



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Effiziente Trennung der Wärmeerzeugung für Heizung und Trinkwarmwasser im Wohnungsbau

BBSR-
Online-
Publikation
113/2024

von

Bert Oschatz
Bettina Mailach
Jens Rosenkranz



Effiziente Trennung der Wärmeerzeugung für Heizung und Trinkwarmwasser im Wohnungsbau

Das Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) durchgeführt.

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 2 „Energieeinsparung, Klimaschutz“
Melanie Bart
melanie.bart@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Forschung und Anwendung GmbH, Dresden
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz (Projektleiter)
oschatz@itg-dresden.de
Dipl.-Ing. Bettina Mailach
mailach@itg-dresden.de
Dipl.-Ing. (FH) Jens Rosenkranz
rosenkranz@itg-dresden.de

Stand

Stand: April 2024
Stand der Berechnungen: November 2022

Bildnachweis

Titelbild: Viessmann Werke GmbH & Co KG
Bosch Thermotechnik GmbH: S. 31; clage.de: S. 37; Oventrop GmbH & Co. KG: S. 35;
PEWO Energietechnik GmbH, Elsterheide: S. 36; Viessmann Werke GmbH & Co KG: S. 27;
Wagner Solar GmbH: S. 38; www.stiebel-eltron.de: S. 33

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Oschatz, B.; Mailach, B.; Rosenkranz, J.: Effiziente Trennung der Wärmeerzeugung für Heizung und Trinkwarmwasser im Wohnungsbau.
Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). BBSR-
Online-Publikation 113/2024, Bonn.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	6
Hintergrund und Ziel	6
Analyse der unterschiedlichen Systeme zur Trinkwassererwärmung	6
Kombinierte Varianten und Parameterstudie	7
Exkurs	9
Abstract	10
Background and objective	10
Analysis of the different systems for domestic hot water heating	10
Combined variants and parameter study	11
Excursus	13
Einführung	14
Hintergrund	14
Ziel	14
Analyse der unterschiedlichen Systeme zur Trinkwassererwärmung	15
Energetische Anforderungen	15
Energiebedarf von Trinkwassererwärmungsanlagen	17
Einflussgrößen	17
Nutzenergiebedarf Warmwasser	17
Hygieneanforderungen	21
Anlagen zur Trinkwassererwärmung	24
Bauarten – allgemein	24
Systeme zur Trinkwassererwärmung	25
Speichersysteme	25
Solare Trinkwassererwärmung	31
Warmwasser-Wärmepumpe	32
Wohnungsstationen für Heizung/Trinkwassererwärmung und Wohnungsstationen für Trinkwassererwärmung	34
Elektro-Durchlauferhitzer	37
Wärmerückgewinnung aus Duschatwasser	38
Kombination der Trinkwassererwärmung mit Photovoltaik-Anlagen	40
Kombinierte Varianten und Parameterstudie	41
Randbedingungen	41
Gebäude und baulicher Wärmeschutz	41
Energetische und ökologische Bewertung	43
Wirtschaftlichkeitsberechnungen	44
Systemvarianten	46
Ergebnisse	49
Allgemein	49
Endenergie	49
Primärenergie	51
THG-Emissionen	56
Jahresgesamtkosten	58
Ableitung von Empfehlungen	62
Trinkwassererwärmung in Verbindung mit Luft-Wasser-Wärmepumpen	62
Trinkwassererwärmung in Verbindung mit Wärmenetz	65

Trinkwassererwärmung in Verbindung mit Gas-Brennwert-Kessel	68
Abweichender bzw. sich ändernder Warmwasserbedarf	69
Zusammenfassung	72
Exkurs	73
Abweichende Energiepreisentwicklung	73
Betriebsweise von Luft-Wärmepumpen mit Wohnungsstationen als Hybridsystem	75
Außentemperatur- und Zeitsteuerung ähnlich konventionellen Heizungsnetzen	75
Anhebung der erzeugerseitigen Vorlauftemperatur in der Nichtheizzeit	75
Beispielrechnung: Luft-Wärmepumpen mit Wohnungsstationen als Hybridsystem mit geänderter Regelstrategie	76
Luft-Wasser-Wärmepumpen mit geänderter Regelstrategie	77
Aktuelle gesetzliche Vorgaben	77
Baulicher Wärmeschutz	77
Trägheit des Heizungssystems	78
Erneuerbare Stromerzeugung	78
Flexibilisierung der Stromtarife (Smart Meter)	78
Möglichkeiten für angepasste Regelungsstrategien	79
Fazit	79
Mögliche Einsparpotenziale durch geänderte Regelungsstrategie	79
Literaturverzeichnis	81
Abbildungsverzeichnis	82
Tabellenverzeichnis	83
Anlagen – Zusammenstellung der Energie- und Kostenkennwerte	85

Kurzfassung

Hintergrund und Ziel

In bestehenden Gebäuden und in Neubauten werden häufig zentrale Heizungs- und Warmwasseranlagen betrieben. Die Effizienz dieser Systeme ist dabei maßgeblich von den jeweiligen Energiebedarfen und den eingesetzten Systemen abhängig. Mit der zunehmenden Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes der Gebäude verringert sich der Energiebedarf für Raumwärme, während der Energiebedarf für Trinkwassererwärmung in der Regel konstant bleibt.

Der stetig verbesserte bauliche Wärmeschutz der Wohngebäude ermöglicht die Beheizung mit niedrigen Systemtemperaturen, welche eine effiziente Erzeugung von Wärme für die Raumheizung mit Wärmepumpen oder auch Brennkesseln ermöglicht. Für die Trinkwassererwärmung mit zentralen Systemen müssen aufgrund von Hygieneanforderungen höhere Systemtemperaturen vorgehalten werden. Bei zentralen Systemen mit verbundener Wärmeerzeugung für Heizung und Trinkwassererwärmung werden die Wärmeerzeuger daher mit höheren Temperaturen betrieben, um das notwendige Temperaturniveau für die Trinkwassererwärmung bereitzustellen. Dies steht beispielsweise bei Wärmepumpen einem effizienten Betrieb entgegen und führt zudem zu höheren Verlusten im Verteilsystem. Um eine klimagerechte Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zu erreichen, ist es erforderlich, eine auf den jeweiligen Bedarf des Gebäudes sowie die Nutzung angepasste und optimierte Bereitstellung von Raumwärme einerseits und für Trinkwarmwasser andererseits effizient sicherzustellen.

