

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie

Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel

Band: 57 (2016)

Heft: 3

Artikel: Solare Erwärmung von Brauchwarmwasser : Kombination von Photovoltaik un Wärmepumpe im Technologievergleich mit Solarthermie

Autor: Sattler, Michael / Markstaler, Markus / Haller, Michel / Sigrist, Donald

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088225>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Solare Erwärmung von Brauchwarmwasser – Kombination von Photovoltaik und Wärmepumpe im Technologievergleich mit Solarthermie

Michael Sattler, Markus Markstaler, Michel Haller, Donald Sigrist, Stefan Kessler und Stefan Bertsch

Zusammenfassung

Neben der Solarthermie ist die Kombination von Photovoltaik und Wärmepumpe eine andere Möglichkeit der solaren Erwärmung von Brauchwarmwasser. Mit einem auf Simulationen gestützten Technologievergleich auf Systemebene wurden verschiedene Varianten für die solare Brauchwarmwassererwärmung untersucht. Die Simulationen zeigen, dass für die Bereitstellung von Brauchwarmwasser die Systeme mit Solarthermie/Erdgas und Photovoltaik/Luft-Wasser-Wärmepumpe auf Tagesbilanz-Basis in etwa gleich viel nicht erneuerbare Primärenergie benötigen. Beim Wärmepumpenboiler mit Photovoltaik ist dabei die Berücksichtigung des Wärmeklaus entscheidend. Neben dem Wärmeklaus hat vor allem der Bilanzierungszeitraum grosse Auswirkungen auf die Ergebnisse. Die ökonomischen Betrachtungen zeigen letztlich, dass bei vollständiger Anrechnung des Wärmeklaus die Kostenunterschiede der Systeme gering sind.

1 Einleitung

Die Nutzung von Umweltwärme und Solarenergie für die Deckung von Raumwärme und Brauchwarmwasser (BWW) ist eine unbestrittene Massnahme bei der Umsetzung der “Energiewende”, da mehr als ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs für die Niedertemperaturwärme von Heizung und Warmwasser verwendet wird. Kantonale Bauvorschriften verlangen bereits heute bei Neubauten und Sanierungen die Nutzung von erneuerbaren Energien. In einzelnen Kantonen (z. B. BL, BS) besteht eine Verpflichtung, das BWW in neuen Wohnbauten oder bei Gesamterneuerung des zentralen Brauchwarmwassererzeugers zu mindestens 50 % mit erneuerbaren Ener-

Adresse der Autoren: Michael Sattler, Ökozentrum, Schwengiweg 12, CH-4438 Langenbruck; E-Mail: michael.sattler@oekozentrum.ch; Markus Markstaler, Stefan Bertsch, Institut für Energiesysteme, Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs, Werdenbergstrasse 4, CH-9471 Buchs; Michel Haller, Institut für Solartechnik, Hochschule für Technik Rapperswil, Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil; Donald Sigrist, Stefan Kessler, INFRAS, Binzstrasse 23, CH-8045 Zürich

gien zu erwärmen. Die Nutzung von Solarenergie für die Bereitstellung von BWW ist für Neubauten und Sanierungen eine einfache und kostengünstige Variante, um einen Teil der Energieversorgung auf erneuerbare Quellen umzustellen.

Bis vor wenigen Jahren war die Installation von solarthermischen Kollektoren die erste Wahl für die Produktion von BWW aus Sonnenenergie. Mit dem Aufkommen von bezahlbaren Photovoltaikanlagen zur Stromproduktion und der Verfügbarkeit einer breiten Modellpalette an Wärmepumpenboilern und Wärmepumpen-Kompaktgeräten bietet die Kombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe eine prüfenswerte Alternative zur Solarthermie.

Systeme mit Photovoltaik und Wärmepumpe zur Bereitstellung von BWW werden bereits heute auf dem Markt angeboten – mit dem Argument, dass sie gleich gut oder besser – sprich kosteneffizienter bei gleichen ökologischen Vorteilen – seien als Solarthermie-Systeme. Ein belastbarer direkter Vergleich mit der heute vorherrschenden Technologie der solaren Brauchwarmwasserwärmung, der Solarthermie, fehlte aber bisher und war Ziel des im vorliegenden Artikel beschriebenen Projekts ‘SolVar-BWW’ (*Sattler et al. 2014, Vogel 2015*).

Der direkte Vergleich einer Solarthermie-Anlage mit einer Photovoltaik-Wärmepumpe-Anlage kann nicht pauschal erfolgen, sondern bedarf Berechnungen mit klar definierten energetischen und ökonomischen Randbedingungen. Erst in Abhängigkeit dieser Randbedingungen können die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme verglichen und diskutiert werden.

