

Stand: 1. November 2023

Trinkwarmwasserkonzepte für Gebäude mit einer Wärmepumpenheizung

Ad-hoc Papier

Zusammenfassung

Mit der energetischen Sanierung steigt bei Bestandsgebäuden der Anteil der Trinkwassererwärmung am gesamten Gebäudewärmeverbrauch. Gleiches gilt für Neubauten. Dies erfordert, der Effizienz der Trinkwassererwärmung mehr Aufmerksamkeit zu schenken.

Wird zur Beheizung eines Gebäudes eine Wärmepumpe eingesetzt, stellt die Erwärmung von Trinkwasser aufgrund der notwendigen hohen Temperatur oft eine Herausforderung dar, insbesondere in Bezug auf den Schutz gegen Legionellen. Ziel ist es, hohe Wassertemperaturen zur Verfügung zu stellen und die Verweilzeit des erwärmten Wassers im Trinkwassersystem zu reduzieren. Allerdings beeinträchtigen hohe Temperaturen insbesondere bei Wärmepumpen die Effizienz des Gesamtsystems. Insgesamt erfordert die Trinkwassererwärmung eine Verbindung von hygienischen Anforderungen und energetischer Effizienz.

Wird zur Beheizung eines Gebäudes eine Wärmepumpe als Wärmeerzeuger eingesetzt, können für die Trinkwassererwärmung verschiedene Konzepte eingesetzt werden. Grundsätzlich lassen sich die Konzepte zunächst in drei Gruppen einteilen:

- a) die Trinkwassererwärmung durch eine separate Warmwasser-Wärmepumpe,
- b) die anteilige oder vollständige Trinkwassererwärmung mit der vorhandenen Heizungs-Wärmepumpe und
- c) eine direktelektrische Trinkwassererwärmung.

Die effizientesten Ansätze vereinen niedrigere Wassertemperaturen mit gleichzeitig wirkungsvollem Legionellenschutz. Darüber hinaus ist es auch aus Effizienzperspektive vorteilhaft, die Menge an gespeichertem Warmwasser möglichst gering zu halten. Beim Legionellenschutz kann die Ultrafiltration gegebenenfalls künftig einen Beitrag leisten, die Wirksamkeit muss aber noch belegt und die Ultrafiltration als Wasserbehandlungstechnik zugelassen werden.

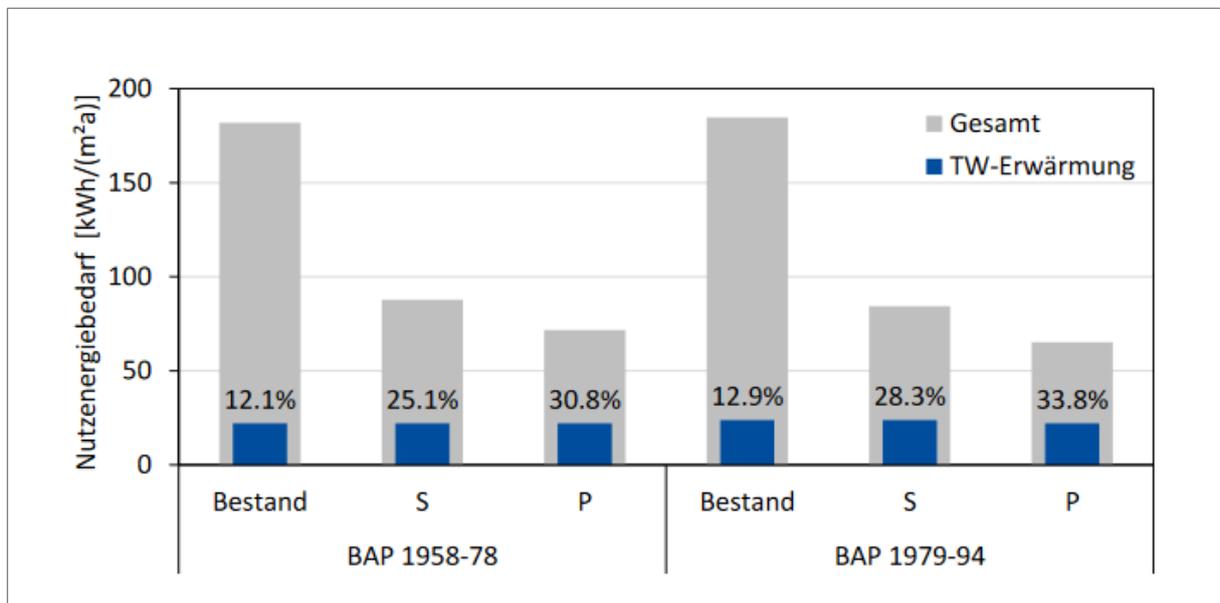
1 Einführung

Die Trinkwassererwärmung in Gebäuden, die mit einer Wärmepumpen-Heizungsanlage betrieben werden, ist eine besondere Herausforderung. Um eine hohe Jahresarbeitszahl erreichen zu können, sind die Systemtemperaturen in Wärmepumpenanlagen in der Regel deutlich niedriger als bei herkömmlichen Gas- oder Ölkesseln (Bürger et al. 2022). Dieser Umstand verleiht dem Schutz vor Legionellen in Heizungsanlagen mit Wärmepumpe eine besondere Bedeutung.

In Forschung und Praxis werden verschiedene Strategien untersucht, um in Wärmepumpenanlagen den Schutz vor Legionellen zu gewährleisten. Stand der Technik ist die Legionellenprävention durch die Gewährleistung eines hohen Temperaturniveaus (gezielte Erwärmung des Warmwassers), um die Vermehrung von Legionellen zu verhindern bzw. Legionellen abzutöten. Technologische Innovationen, wie die Integration von Legionellenfiltern und die Verwendung spezieller hygienischer Beschichtungen in den Trinkwassersystemen, werden erforscht, sind bisher aber (noch) nicht zugelassen.

Mit steigendem Wärmeschutzstandard der Gebäude nimmt der Einfluss der Trinkwassererwärmung auf den gesamten Gebäudewärmeenergieverbrauch zu. Wie Abbildung 1 zeigt, steigt der relative Anteil der Trinkwassererwärmung am Gesamtenergieverbrauch mit zunehmendem Sanierungsgrad. Daher ist es notwendig, den Effizienzpotenzialen der Trinkwassererwärmung mehr Aufmerksamkeit zu schenken.

Abbildung 1: Einfluss des Sanierungsstandes auf den Nutzenergiebedarf und den Anteil der TW-Erwärmung am Gesamtenergiebedarf verschiedener Baualterphasen eines MFH (S: saniert nach GEG; P: saniert mit Bauteilen an Passivhaus angelehnt)



Quelle: Fraunhofer ISE; INATECH - Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; KIT (2023)

In Bestandsgebäuden sind Trinkwarmwasseranlagen häufig weit verzweigt oder nachträglich erweitert worden. Dies kann "Wachstumsnischen" für Legionellen bieten. Zur Kompensation und zum Schutz vor Legionellen erfordert dies wiederum die Anwendung von höheren Vorlauftemperaturen. Im Falle einer Wärmepumpe erhöhen hohe Temperaturanforderungen aus der Trinkwassererwärmung den notwendigen Temperaturhub, den eine Wärmepumpe zu leisten hat. Dies geht zu Lasten der Jahresarbeitszahl. Darüber hinaus sind Zirkulationsleitungen

oft unzureichend hydraulisch abgeglichen und weisen eine mangelhafte Wärmedämmung auf, was den Energieverbrauch für die Trinkwassererwärmung ebenfalls erhöht.