Sowohl für Neubauten als auch für Gebäude im Bestand kann dabei eine Trennung der beiden Systeme sinnvoll sein.

Analyse der unterschiedlichen Systeme zur Trinkwassererwärmung

Warmwasserbedarf

Für die Ermittlung des Warmwasserbedarfs stehen je nach Anwendungsbereich unterschiedliche Normen zur Verfügung, welche bezüglich ihres Anwendungsbereichs untersucht werden:

- DIN V 18599:2018-09: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung (DIN V 18599 2018)
- DIN EN 12831-3:2017-09: Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Teil 3: Trinkwassererwärmungsanlagen, Heizlast und Bedarfsbestimmung (DIN EN 12831-03 2017)
- DIN 4708:1994-04: Zentrale Wassererwärmungsanlagen (DIN 4708 Teil 1 bis 3 1994)
- VDI 2067-12: 2017-04: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung (VDI 2067 Blatt 12 2017).

Anforderungen an Trinkwassererwärmungsanlagen

Energetische Anforderungen an Trinkwarmwasseranlagen werden im Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020) formuliert. Mit dem Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor (GEG 2023) vom 20.07.2022 wurden Änderungen im Gebäudeenergiegesetz vorgenommen, welche ab 01.01.2023 in Kraft treten.

Für neu zu errichtende Wohngebäude gilt ab 01.01.2023:

- Der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Kühlung darf das 0,55-fache des Jahres-Primärenergiebedarfes eines Referenzgebäudes nicht überschreiten.
- Der spezifische auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust darf das 1,0-fache des entsprechenden Wertes des Referenzgebäudes nicht überschreiten.

- Der Wärme- und Kälteenergiebedarf ist zumindest anteilig durch die Nutzung erneuerbarer Energien zu decken.

Im Koalitionsvertrag 2021 bis 2025 zwischen SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP (Bundesregierung 2021) werden zudem weitere Anforderungen an neue Heizungsanlagen bezüglich der Nutzung erneuerbarer Energien formuliert. Darin wurde festgelegt, dass zum 1. Januar 2025 jede neu eingebaute Heizung auf der Basis von 65 % erneuerbarer Energien betrieben werden soll. Dies soll für Neubauten und Gebäude im Bestand gleichermaßen gelten.

Die Auswahl des Trinkwassererwärmungs-Systems hat damit Einfluss auf die Erfüllungsoptionen hinsichtlich der Einhaltung des zulässigen Primärenergiebedarfes und der Nutzung erneuerbarer Energien zur (anteiligen) Deckung des Wärmeenergiebedarfes des Gebäudes.

Anforderungen an die Trinkwasserhygiene ergeben sich durch Gesundheitsrisiken infolge des Auftretens von Legionellen in überdimensionierten oder schlecht gedämmten Warmwasserspeichern, in Rohrleitungsabschnitten, die selten benutzt oder schlecht gedämmt sind bzw. bei Warmwasserleitungen ohne Zirkulation. Die im DVGW Arbeitsblatt W 551 (DVGW Arbeitsblatt W 551 2004) beschriebenen technische Maßnahmen für Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen zur Verminderung des Legionellenwachstums werden erläutert.

Anlagen zur Trinkwassererwärmung

Die Trinkwassererwärmung kann zentral – in Verbindung mit einem zentralen Erzeuger für Raumwärme – oder dezentral – unmittelbar an der Zapfstelle oder als wohnungszentrale Gruppenversorgung – erfolgen. Dabei kann das Trinkwasser im Durchfluss während der Entnahme erwärmt oder in Speichern erwärmt und darin vorgehalten werden.

Folgende verschiedene Warmwasserbereitungssysteme werden beschrieben:

- Speichersysteme
 - direkt beheizte Warmwasserspeicher
 - indirekt beheizte Warmwasserspeicher
 - bivalente Warmwasserspeicher
 - Pufferspeicher mit integrierter Warmwasserbereitung (Kombispeicher)
 - Pufferspeicher mit Frischwasserstation
- Solare Trinkwassererwärmung
- Warmwasser-Wärmepumpe
- Wohnungsstationen
- Elektro-Durchlauferhitzer
- Wärmerückgewinnung aus Duschabwasser
- Kombinationen mit Photovoltaik-Anlagen

Kombinierte Varianten und Parameterstudie

Randbedingungen

Am Beispiel von drei Wohngebäuden mit verschiedenen baulichen Wärmeschutzniveaus werden Vergleichsrechnungen mit unterschiedlichen Warmwasserbereitungssystemen durchgeführt. Es erfolgt ein Vergleich von Systemen mit einer getrennten bzw. verbundenen, dezentralen Trinkwassererwärmung mit konventionellen, verbundenen Trinkwassererwärmungssystemen.

Gebäude:

- Einfamilienhaus klein mit Keller
- 6-Familienhaus
- 18-Familienhaus

Baulicher Wärmeschutz:

- Bestand: 20 bis 25 Jahre alte Gebäude oder auf dieses Niveau saniert
- Neubau: Effizienzhaus 55
- Neubau: Effizienzhaus 40

Es erfolgt eine Untersuchung der Warmwasserbereitungssysteme jeweils in Verbindung mit

- Luft-Wasser-Wärmepumpe,
- Wärmenetz,
- Gas-Brennwert-Kessel (nur Bestand).

Ergebnisse und Empfehlungen

Als Ergebnis der Untersuchung erfolgt eine energetische und ökologische Bewertung mit Primärenergiebedarf und Treibhausgas-Emissionen, eine Bewertung bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Systeme und die Beschreibung ggf. notwendiger Hygieneanforderungen. Die Berechnungen und der Vergleich erfolgt für jeden Wärmeerzeuger getrennt. Der Einfluss eines sich ändernden Warmwasserbedarfs auf die Wirtschaftlichkeit der Systeme wird in die Betrachtungen einbezogen.