Für einen fairen Vergleich verschiedener Systeme zur Bereitstellung von BWW ist ein auf Simulationen gestützter Technologievergleich auf Systemebene daher ein geeignetes Werkzeug. In der Simulation kann der Einfluss der verschiedenen Parameter untersucht werden und es können daraus allgemeine Trends bezüglich energetischer und ökonomischer Unterschiede der verschiedenen Systeme abgeleitet werden.

2 Methoden

2.1 Definition Basissysteme

Der Technologievergleich basiert auf Systemen für die solare Erwärmung von BWW, wie sie heute in der Schweiz in Einfamilienhäusern zum Einsatz kommen. Bei der Definition der zu vergleichenden Systeme wurden die technischen Parameter so gewählt, dass sie den am häufigsten installierten Systemen möglichst entsprechen. Neben den Systemen mit Solarenergienutzung wurde auch ein System ohne Solarenergienutzung untersucht. Dieses stellt das fossile Referenzsystem dar und ermöglicht den direkten Vergleich von Systemen mit und ohne erneuerbarem Anteil in der Bereitstellung von BWW. Für den Technologievergleich wurde somit ein Basissystem (BS1) ohne solaren Anteil und drei Basissysteme (BS2-BS4) mit solarem Anteil definiert (Abb. 1).

2.2 Technische Modellgrundlagen und Randbedingungen der Systemvarianten

Für die Simulationen wurde ein mit dem Programm ‘DHWcalc’ erzeugtes Zapfprofil für BWW verwendet. Für die Photovoltaik wurde ein Modulwirkungsgrad von 15 % angenommen und für die Solarthermie wurden die Effizienzparameter als Mittelwert von verschiedenen Flachkollektoren gebildet. Für den Abgleich der Modelle von Wärmepumpen wurden COP-Messwerte (COP: ‘Coefficient of Performance’ = Leistungszahl von Wärmepumpen) aus *NTB* (2013) verwendet. Für die Berechnung der nicht erneuerbaren Primärenergie (NEP) wurden die Gewichtungsfaktoren von 2.88 für Strom und 1.19 für Gas gewählt.

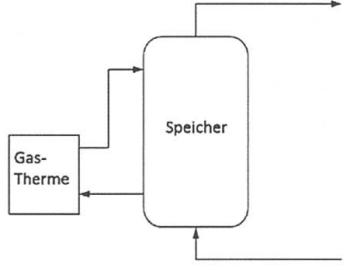
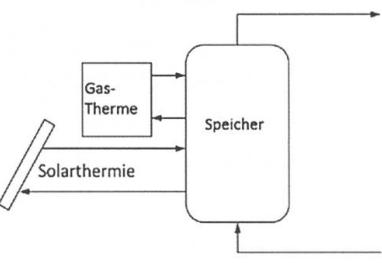
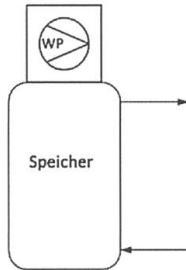
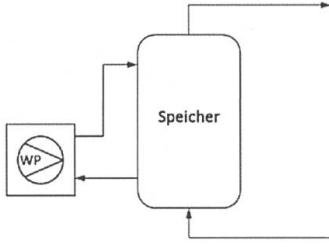
BS1: Gastherme (GT) Speicherinhalt 300 l 	BS2: Solarthermie (ST) Flachkollektor mit Bruttokollektorfläche 5 m ² Speicherinhalt 450 l Nachheizung mit Gas 
BS3: Wärmepumpenboiler (WPB) Speicherinhalt 300 l, Photovoltaik-Modulfläche von 5 m ² (0.75 kWp) 	BS4: Luft-Wasser Wärmepumpe Kompaktgerät (LW-WP) Speicherinhalt 300 l, Photovoltaik-Modulfläche von 5 m ² (0.75 kWp) 

Abb. 1 Für den Vergleich wurde ein Basissystem (BS1) ohne solaren Anteil (Gastherme [GT]) und drei Basissysteme (BS2-BS4) mit solarem Anteil definiert (Solarthermie [ST], Wärmepumpenboiler [WPB], Luft-Wasser-Wärmepumpe-Kompaktgerät [LW-WP]). Die Systeme mit solarem Anteil benötigen eine zusätzliche Energiequelle für die Heizung des Speichers. Dies für den Fall, dass die Solarenergie während Schlechtwetterperioden nicht ausreicht, um den BWW-Bedarf bereitzustellen. Deshalb wird in BS2 eine Gastherme, die auch die Heizenergie für das Gebäude liefert, als zusätzliche Energiequelle verwendet. Bei Systemen mit Photovoltaik und Wärmepumpe (BS3 und BS4) gibt es kein separates System für Zusatzenergie. Für den Fall, dass der von der Photovoltaik gelieferte Strom den Bedarf des Wärmepumpenboilers innerhalb eines definierten Bilanzierungszeitraums nicht decken kann, wird der fehlende Strom aus dem Netz bezogen. Die in BS4 verwendete Wärmepumpe wird neben der Bereitstellung von BWW auch für die Erzeugung von Heizwärme eingesetzt.

