

viiega

Fachartikel

September 2023

Studie des Fraunhofer ISE

ENERGIEEFFIZIENZ BEI DER WARMWASSER- BEREITUNG



Studie des Fraunhofer ISE zur Energieeffizienz bei der Warmwasserbereitung im Systemvergleich:

NIEDRIGERE TRINKWARMWASSER-SYSTEM- TEMPERATUREN BRINGEN WÄRMEPUMPEN IN DIE BREITE

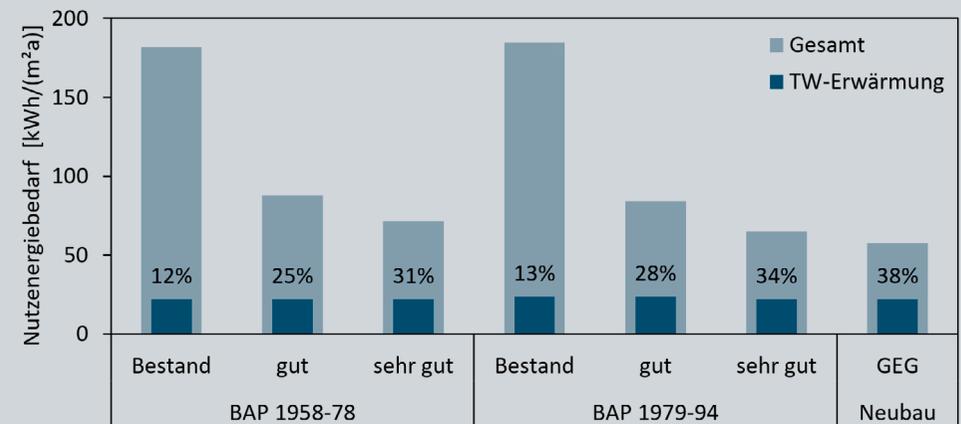
Der prozentuale Energieaufwand für die Warmwasserbereitung ist umso höher, je geringer der Bedarf an Raumwärme – erreicht durch besser gedämmte Gebäudehüllen – ist. Gleichzeitig kann dieser Aufwand für Warmwasser aufgrund der normativ geforderten Systemtemperaturen von 60/55 °C bei zentraler Warmwasserbereitung über Wärmepumpen nur vergleichsweise energieaufwendig abgedeckt werden. Eine Studie des Fraunhofer ISE zeigt, wie groß dieser Temperatur-Effekt im Vergleich unterschiedlicher Trinkwasser-Erwärmungssysteme ist.

Von 2008 bis 2021 ist der gebäuderelevante Endenergieverbrauch um fast zehn Prozent gesunken (Quelle: dena). Vor allem, weil die Gebäude immer besser gedämmt werden; Stichwort: „Effizienzhaus 40“ als geförderter Neubaustandard. Die Reduktion des Energieeinsatzes für Heizwärme führt aber zwangsläufig zu relativ höheren Aufwendungen für die Bereitung von Trinkwasser warm (PWH). Je nach Gebäude und Nutzung macht dieser Anteil mittlerweile fast 40 Prozent des Nutzenergiebedarfs eines Neubaus gemäß Gebäudeenergiegesetz (GEG) aus (siehe Grafik 1). Entsprechend hoch ist das systemspezifische energetische Einsparpotenzial bei der Warmwasserbereitung, da der Wasserverbrauch als solcher durch die Nutzer vorgegeben ist und nur bedingt beeinflusst werden kann.

Die Verringerung dieses Primärenergieeinsatzes ist dabei umso dringender, als über das GEG gleichzeitig der Einsatz regenerativer Wärmeerzeuger mit Nachdruck vorangetrieben wird: Ab 2024 (Stand: Juni 2023) sollen neue Heizungen zu mindestens 65 Prozent regenerative Energien nutzen – beispielsweise in Form von Wärmepumpen. Da die Energieeffizienz dieser Wärmeerzeuger, ausgedrückt in der Jahresarbeitszahl (JAZ; siehe Infobox auf Seite 10), maßgeblich vom Temperaturniveau der abzudeckenden Wärmelasten abhängt, kommt der Art der Warmwasserbereitung eine entscheidende Bedeutung zu. Das belegt eine Studie des Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und des Instituts für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH) der Universität Freiburg am Fallbeispiel eines Mehrfamilienhaus-Neubaus mit 30 Wohneinheiten.