Außerdem hat die Trinkwassererwärmung in Mehrfamilienhäusern eine größere relative Bedeutung als im Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser. Dies liegt zum einen daran, dass bei Mehrfamilienhäusern aufgrund der niedrigeren durchschnittlichen Wohnflächen pro Kopf Warmwasser einen höheren Anteil am gesamten Wärmebedarf ausmacht. Zum anderen kommen Zirkulationsleitungen vor allem in Mehrfamilienhäusern zum Einsatz. Bei Nichtwohngebäuden gibt es je nach Gebäudenutzung deutliche Unterschiede bei den Warmwasserprofilen: Während beispielsweise Krankenhäuser oder Schwimmhallen einen hohen Bedarf haben, ist der Warmwasserbedarf in Produktionshallen vergleichsweise niedrig.

Dieses Papier befasst sich mit Konzepten zur Trinkwassererwärmung in Gebäuden, die mit einer Wärmepumpe beheizt werden. Im Hinblick auf das Ziel einer möglichst effizienten Trinkwassererwärmung werden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Konzepte abgeleitet sowie die verbleibenden Herausforderungen dargestellt.

2 Hygieneaspekte und Legionellenprävention

Legionellen sind gramnegative Bakterien, die in natürlichen Wasserquellen vorkommen und besonders in warmem Wasser gedeihen und wachsen. Unter ungünstigen Umständen können sich Legionellen in Trinkwassersystemen vermehren und beim Einatmen eine schwere Lungenentzündung, die so genannte Legionärskrankheit, verursachen (Buchholz et al. 2022). Um diese potenzielle Gesundheitsgefährdung zu minimieren, sind bei der Trinkwassererwärmung vorbeugende Maßnahmen und sorgfältige Strategien zum Legionellenschutz unerlässlich. Dies gilt natürlich auch beim Einsatz von Wärmepumpen.

Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV)¹ schreibt vor, dass alle Anlagen mit Trinkwasserspeichern mit mindestens 400 Litern Inhalt oder Trinkwasserleitungen, die zwischen dem Abgang des Trinkwassererwärmers und der Entnahmestelle ein Volumen von mehr als 3 Litern aufweisen (sogenannte 3-Liter-Regel; die Zirkulationsleitung wird dabei nicht berücksichtigt) regelmäßig auf das Vorkommen von Legionellen untersucht werden müssen, sofern eine gewerbliche oder öffentliche Nutzung vorliegt. Die TrinkwV verweist darüber hinaus auf die Pflicht zur Einhaltung von allgemein anerkannten Regeln der Technik. Für die Prävention von Legionellenverkeimungen ist insbesondere das DVGW-Arbeitsblatt W 551 zu beachten². Dieses Arbeitsblatt fordert, dass bei Großanlagen (Anlagen mit mehr als 400 Liter Speicherinhalt oder mit Leitungsvolumina größer 3 Liter) am Abgang vom Trinkwassererwärmer bzw. -speicher, Mindesttemperaturen von 60°C einzuhalten sind. An keiner Stelle der Trinkwasserinstallation darf die Warmwassertemperatur um mehr als 5 Kelvin von der Speicheraustrittstemperatur abweichen. Für private Ein- und Zweifamilienhäuser gibt es keine festen Vorschriften, aber es wird empfohlen, eine Temperatur von mindestens 55 °C bis 60 °C zu wählen (Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages 2023). Das Umweltbundesamt empfiehlt ein Temperaturniveau von durchgängig über 55 °C³.

Um einen wirksamen Legionellenschutz zu gewährleisten, wird auch bei Wärmepumpensystemen das Trinkwassersystem in der Regel bei den oben beschriebenen Temperaturniveaus betrieben. Der Legionellenschutz wird dabei also durch ein dauerhaft hohes Temperaturniveau sichergestellt.

Dauerhaft hohe Temperaturen im gesamten Trinkwassersystem (Leitungen und Warmwasserspeicher) sichern einen effektiven Legionellenschutz, gehen aber zu Lasten der Effizienz der Trinkwasserversorgung. Bei Wärmepumpen erfordert die hohe Temperaturanforderung z.B. den Einsatz eines zusätzlichen Elektroheizstabes, eines zweiten Wärmeerzeugers oder einer speziellen Hochtemperatur-Wärmepumpe⁴ (s. Kapitel 3). Muss die Wärmepumpe einen hohen Temperaturhub leisten oder wird ein Heizstab eingesetzt, verringert sich die Jahresarbeitszahl. In Beispielrechnungen im Hauptbericht des Projekts (Guidehouse et al. 2023) reduziert sich beispielsweise die Jahresarbeitszahl (isoliert) für die Trinkwassererwärmung von 3,22 auf 2,19, wenn in einem Typ-EFH das Temperaturniveau des Trinkwassers von 48 auf 60 °C angehoben und gleichzeitig eine Zirkulation betrieben wird. Die geringere Jahresarbeitszahl sowie die höheren Verteilverluste (aufgrund der Zirkulation) führen bei dem betrachteten Typgebäude zu einer Steigerung des Endenergiebedarfs und der Energiekosten um rund 15 %.

¹ Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV)

² DVGW-W-551-Arbeitsblattreihe „Hygiene in der Trinkwasser-Installation“

³ Z.B. <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/haushalt-wohnen/warmwasser#gewusst-wie>

⁴ Hochtemperatur-Wärmepumpen werden als solche bezeichnet, da sie im Vergleich zu „herkömmlichen“ Wärmepumpen (teils deutlich) höhere Temperaturniveaus erreichen.

Für den Legionellenschutz sind alternative Verfahren teilweise in Erprobung (z.B. Ultrafiltration) und werden teilweise auch schon eingesetzt (z.B. Legionellschaltung).

- ▶ Die Ultrafiltration entspricht einer Filterung des Trinkwassers. Dabei werden Schadstoffe und Fremdkörper durch Membranen mit ultrafeinen Poren aus dem Wasser gefiltert (Maschenweite in der Größenordnung 0,01 µm). Die Ultrafiltration soll es ermöglichen, einen wirksamen Legionellenschutz auch bei niedrigeren Temperaturniveaus sicherzustellen. Damit würden sich die Verluste der Warmwasserversorgung verringern. Dies käme insbesondere Wärmepumpen zugute (Korth und Wippermann 2022; Bongs et al. 2023). Die Ultrafiltration wird im Rahmen einiger Forschungsprojekte erprobt.⁵ Für einen möglichen zukünftigen Einsatz der Ultrafiltration liegen allerdings noch keine Nachweise für die Wirksamkeit im Dauerbetrieb vor.
- ▶ Bei einer sogenannten „Legionellschaltung“ wird der Trinkwasserspeicher nicht dauerhaft auf einem hohen Temperaturniveau gehalten, sondern nur periodisch (z.B. einmal am Tag) kurzzeitig auf eine Temperatur oberhalb von 60 °C (z.B. 70 °C) aufgeheizt, verbunden mit dem Ziel, eventuell vorhandene Legionellen abzutöten. Indem die Zeitspanne mit dieser höheren Temperatur auf eine kurze Zeitspanne pro Tag reduziert wird, könnte der Energiebedarf im Vergleich zu kontinuierlich hohen Temperaturen erheblich gesenkt werden (Bundesverband Wärmepumpe e.V. 2019). „Legionellschaltungen“ sind jedoch weder im technischen Regelwerk verankert noch gibt es Nachweise, dass diese Betriebsweise im realen Betrieb wirksam eine Verkeimung mit Legionellen verhindert oder reduziert. Aus diesem Grund erachtet das Umweltbundesamt eine „Legionellschaltung“ als keine sichere Variante des Legionellenschutzes.⁶
- ▶ Die chemische Desinfektion wird ausschließlich nach Unterbrechung der Abgabe von Trinkwasser mit Natriumhypochlorit, Chlordioxid oder Wasserstoffperoxid durchgeführt (DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. 2009). Die erforderlichen Konzentrationen der eingesetzten chemischen Substanzen überschreiten allerdings die zulässigen Maximalkonzentrationen und widersprechen dem Minimierungsgebot der Trinkwasserverordnung, womit diese Schutzmaßnahme für den Normalbetrieb ausscheidet (Bundesministerium für Gesundheit 2023).