Soll die Trinkwassererwärmung dezentral erfolgen, sind folgende Empfehlungen für eine effiziente Trinkwassererwärmung zu beachten.

Trinkwassererwärmung in Verbindung mit Luft-Wasser-Wärmepumpen:

- Der Einsatz von dezentralen, elektronisch geregelten Elektro-Durchlauferhitzern sollte aus energetischer Sicht möglichst in Kombination mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung erfolgen. Dabei ist die Hygiene beim Einbau von Duschwasserwärmerückgewinnungssystemen (Trennung von Trink- und Abwasser) zu beachten.
- Kann von einem niedrigeren Warmwasserbedarf als dem Durchschnittswert nach Norm ausgegangen werden, beispielsweise durch eine geringere Personenbelegung, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit des dezentralen Systems mit Elektro-Durchlauferhitzer gegenüber einem zentralen System mit Warmwasserspeicher.
- Beim Einsatz von Wohnungsstationen sollten niedrige Systemtemperaturen gewährleistet werden (Vorlauftemperatur: 40 °C), dies ist als Hybridsystem mit Elektro-Durchlauferhitzer zur Nacherwärmung des Trinkwarmwassers möglich.
- Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur 60 °C) sind auf Grund der schlechten Effizienz der Wärmepumpen bei (dauerhaft) hohen Vorlauftemperaturen nicht zu empfehlen.
- Ein verringerter Warmwasserbedarf hat nur einen geringen Einfluss auf die wirtschaftlichen Verhältnisse zwischen Wohnungsstationen und einem zentralen System mit Warmwasserspeicher.

Trinkwassererwärmung in Verbindung mit Wärmenetz:

- Der Einsatz von dezentralen, elektronisch geregelten Elektro-Durchlauferhitzern sollte aus energetischer Sicht möglichst in Kombination mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung erfolgen. Dabei ist die

Hygiene beim Einbau von Duschwasserwärmerückgewinnungssystemen (Trennung von Trink- und Abwasser) zu beachten.

- Kann von einem niedrigeren Warmwasserbedarf als der Durchschnittswert nach Norm ausgegangen werden, beispielsweise durch eine geringe Personenbelegung, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit des dezentralen Systems mit Elektro-Durchlauferhitzer gegenüber einem zentralen System mit Warmwasserspeicher.
- In Verbindung mit Wärmenetzen kann ein Einsatz von Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur 60 °C) erfolgen, da höhere Systemtemperaturen bei Wärmenetzen oft unproblematisch sind. Noch höhere primärseitige Vorlauftemperaturen sollten zur Minimierung der Wärmeverteilverluste vermieden werden.
- Ein verringerter Warmwasserbedarf hat keinen Einfluss auf die wirtschaftlichen Verhältnisse zwischen Wohnungsstationen und einem zentralen System mit Warmwasserspeicher.

Exkurs

In diesem Abschnitt werden weitergehende Untersuchungen mit variierenden Randbedingungen durchgeführt. Das betrifft folgende Punkte:

- abweichende Energiepreisentwicklung
- Betriebsweise von Luft-Wärmepumpen mit Wohnungsstationen als Hybridsystem
- Luft-Wasser-Wärmepumpen mit geänderter Regelstrategie

Abstract

Background and objective

Heating and hot water systems are often operated centrally in existing and new buildings. The efficiency of these systems is largely dependent on the respective energy demands and the systems used. With the increasing improvement in the thermal protection of buildings, the energy demand for space heating decreases, while the energy demand for domestic hot water generally remains constant.

The constantly improving thermal protection of residential buildings allows heating with low system temperatures, which enables efficient generation of heat for space heating with heat pumps or condensing boilers. For domestic hot water produced by central systems, higher system temperatures must be maintained due to hygiene requirements. In central systems with combined heat generation for heating and domestic hot water, the heat generators are therefore operated at higher temperatures to provide the necessary temperature level for domestic hot water heating. This prevents efficient operation of heat pumps, for example, and also leads to higher losses in the distribution system. To achieve a climate-friendly overall energy efficiency of buildings, it is necessary to efficiently ensure a supply of space heating on the one hand and domestic hot water on the other, which is optimized and adapted to the respective demands of the building and its use.

For both new and existing buildings, it can make sense to separate the two systems.

The aim is to create a guideline to support planners, tradesmen, builders and building owners in the selection of systems for domestic hot water heating in residential buildings.

Analysis of the different systems for domestic hot water heating

Hot water demand

Depending on the field of application, different standards are available for determining the hot water demand, which are examined with regard to their scope:

- DIN V 18599:2018-09: Energy efficiency of buildings – Calculation of the net, final and primary energy demand for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting (DIN V 18599 2018)
- DIN EN 12831-3:2017-09: Energy performance of buildings – Method for calculation of the design heat load – Part 3: Domestic hot water systems heat load and characterisation of needs, Module M8-2, M8-3; German version EN 12831-3:2017 (DIN EN 12831-03 2017)
- DIN 4708:1994-04: Central water heating systems (DIN 4708 Teil 1 bis 3 1994)
- VDI 2067-12: 2017-04: Economic efficiency of building installations - Effective energy demands for heating drinking water (VDI 2067 Blatt 12 2017).

Requirements for domestic hot water systems

Energy requirements for domestic hot water systems are formulated in the Buildings Energy Act (Gebäudeenergiegesetz) (GEG 2020). With the Act on Immediate Measures for an Accelerated Expansion of Renewable Energies and Further Measures in the Electricity Sector ("Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor") of 20.07.2022, changes were made to the Building Energy Act, which will come into force on 01.01.2023 (GEG 2023).

For new residential buildings to be built from 01.01.2023:

- The annual primary energy demand for heating, hot water, ventilation and cooling must not exceed 0.55 times the annual primary energy demand of a reference building.

- The specific transmission heat loss related to the heat-transferring envelope surface must not exceed 1.0 times the corresponding value of the reference building.
- The heating and cooling energy demand must be covered at least in part by the use of renewable energies.