In der Simulation wurden folgende Parameter variiert: Ausrichtung der Solarthermie und Photovoltaik (optimal, Südfassade, Westdach), Warmwassertemperatur im Speicher (50 °C, 60 °C), Wetterdaten (Messdaten, Modelldaten) und die Berücksichtigung von Wärmeklau beim Wärmepumpenboiler.

2.3 Bilanzierungszeitraum

Um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen Solarwärme und Photovoltaik zu erreichen, wurden Bilanzierungszeiträume (Stunde, Tag, Woche, Monat, Jahr) definiert, welche die Anrechenbarkeit von mit Photovoltaik erzeugter elektrischer Energie an die Deckung des Bedarfs der Wärmepumpe limitieren. Ein Bilanzierungszeitraum von einem Jahr liefert für den Systemvergleich kei-

ne aussagekräftigen Ergebnisse, da in diesem Falle davon ausgegangen wird, dass im Stromnetz beliebig Flexibilität oder Speicherkapazität zum Ausgleich von Photovoltaik-Überschuss im Sommer und Wärmepumpen-Bedarf im Winter gratis zur Verfügung steht.

Die Wahl des Bilanzierungszeitraums ist nur für Systeme mit Photovoltaik und Wärmepumpe relevant. Innerhalb eines Bilanzierungszeitraums wird der von der Photovoltaik produzierte Strom mit dem von der Wärmepumpe bezogenen Strom verrechnet. Die Netto-Elektrizitätsbezüge (Verbrauch minus Produktion aus Photovoltaik) innerhalb der Bilanzierungszeiträume werden über den Betrachtungszeitraum von einem Jahr zusammengefasst und als Summe dargestellt. Wird innerhalb des Bilanzierungszeitraums eine Netto-Elektrizitätsproduktion erreicht (Produktion aus Photovoltaik grösser als Bedarf) so wird dieser Überschuss für die Berechnung des NEP-Bedarfs verworfen und nicht mit Netto-Elektrizitätsbezügen aus anderen Bilanzierungszeiträumen verrechnet.

2.4 Wärmeklau

Wärmepumpenboiler verwerten die Wärme aus der Raumluft des Aufstellungsraumes. Der Begriff "Wärmeklau" definiert diesen Vorgang, bei dem vom Heizsystem produzierte Wärme über die Raumluft durch den Wärmepumpenboiler genutzt wird, um BWW zu erwärmen. Die Wärme wird somit dem Heizsystem "geklaut". Für ihre energetische Effizienz ist es daher bedeutsam, woher diese Wärme ursprünglich stammt.

Für die Simulationen wurde angenommen, dass bei einer Aussentemperatur $< 15^{\circ}\text{C}$ sämtliche vom Wärmepumpenboiler benötigte Wärme dem Heizsystem entnommen respektive "geklaut" wird. Dies entspricht einem Worst-Case-Szenario für den Wärmepumpenboiler. In den Resultaten sind daher die Varianten mit 100 % (mit) und 0 % (ohne) Wärmeklau als Extremwerte dargestellt.

2.5 Wirtschaftliche Randbedingungen der Systemvarianten

Die Analyse der Wirtschaftlichkeit erfolgt entsprechend der Zielgruppe des vorliegenden Projekts mit einer volkswirtschaftlichen Perspektive. So wurden eher tiefe Zinssätze verwendet und keine Finanzhilfen der öffentlichen Hand berücksichtigt. Im Projekt 'SolVar-BWW' wurde daher ein Ansatz der Wirtschaftlichkeitsanalyse gewählt, der sich stark auf Parametervariationen abstützt. Für jeden Parameter, der die Kosten beeinflusst, wurde deshalb eine Bandbreite festgelegt. Das Band definiert sich dabei über einen Standardwert im Sinne einer bestmöglichen Schätzung, sowie jeweils ein tiefes und ein hohes Niveau. Die Kostenentwicklung wird für die Zeitpunkte 2013, 2020 und 2025 abgeschätzt.

Eine Herausforderung beim wirtschaftlichen Vergleich stellt die realistische Anrechnung der Kostenanteile zwischen BWW und Raumheizung dar. Diese variieren bei Gebäuden mit unterschiedlichen energetischen Standards.