⁵ Z.B. das Projekt EnOB: ULTRA-F - Ultrafiltration als Element der Energieeffizienz in der Trinkwasserhygiene unter Leitung der TU Dresden (<https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/forschung/forschungsprojekte/ultra-f>)

⁶ z.B. <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/haushalt-wohnen/warmwasser>

3 Konzepte für die Trinkwassererwärmung (bei Vorhandensein einer Heizungs-Wärmepumpe)

Bei der Trinkwassererwärmung können verschiedene Konzepte eingesetzt werden, wenn eine Wärmepumpe als Wärmeerzeuger für die Heizung verwendet werden soll. Grundsätzlich lassen sich die Konzepte zunächst in drei Gruppen einteilen:

1. Trinkwassererwärmung durch eine separate Trinkwasser-Wärmepumpe
2. Anteilige oder vollständige Trinkwassererwärmung mit der vorhandenen Heizungs-Wärmepumpe
3. direktelektrische Trinkwassererwärmung.

Im Falle von Warmwassersystemen mit Zirkulationsleitungen sind zwei Funktionalitäten zu beachten, die einen effizienten Betrieb von Wärmepumpen erschweren: Zum einen die erstmalige Erwärmung kalten Trinkwassers von 10 bis 15 °C auf 60 °C, zum anderen der Ausgleich der Zirkulationsverluste, d.h. die Erwärmung des Zirkulationsrücklaufs von min. 55 °C Rücklauf (eine weitere Auskühlung wäre nicht zulässig) auf 60 °C.

3.1 Trinkwassererwärmung durch eine separate Trinkwasser-Wärmepumpe

Eine Trinkwasser-Wärmepumpe (oder Warmwasser-Wärmepumpe) ist eine zusätzliche Wärmepumpe nur für die Erwärmung des Trinkwassers; zusätzlich zur WP für die Heizung. Trinkwasser-Wärmepumpen haben häufig einen integrierten Warmwasserspeicher, um eine gewisse Menge warmes Wasser für den Gebrauch vorzuhalten. Je nach Quelle und Einsatz gibt es verschiedene Ausprägungen. Bei Trinkwassertemperaturen von mehr als 60 °C müssen je nach Wärmepumpenmodell eventuell Zusatzheizungen wie Heizstäbe eingesetzt werden (Bundesverband der Heizungsindustrie 2020).

Aus Perspektive der Wirtschaftlichkeit ist bei Trinkwasser-Wärmepumpen die Kombination mit einer PV-Anlage vorteilhaft. Trinkwasser -Wärmepumpen sind ganzjährig in Betrieb und profitieren daher deutlich mehr von der ganzjährigen PV-Erzeugung als Heizung-Wärmepumpen, die hauptsächlich im Winter laufen.

3.1.1 Warmwasser-Wärmepumpe – Umluft

Die Wärmepumpe wird in einem Raum des Gebäudes, z.B. Hauswirtschaftsraum, Heizungs- oder Vorratskeller, aufgestellt und nutzt die Luft im Raum als Wärmequelle (Umluft). Der Bundesverband Wärmepumpe empfiehlt eine Mindestgröße von 15 m³/kW installierter Wärmepumpenleistung (Bundesverband Wärmepumpe e.V. 2019). Die Vorteile dieser Technik liegen in der einfachen Installation und der Möglichkeit der Kühlung und Entfeuchtung von Lagerkellern. Die Wärmequelle hat eine konstant hohe Lufttemperatur. Das System eignet sich besonders für kleinere Gebäude wie Ein- und Zweifamilienhäuser, da dort entsprechende Aufstellräume vorhanden sind und somit ausreichend Warmwasser erzeugt werden kann (Bundesverband Wärmepumpe e.V. 2019). Bei Mehrfamilienhäusern sind infrage kommende Aufstellräume hingegen in der Regel zu klein.

3.1.2 Warmwasser-Wärmepumpe – Abluft

Alternativ kann die Warmwasser-Wärmepumpe auch mit Abluft betrieben werden. Dazu kann die Luft aus Bad, WC, Küche oder anderen Räumen über eine Lüftungsanlage gezielt abgesaugt und als Wärmequelle genutzt werden. Die abgekühlte Abluft kann anschließend ins Freie entlassen werden. Voraussetzung dafür ist eine funktionierende Lüftungsanlage, damit auch die notwendige Zuluft für das Gebäude gewährleistet ist. Dieses System eignet sich besonders für

Niedrigenergie- oder Passivhäuser, die mit einer zentralen Lüftungsanlage ausgestattet sind. In diesem Fall kann die Energie der Abluft noch sinnvoll genutzt werden (Wärmerückgewinnung) und die Abluftwärmepumpe kann aufgrund der hohen Temperatur dieser Wärmequelle effizient betrieben werden. Das Konzept könnte auch in Mehrfamilienhäusern umgesetzt werden, entweder durch den Einsatz dezentraler wohnungsweiser Wärmepumpen (dies erfordert eine Lüftungsanlage für die einzelnen Wohnungen) oder durch die zentrale Nutzung der Abwärme in Verbindung mit einer zentralen Lüftungsanlage für das Gesamtgebäude. Der Nachteil ist, dass die Abluft nur in begrenzten Mengen zur Verfügung steht (Bundesverband Wärmepumpe e.V. 2019).

3.2 Anteilige oder vollständige Trinkwassererwärmung mit der vorhandenen Heizungs-Wärmepumpe

Die für den Heizungsbetrieb vorgesehene Wärmepumpe kann auch zur Trinkwassererwärmung genutzt werden. Dazu existieren grundsätzlich verschiedene Systeme, insbesondere die Einbindung über verschiedene Varianten eines Trinkwasserspeichers oder der Einsatz von Frischwasser- und Wohnungsstationen.