Um eine belastbare Aussage zur unterschiedlichen Energieeffizienz von zentralen beziehungsweise dezentralen Trinkwasser-Erwärmungssystemen in einem solchen, typischen Geschossbau treffen zu können, wurden als verbrauchsrelevante Eckdaten für den Baukörper die Qualität „Neubau nach GEG“ (2.270 m²), für die Raumheizung (Radiatoren mit Vorlauf-/Rücklauftemperaturen von 45/38 °C) ein Energiebedarf von 52,4 kWh/m²a und für die zentrale Trinkwassererwärmung 24,3 kWh/m²a (9,9 kWh/m²a für Zapfung plus 14,4 kWh/m²a für Zirkulationsverluste) angesetzt.

Bereits diese Kennwerte zeigen, wie massiv sich die Warmwasserbereitung auf die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe auswirkt: Rund ein Drittel des gesamten Energieaufwandes muss allein für die Trinkwassererwärmung veranschlagt werden.



Grafik 1: In einem Neubau gemäß Gebäudeenergiegesetz (GEG) macht der energetische Aufwand für die Bereitung von Warmwasser mittlerweile fast 40 Prozent aus. Dies zeigt ein Vergleich von Gebäuden nach Baualterphase (BAP). „Gut“ entspricht dabei einem gemäß GEG sanierten Gebäude, „sehr gut“ steht für ein mit Komponenten nach dem Passivhaus-Standard ausgestatteten Gebäude. (vgl: Vollmer, R., et al. (2021) LowEx-Bestand Analyse –Bericht zu AP 3.1: LowEx-Bestand Referenzgebäude: Geometrie, Bauphysik, Last-Zeitreihen und Sanierungsszenarien)

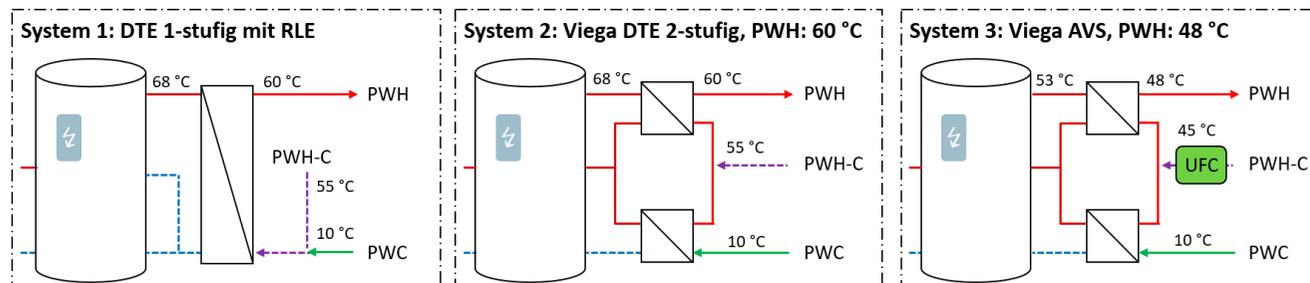
UNTERSUCHTE SYSTEMVARIANTEN

Für einen praxisgerechten Systemvergleich wurden in der Simulationsstudie folgende Varianten der zentralen Trinkwassererwärmung verglichen:

System 1 ist gewissermaßen der Installationsklassiker mit einem **zentralen Pufferspeicher**, einer mit 68 °C beschickten Frischwasserstation (Wärmetauscher) und mit Rücklaufeinschichtung. Gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 551 wurde die Austrittstemperatur PWH mit 60 °C angesetzt, die Warmwasserzirkulation (PWH-C) entsprechend mit 55 °C. Kaltwasser (PWC) fließt als Nachspeisung mit 10 °C in die Berechnung ein.

In **System 2** wurde – bei gleichen Ausgangswerten – zwischen Speicher und Abnahmeseite ein **zweiteiliger Viega Durchfluss-Trinkwassererwärmer** zwischengeschaltet. Der Vorteil: Die PWH-Zirkulation (55 °C) wird je nach Betriebsweise unterschiedlich eingeschichtet. Bei reiner Zirkulation und kleinen Zapfungen wird das Wasser mit relativ hohen Temperaturen in die Speichermitte geführt. Bei großen Zapfungen wird das weiter abgekühlte Wasser in die untere Speicherschicht eingeleitet. Die Umschaltzeit zwischen diesen Betriebszuständen ist entscheidend für die Speicherschichtung, die durch dieses Vorgehen besser erhalten bleibt. Der nachgespeiste, energieaufwendig zu erwärmende Kaltwasseranteil fällt also geringer aus.