3 Ergebnisse

3.1 Primärenergiebedarf

Aus den vier Basissystemen wurden – in den Systemen mit Photovoltaik oder Solarthermie sowie mit und ohne Wärmeklau beim Wärmepumpenboiler – durch Variation der Ausrichtung der Solarkollektoren 13 Varianten generiert (Abb. 2). Der jährliche Endenergiebedarf im Betrieb setzt sich

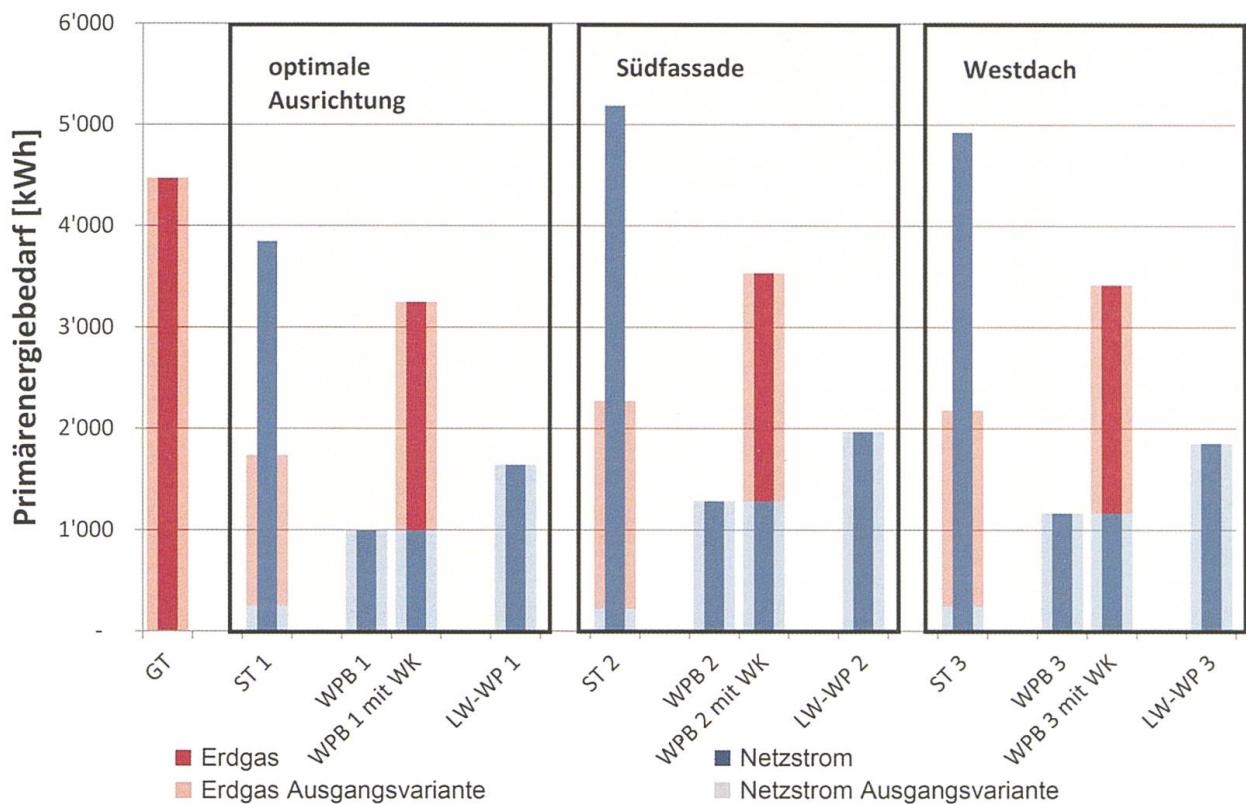


Abb. 2 Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der verschiedenen Varianten der Basissysteme (siehe Abb. 1) bei Speichertemperatur 50 °C und Wetterdaten von 2013. Der Bilanzierungszeitraum entspricht einem Tag, der Betrachtungszeitraum einem Jahr. Daher wurde jeweils über 24 Stunden der Ertrag der Photovoltaik mit dem Bedarf der Wärmepumpe verrechnet. Ein allfälliger Überschuss an Solarstrom im Bilanzierungszeitraum wurde für die Berechnung des NEP-Bedarfs nicht weiter berücksichtigt. Die Ergebnisse der 365 einzelnen Bilanzierungszeiträume wurden addiert und als Jahresbilanz zusammengefasst.

dabei für die einzelnen Varianten je nach System aus Erdgas und/oder elektrischer Energie zusammen. In Abb. 2 wurde der Endenergieeinsatz mit dem nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor gewichtet und in Form des NEP-Bedarfs ausgewiesen.