3.2.1 Konzepte mit separatem Trinkwarmwasserspeicher

3.2.1.1 Wärmepumpe mit Trinkwarmwasserspeicher und Elektro-Heizstab

Eine Variante zur Integration der Trinkwassererwärmung ist die Verwendung eines Trinkwasserspeichers, der mit einem elektrischen Heizstab kombiniert wird. In diesem Fall erhitzt die Wärmepumpe wie beim Heizbetrieb Wasser auf ein bestimmtes Temperaturniveau, oberhalb derer ein elektrischer Heizstab anspringt, um den verbleibenden Temperaturhub auf die gewünschte Warmwassertemperatur zu leisten. Der elektrische Heizstab kann entweder in den Speicher oder direkt in die Wärmepumpe integriert werden. Angeboten werden auch Kompaktgeräte, die Wärmepumpe, Trinkwasserspeicher und elektrischen Heizstab innerhalb eines Geräts erfassen. Die Vorteile dieser Konzepte liegen darin, dass mit den hohen Trinkwassertemperaturen gleichzeitig der Legionellenschutz gegeben ist. Allerdings benötigt der Elektroheizstab mehr Energie. Wird der Elektroheizstab direkt in die Wärmepumpe eingebaut, kann er auch zum Heizen verwendet werden, wenn dies zeitweise erforderlich ist (Hönig 2011; Bundesverband Wärmepumpe e.V. 2019).

3.2.1.2 Zweiter Wärmeerzeuger und Trinkwarmwasserspeicher

Vergleichbar dem Konzept mit Heizstab übernimmt bei diesem Konzept die Wärmepumpe nur die Grundlast der Warmwasserbereitung (sie kann damit im effizienten Bereich arbeiten). Für höhere Temperaturen bis 60 °C und darüber wird hier aber kein elektrischer Heizstab sondern ein zweiter Wärmeerzeuger (bspw. Gasbrennwertkessel) eingesetzt. Hierfür gibt es zwei Ausführungsvarianten.

- ▶ Zum einen kann der zweite Wärmeerzeuger über einen externen Wärmeübertrager die Temperatur des (vorerwärmten) Trinkwassers erhöhen.
- ▶ Alternativ kann die Vorlauftemperatur zum Trinkwarmwasserspeicher über eine externe Heizung erhöht werden, indem dieser Wärmeerzeuger mit der Wärmepumpe in Reihe geschaltet wird (Bundesverband Wärmepumpe e.V. 2019; Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH 2014).

Der Vorteil dieses Konzeptes liegt in der Übernahme der Warmwasserspitzen vom zweiten Wärmeerzeuger, so dass die Wärmepumpe im effizienten Niedertemperaturbereich arbeiten und somit eine hohe Leistungszahl erzielen kann (Interessengemeinschaft Energie Umwelt

Feuerungen GmbH 2014) Allerdings geht der zweite Wärmeerzeuger mit zusätzlichen Investitionskosten einher.

Aus Klimaschutzperspektive hat diese Lösung den Nachteil, dass der zweite Wärmeerzeuger THG-Emissionen verursacht, wenn er mit fossilen Brennstoffen betrieben wird. Folglich müsste der zweite Wärmeerzeuger aller spätestens ab 2045 entweder auf einen biogenen oder strombasierten Brennstoff umgestellt werden, um das Gebäudeenergiegesetz einzuhalten.

3.2.1.3 „Hochtemperatur“-Wärmepumpe mit Trinkwarmwasserspeicher

Außerdem besteht die Möglichkeit, anstelle eines zweiten Wärmeerzeugers eine „Hochtemperatur“-Wärmepumpe einzusetzen, die sowohl die Heizwärmeversorgung als auch die Trinkwassererwärmung übernimmt. Hochtemperatur-Wärmepumpen eignen sich vor allem, wenn eine durchgängige Vorlauftemperatur von über 60 °C erreicht werden muss. Sie weisen allerdings aufgrund des höheren Temperaturhubes bei gleicher Wärmequelle eine niedrigere Jahresarbeitszahl auf und eignen sich daher nicht für den Einsatz in der Breite. Herkömmliche Wärmepumpen stoßen an ihre Grenzen, wenn Temperaturen von mehr als 55 °C benötigt werden, da zum einen die Effizienz darunter leidet und aus technischer Sicht, die Verdichtung des Kältemittels an die Grenzen kommt. Für Hochtemperatur-Wärmepumpen existieren verschiedene Varianten (Müller 2023).

- ▶ Die erste Variante ist eine Zweikreis-Hochtemperatur-Wärmepumpe, bei der der erste Wärmepumpenkreislauf wie bei normalen Wärmepumpen verwendet wird, um eine Vorlauftemperatur von ca. 40 °C zu erreichen. Der zweite Kreislauf ist direkt an diesen angeschlossen, wobei der Verdichter des ersten Kreislaufs als Verdampfer des zweiten Kreislaufs fungiert. Dazu arbeitet der zweite Kreislauf mit einem anderen Kältemittel, so dass die Temperatur weiter erhöht werden kann. Außerdem sind der Verdichter und die Ventile für die entsprechenden Drücke geeignet (Müller 2023).
- ▶ Die zweite Variante ist eine sogenannte CO₂-Wärmepumpe. Hier dient CO₂ als Kältemittel. Die Eigenschaften des Gases ermöglichen es, die Vorlauftemperaturen von 35 °C auf bis zu 90 °C zu erhöhen. Aus diesem Grund wird dieser Wärmepumpentyp vor allem in der Industrie eingesetzt, wo industrielle Abwärme oder Kühl- und Abwässer dadurch sinnvoll genutzt werden können (Müller 2023). Der effiziente Betrieb einer CO₂-Wärmepumpe setzt eine niedrige Rücklauftemperatur unter rund 30 °C (Tripelpunkt) voraus, damit CO₂ im Kältekreis kondensieren kann.
- ▶ Eine dritte Variante ist die „Heißgaswärmepumpe“. Eine Heißgaswärmepumpe funktioniert ähnlich wie eine herkömmliche Wärmepumpe, nutzt aber eine Heißgasentnahme. Die Heißgasentnahme bei Hochtemperatur-Wärmepumpen ist ein Verfahren, bei dem Wärme aus dem heißen Gas der Wärmepumpe entnommen wird, bevor es in den Verdampfer zurückkehrt. Über einen zusätzlichen Wärmeübertrager wird das Heißgas mit Temperaturen von mindestens 65 °C ausgekoppelt und zur Erwärmung des Brauchwassers genutzt. Auf diese Weise können hohe Warmwassertemperaturen erreicht werden, ohne die Gesamteffizienz der Wärmepumpe deutlich zu beeinträchtigen (Müller 2023).

Für die Einbindung der Hochtemperatur-Wärmepumpe gibt es im Wesentlichen zwei Systeme. Zum einen werden sie an einen benachbarten Trinkwasserspeicher angeschlossen. Ein zusätzlicher Wärmeerzeuger ist nicht erforderlich. Diese Variante eignet sich besonders für Altbauten und Mehrfamilienhäuser, da nur ein geringer Platzbedarf notwendig ist und hohe Vorlauftemperaturen erreicht werden können. Alternativ kann auch ein Trinkwasserspeicher über einen externen Wärmeübertrager geladen werden. Diese Variante wird als Speicherladesystem bezeichnet. Dieses System kann mit Großwärmepumpen zur Befüllung einzelner dezentraler Speicher genutzt werden. Es entstehen allerdings

Wärmeübertragungsverluste. Hierbei kann auch eine solarthermische Anlage als Unterstützung direkt an den Trinkwasserspeicher angeschlossen werden, um den Energiebedarf der Wärmepumpe zu reduzieren (Bundesverband Wärmepumpe e.V. 2019).