The 2021 until 2025 coalition agreement between the SPD, Alliance 90/The Greens ("Bündnis 90/DIE GRÜNEN") and the FDP (Bundesregierung 2021) also formulates further requirements for new heating systems with regard to the use of renewable energies. It stipulates that by January 1, 2025, every newly installed heating system should be operated on the basis of 65 % renewable energy. This should apply equally to new and existing buildings.

The selection of the domestic hot water heating system therefore influences the options to comply with regard to meeting the permissible primary energy demand and the use of renewable energies to (partially) cover the building's heating energy demand.

Requirements for domestic hot water hygiene result from health risks due to the occurrence of legionella in oversized or poorly insulated hot water storage tanks, in pipe sections that are rarely used or poorly insulated or in hot water pipes without circulation. The technical measures described in the technical rule DVGW W 551 (DVGW Arbeitsblatt W 551 2004) for drinking water heating and drinking water pipe systems to reduce the growth of legionella are explained.

Domestic hot water heating systems

Domestic hot water can be heated centrally – in conjunction with a central heat generator for space heating – or decentrally – directly at the tap or centralized for one flat as a group supply. The drinking water can be heated in the flow during tapping or heated in storage tanks and kept there.

The following different domestic hot water heating systems are described:

- Storage tank systems
 - Directly heated hot water storage tanks
 - Indirectly heated hot water storage tanks
 - Bivalent hot water storage tanks
 - Buffer storage tank with integrated hot water preparation (combi storage tank)
 - Buffer storage tank with fresh water station
- Solar systems for domestic hot water heating
- Hot water heat pump
- Dwelling stations for decentralised domestic hot water generation
- Electric instantaneous water heater
- Heat recovery from shower water
- Combinations with photovoltaic systems

Combined variants and parameter study

Boundary conditions

Using the example of three residential buildings with different levels of thermal protection, comparative calculations are carried out with different domestic hot water heating systems. A comparison is made between systems with separate or connected, decentralized domestic hot water heating systems and conventional, connected domestic hot water heating systems.

Building:

- Single family house with basement
- 6-family house
- 18-family house

Thermal protection:

- Existing buildings: 20 to 25 years old or renovated to this level
- New building: Efficiency house 55
- New building: Efficiency House 40

The domestic hot water heating systems are examined in each case in conjunction with

- Air-to-water heat pump,
- District heating,
- Gas condensing boiler (only existing buildings).

Results and recommendations

The results of the study include an energy and ecological assessment with primary energy demands and greenhouse gas emissions, an assessment of the economic efficiency of the systems and a description of necessary hygiene requirements. The calculations and comparison are carried out separately for each heat generator. The influence of a changing hot water demand on the economic efficiency of the systems is included in the considerations.

If domestic hot water is to be heated decentrally, the following recommendations for efficient domestic hot water heating must be observed.

Domestic hot water heating in conjunction with air-to-water heat pumps:

- From an energy perspective, decentralized, electronically controlled electric instantaneous water heaters should be used in combination with shower water heat recovery wherever possible. Hygiene must be observed when installing shower water heat recovery systems (separation of drinking and waste water).
- If a lower hot water demand than the average value according to the standard can be assumed, for example due to a lower occupancy rate, the cost-effectiveness of the decentralized system with an electric instantaneous water heater is improved compared to a centralized system with a hot water storage tank.
- When using dwelling stations for decentralised domestic hot water generation, low system temperatures should be ensured (flow temperature: 40 °C); this is possible as a hybrid system with reheating the domestic hot water.
- Dwelling stations for decentralised and complete domestic hot water heating (flow temperature 60 °C) are not recommended due to the poor efficiency of heat pumps at (permanently) high flow temperatures.
- A reduced hot water demand has only a minor influence on the economic ratios between dwelling stations for decentralised domestic hot water generation and a central system with domestic hot water storage tanks.

Domestic hot water heating in conjunction with district heating:

- From an energy perspective decentralized, electronically controlled electric instantaneous water heaters should be used in combination with shower water heat recovery wherever possible. Hygiene must be observed when installing shower water heat recovery systems (separation of drinking and waste water).

- If a lower hot water demand than the average value according to the standard can be assumed, for example due to low occupancy, the cost-effectiveness of the decentralized system with an electric instantaneous water heater is improved compared to a centralized system with a hot water storage tank.
- In conjunction with district heating, dwelling stations for decentralised domestic hot water generation can be used for complete domestic hot water heating (flow temperature 60 °C), as higher system temperatures are often unproblematic in district heating systems. Even higher flow temperatures on the primary side should be avoided to minimize heat distribution losses.
- A reduced hot water demand has no influence on the economic ratios between dwelling stations for decentralised domestic hot water generation and a central system with domestic hot water storage tanks.

Excursus

In this section, further investigations are carried out with varying boundary conditions. This concerns the following points:

- Deviating energy price development
- Operating mode of air-to-water heat pumps with dwelling stations for decentralised domestic hot water generation as a hybrid system
- Air-to-water heat pumps with modified control strategy

Einführung

Hintergrund

In bestehenden Gebäuden und in Neubauten werden häufig zentrale Heizungs- und Warmwasseranlagen betrieben. Die Effizienz dieser Systeme ist dabei maßgeblich von den jeweiligen Energiebedarfen und den eingesetzten Systemen abhängig. Mit der zunehmenden Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes der Gebäude verringert sich der Energiebedarf für Raumwärme, während der Energiebedarf für Trinkwassererwärmung in der Regel konstant bleibt.