Aus Abb. 2 ist ersichtlich, dass die Variante mit rein fossiler Gasfeuerung (GT) mit 4'473 kWh klar den höchsten NEP-Bedarf aufweist. Die Nutzung der Solarenergie führt in allen Systemen mit solarem Anteil zu einer deutlichen Reduktion des Bedarfs an NEP. So benötigt der Wärmepumpenboiler (WPB) mit 3'249 bis 3'536 kWh am meisten NEP, falls der Wärmeklau (WK) zu 100 % angerechnet wird und die dafür benötigte Energie aus einer Gastherme stammt. Falls der Wärmeklau nicht berücksichtigt wird, hat das System mit Wärmepumpenboiler mit 994 bis 1'281 kWh den geringsten NEP-Bedarf aller Systeme. Das System mit Solarwärme und Gas-Nachheizung (ST) benötigt mit 1'737 bis 2'272 kWh geringfügig mehr NEP als die Varianten mit Photovoltaik und Luft-Wasser-Wärmepumpe-Kompaktgerät (LW-WP, 1'640 bis 1'976 kWh). Diese Rangfolgen gelten unabhängig von der Ausrichtung der Solarkollektoren, d.h. innerhalb der Basissysteme mit solarem Anteil verändert sich der NEP-Bedarf in Abhängigkeit der Ausrichtung des Solarkollektors ähnlich.

3.1.1 Wärmeklau

Der Wärmeklau ist die entscheidende Grösse für die Beurteilung der Varianten mit Wärmepumpenboiler. Er entscheidet darüber, ob das System mit Wärmepumpenboiler den höchsten oder tiefsten NEP-Bedarf aller solaren Systeme aufweist. Für die Auswertung der Simulationen ge-

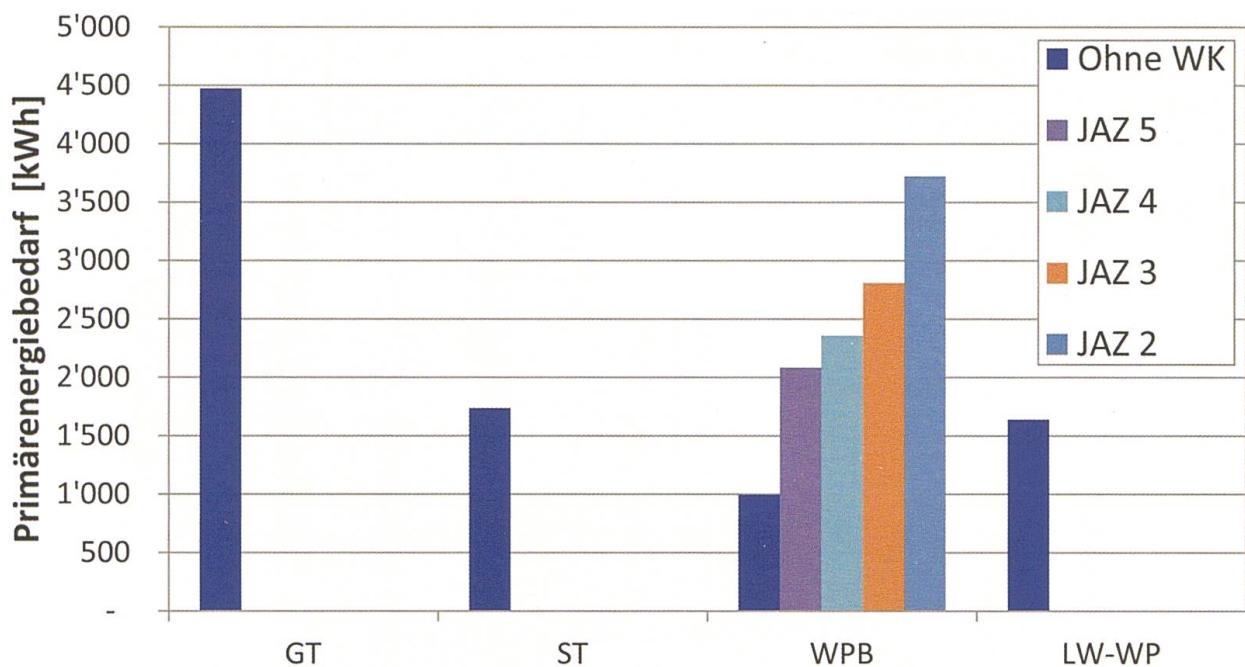


Abb. 3 Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der verschiedenen Basissysteme (siehe Abb. 1) in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe für Raumwärme bei Wärmeklau (WK). Optimale Kollektorausrichtung bei Speichertemperatur 50 °C und Wetterdaten von 2013, Bilanzierungszeitraum 1 Tag.

mäss Abb. 2 wurde angenommen, dass die dem Raum entzogene Wärme mit einer Gastherme bereitgestellt wird. An Stelle von Gas ist aber auch eine Wärmepumpenheizung denkbar, deren Abwärme oder Heizenergie über die Raumluft den Wärmepumpenboiler alimentiert. Dabei ist die gewählte Jahresarbeitszahl (erzeugte Heizwärme geteilt durch den dafür benötigten Strom für den Zeitraum eines ganzen Jahres) dieser Wärmepumpe entscheidend. Abbildung 3 zeigt den Einfluss der Jahresarbeitszahl der Heizungswärmepumpe auf den NEP-Bedarf des Wärmepumpenboilers, wenn wiederum 100 % des Wärmeklaus durch die Heizungswärmepumpe erzeugt wird.