System 3 ist wie **System 2** aufgebaut, hat aber **zusätzlich im Bypass von PWH-C eine Ultrafiltration (UFC)**, um ungelöste Nährstoffe und Bakterien wie zum Beispiel Legionellen aus dem Wasser zu filtern. In aktuellen Forschungsprojekten wird untersucht, inwieweit die Systemtemperatur – aufgrund entsprechender Ersatzmaßnahmen, wie Ultrafiltration – am Austritt des Durchfluss-Trinkwassererwärmers energiesparend auf 48 °C abgesenkt werden kann, ohne die Trinkwasserhygiene zu beeinträchtigen. Die Wiedereintrittstemperatur von PWH-C beträgt 45 °C.

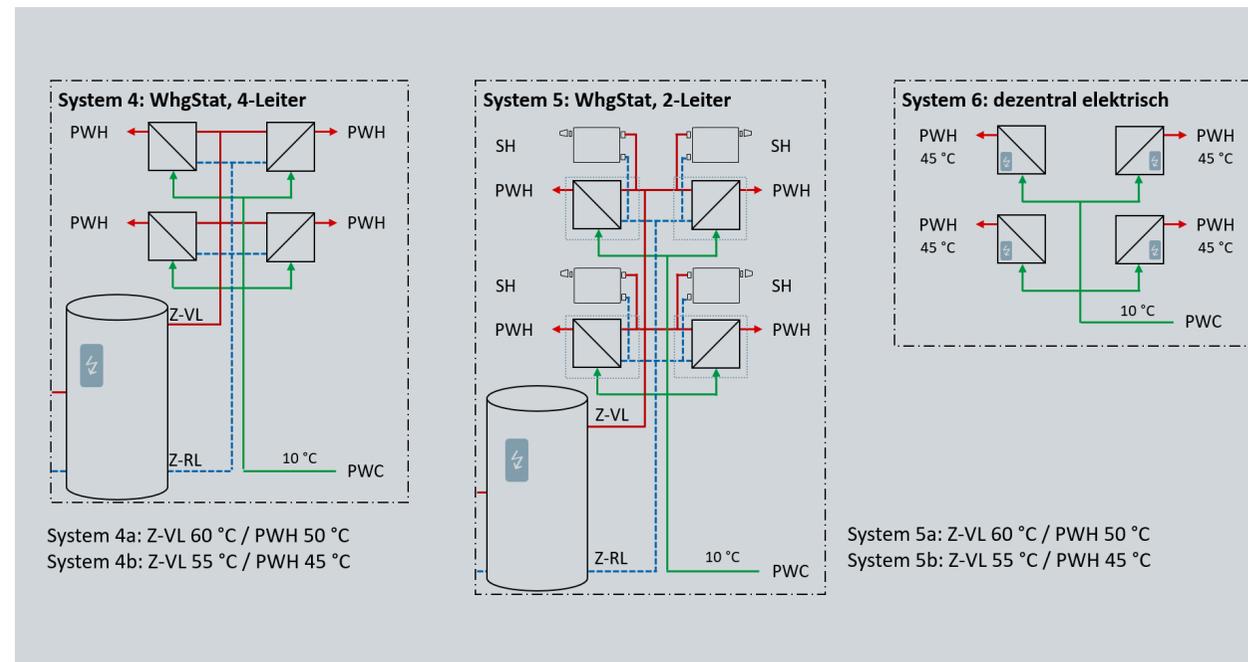


Grafik 2: Im Rahmen der Energieeffizienz-Studie wurden drei Varianten zur zentralen Warmwasserbereitung verglichen: mit einfachem Durchfluss-Trinkwassererwärmer (DTE; li.), mit zweistufigem DTE mit Rücklauf-Einschichtung der Zirkulation (Mi.) und, als Zukunftsvision, zusätzlich mit Ultrafiltration (UFC) zur Reduzierung der Bakterien und der Nährstoffe als Voraussetzung für eine hygienegerechte Absenkung der Systemtemperaturen. (Grafiken: Kropp, M., Lämmle, M. (2023) Technisch-wissenschaftliche Analyse zur Energieeffizienz unterschiedlicher Trinkwasser Erwärmungssysteme im Vergleich, Studie des Fraunhofer ISE, <https://doi.org/10.24406/publica-1731>)

Die **Systeme 4 und 5** wiederum greifen den aktuell im Geschosswohnungsbau vermehrt zu beobachtenden Trend hin zu **dezentralen Wohnungsstationen** auf; einmal als **2-Leiter-**, einmal als **4-Leiter-System**. Als Systemtemperaturen wurde in Variante a) eine PWH-Temperatur von 50 °C bei einer Heizungsvorlauftemperatur von 60 °C angesetzt, in Variante b) eine PWH-Temperatur von nur 45 °C bei einer Heizungsvorlauftemperatur von 55 °C. Letzteres ist aus hygienischen Gründen zwar unzulässig und steht entsprechend im DVGW-Arbeitsblatt W 551 Abschnitt 6.2 („Für Kleinanlagen wird die Einstellung der Reglertemperatur am Trinkwassererwärmer auf 60 °C empfohlen. Betriebstemperaturen unter 50 °C sollten aber in jedem Fall vermieden werden. ...“), entspricht aber häufig den realen Praxisgewohnheiten ...