Der verbesserte bauliche Wärmeschutz der Gebäude ermöglicht die Beheizung mit niedrigen Systemtemperaturen, welche eine effiziente Erzeugung von Wärme für die Raumheizung mit Wärmepumpen, oder auch Brennwertkesseln ermöglicht. Für die Trinkwassererwärmung mit zentralen Systemen müssen aufgrund von Hygieneanforderungen höhere Systemtemperaturen vorgehalten werden. Bei zentralen Systemen mit verbundener Wärmeerzeugung für Heizung und Trinkwassererwärmung werden die Wärmeerzeuger daher mit höheren Temperaturen betrieben, um das notwendige Temperaturniveau für die Trinkwassererwärmung bereitzustellen. Dies steht beispielsweise bei Wärmepumpen einem effizienten Betrieb entgegen und führt zudem zu höheren Verlusten im Verteilsystem. Um eine klimagerechte Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zu erreichen, ist es erforderlich, eine auf den jeweiligen Bedarf des Gebäudes, so wie der Nutzung angepasste und optimierte Bereitstellung von Raumwärme einerseits und für Trinkwarmwasser andererseits effizient sicherzustellen.

Sowohl für Neubauten als auch für Gebäude im Bestand kann dabei eine Trennung der beiden Systeme sinnvoll sein.

Ziel

Es erfolgt eine umfangreiche Untersuchung der getrennten Wärmeerzeugung für Heizung und Trinkwarmwasser im Wohnungsbau hinsichtlich

- Effizienz der Systeme und Erfüllung energetischer Anforderungen,
- Möglicher Energieeinsparung und CO₂-Minderung,
- Einhaltung von Hygieneanforderungen,
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im Lebenszyklus,
 - Investitionskosten,
 - Energiekosten.

Das Ziel ist die Identifizierung sinnvoller Einsatzbereiche der verschiedenen vom Wärmeerzeuger Heizung getrennten Erzeugungsanlagen für Trinkwarmwasser und daraus die Ableitung von Empfehlungen zur Systemauswahl für Planer, Handwerker, Bauherren und Gebäudeeigentümer. Dabei werden die verschiedenen Gegebenheiten von Gebäuden im Neubau und Bestand sowie von Ein- und Mehrfamilienhäusern unter Beachtung energierechtlicher Anforderungen berücksichtigt. Ebenso fließen Kombinationsmöglichkeiten der verschiedenen Wärmeerzeuger und die Anforderungen an die Trinkwarmwasserhygiene in die Betrachtungen ein.

Analyse der unterschiedlichen Systeme zur Trinkwassererwärmung

Energetische Anforderungen

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020) wurde am 13. August 2020 im Bundesgesetzblatt verkündet und trat am 1. November 2020 in Kraft. Mit dem Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor (GEG 2023) vom 20.07.2022 wurden Änderungen im Gebäudeenergiegesetz vorgenommen, welche ab 01.01.2023 in Kraft treten.

Für neu zu errichtende Wohngebäude gilt ab 01.01.2023:

- Der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Kühlung darf das 0,55-fache des Jahres-Primärenergiebedarfes eines Referenzgebäudes nicht überschreiten.
- Der spezifische auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust darf das 1,0-fache des entsprechenden Wertes des Referenzgebäudes nicht überschreiten.
- Der Wärme- und Kälteenergiebedarf ist zumindest anteilig durch die Nutzung erneuerbarer Energien zu decken.

Die Auswahl des Trinkwassererwärmungs-Systems hat damit Einfluss auf die Erfüllungsoptionen hinsichtlich der Einhaltung des zulässigen Primärenergiebedarfes und der Nutzung erneuerbarer Energien zur (anteiligen) Deckung des Wärmeenergiebedarfes des Gebäudes. Als erneuerbare Energie im Sinne des GEG gelten die Bestimmungen nach Tabelle 1.

Tabelle 1

Nutzung von erneuerbaren Energien bei einem zu errichtenden Gebäude nach GEG (GEG 2020)

	Erfüllung Nutzungspflicht erneuerbare Energie zu 100 % durch	Mindest-Deckungsanteil
Erneuerbare Energie	solare Strahlungsenergie	15 % alternativ gelten Mindest-Kollektorflächen
	Strom aus erneuerbaren Energien	15 % alternativ Wohngebäude mit Mindest-Nennleistung einer PV-Anlage
	Geothermie und Umweltwärme	50 %
	Abwärme aus Abwasser	bei Nutzung in Wärmepumpen
	feste Biomasse	50 % in Biomassekessel oder automatisch beschickten Biomasseofen mit Wassertasche
	flüssige Biomasse	50 % Nutzung in KWK-Anlage oder Brennwertkessel
	gasförmige Biomasse	30 % Nutzung in KWK-Anlagen 50 % Nutzung in Brennwertkessel
	Kälte aus erneuerbaren Energien	es gilt der Anteil der erneuerbaren Energie aus der die Kälte erzeugt wird
Ersatzmaßnahmen	Abwärme	50 % bei direkter Nutzung oder mittels Wärmepumpe
	Kraft-Wärme-Kopplung	50 % bei Nutzung in hocheffizienter KWK-Anlage 40 % bei Nutzung in Brennstoffzellenheizung
	Fernwärme oder Fernkälte	wesentlicher Anteil aus erneuerbarer Energie, 50 % aus Anlagen zur Nutzung von Abwärme, 50 % aus KWK-Anlage oder 50 % bei Kombination der zuvor genannten Maßnahmen
	Maßnahmen zur Einsparung von Energie	15 % Unterschreitung baulicher Mindestwärmeschutz

Quelle: ITG Dresden GmbH

Darüber hinaus gelten jeweils weitere Anforderungen an die erneuerbare Energie oder die genutzte Technik. Die Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien und Ersatzmaßnahmen können untereinander und miteinander kombiniert werden, dabei müssen die prozentualen Anteile der tatsächlichen Nutzung der einzelnen Maßnahmen im Verhältnis zu der vorgesehenen Nutzung in der Summe 100 % Erfüllungsgrad ergeben.

Im Koalitionsvertrag 2021 – 2025 zwischen SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP (Bundesregierung 2021) werden zudem weitere Anforderungen an neue Heizungsanlagen bezüglich der Nutzung erneuerbarer Energien formuliert. Darin wurde festgelegt, dass zum 1. Januar 2025 jede neu eingebaute Heizung auf der Basis von 65 % erneuerbarer Energien betrieben werden soll. Dies soll für Neubauten und Gebäude im Bestand gleichermaßen gelten. Damit käme auch bei Bestandsgebäuden dem gewählten Trinkwassererwärmungssystem ein wichtiger Beitrag zur Erfüllung dieser Vorgabe zu.