3.1.2 Bilanzierungszeitraum

Für den Vergleich der Systeme hat der gewählte Bilanzierungszeitraum einen entscheidenden Einfluss. Da der Solarstrom-Eigenverbrauch innerhalb der Bilanzierungsperiode für die Berechnung des NEP-Bedarfs vom elektrischen Energiebedarf subtrahiert wird, verringert sich der NEP-Bedarf in den Systemen mit Wärmepumpenboiler und Luft-Wasser-Wärmepumpe-Kompaktgerät mit zunehmendem Bilanzierungszeitraum. In einem kurzen Bilanzierungszeitraum ist die Wahrscheinlichkeit geringer, dass Ertrag aus der Photovoltaik mit einem im selben Zeitraum stattfindenden Verbrauch der Wärmepumpe verrechnet werden kann. Wird der Bilanzierungszeitraum auf mehrere Tage oder gar ein Jahr ausgedehnt, dann kann die gesamte Stromproduktion aus der Photovoltaik mit dem Jahresstromverbrauch der Wärmepumpe verrechnet werden. In der Folge resultiert damit ein tieferer NEP-Bedarf.

3.2 Kosten für Brauchwarmwasser bei Gebäuden

Bei allen Systemvarianten (ausser Wärmepumpenboiler ohne Wärmeklau) muss neben der Installation für die Bereitstellung von BWW auch ein Anteil der Raumheizung dem System zur BWW-Produktion angerechnet werden, da durch diese eine Nachheizung erfolgt. Da die Allokation der Kosten an das Nachheizsystem auf einem pro Systemvariante fixen kWh-Betrag basiert, ist

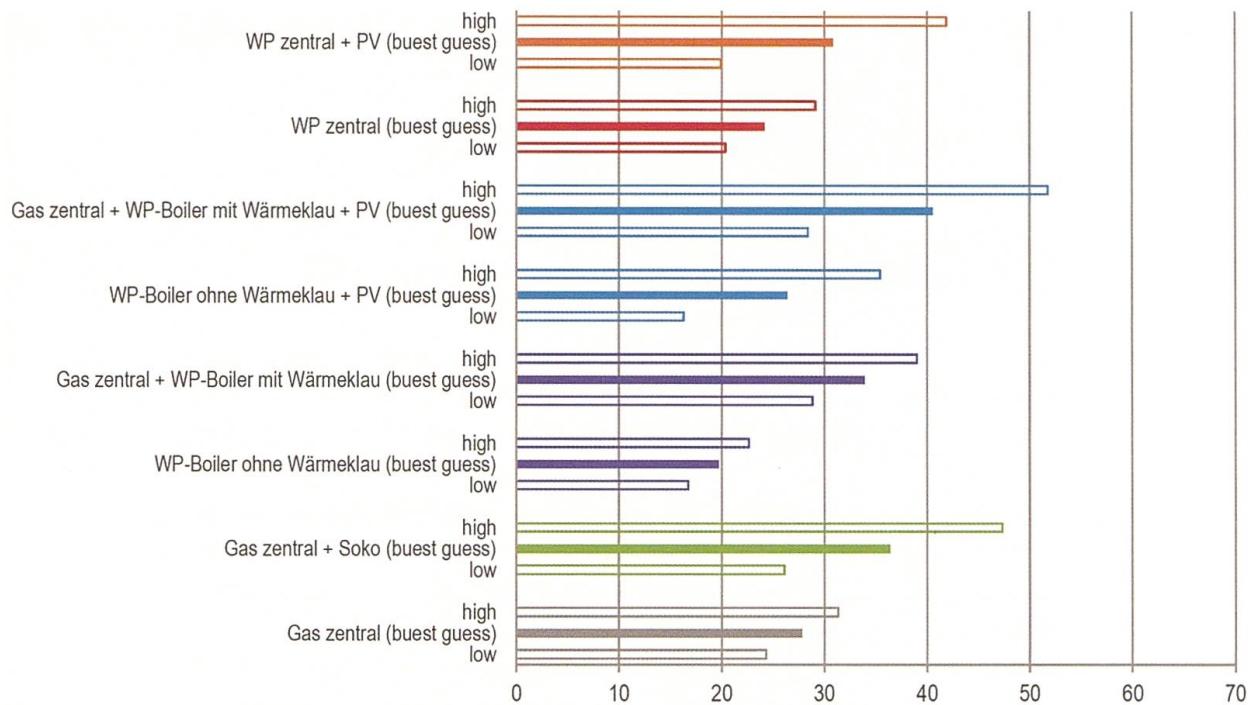


Abb. 4 Gestehungskosten für Warmwasser in Rp. pro kWh gezapftem Warmwasser (Einfamilienhaus, rund 200 m², Gebäudehülle saniert gemäss *EnDK* [2008], Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasser rund 75 kWh/m², Anteil Energiebedarf für Warmwasser rund 20 %).