Systemvariante 6 bezieht sich schließlich auf die Bereitung von PWH durch einen **Elektro-Durchlauferhitzer** mit einer (nach DVGW-Arbeitsblatt W 551 – siehe oben – ebenfalls nicht regelkonformen, aber praxisüblichen) Austrittstemperatur von 45 °C anstelle der aus Gründen des Hygieneerhalts empfohlenen 50 °C, wobei diese Randbedingung keinen Einfluss auf den energetischen Vergleich hat. Die Annahme für die PWC-Temperatur betrug auch hier in allen Fällen 10 °C. Für die Wärmebereitstellung wurden als Berechnungsgrundlage zwei am Markt gängige Luft-Wasser-Wärme-

pumpen ausgewählt. Die „Hochtemperatur-Variante“ (HT) erreicht eine maximale Vorlauftemperatur von 64 °C und hat dabei einen vom Hersteller angegebenen COP von 3,6 (A2/W35). Deutlich niedriger liegt dagegen mit 3,0 (A2/W35) der COP der zweiten Variante, einer Niedertemperatur-Wärmepumpe (NT) mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 58 °C.

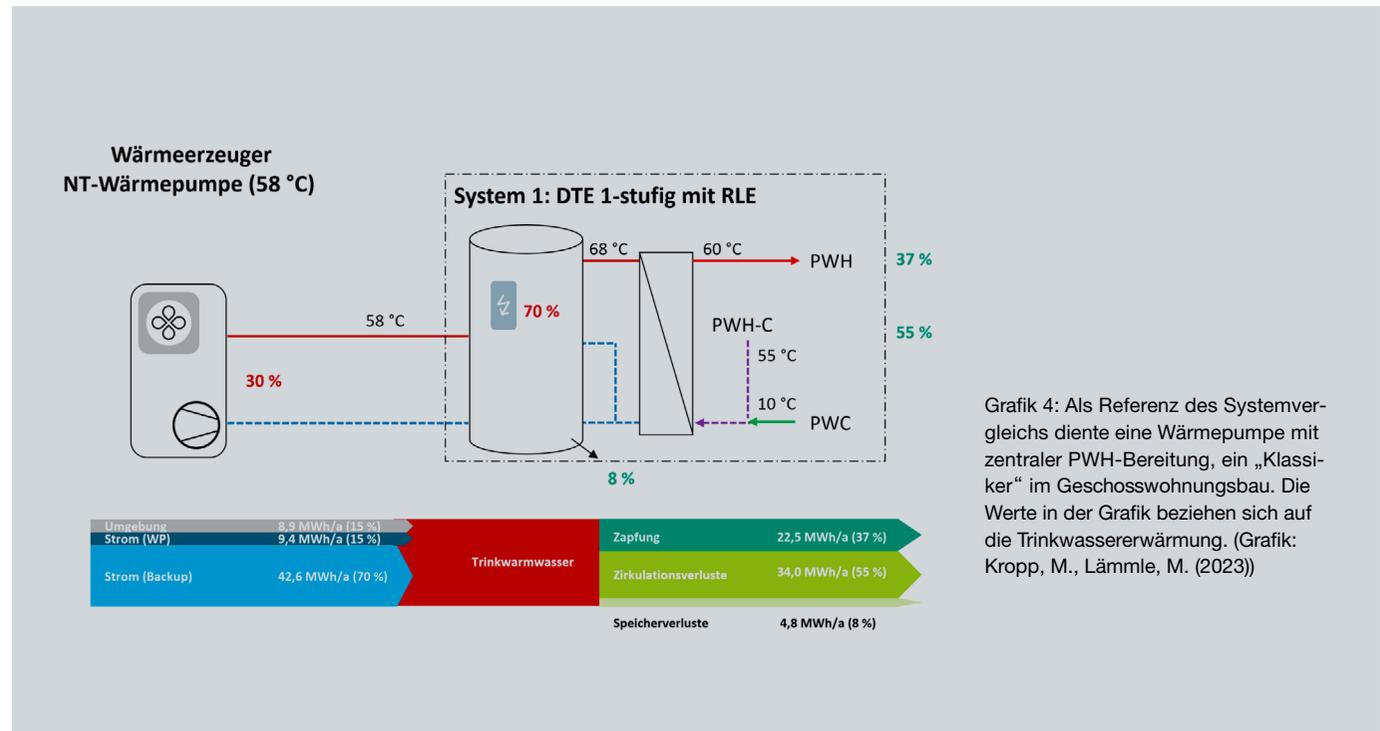


Grafik 3: Als dezentrale Varianten der Warmwasserbereitung wurden diese drei Varianten zur dezentralen Warmwasserbereitung verglichen: Wohnungsstationen einmal als 4-Leiter- und einmal als 2-Leiter-System, jeweils mit PWH 50 °C und 45 °C, sowie Durchlauferhitzer mit PWH 45 °C. (Grafik: Kropp, M., Lämmle, M. (2023))

COP vs. JAZ – Das System entscheidet