Die weiteren Betrachtungen zur effizienten Erzeugung von Raumwärme und Trinkwarmwasser erfolgen unter Berücksichtigung der aktuellen (geänderten) Vorgaben des GEG für Neubauten und Bestandsgebäude.

Energiebedarf von Trinkwassererwärmungsanlagen

Einflussgrößen

Der Energiebedarf für die Trinkwassererwärmung in Wohngebäuden unterliegt folgenden Einflussgrößen:

- notwendiger Nutzenergiebedarf Warmwasser
- Energieaufwand für die Erzeugung
 - Einfluss des Temperaturniveaus auf den Wärmeerzeuger
 - Möglichkeit der Einbindung erneuerbarer Energien
- Verluste durch die Speicherung (Bereitschaftswärmeverlust)
- Energieaufwand für Zirkulation bei zentralen Systemen
 - Leitungslänge und Dämmung
 - Zirkulationsdauer
 - Temperaturen
 - Hilfsenergie für Zirkulationspumpe
 - alternativ Energieaufwand für Temperaturhaltebänder (elektrische Begleitheizung)
- Einhaltung von Hygieneanforderungen

Der Nutzenergiebedarf Warmwasser und die Hygieneanforderungen werden in den nachfolgenden Abschnitten näher untersucht. Die weiteren Einflussgrößen sind Bestandteil der konkreten Betrachtungen zu den einzelnen Trinkwassererwärmungssystemen.

Nutzenergiebedarf Warmwasser

Der Nutzenergiebedarf Warmwasser für Wohngebäude ist abhängig von der Gebäudeart, der sanitären Ausstattung, der Personenzahl und deren Nutzergewohnheiten. Für die Ermittlung des Nutzenergiebedarfs Warmwasser (= Warmwasserbedarf) stehen je nach Anwendungsbereich unterschiedliche Normen zur Verfügung. Die für die weiteren Betrachtungen relevanten Normen werden nachfolgend insbesondere hinsichtlich der Ermittlung des Warmwasserbedarfs analysiert.

Der rechnerisch ermittelte Warmwasserbedarf und der tatsächliche Warmwasserverbrauch in einem Gebäude können sich unterscheiden, da dies auch durch die Personenanzahl und deren Nutzerverhalten beeinflusst wird. So kann der Warmwasserbedarf über einen längeren Zeitraum Schwankungen unterliegen, da sich die Personenanzahl ändern kann oder sich beispielsweise durch einen Nutzerwechsel andere Verhaltensweisen in Bezug auf den Warmwasserverbrauch ergeben können. Zudem sind auch saisonale Schwankungen durch unterschiedliche Duschtemperaturen in Abhängigkeit von der Außentemperatur möglich.

DIN V 18599:2018-09: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung (DIN V 18599 2018)

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020) verweist bezüglich der energetischen Bewertung von Wohn- und Nichtwohngebäuden auf die Normenreihe DIN V 18599:2018-09 (DIN V 18599 2018) und ist damit für den öffentlich-rechtlichen Nachweis bindend.

Der jährliche Nutzenergiebedarf Warmwasser eines Wohngebäudes wird nach Teil 10 der DIN V 18599 in Abhängigkeit von der Nettogrundfläche einer mittleren Wohneinheit bestimmt:

$$q_{w,b} = \max [16,5 - (A_{NGF,WE,m} \cdot 0,05); 8,5]$$

$q_{w,b}$ flächenspezifischer Nutzenergiebedarf Trinkwarmwasser im Jahr [kWh/m²a]

$A_{NGF,WE,m}$ Nettogrundfläche einer mittleren Wohneinheit [m²]

Für den täglichen Warmwasserbedarf ergibt sich damit

$$Q_{w,b,day} = \frac{q_{w,b}}{365} \cdot A_{NGF}$$

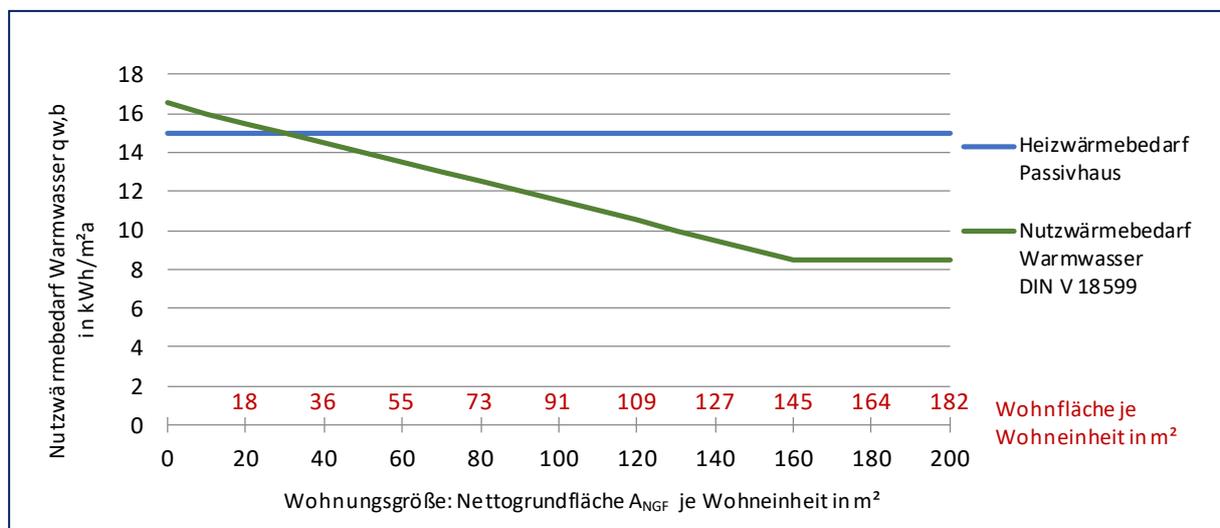
$Q_{w,b,day}$ täglicher Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasser [kWh/d].