3.2.1.4 Bivalenter Speicher mit solarthermischer Anlage

Auch ein bivalenter Brauchwasserspeicher kann als Speicherlösung eingesetzt werden. In diesem Fall können zwei Wärmeerzeuger direkt an den Trinkwasserspeicher angeschlossen werden, neben der Wärmepumpe z.B. eine solarthermische Anlage. Dadurch wird der Energiebedarf der Wärmepumpe reduziert. Zum Schutz vor Legionellen muss der Speicher auf 60 °C gehalten werden⁷.

3.2.2 Tank-in-Tank-System

Bei einem Tank-in-Tank-System befindet sich ein Trinkwasserspeicher innerhalb eines Pufferspeichers. Der innere Trinkwasserspeicher ist somit vollständig vom Pufferwasser umgeben, wodurch die Wärme automatisch auf das Trinkwasser übertragen wird. Dadurch wird der Platzbedarf reduziert. Allerdings ist das Temperaturniveau des Trinkwasserspeichers in Abhängigkeit von der Temperatur des umgebenden Pufferspeichers begrenzt (Hönig 2011; Bundesverband Wärmepumpe e.V. 2019). Aufgrund der Einbindung des Trinkwasserspeichers in den Pufferspeicher sind Tank-in-Tank-Systeme nur für Gebäude mit einem über das Jahr hinweg durchgängigen Heizwärmebedarf geeignet.

3.2.3 Pufferspeicher mit integriertem Durchflusswasserübertrager

Analog dem Tank-in-Tank-System wird auch hier das Trinkwasser über die Wärme des Pufferspeichers erzeugt, allerdings nicht über einen integrierten Trinkwasserspeicher, sondern über einen Spiralwärmeübertrager. Dieser erwärmt das Trinkwasser nach dem Durchlaufprinzip. Damit wird das Trinkwasser erwärmt, ohne dass eine große Menge gespeichert wird (vergleichbar eines Durchlauferhitzers). Allerdings ist auch hier das Temperaturniveau der Trinkwassererwärmung auf die Temperatur des Pufferspeichers begrenzt (Bundesverband Wärmepumpe e.V. 2019).

3.2.4 Trinkwassererwärmung mittels Frischwasser- oder Wohnungsstationen

Wohnungsstationen zielen darauf ab, das Leitungsvolumen zwischen dem Punkt der Wärmeübertragung an das Trinkwasser sowie der Entnahmestelle möglichst klein zu halten. In einem Mehrfamilienhaus mit Zentralheizung (z.B. einer zentralen Wärmepumpe) werden Frischwasserstationen also in den einzelnen Wohnungen installiert. Die Frischwasserstation entspricht vom Prinzip her einem Wärmeübertrager, in dem Wärme aus dem Pufferspeicher „entnahmenah“ auf das Trinkwasser übertragen wird. Dadurch wird vermieden, dass größere Mengen erwärmten Trinkwasser über längere Zeiträume im Leitungssystem verweilen, was die Legionellenvermehrung begünstigen würde.

In größeren Gebäuden können somit mehrere Wohnungsstationen über den Pufferspeicher mit Wärme versorgt und warmes Trinkwasser erzeugt werden. Wenn das Temperaturniveau nicht ausreicht, kann in den Wohnungen optional ein zusätzlicher elektrischer Durchlauferhitzer installiert werden (Schneider 2021). Ein wesentlicher Nachteil von Frischwasserstationen besteht darin, dass das Heizwasser vor der Frischwasserstation (vergleichbar einer Zirkulationsleitung) auf dem benötigten Temperaturniveau gehalten werden muss, um eine rasche Bereitstellung von warmem Trinkwasser zu gewährleisten (Sawatzki 2021). Dies geht

⁷ Eine „Legionellenschaltung“, bei der das Speichervolumen z.B. mittels eines Heizstabs in regelmäßigen Abständen kurzzeitig auf 60 oder 70°C aufgeheizt wird, erachtet das Umweltbundesamt als keine sichere Variante des Legionellenschutzes, s.o.

mit entsprechenden Verlusten einher, wenn auch auf niedrigerem Niveau als eine klassische Zirkulationsleitung. Gerade für den Sommer eignet sich daher eine solarthermische Ergänzung, also die Bereitstellung des warmen Trinkwassers über einen Kollektor. Alternativ könnte im Sommer auch ein regelbarer elektrischer Durchlauferhitzer eingesetzt werden.

3.3 Direktelektrische Warmwasserbereitstellung

Als Alternative zu Wärmepumpen kann Warmwasser auch elektrisch erzeugt werden. Zur Warmwasserbereitung werden elektrische Durchlauferhitzer oder elektrische Kleinspeicher eingesetzt. Im ersten Fall wird das Wasser in einem Durchlaufsystem elektrisch erwärmt. Im zweiten Fall wird das Warmwasser im Speicher gespeichert und elektrisch erhitzt (Elektroboiler). In Abhängigkeit vom Warmwasserverbrauch können allerdings die Betriebskosten in beiden Fällen sehr hoch ausfallen (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen 2017). Hingegen entfallen Speicher- und Leistungsverluste. Die Sinnhaftigkeit der direktelektrischen Warmwassererzeugung bedarf deswegen jedes Mal einer Einzelfallprüfung. Eine direktelektrische Trinkwassererwärmung ist oftmals dann sinnvoll, wenn zwischen Wärmeerzeuger und Entnahmestelle größere Distanzen zu überwinden sind und gleichzeitig der Warmwasserverbrauch gering ist.

4 Bewertung und Einordnung

Voranstehende Abschnitte beschreiben verschiedene Konzepte zur Trinkwassererwärmung im Falle einer Wärmepumpenheizung. Die Konzepte umfassen dabei Varianten, bei denen die Heizungs-Wärmepumpe auch vollständig oder anteilig die Trinkwassererwärmung übernimmt (anteilig, z.B. in Form einer Vorerwärmung des Trinkwassers, während der restliche Temperaturhub durch einen zweiten Wärmeerzeuger erfolgt) als auch Varianten, bei denen die Trinkwassererwärmung komplett durch einen zweiten Wärmeerzeuger übernommen wird (dies kann auch eine separate Trinkwasser-Wärmepumpe sein). Alle Konzepte sind so ausgelegt, dass ein dauerhafter und wirkungsvoller Legionellenschutz sichergestellt ist.

Die Bewertung erfolgt anhand der beiden Kriterien Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Bei der Effizienz geht es zum einen um die Frage, wie sich die Trinkwassererwärmung auf die Effizienz der Heizungswärmepumpe auswirkt, zum anderen um die Effizienz des gesamten Wärmesystems, in die insbesondere auch die Speicher- und Verteilverluste eingehen. Die Wirtschaftlichkeit umfasst die Investitions- sowie die Betriebskosten.

Die unterschiedlichen Konzepte unterscheiden sich auch im Hinblick auf geeignete Einsatzbereiche. Einige Konzepte sind prinzipiell für alle Gebäudetypen geeignet, andere eignen sich nur für spezielle Einsatzfälle. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, generelle Empfehlungen zu Gunsten einzelner Optionen abzugeben. Vielmehr muss für jeden Einzelfall geprüft werden, welche Art der Trinkwassererwärmung die beste ist. Prüfkriterien sind dabei der Gebäudetyp, die Gebäudegeometrie (u.a. Keller-/Lagerflächen, Dachflächen/-ausrichtung, Lage der Zapfstellen) und -ausstattung (z.B. zentrale Lüftungsanlage ja/nein), der energetische Gebäudestandard (v.a. Systemtemperatur des Heizsystems) und das Profil des Warmwasserbedarfs).