Soweit die Theorie. Denn der herstellereitig angegebene COP-Wert ist bekanntlich das eine, die – in der Regel niedriger liegende – JAZ des Systems aber für Investoren wie Verbraucher der wesentlich entscheidendere Wert. Die System-Jahresarbeitszahl beschreibt das Verhältnis von bereitgestellter Wärme zu dem Einsatz von Strom für den Betrieb der Wärmepumpe und des Backup-Heizstabs für ein gesamtes Jahr.

Das bestätigt auch die Studie des Fraunhofer ISE. Besonders deutlich wird dies am Beispiel der aktuell wohl noch gängigsten Referenzanlage, den „Systemen 1 bzw. 2“ mit zentraler Durchfluss-Trinkwassererwärmung: Durch die seitens der Regelwerke eingeforderten, hohen Systemtemperaturen sowie die (damit einhergehenden) Speicher- und Zirkulationsverluste in Höhe von 63 Prozent (!) kommt die JAZ_{SYS} (unter Berücksichtigung der elektrischen Nachheizenergie für den Pufferspeicher) der NT-Wärmepumpe bei 58 °C Vorlauftemperatur und einfachen DTE nur auf 1,9, bei zweistufiger Trinkwassererwärmung auf zumindest 2,0.



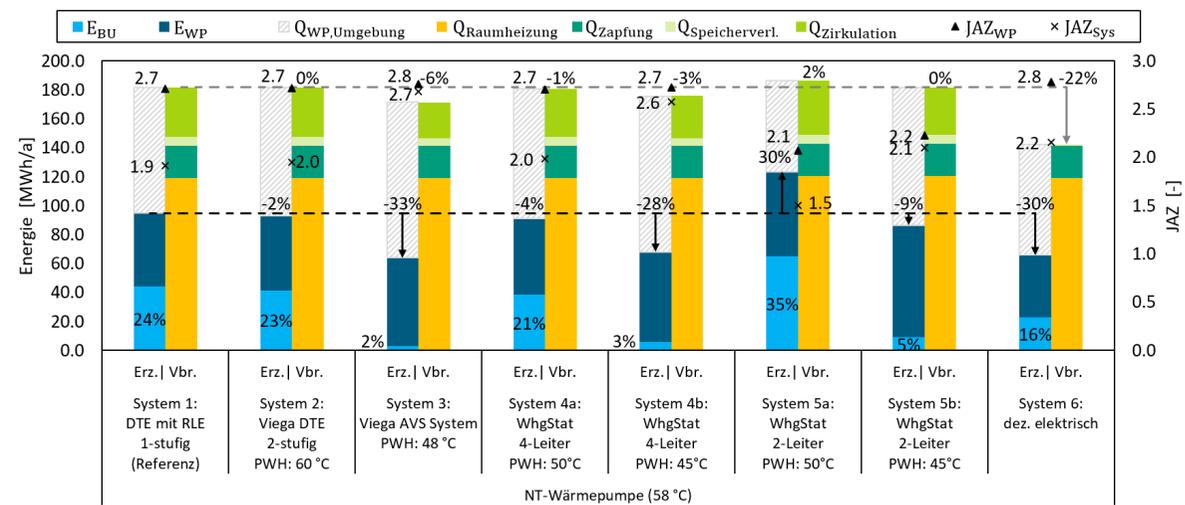
Grafik 4: Als Referenz des Systemvergleichs diente eine Wärmepumpe mit zentraler PWH-Bereitung, ein „Klassiker“ im Geschosswohnungsbau. Die Werte in der Grafik beziehen sich auf die Trinkwassererwärmung. (Grafik: Kropp, M., Lämmle, M. (2023))