Bei der Energiebedarfsberechnung nach dieser Norm erfolgt damit die Bestimmung des Nutzenergiebedarfes Warmwasser ohne Berücksichtigung von sanitärtechnischer Ausstattung oder Personenbelegung der Wohneinheit. Es wird ein mittlerer Bedarf unterstellt, welcher den Vergleich des Energiebedarfs der Wohngebäude untereinander unter jeweils gleichen genormten Rand- bzw. Nutzungsbedingungen ermöglicht.

In Abbildung 1 sind der spezifische Nutzwärmebedarf Warmwasser nach DIN V 18599 in Abhängigkeit von der Nettogrundfläche einer Wohneinheit und der Höchstwert des spezifischen Heizwärmebedarfs eines Passivhauses gegenübergestellt.

Abbildung 1

Spezifischer Nutzwärmebedarf Warmwasser in Abhängigkeit von der Nettogrundfläche einer Wohneinheit und Höchstwert des spezifischen Heizwärmebedarfs eines Passivhauses



Quelle: ITG Dresden GmbH

DIN EN 12831-3:2017-09: Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Teil 3: Trinkwassererwärmungsanlagen, Heizlast und Bedarfsbestimmung (DIN EN 12831-03 2017)

DIN EN 12831-3 beschreibt ein Verfahren zur Berechnung der Leistung und des Speichervolumens, die zur Bemessung von Anlagen zur Trinkwassererwärmung erforderlich sind. Für die dafür notwendige Bestimmung des Energiebedarfes für die Trinkwassererwärmung und dem Bedarf an erwärmtem Trinkwasser in Gebäuden werden Standardisierungsverfahren behandelt.

Für die Bemessung der Anlage erfolgt ein Vergleich der Energiebedarfskennlinie für erwärmtes Trinkwasser mit der Versorgungskennlinie der Warmwasseranlage in Abhängigkeit von der Zeit. Die Linien können in kumulierter Form über einen bestimmten Zeitraum graphisch dargestellt werden.

Zur Bestimmung des Energiebedarfs für die Trinkwassererwärmung (Nutzenergiebedarf Warmwasser) werden folgende Verfahren beschrieben:

- a) Energiebedarf beruhend auf Warmwasser-Zapfprofilen
Festlegung von einem oder mehreren 24-Stunden-Zyklen der Entnahmeanforderungen
- b) Energiebedarf beruhend auf dem täglichen erforderlichen Volumen an erwärmtem Trinkwasser
Der Energiebedarf wird aus dem für den Nutzer bereitgestellten erwärmten Trinkwasser in Abhängigkeit vom bereitgestellten Volumen und den Wassertemperaturen bestimmt.
Werte für das erforderliche Volumen unter Ansatz festgelegter Wassertemperaturen werden für Nichtwohngebäude in Abhängigkeit von der Nutzung angegeben. Für Wohngebäude wird das erforderliche Volumen unter Ansatz festgelegter Wassertemperaturen in Abhängigkeit von der Gebäudeart pro Person und Tag angegeben.
- c) Flächen- und nutzungsbezogener Energiebedarf für die Trinkwassererwärmung
Für unterschiedliche Nutzungen werden nutzungsabhängige und teilweise auch flächenbezogene Energiebedarfe für erwärmtes Trinkwasser in Nichtwohngebäuden angegeben. Die ausgewiesenen Werte entsprechen den Werten der DIN V 18599:2018-09 für Nichtwohngebäude.

Entsprechend Verfahren b) ist der tägliche Bedarf an Litern erwärmtes Trinkwasser je Person und Tag und unter Ansatz eines Mittelwertes sowie der Personenzahl je Wohneinheit für verschiedenen Gebäudearten in Tabelle 2 angegeben (Warmwassertemperatur 45 °C / Kaltwassertemperaturen 10 °C).

Tabelle 2

Volumen von erwärmtem Trinkwasser in Abhängigkeit von der Art des Gebäudes nach (DIN EN 12831-03 2017)

Art des Gebäudes	erwärmtes Trinkwasser in Liter je Person und Tag			erwärmtes Trinkwasser in Liter je Tag mit Anzahl von Personen					
	von	bis	Ansatz	1	2	2,5	3	4	5
Wohngebäude (einfach)	25	60	40	40	80	100	120	160	200
Wohngebäude (Luxus)	60	100	80	80	160	200	240	320	400
Einfamilienhäuser	40	70	55	55	110	137,5	165	220	275
Mehrfamilienhäuser	25	30	25	25	50	62,5	75	100	125

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 3
Nutzenergiebedarf Warmwasser für verschiedene Wohngebäude und Anzahl an Personen

		Einfamilienhaus		Mehrfamilienhaus
		2 Personen	4 Personen	3 Personen
erwärmtes Trinkwasser pro Tag	l/d	110	220	75
Wohnungsanzahl	-	1	1	6
Energiebedarf für ein Jahr	kWh/a	1.499	2.998	6.132
Nettogrundfläche einer Wohneinheit	m ²	180	180	80
Nutzenergiebedarf Warmwasser	kWh/m ² a	8,3	16,7	12,8

Quelle: ITG Dresden GmbH

Diese Norm dient der Auslegung der Warmwasseranlage, also der Bestimmung von Leistung und Speichervolumen, wozu der Warmwasserbedarf über einen Zeitraum (einen Tag) in festgelegten Zeitabschnitten bekannt sein muss. Bei der Auslegung ist damit der Maximalfall des Warmwasserbedarfes eines Tages maßgeblich. Die Vorgehensweise bei der Auslegung der Anlagen zur Trinkwassererwärmung wird im Abschnitt „Speichersysteme“ näher beschrieben.

