ sollte sichergestellt werden, dass für den zusätzlichen Strombedarf mindestens die entsprechende Menge erneuerbaren Stroms produziert wird, und zwar so weit wie möglich zu den Zeiten, zu denen der Bedarf erhöht wird – also nicht basierend auf einer Jahres-, Monats- oder Wochenbilanz. Hierfür werden drei sich ergänzende Ansätze vorgeschlagen:

1. PV- bzw. PVT-Anlagen als Regellösung, wenn Wärmepumpen installiert werden:

- Die von der Bundesregierung geplante und in einigen Bundesländern bereits beschlossene Solardachpflicht könnte nicht nur bei Neubauten oder grundlegenden Dachsanierungen greifen, sondern auch beim Einbau einer Wärmepumpe. Um dies auch bei Mehrfamilienhäusern mit geringen Hürden zu ermöglichen, muss der unbürokratische direkte Verbrauch des produzierten Stroms durch Verbraucher in der Nähe, also z. B. Mieter:innen zeitnah ermöglicht werden.

- Alternativ zur verpflichtenden Installation einer PV-Anlage könnte eine Wärmepumpenförderung nur dann erfolgen, wenn in einer Übergangsfrist auch eine PV-/PVT-Anlage installiert wird. Die Anlage sollte dann so dimensioniert sein, dass mindestens der Strom im Jahresmittel produziert wird, den die Wärmepumpe verbraucht. Besser noch wäre die Vorgabe, dass der selbst produzierte Strom auf Basis einer Monatsbilanz im ungünstigsten Monat mindestens 20 bis 25 % des von der Wärmepumpe verbrauchten betragen muss⁶⁾. Dies führt bei begrenzten Dachflächen zum Einsatz möglichst effizienter Systeme und geringer Energieverbräuche.
- Um insbesondere in den Nachtstunden, d. h., wenn kein PV-Strom verfügbar ist, eine zusätzliche Belastung des Stromnetzes und den Verbrauch ggf. fossil erzeugten Stroms zu vermeiden, ist zudem zu fordern, dass PV bzw. PVT-Wärmepumpensysteme über einen thermischen und / oder elektrischen Speicher verfügen womit diese Zeiten überbrückt werden können.

Die Erzeugung vor allem im Sommerhalbjahr des zusätzlichen Stromverbrauchs durch PV- bzw. PVT-Anlagen ist jedoch nicht ausreichend. Eine zeitlich fein aufgelöste Emissionsbilanzierung des durch den Wärmepumpenausbau ausgelösten, zusätzlichen Strombedarfs sollte inkl. Vorkettenmissionen durchgeführt werden: entscheidend ist, mit welchen Emissionen der Strom zum Zeitpunkt des jeweiligen Verbrauchs erzeugt wird. Hierauf zielen der zweite und dritte in dem Eckpunktepapier vorgeschlagene Ansatz ab. Ein zum zweiten Ansatz ver-

gleichbares Verfahren könnte auch für die E-Mobilität eingeführt werden.