Entsprechend interessant gestaltet sich die Frage nach dem Effekt einer Temperaturabsenkung von PWH auf in diesem Fall 48 °C durch den Einsatz einer Ultrafiltrationseinheit, wie es aktuell in Forschungsvorhaben untersucht wird. Die Studie ergab hierdurch eine Energieeinsparung bei der Trinkwassererwärmung in Höhe von etwa 60 Prozent. Die Einsparungen resultieren aus einem höheren COP der Wärmepumpe, einem geringeren Einsatz der elektrischen Speicher-Nachheizung und reduzierten Zirkulations- und Speicherverlusten. Die JAZ_{sys} als Gesamtsystem stieg in der Folge auf 2,7.

Dieser Gewinn an Wärmepumpen-Effizienz ist umso bemerkenswerter, als selbst bei einem grundsätzlichen Verzicht auf eine zentrale Trinkwassererwärmung – also die Installation eines 2- oder 4-Leiter-Systems mit dezentralen Wohnungsstationen – keine vergleichbaren Effekte erreicht werden konnten. Bei 50 °C Zapftemperatur betragen hier die energetischen Einsparungen lediglich drei bzw. sechs Prozent (System 4a und 5a). Wird die PWH-Temperatur hingegen auf 45 °C abgesenkt, schnellen die Einsparungen auch hier auf 48 bzw. 51 Prozent in die Höhe – was einmal mehr die Relevanz des Themas „Temperaturniveau PWH“ unterstreicht (System 4b und 5b).

Im Gegensatz zur zentralen PWH-Bereitung über Systeme mit reduzierter Temperatur und hygieneerhaltenden Ersatzmaßnahmen (wie Ultrafiltration) ist bei Wohnungsstationen eine Absenkung über Zapftemperaturen aber kritisch zu betrachten, da durch vermehrtes Legionellenwachstum unterhalb der 50 °C-Barriere beträchtliche Risiken für die Trinkwasserhygiene entstehen, wie es unter anderem dem DVGW-Arbeitsblatt W 511 zu entnehmen ist. Der Auftraggeber oder Betreiber wäre dann zudem „im Rahmen der Inbetriebnahme und Einweisung über das eventuelle Gesundheitsrisiko (Legionellenwachstum) zu informieren.“

Dass dieses Risiko real besteht, bestätigt im Übrigen eine Untersuchung am Universitätsklinikum Kiel in einer Apartmentanlage mit 84 Wohneinheiten. Die Untersuchungen auf Legionellen ergaben in 54 Prozent der Wohnungen mit – technisch betrachtet: Trinkwarmwasser-Kleinanlagen – Konzentrationen oberhalb des technischen Maßnahmenwertes, in 12 Prozent der Wohnungen sogar oberhalb des Gefahrenwertes von 10.000 KBE/100 ml – unabhängig davon, ob die Apartments leer standen oder bewohnt waren. Selbst bei Temperatureinstellungen am Durchlauferhitzer von