Tabelle 1: Bewertung und Einordnung der Trinkwassererwärmungskonzepte

Konzept	Einsatzgebiete (bezogen auf die Trinkwassererwärmung)	Bewertung
Trinkwassererwärmung durch eine separate zusätzliche Warmwasser-Wärmepumpe - Umluft	Ein- und Zweifamilienhäuser	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Einfache Installation, erfordert allerdings Platzbedarf für zweite Wärmepumpe ▶ Erfordert ausreichend voluminöse Keller- oder Lagerräume -> i.d.R. beschränkt auf Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH) ▶ Unterstützt Kühlung und Entfeuchtung von Keller- oder Lagerräumen ▶ Heizungswärmepumpe kann außerhalb der Heizperiode komplett abgeschaltet werden ▶ Effizienz <ul style="list-style-type: none"> • Profitiert von verhältnismäßig hohem Temperaturniveau der Lager-/Kellerräume (Wärmequelle der Wärmepumpe) • Trinkwassererwärmung von Raumwärmeerzeugung entkoppelt -> keine Beeinträchtigung der Effizienz der Heizungs-Wärmepumpe • Im Falle sehr hoher Temperaturanforderungen erfordert Trinkwasser-Wärmepumpe ggf. Zusatzheizung (z.B. Elektroheizstab); siehe auch unter „Hochtemperaturwärmepumpe“ ▶ Wirtschaftlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Investitionskosten durch zweite Wärmepumpe • Geringere Betriebskosten, da Heizungs-Wärmepumpe auf niedrigerem T-Niveau laufen kann • PV-Eigenerzeugung kann Wirtschaftlichkeit steigern (bei Warmwasser-Wärmepumpe (WW-WP) bessere Korrelation zwischen WW-Entnahme- und PV-Profil)
Trinkwassererwärmung durch eine separate zusätzliche Warmwasserwärmepumpe - Abluft	Ein- und Zweifamilienhäuser (mit zentraler Lüftungsanlage) Mehrfamilienhäuser und NWG (mit zentraler Lüftungsanlage)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Erfordert zentrale Lüftungsanlage (als Wärmequelle der Wärmepumpe) sowie Platzbedarf für zweite Wärmepumpe ▶ Heizungswärmepumpe kann außerhalb der Heizperiode komplett abgeschaltet werden ▶ Effizienz <ul style="list-style-type: none"> • Profitiert von verhältnismäßig hohem Temperaturniveau der Abluft (Wärmequelle der WP) • Trinkwassererwärmung von Raumwärmeerzeugung entkoppelt -> keine Beeinträchtigung der Effizienz der Heizungs-Wärmepumpe • Im Falle sehr hoher Temperaturanforderungen erfordert Trinkwasser-Wärmepumpe ggf. Zusatzheizung (z.B. Elektroheizstab); siehe auch unter „Hochtemperaturwärmepumpe“ ▶ Wirtschaftlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Investitionskosten durch zweite Wärmepumpe • Geringere Betriebskosten, da Heizungs-Wärmepumpe auf niedrigerem T-Niveau laufen kann • PV-Eigenerzeugung kann Wirtschaftlichkeit steigern (bei WW-WP bessere Korrelation zwischen WW-Entnahme- und PV-Profil)

Konzept	Einsatzgebiete (bezogen auf die Trinkwasser- erwärmung)	Bewertung
Trinkwasser- erwärmung durch Heizungs- Wärmepumpe mit Elektro- Heizstab im Trinkwasser- speicher zur Nacherhitzung	Alle Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Leicht umsetzbares Konzept, das sich in fast jedem Gebäude umsetzen lässt ▶ Da Heizungs-Wärmepumpe auch im Sommer die Vorerwärmung des Trinkwassers übernimmt, kann sie außerhalb der Heizperiode nicht abgeschaltet werden (dadurch ggf. häufige Taktung) ▶ Effizienz <ul style="list-style-type: none"> • Nur geringe Beeinträchtigung der Effizienz der Heizungs-Wärmepumpe, da Nacherhitzung des Trinkwassers durch Heizstab erfolgt • Elektroheizstab erhöht den Stromverbrauch des Gesamtsystems der Wärmeerzeugung ▶ Wirtschaftlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Sehr geringe Investitionskosten (Heizstab) • Abh. vom Warmwasserbedarf ggf. hohe Betriebskosten durch Heizstabbetrieb • PV-Eigenerzeugung kann Wirtschaftlichkeit steigern (bei WW-WP bessere Korrelation zwischen WW-Entnahme- und PV-Profil)
Trinkwasserer- wärmung durch Heizungs- Wärmepumpe mit Nacherhitzung durch zweiten Wärme- erzeuger (z.B. Gaskessel)	Alle Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Erfordert Platzbedarf für zweiten Wärmeerzeuger (z.B. Gasbrennwertkessel) ▶ Abhängig vom Brennstoffbedarf des zweiten Wärmeerzeugers (z.B. Erdgas) ggf. zusätzliche THG-Emissionen sowie langfristige Abhängigkeit von entsprechenden Infrastrukturen (z.B. Gasverteilnetz) ▶ Zweiter Wärmeerzeuger kann ggf. das Heizsystem unterstützen ▶ Da Heizungs-Wärmepumpe auch im Sommer die Vorerwärmung des Trinkwassers übernimmt, kann sie außerhalb der Heizperiode nicht abgeschaltet werden (dadurch ggf. häufige Taktung) ▶ Effizienz <ul style="list-style-type: none"> • Nur geringe Beeinträchtigung der Effizienz der Heizungs-Wärmepumpe, da Nacherhitzung des Trinkwassers durch zweiten Wärmeerzeuger erfolgt ▶ Wirtschaftlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Investitionskosten durch zweiten Wärmeerzeuger • Geringe Betriebskosten der Heizungs-Wärmepumpe, da diese auf niedrigerem T-Niveau laufen kann • Betriebskostenrisiken bei zweitem Wärmeerzeuger (z.B. im Hinblick auf die Gas- und CO₂-Preisentwicklung)
Trinkwasser- erwärmung durch Hochtempe- ratur-WP	Alle Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Erreicht höhere Temperaturniveaus als herkömmliche Wärmepumpen ▶ Eignet sich entweder für ungedämmte Gebäude für die Gesamtwärmeerzeugung (Raumwärme und Trinkwasser) sowie bei Wohngebäuden mit niedrigem Heizwärmebedarf für die Trinkwassererwärmung ▶ Da HT-Wärmepumpe auch im Sommer die Trinkwassererwärmung übernimmt, kann sie außerhalb der Heizperiode nicht abgeschaltet werden (dadurch ggf. häufige Taktung)