2. Verbrauch und Produktion der benötigten erneuerbaren Strommenge während der Heizsaison im Gleichgewicht halten

- An das Stromnetz angeschlossene Wärmepumpen sollten bei einem Energieerzeuger angemeldet werden, auch ohne Wärmepumpentarif. Sie sollten über einen eigenen Unter-Stromzähler verfügen, aber über den gemeinsamen Gesamtzähler abgerechnet werden, damit möglichst viel PV- bzw. PVT-Strom direkt genutzt wird. Mit der Anmeldung wird der mit einem anerkannten Verfahren berechnete Stromverbrauch in den Monaten Dezember und Januar mitgeteilt.
- Die Energieversorger sollten verpflichtet sein, für diesen zusätzlichen Stromverbrauch die zusätzliche erneuerbare Stromproduktion wie z. B. Windkraft oder CO₂-arme KWK (z. B. mit zertifiziertem Biogas aus Rest- und Abfallstoffen) in der Summe in diesen beiden Monaten aufzubauen⁷⁾. Der Aufbau der entsprechenden neu zugebauten Stromproduktion sollte innerhalb einer angemessenen Frist erfolgen. Bei Energieversorgern, die diese Verpflichtung nicht erfüllen können oder wollen, sollte ein Wärmepumpenanschluss nicht möglich sein.
- Wie bei Wärmepumpentarifen bekommen die Energieversorger Zugriff auf die Smart Grid Ready (SGR)-Schnittstelle der Wärmepumpe für flexible Anreize und Sperrzeiten, um Bedarfs- und Produktionsspitzen zu vermeiden. Für ein weiter verbessertes Lastmanagement sollten Wärmepumpen zukünftig mit einem prädiktiven Energiemanagement ausgestattet sein, das auf zeitlich fein aufgelöste Strompreis-Signale des Energieversorgers reagiert, welche zur korrekten, d. h. emissionsparenden Verhaltensweise animieren. Neben lokal installierten Energiemanagern können Cloud-Lösungen⁸⁾, z. B. als Angebot der Energieversorger oder des Messdienstleisters, für eine schnelle und leistungsfähige Umsetzung sorgen (siehe Bild 4).
- Analog zum Anschluss an Wärmenetze könnten Stromversorger bei Wärmepumpenanschluss ihren Tarif auch bei Privathaushalten in Abhängigkeit von der maximalen Bezugsleistung gestalten, mit der Möglichkeit, bei Überschreiten des



Bild 4: Funktionsprinzip eines Energiemanagers als Web-Service (dynOpt-En). Bei diesem Konzept sind kaum Installationen vor Ort nötig

vertraglich vereinbarten Werts, die Leistungsaufnahme von Wärmepumpe und elektrischem Heizstab über die SGR-Schnittstelle zu reduzieren.

3. Wärmepumpen-KWK-Kombinationen als effiziente Ausgleichelemente

- Nur bei massiv reduziertem Gasbedarf durch effiziente Nutzung ist die Umstellung auf grünen Wasserstoff realistisch und wirtschaftlich: Das direkte Verbrennen von Wasserstoff in einem Gaskessel verursacht gegenüber einer Wärmepumpenheizung einen mindestens fünfmal größeren Flächenbedarf für Solar- oder Windkraftanlagen⁹⁾. Dennoch wird in zukünftigen Wärmeversorgungszenarien Wasserstoff als Ausgleichelement benötigt, aber effizient genutzt, insbesondere in KWK-Anlagen.
- Im Rahmen des „Aufbauprogramms Wärmepumpe“ sollten daher besondere Anreize für größere Objekte mit einem Wärmebedarf von mehr als z. B. 150 MWh/a geschaffen werden, die zur Installation von Hybridanlagen, bestehend aus Solarthermie- bzw. PVT-Anlage, Wärmepumpenanlage und KWK-Anlage in Kombination mit möglichst teilsaisonalen thermischen Energiespeichern führen. So kann bei regenerativen Überschüssen die Wärmepumpe, und in der kalten Dunkelflaute die KWK-Anlage jeweils monovalent betrieben werden. Bei zeitgleichem Betrieb von Wärmepumpe und KWK kann der Gasbedarf um 50 % gegenüber dem Betrieb mit einem Gaskessel reduziert werden. So lässt sich durch die Hybridanlage, bei gleichzeitig gesicherter CO₂-armer Residuallast, der Gasbedarf um ca. 75 % reduzieren.

Fazit

Die Autoren des Eckpunktepapiers wollen mit den auf einer objektiven Analyse beruhenden konsequenten Maßnahmenvorschlägen und dem Verweis auf gute existierende Lösungen und Konzepte einen Beitrag leisten, die Chance für eine zukunftsfähige Wärmewende zu ergreifen und umzusetzen. Sie hoffen auf entsprechendes Gehör in der Politik sowie bei Verbänden und Unternehmen und stehen für vertiefende Gespräche zur Verfügung.