Fixe Parameter: Investitionszeitpunkt 2013, Kostenanteil Energiebedarf für Warmwasser 20 %, Erdgaspreisanstieg + 1 % pro Jahr, Strompreisanstieg + 0.5 % pro Jahr, Zins 2.5 %.

Variable Parameter (tiefes Niveau/bestmögliche Schätzung/hohes Niveau): Investitionskosten, Unterhaltskosten, Stromrückspeisetarif, Ausrichtung Photovoltaik (PV) bzw. Solarkollektoren (Soko).

die gesamte Energieproduktion des Nachheizsystems entscheidend für die ökonomischen Be- trachtungen. Je grösser die Energieproduktion des Nachheizsystems für z. B. Heizzwecke ist, desto kleiner wird der Anteil, der dem System zur Bereitstellung von BWW angerechnet wird.

In Abb. 4 sind die Gestehungskosten für BWW in einem Gebäude dargestellt, dessen energetische Standard den aktuell geltenden Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (*EnDK* 2008) entspricht.

Unter Berücksichtigung der Kostenbereiche ist der Unterschied der verglichenen Systeme gemäss *Sattler et al.* (2014) eher gering. Bei einer Gebäudehülle nach *EnDK* (2008) liegen die Kosten für das System mit Wärmepumpenboiler und Photovoltaik (inkl. Wärmeklau) und das System mit Luft-Wasser-Wärmepumpe-Kompaktgerät plus Photovoltaik um ca. 10 % tiefer als beim System mit Solarthermie. Bei einer Gebäudehülle nach Minergie-P ist dieser Unterschied bei ca. 15 % für das System Wärmepumpenboiler und Photovoltaik (inkl. Wärmeklau) und 0 % beim System Luft-Wasser-Wärmepumpe-Kompaktgerät plus Photovoltaik.

Das System Wärmepumpenboiler ohne Wärmeklau liefert von allen Systemen mit solarem Anteil das günstigste BWW. Dies ist unter anderem dadurch begründet, dass bei einem System ohne Wärmeklau keine Kostenallokation an ein Heizsystem stattfindet. Denn die Investitionskosten haben von allen Kostenfaktoren die grössten Auswirkungen auf die Gestehungskosten für Warmwasser. Der Rückspeisetarif für Solarstrom zu heute üblichen Ansätzen beeinflusst die Gestehungskosten für Warmwasser hingegen kaum.

4 Diskussion

4.1 Energetische Betrachtung

Der Vergleich auf Basis NEP ist stark abhängig vom gewählten Bilanzierungszeitraum. Es stellt sich daher die Frage nach dem “aussagekräftigsten” Bilanzierungszeitraum. Die Autoren der Studie sind der Ansicht, dass eine Betrachtung auf Tagesbasis (24 h) die sinnvollste Vergleichsbasis darstellt. Dies aus den folgenden Überlegungen:

- Diese Bilanzierung verhindert eine Verschiebung von Photovoltaik-Erträgen von Schön- zu Schlechtwetterperioden oder gar vom Sommer in den Winter. Die Verschiebung wäre erst zulässig, wenn entsprechende Speichertechnologien für Strom im benötigten Umfang zur Verfügung stehen würden.
- Es ist davon auszugehen, dass durch eine Eigenverbrauchsoptimierung der Wärmepumpensteuerung eine hohe Gleichzeitigkeit auf Tagesbasis erreicht werden kann. Dies bedingt eine einfache Steuerung, die die Beladung des Wärmepumpenboilers dann startet, wenn Solarstrom produziert wird.
- Insbesondere bei Betrachtung eines Quartiers mit mehreren Wärmepumpen und Photovoltaikanlagen ist davon auszugehen, dass mit entsprechender Regelung der Anlagen eine relativ hohe Gleichzeitigkeit auf Tagesbasis erreicht werden kann.

Bei einem Bilanzierungszeitraum von einem Tag und unter Berücksichtigung des Wärmeklaus kann kein klarer Vorteil eines der drei Systeme mit solarem Anteil festgestellt werden. Bei Gewichtung mit typischen nicht erneuerbaren Primärenergiefaktoren schneiden die Systeme Solarthermie und Luft-Wasser-Wärmepumpe-Kompaktgerät gleich gut ab, während der Wärmepumpenboiler je nach Anteil Wärmeklau deutlich weniger oder deutlich mehr NEP wie die anderen solaren Systeme benötigt.