Konzept	Einsatzgebiete (bezogen auf die Trinkwassererwärmung)	Bewertung
		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Effizienz <ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund des hohem Temperaturhubs geringere Effizienz (JAZ) ▶ Wirtschaftlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Investitionskosten • Aufgrund geringerer Effizienz hohe Betriebskosten (Strom) • PV-Eigenerzeugung kann Wirtschaftlichkeit steigern (bei WW-WP bessere Korrelation zwischen WW-Entnahme- und PV-Profil)
Trinkwassererwärmung durch solarthermische Anlage (bivalenter Speicher)	Ein- und Zweifamilienhäuser	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Einsatz i.d.R. beschränkt auf EZFH (mangels ausreichend großer Dachflächen bei MFH) mit geeigneten Dachflächen (Ausrichtung, Verschattung) ▶ Zusätzlicher Aufwand durch Installation des Kollektors ▶ Heizungswärmepumpe kann außerhalb der Heizperiode komplett abgeschaltet werden ▶ Effizienz <ul style="list-style-type: none"> • Trinkwassererwärmung hauptsächlich durch den Solarkollektor -> keine Beeinträchtigung der Effizienz der Heizungswärmepumpe ▶ Wirtschaftlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Investitionskosten durch Solarkollektor • Geringere Betriebskosten, da Heizungs-Wärmepumpe auf niedrigerem Temperaturniveau laufen kann und Solarkollektor nur geringe laufende Kosten aufweist
Trinkwassererwärmung über Tank-in-Tank-System	Ein- und Zweifamilienhäuser	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Einsatz i.d.R. beschränkt auf EZFH, da Schüttleistung beschränkt ▶ Geringer Platzbedarf, da integriertes Speicherkonzept ▶ Effizienz <ul style="list-style-type: none"> • Temperaturniveau des Trinkwasserspeichers von der Temperatur des umgebenden Pufferspeichers begrenzt -> erfordert ggf. Nachheizung des Trinkwassers oder Heizungs-Wärmepumpe muss dauerhaft hohes Temperaturniveau liefern (zu Lasten ihrer Effizienz) • Keine Wärmeverluste eines separaten Trinkwasserspeichers ▶ Wirtschaftlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Betriebskosten abhängig von erforderlicher Trinkwassertemperatur und ggf. Einsatz weiterer Systeme für eine ggf. notwendige Nacherhitzung

Konzept	Einsatzgebiete (bezogen auf die Trinkwasser- erwärmung)	Bewertung
Trinkwasser- erwärmung über integrierten Durchfluss- wärmeüber- trager	Ein- und Zweifamilien- häuser	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Einsatz i.d.R. beschränkt auf EZFH, da Schüttleistung beschränkt ▶ Geringer Platzbedarf, da integriertes Konzept ▶ Hygienische Trinkwassererwärmung, da keine Speicherung von Trinkwasser ▶ Effizienz <ul style="list-style-type: none"> • Temperaturniveau des Trinkwassers am Speicherausgang von der Temperatur des umgebenden Pufferspeichers begrenzt -> erfordert ggf. Nachheizung des Trinkwassers oder Heizungs-Wärmepumpe muss dauerhaft hohes Temperaturniveau liefern (zu Lasten ihrer Effizienz) • Keine Verluste eines separaten Trinkwasserspeichers ▶ Wirtschaftlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Betriebskosten abhängig von erforderlicher Trinkwassertemperatur und ggf. Einsatz weiterer Systeme für eine ggf. notwendige Nacherhitzung
Trinkwasser- erwärmung über Frischwasser- und Wohnungs- stationen	Mehrfamilien- häuser	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Eignet sich v.a. in Mehrfamilienhäusern ▶ Entnahmenähe Erwärmung des Trinkwassers erlaubt Einstufung als „Kleinanlage“ und damit geringere Temperaturen ▶ Erfordert Installation von Wohnungsstationen (inkl. Platzbedarf) ▶ Hygienische Trinkwassererwärmung, da keine Speicherung von Trinkwasser ▶ Da Wärmepumpe auch im Sommer die Trinkwassererwärmung übernimmt, kann sie außerhalb der Heizperiode nicht abgeschaltet werden ▶ Effizienz <ul style="list-style-type: none"> • Konzept erlaubt Bereitstellung von Trinkwasser auf einem niedrigerem Temperaturniveau -> gewährleistet effizienten Betrieb der Wärmepumpe • Vergleichbar einer Zirkulationsleitung muss Leitungssystem „vor“ der Wohnungsstation dauerhaft auf dem benötigten Temperaturniveau gehalten werden (um rasche Bereitstellung von warmem Trinkwasser zu gewährleisten) -> Verteilverluste sind vorhanden, aber niedriger als bei klassischer Zirkulationsleitung • Keine Verluste eines separaten Trinkwasserspeichers • Evtl. in der Wohnung direktelektrische Nacherhitzung notwendig ▶ Wirtschaftlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Hoher Investitionsaufwand für Wohnungsstationen • Prinzipiell geringere Betriebskosten als WP-Systeme ohne Wohnungsstationen, da Heizungs-Wärmepumpe auf niedrigerem T-Niveau laufen kann, allerdings zusätzliche Kosten zur Kompensation der höheren Verteilverluste und ggf. für Nacherhitzung

Konzept	Einsatzgebiete (bezogen auf die Trinkwasser- erwärmung)	Bewertung
Direktelektrische dezentrale Trinkwasser- erwärmung	Alle Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sinnvoll, wenn größere Distanzen zwischen der zentralen Wärmeerzeugung und der Entnahmestelle überbrückt werden müssen und gleichzeitig der Warmwasserverbrauch niedrig ist. Solche Situationen sind häufig in Nichtwohngebäuden anzutreffen. ▶ Einfache Installation (Durchlauferhitzer oder Elektroboiler) ▶ Da Trinkwasser separat erzeugt wird, kann Heizungs-Wärmepumpe im Sommer abgeschaltet werden ▶ Effizienz <ul style="list-style-type: none"> • Keine Beeinträchtigung der Effizienz der Heizungs-Wärmepumpe, da Trinkwasser separat direktelektrisch erzeugt wird • Entnahmenaher Trinkwassererwärmung minimiert Übertragungsverluste in den Verteilleitungen • Keine Verluste eines separaten Trinkwasserspeichers • Direktelektrische Trinkwassererwärmung erhöht den Stromverbrauch des Gesamtsystems der Wärmeerzeugung ▶ Wirtschaftlichkeit <ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche (geringe) Investitionskosten für Durchlauferhitzer oder Elektroboiler • Eingesparte Investitionskosten für Verteilleitungen • Abh. vom Warmwasserbedarf ggf. hohe Betriebskosten durch direktelektrische Trinkwassererwärmung • PV-Eigenerzeugung kann Wirtschaftlichkeit steigern