Fußnoten

- Das Papier kann hier heruntergeladen werden: www.consolar.de/wp-content/uploads/2022/08/Eckpunktepapier-Aufbauprogramm-Waermepumpen-BMWK.pdf
- WPsmart im Bestand: Felduntersuchung optimal abgestimmter Wärmepumpenheizungssysteme in Bestandsgebäuden beim Betrieb im konventionellen sowie im intelligenten Stromnetz (Smart Grid), Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, 2020
- Ulrich Leibfried, Stephan Fischer, Sebastian Asenbeck: PVT-Wärmepumpensystem SOLINK – Systemvalidierung und zwei Jahre Praxiserfahrung, Symposium Thermische Solarenergie 2019, Bad Staffelstein, 21.- 23.06.2019
- Siehe z. B. <https://sustainable-data-platform.org/wp-cockpit/>
- Siehe z. B. Energetische Sanierung von Mehrfamilienhäusern mit PVT-Hybridsystem und Messdienstbasierten Energiemanagement: <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/c3b4ca34-46af-493d-8687-c04d824711f7/details>
- Dieses Verhältnis wird entsprechend eigener Simulationen mit effizienten Wärmepumpen und typischen PV- oder PVT-Flächen erreicht.

- Bei dem Ausbau ist zu überwachen, dass ein zusätzlicher Strombedarf und die Produktion von EE-Strom in Deutschland im Mittel geographisch in vergleichbarem Maße geschehen, um aktuell nicht leistbare Stromübertragungen zu vermeiden. Andernfalls müssten entsprechende regulatorische Einschränkungen getroffen werden.
- Bernard, Wallner, Thomas, Leibfried, Stürtz, S.: Cloudbasierter Energiemanager ermöglicht angebots- und bedarfsgerechte Zuschaltung von Energieträgern. HLH Bd.73 (2022), Nr 7-8, S. 22-25
- Die Produktion von H₂-Gas mit EE-Strom erfolgt mit ca. 70 % Wirkungsgrad. Die JAZ einer qualitätsgesicherten Wärmepumpe beträgt ca. 3,5 bis 4,5. Selbst bei einer Absorptionswärmepumpe ist das Verhältnis ungünstig: der COP beträgt ca. 170 %, d. h., aus 1 kWh EE-Strom können letztlich nur 1,2 kWh Wärme, im Vergleich zu 3,5 bis 4,5 kWh bei einer Kompressor-Wärmepumpe, gewonnen werden.

ZU DEN AUTOREN:

▶ *Dr.-Ing. Ulrich Leibfried*
 Consolar Solare Energiesysteme
ulrich.leibfried@consolar.de

▶ *Dr.-Ing. Harald Drück*
 IGTE Stuttgart
harald.drueck@igte.uni-stuttgart.de

Das Eckpunktepapier zum „Aufbauprogramm Wärmepumpe“ wurde von folgenden Experten und Expertinnen unterzeichnet:

Dr.-Ing. Ulrich Leibfried (Initiator),
 Consolar Solare Energiesysteme GmbH
 Dipl.-Met. Bernhard Weyres-Borchert, DGS

Dr. Thomas Bernard, Fraunhofer IOSB

Dr. Jörg Lange, Initiative
 Klimaschutz im Bundestag

Dipl.-Ing. Martin Ufheil,
 Solares Bauen GmbH

Dipl.-Ing. Jörg Ortjohann,
 Stiftung Energieeffizienz

Dr.-Ing. Karin Rühling, Technische
 Universität Dresden

Dr.-Ing. Harald Drück,
 Universität Stuttgart, IGTE

Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss,
 Universität Wuppertal

apl. Prof. Dr. Ulrike Jordan, Universität
 Kassel, FG Solar- und Anlagentechnik

Dipl.-Ing. Stefan Abrecht,
 Solar-Experience GmbH

Carsten Körnig, BSW – Bundesverband
 Solarwirtschaft e. V.