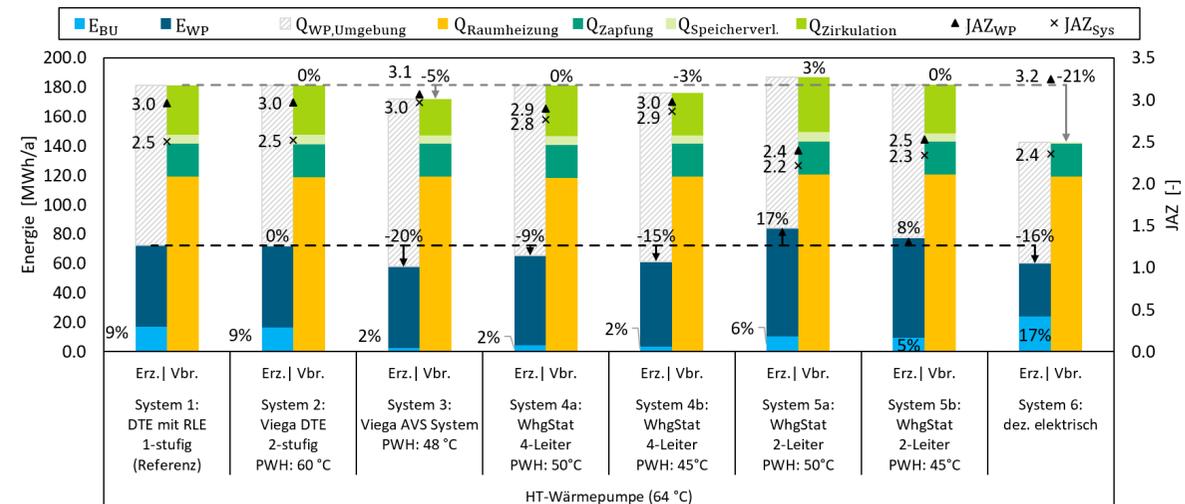


Grafik 5: Simulationsergebnisse der energieeffizienten Trinkwassererwärmung im Vergleich zum Referenzsystem mit einer NT-Wärmepumpe. (Grafik: Kropp, M., Lämmle, M. (2023))

über 50 °C wurden teilweise hohe Belastungen mit Legionellen festgestellt – trotz regelmäßiger Nutzung der Entnahmestellen (Quelle: M. Hippelein, B. Christensen, Hygienische Bewertung dezentraler Trinkwassererwärmer großer Appartementanlagen hinsichtlich mikrobiologischer Verunreinigungen und einer Legionellenkontamination, Zentrale Einrichtung Medizinaluntersuchungsamt und Hygiene, UKSH Kiel, Projektbericht Dezember 2016). Aus Sicht von Hygienikern bestehen ähnliche Risiken auch bei einer elektrischen, dezentralen Trinkwassererwärmung, wenn die Zapftemperatur nur 45 °C beträgt.

In der Betrachtung des Gesamtsystems inklusive Raumheizung liegt die reine JAZ_{WP} der NT-Wärmepumpe im Übrigen sowohl bei den zentralen Systemen zur Trinkwassererwärmung wie bei den 4-Leiter-Systemen zwischen 2,7 und 2,8. Mit 2,2 fällt die JAZ_{WP} allerdings beim 2-Leiter-System deutlich schlechter aus. Die Forscher des Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE führen dies auf die Aufwendungen für Raumheizung zurück, für die relativ gesehen dann höhere Temperaturen bereitgestellt werden müssen.

Ähnlich stellt sich das Gesamtbild dar, wenn die Unterschiede in den Aufwendungen für Trinkwassererwärmung im Systemvergleich betrachtet werden – die Differenzen sind nur aufgrund der höheren Maximaltemperaturen der Wärmepumpen nicht so ausgeprägt, sodass der Anteil des elektrischen Backup-Erheizers deutlich sinkt (siehe Grafik 6).



Grafik 6: Simulationsergebnisse der energieeffizienten Trinkwassererwärmung im Vergleich zum Referenzsystem mit einer HT-Wärmepumpe. (Grafik: Kropp, M., Lämmle, M. (2023))

FAZIT

Solange in den Regelwerken für PWH bei zentraler Trinkwassererwärmung Systemtemperaturen von 60/55 °C gefordert werden, ist die notwendige Leistung über Wärmepumpen nur mit vergleichsweise niedrigen JAZ_{SYS} von 1,9 (NT; max. 58 °C) bzw. 2,5 (HT; max. 64 °C) zu erreichen. Eine vollständige Deckung des Energiebedarfs für die Erwärmung von PWH würde Wärmepumpen-Vorlauftemperaturen von etwa 70 °C voraussetzen, über die dann eine JAZ_{SYS} von 2,8 erzielt würde. Wird hingegen bei zentraler PWH-Bereitung die Warmwasseraustrittstemperatur auf etwa 48 °C – wie bei derzeit laufenden Forschungsprojekten – abgesenkt, ist dies im betrachteten Fall mit einer Reduktion der Wärmeverluste in Höhe von etwa 25 Prozent verbunden. Außerdem steigt bereits bei einer NT-Wärmepumpe die JAZ_{SYS} auf 2,7, da die Wärmepumpe den gesamten Wärmebedarf ohne Backup-Heizstab abdecken könnte.

Eine weiterführende wissenschaftliche Veröffentlichung für das peer-reviewed Journal *Energies* befindet sich derzeit in Bearbeitung. Der Arbeitstitel des Artikels lautet: „Enhancing Heat Pump Performance for Domestic Hot Water Preparation: A Comparative Analysis in Existing Multi-Family Houses“.