Wird der Bilanzierungszeitraum auf eine Stunde verkürzt, schneiden die Varianten mit Solarthermie klar am besten ab, während die Varianten mit Photovoltaik und Wärmepumpe bei einem Bilanzierungszeitraum von einem Jahr klar im Vorteil sind.

Kann ein System ohne Wärmeklau realisiert werden, so ergibt sich ein klarer Vorteil für das System mit Wärmepumpenboiler. Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn für die Wärmepumpe eine ansonsten ungenutzte Wärmequelle mit einem ganzjährigen Temperaturniveau von 15 °C zur Verfügung steht. Dieser Fall dürfte in der Praxis selten auftreten, da die im Einfamilienhaus vorhandenen Abwärmequellen wie Waschmaschine, Tumbler und Tiefkühltruhe nicht ausreichen, um die Energie für den Wärmeklau bereitzustellen.

Das solarthermische System hat einen zusätzlichen Vorteil, wenn hohe Temperaturen im Speicher gefordert sind. Wird im Solarthermie-System hingegen ein Elektro-Einsatz verwendet, so muss deutlich mehr NEP aufgewendet werden als im Falle einer Nachheizung mit Gas (Abb. 2). Vorteile des Systems Luft-Wasser-Wärmepumpe-Kompaktgerät und Photovoltaik kommen nur dann zum Tragen, wenn die Wärmepumpe richtig dimensioniert ist und nicht wesentlich durch elektrische Heizung zur Spitzendeckung oder Legionellenschaltung ergänzt wird.

4.2 Ökonomische Betrachtung

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Studie sind die Kosten für die Bereitstellung von BWW aus den verschiedenen Systemvarianten vergleichbar. Der grösste Einfluss auf die Kosten hat die Bereitstellung von Energie für das Nachheizen im Speicher. In Abhängigkeit des Gebäudedämmstandards wird ein unterschiedlich hoher Raumwärmeverbrauch benötigt, was Einfluss auf die dem BWW-System angerechneten Kosten für die Nachheizung hat.

Eine Ausnahme ist das in der Praxis kaum realisierbare System mit Wärmepumpenboiler ohne Wärmeklau. Da in diesem System per Definition keine Fremdenergie verwendet wird, müssen auch keine Kosten für diese Anlage angerechnet werden. Daher ist das System mit Wärmepumpenboiler und ohne Wärmeklau klar das preisgünstigste.

In der Praxis lässt sich heute das System Wärmepumpe und Photovoltaik auf dem tiefsten der drei dargestellten Preisniveaus realisieren, wenn die Photovoltaikanlage grösser als 5 m^2 ist und unabhängig vom System zur Bereitstellung von BWW realisiert wird. In diesem Fall wären nur die Grenzkosten der für die BWW-Erwärmung erforderlichen zusätzlichen Modulfläche von 5 m^2 einzurechnen. Die Kosten pro kWh Solarstrom sinken dadurch deutlich. Die Ökonomie dieser Variante ist stark abhängig vom erreichbaren Eigenverbrauch im Haushalt einerseits und der erzielbaren Einspeisevergütung andererseits.

5 Fazit

Der Technologievergleich zeigt, dass die Wärmepumpen-Systeme den Solarkollektoren energetisch wie ökonomisch ebenbürtig, unter Berücksichtigung der aktuellen Förderungen sogar vorteilhaft sind. In jedem konkreten Anwendungsfall müssen daher die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme abgewogen werden.

Literatur

- EnDK (Hrsg.) 2008. *Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEN)*. Ausgabe 2008. Konferenz Kantonaler Energiedirektoren, Chur, 1–169. Online verfügbar: www.endk.ch/media/archiv/energiepolitik_der_kantone/muken/MuKEN2008_df.pdf [Eingesehen am 10.10.2016].
- NTB (Hrsg.) 2013. Was bedeutet "Wärmepumpenboiler der Klasse A"? *WPZ-Bulletin* 2013(02).
- Sattler M., Bertsch S., Markstaler M., Kessler S., Sigrist D. & Haller M. 2014. *Technologievergleich solare Brauchwassererwärmung für Einfamilienhäuser. Photovoltaik und Wärmepumpe im Vergleich mit Solarthermie (SolVar-BWW)*. Schlussbericht 12. Dezember 2014. Bundesamt für Energie, Bern, 1–59. Online verfügbar: www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000011248.pdf&name=000000291008 [Eingesehen am 10.10.2016].
- Vogel B. 2015. *Zwei Wege zu solarem Warmwasser*. Bundesamt für Energie, Bern, 1–5. Online verfügbar: www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_619788141.pdf&endung=Zwei%20Wege%20zum%20solaren%20Brauchwarmwasser [Eingesehen am 10.10.2016]