Quellenverzeichnis

- Buchholz, U.; Leheld, A.-S.; Brodhun, B.; Jahn, H. J.; Reber, F.; Lewandowsky, M. M.; Schaefer, B.; Gollnisch, C.; Haas, W. (2022): Einfluss der häuslichen Trinkwasser-Installation auf das Risiko, an Legionärskrankheit zu erkranken, Ergebnisse aus der Berliner LeTriWa-Studie und den bundesweiten Meldedaten. In: *Epidemiologisches Bulletin* (35/2022), S. 3–17. DOI: 10.25646/10428.
- Bundesministerium für Gesundheit (2023): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV). Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv_2023/TrinkwV.pdf, zuletzt geprüft am 04.08.2023.
- Bundesverband der Heizungsindustrie (2020): Trinkwassererwärmung mit Trinkwasser-Wärmepumpe und Photovoltaik, Bundesverband der Heizungsindustrie; Bundesverband Wärmepumpe. Bundesverband der Heizungsindustrie (Hg.). Online verfügbar unter https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_73_Trinkwassererwaermeung_mit_Trinkwasser_Waermepumpe_und_Photovoltaik.pdf, zuletzt geprüft am 04.08.2023.
- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2019): Leitfaden Trinkwassererwärmung. Bundesverband Wärmepumpe e.V. (Hg.). Online verfügbar unter https://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bcpagflip/BWP_LF_TWW_2019_02.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2023.
- Bürger, V.; Braungardt, S.; Miara, M. (2022): Durchbruch für die Wärmepumpe. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-04_DE_Scaling_up_heat_pumps/A-EW_273_Waermepumpen_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 19.07.2023.
- DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (2009): Desinfektion von Trinkwasser-Installationen zur Beseitigung mikrobieller Kontaminationen, Information des DVGW zur Trinkwasser-Installation. DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/twin05-0904.pdf>, zuletzt geprüft am 04.08.2023.
- Fraunhofer ISE; INATECH - Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; KIT - Karlsruher Institut für Technologie (Hg.) (2023): Bongs, C.; Wapler, J.; Dinkel, A.; Miara, M.; Auerswald, S.; Lämmle, M.; Hess, S.; Kropp, M.; Eberle, R.; Rodenbücher, B.; Schmidt, F.; Ruppert, M.; Carbonare, N. et al. Abschlussbericht LowEx-Bestand Analyse, LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden. Online verfügbar unter http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2023/03/Abschlussbericht_LiB.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2023.
- Guidehouse; Öko-Institut; Prof. Klinski (2023): Wärmepumpensysteme in Bestandsgebäuden (noch nicht veröffentlicht, dann verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>)
- Hönig, C. (2011): Trinkwassererwärmung mit Wärmepumpen. In: *TGA-Fachplaner* (02. 2011), S. 26–31. Online verfügbar unter <https://wp-opt.de/tga-2011-02.pdf>, zuletzt geprüft am 01.08.2023.
- Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH (2014): Bivalente Wärmepumpensysteme, Bundesindustrieverband Deutschland, Haus- Energie- und Umwelttechnik. Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.bdh->

industrie.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_57_Bivalente_Waermepumpensysteme.pdf, zuletzt geprüft am 04.08.2023.

Müller, A. (2023): Ist eine Hochtemperatur-Wärmepumpe für Altbauten sinnvoll? DAA GmbH (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.heizungsfinder.de/waermepumpe/hochtemperatur>, zuletzt geprüft am 04.08.2023.

Sawatzki, J. (2021): Entwicklung und Bewertung von Konzepten zur Integration von wärmenetzgespeisten Trinkwasserstationen anstelle von elektrischen Durchlauferhitzern in Bestandsgebäuden. Bachelorarbeit, betreut von Röben, Jürgen; Krassowski, Joachim, Fraunhofer UMSICHT, Hochschule Ruhr West. Bottrop, 2021, zuletzt geprüft am 04.08.2023.

Schneider, A. (2021): Hygienische Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen. In: *Moderne Gebäudetechnik* (6/2021). Online verfügbar unter https://www.tga-praxis.de/sites/default/files/public/data-fachartikel/MGT_2021_06_Hygienische-Warmwasserbereitung-mit-Waermepumpen_20-21_1.pdf, zuletzt geprüft am 04.08.2023.

Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen (Hg.) (2017): Kleinertz, B.; Dufter, C.; Greif, S.; Conrad, J. Energieeinsparpotenziale durch die Optimierung bestehender Trinkwassersysteme, Betrachtung von Mietwohnungen und Einfamilienhäusern mit zentralem und dezentralem System. Online verfügbar unter https://www.verbraucherzentrale.nrw/sites/default/files/migration_files/media249649A.pdf, zuletzt geprüft am 04.08.2023.

Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2023): Warmwassertemperatur zur Vermeidung von Legionellenwachstum in Wohngebäuden, Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung. Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/resource/blob/947272/cc7cce64da5a0983382949ac996e72ff/WD-8-021-23-pdf-data.pdf>, zuletzt geprüft am 01.08.2023.

Weitere verwendete Literatur

Bäcker, C. (2016): Die Technik der Trinkwassererwärmung - ein Überblick -. Hg. v. FH Münster. Online verfügbar unter https://www.fh-muenster.de/egu/downloads/seminar_symposium_workshop/2016/01_-_Baecker_-_Technik_der_Trinkwassererwaermung_2016.pdf, zuletzt geprüft am 04.08.2023.

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE; INATECH; KIT (2022): LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden ("LowEx-Bestand Analyse"). Online verfügbar unter http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2023/03/Abschlussbericht_LiB.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2023.

Kropp, Michael; Hörnle, Oliver; Hess, Stefan; Wapler, Jeanette; Lämmle, Manuel (2020a): Einfluss der Trinkwarmwasser-Systemvariante auf die Performance von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern. Hg. v. INATECH - Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und Fraunhofer ISE. Online verfügbar unter http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2021/01/DKV_Vortrag_Kropp.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2023.

Luka, Jürgen; Bohn, Christian (2019): Ein simulationsbasiertes Verfahren für den Effizienzvergleich von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern. Hg. v. Fakultät für Mathematik/Informatik und Maschinenbau, Technische Universität Clausthal. Online verfügbar unter https://dokumente.ub.tu-clausthal.de/servlets/MCRFileNodeServlet/clausthal_derivate_00000753/TR_FAC3-1901_01.pdf, zuletzt geprüft am 10.08.2023.

Marjanovic, Matija (2014): Normgerechte Trinkwassererwärmung mittels Wärmepumpen. Diplomarbeit. Hochschule Mittweida University of Applied Sciences, Mittweida. Fakultät

Maschinenbau/Gebäudetechnik. Online verfügbar unter https://monami.hs-mittweida.de/frontdoor/deliver/index/docId/6102/file/Diplomarbeit_Matija+Marjanovic_32270_Normgerechte+Trinkwassererw%c3%a4rmung+mittels+W%c3%a4rmepumpen.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2023.

Nolte, Ralf Rainer (2022): Trinkwassererwärmung und Wärmepumpentechnologie. Hg. v. Stiebel Eltron. Online verfügbar unter https://www.fh-muenster.de/egu/downloads/seminar_symposium_workshop/2022/07_-_Nolte-_Trinkwassererwaermung_und_Waermepumpentechnologie.pdf, zuletzt geprüft am 10.08.2023.

Paschotta, Rüdiger (2023): Frischwasserstation, Wärmeübertrager, Pufferspeicher, Legionellen, dezentrale Warmwasserbereitung. Hg. v. RP-Energie-Lexikon. Online verfügbar unter <https://www.energie-lexikon.info/frischwasserstation.html>, zuletzt geprüft am 04.08.2023.

Prof. Oschatz; Prof. Hartmann; Dr. Werdin; Prof. Felsmann (2014): Energetische Bewertung einer Wärme- und Warmwasserversorgung mit Wohnungsstationen. Hg. v. Oventrop GmbH & Co. KG. ITG Institut für Technischen Gebäudeausrüstung Dresden. Online verfügbar unter https://www.ventrop.com/Pools/Files/file/de/Energetische_Bewertung_Wohnungsstationen_11671645-aca2-4065-85d6-8994235daae9.pdf, zuletzt geprüft am 10.08.2023.

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet:
www.umweltbundesamt.de
[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

Autorenschaft

Marc Stobbe, Dr. Veit Bürger, Benjamin Köhler
Öko-Institut e.V.

Redaktion

Umweltbundesamt, Fachgebiet V 1.4
Energieeffizienz, Jens Schuberth

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Stand: November 2023