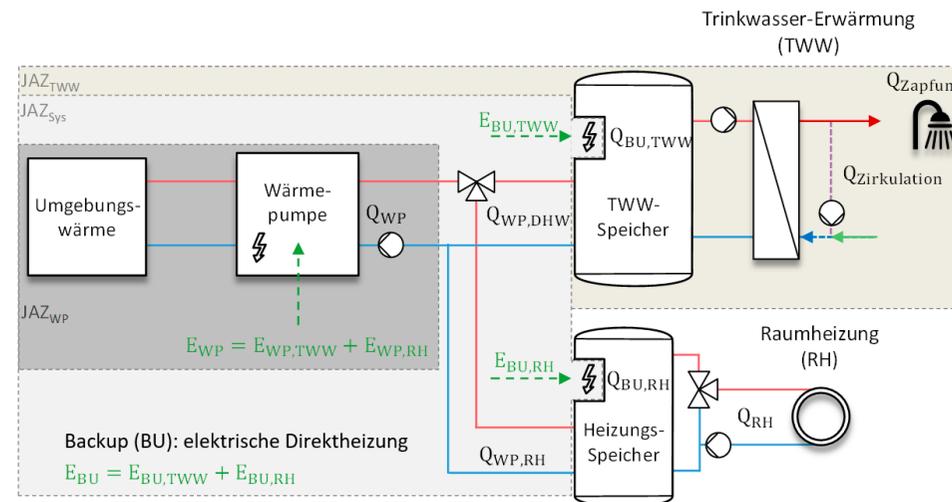
Tabelle: Übersicht der Simulationsergebnisse der Trinkwassererwärmungs-Systeme mit einer NT-Wärmepumpe (Jahreswerte, Werte beziehen sich auf den Trinkwasserbetrieb) (vgl.: Kropp, M., Lämmle, M. (2023))

	SYSTEM	1	2	3	4a	4b	5a	5b	6
$Q_{Zapfung}$	MWh/a	22	22	22	22	22	22	22	22
$Q_{Zirkulation}$	MWh/a	34	34	25	33	29	37	33	-
$Q_{Speicherverluste}$	MWh/a	6,2	6,2	5,2	6,0	5,2	6,4	5,9	-
$Q_{Raumheizung}$	MWh/a	119	119	119	119	119	120	120	119
Q_{WP}	MWh/a	137	140	169	142	170	173	140	120
$Q_{WP,TWW}$	MWh/a	18	21	51	23	53	23	53	-
E_{WP}	MWh/a	51	52	61	53	62	58	78	43
$E_{WP,TWW}$	MWh/a	9,4	10	21	12	22	12	22	-
$Q_{BU}=E_{BU}$	MWh/a	44	42	3	39	6	65	9	23
$Q_{BU,TWW}=E_{BU,TWW}$	MWh/a	43	40	0	37	2,9	38	4,5	22
JAZ_{Sys}	-	1,9	2,0	2,7	2,0	2,6	1,5	2,1	2,2
JAZ_{WP}	-	2,7	2,7	2,8	2,7	2,7	2,1	2,2	2,8
JAZ_{TWW}	-	0,4	0,4	1,1	0,5	0,9	0,4	0,8	1

i

JAZ: Drei Bilanzgrenzen

Ein Trinkwarmwasser-System ist, energetisch gesehen, ebenso komplex wie dynamisch. Um aussagefähige Werte zu erhalten, welche Einflüsse sich wie stark auf die energetische Effizienz des Gesamtsystems Warmwasserbereitung auswirken, wurden die Jahresarbeitszahl (JAZ) in der vorliegenden technisch-wissenschaftlichen Analyse mit drei verschiedenen Bilanzgrenzen ermittelt:



Die Autoren



Dipl.-Ing. Michael Kropp ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH) der Universität Freiburg.



Dr.-Ing. Manuel Lämmle ist Gruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE).



Dr. rer. nat. Christian Schauer ist Director des Kompetenzbereichs Trinkwasser, Corporate Technology bei dem Systemhersteller von Installationstechnik Viega, Attendorn.



Dipl.-Ing. (FH) Fabian Reiter ist Produktmanager Trinkwasser-managementsysteme – DTE/ UFC bei Viega, Attendorn.

Sie möchten
noch mehr wissen?
Tipps & Tricks sowie
weitere Artikel zu
unseren Produkten
und Services finden
Sie auf YouTube
oder unserem Blog.

viega.de/Blog



Viega GmbH & Co. KG

Postfach 430/440
57428 Attendorn
Deutschland

Technische Beratung
Telefon +49 2722 61-1100
service-technik@viega.de

Planungssoftware
Telefon +49 2722 61-1700
service-software@viega.de

viega.de