DIN 4708:1994-04: Zentrale Wassererwärmungsanlagen (DIN 4708 Teil 1 bis 3 1994)

Alternativ beschreibt DIN 4708 für die Auslegung von zentralen Wassererwärmern Regeln zur Ermittlung des Wärmebedarfs zur Erwärmung von Trinkwasser und zur Leistungsprüfung von Wassererwärmern für Wohngebäude. Grundlage ist die Ermittlung einer Bedarfskennzahl N nach Teil 2 der DIN 4708, welche aus der Anzahl der Wohnungen und ihrer Raumanzahl, der sanitären Ausstattung sowie der Personenbelegung je Wohnung ermittelt wird. Die Leistungskennzahl NL ist ein nach Teil 3 der DIN 4708 ermittelter Produktkennwert, welcher angibt, für wie viele Einheitswohnungen mit dem Wärmebedarf für ein Wannenbad oder eine Wannenfüllung ein Wassererwärmer geeignet ist. Bei der Auswahl des Wassererwärmers gilt, dass die Leistungskennzahl NL mindestens gleich groß oder größer als die Bedarfskennzahl N sein muss.

DIN 4708 aus dem Jahr 1994 wird derzeit überarbeitet, da sie nicht mehr dem Stand der Technik entspricht. So baut die Ermittlung des Warmwasserbedarfs der Gebäude auf der Anhäufung der Zapfungen während der Badeperiode auf (1 Badetag pro Woche), was nicht mehr zu heutigen Lebensgewohnheiten passt.

VDI 2067-12: 2017-04: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung (VDI 2067 Blatt 12 2017)

Die Bestimmung des Nutzenergiebedarfs Warmwasser nach VDI 2067 Blatt 12 bildet die Grundlage für energiewirtschaftliche Vergleichsrechnungen zur Auswahl des jeweils geeigneten Trinkwassererwärmungssystems für Wohnbauten.

Es wird der nutzungs- und personenbezogene Wärmebedarf (Nutzenergiebedarf) an der Entnahmestelle bei einer Nutzung ermittelt. Grundlage für die Ermittlung der personenbezogenen Warmwasser- und Wärmebedarfe sind in der Regel

- der Volumenstrom an der Entnahmearmatur,
- die Dauer der Entnahme,
- die Anzahl der täglichen Nutzungen (Nutzungsfrequenz),
- die Nutztemperatur.

In der Norm sind entsprechende Erfahrungswerte mit einer Bandbreite angegeben, woraus sich ein personenbezogener Nutzenergiebedarf für die Entnahmestellen ergibt, Tabelle 4. Der personenbezogene Gesamtbedarf für verschiedene Ausstattungsvarianten einer Wohneinheit sind in Tabelle 5 angegeben. Mit der von einer Anlage versorgten Anzahl an Personen erhält man den Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung. Mit dieser Norm kann bei bekannter Ausstattung und Personenzahl der

Nutzenergiebedarf Warmwasser für ein Wohngebäude ermittelt und damit beispielsweise bei der wirtschaftlichen Auslegung von Solar-thermieanlagen zu Grunde gelegt werden.

Tabelle 4
Personenbezogener Nutzenergiebedarf der Entnahmestelle (VDI 2067 Blatt 12 2017)

Nutzen	personenbezogener Nutzenergiebedarf	
	am Tag q_{Nd} [kWh/d]	im Jahr q_{Na} [kWh/a]
nur Dusche	0,2 bis 1,0	70 bis 360
nur Wanne, normal	0,8 bis 1,4	290 bis 470
nur Wanne, groß	1,4 bis 1,9	470 bis 650
Dusche und Wanne, normal	0,4 bis 1,3	150 bis 440
Dusche und Wanne, groß	0,6 bis 1,5	210 bis 500
Waschtisch	0,3 bis 0,6	100 bis 190
Bidet	0,1 bis 0,2	40 bis 70
Geschirr Spülung nur von Hand	0,2	80
Geschirrspüler mit Kaltwasseranschluss und von Hand	0,05	20
Geschirrspüler auch mit Warmwasseranschluss und von Hand	0,15 bis 0,25	60 bis 80
Waschmaschine mit Warmwasseranschluss	0,03 bis 0,06	10 bis 20

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 5
Personenbezogener Gesamtbedarf für verschiedene Ausstattungsvarianten (VDI 2067 Blatt 12 2017)

Ausstattung	personenbezogener Nutzenergiebedarf	
	am Tag $q_{Nges,d}$ [kWh/d]	im Jahr $q_{Nges,a}$ [kWh/a]
Dusche, Waschtisch, Geschirrspüler	0,5 bis 1,6	190 bis 570
Mittelwert	1,1	380
Wanne normal, Waschtisch, Geschirrspüler	1,1 bis 1,9	400 bis 680
Mittelwert	1,5	540
Wanne groß und Dusche, Waschtisch, Geschirrspüler	1,7 bis 2,5	580 bis 860
Mittelwert	2,1	720
Wanne normal und Dusche, Waschtisch, Geschirrspüler	0,7 bis 1,9	270 bis 650
Mittelwert	1,3	460
zusätzlich Spülen nur von Hand	0,2	60
zusätzlich Bidet	0,1 bis 0,2	40 bis 70

Quelle: ITG Dresden GmbH

Hygieneanforderungen

In Anlagen zur Trinkwassererwärmung und deren angeschlossenem Rohrleitungssystem können Gesundheitsrisiken durch Legionellen auftreten, wenn diese in kleinen lungengängigen Tröpfchen (Aerosol), zum Beispiel beim Duschen, mit der Luft eingeatmet werden. Im Wohngebäudebereich besonders gefährdet sind überdimensionierte oder schlecht gedämmte Warmwasserspeicher, Rohrleitungsabschnitte, die selten benutzt oder schlecht gedämmt sind bzw. Rohrleitungen ohne Zirkulation.

Im DVGW Arbeitsblatt W 551 (DVGW Arbeitsblatt W 551 2004) werden technische Maßnahmen für Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen zur Verminderung des Legionellenwachstums beschrieben. Legionellen wachsen vermehrt im Temperaturbereich zwischen 30 °C und 45 °C, insofern zielen die Maßnahmen auf die Vermeidung dieses Temperaturbereiches bei Planung, Errichtung und Betrieb der Trinkwassererwärmung und -verteilung. Definitionen sowie Anforderungen des Arbeitsblattes, welche Auswirkungen auf den Energiebedarf der Warmwasserbereitung und -verteilung haben, sind in Abbildung 2

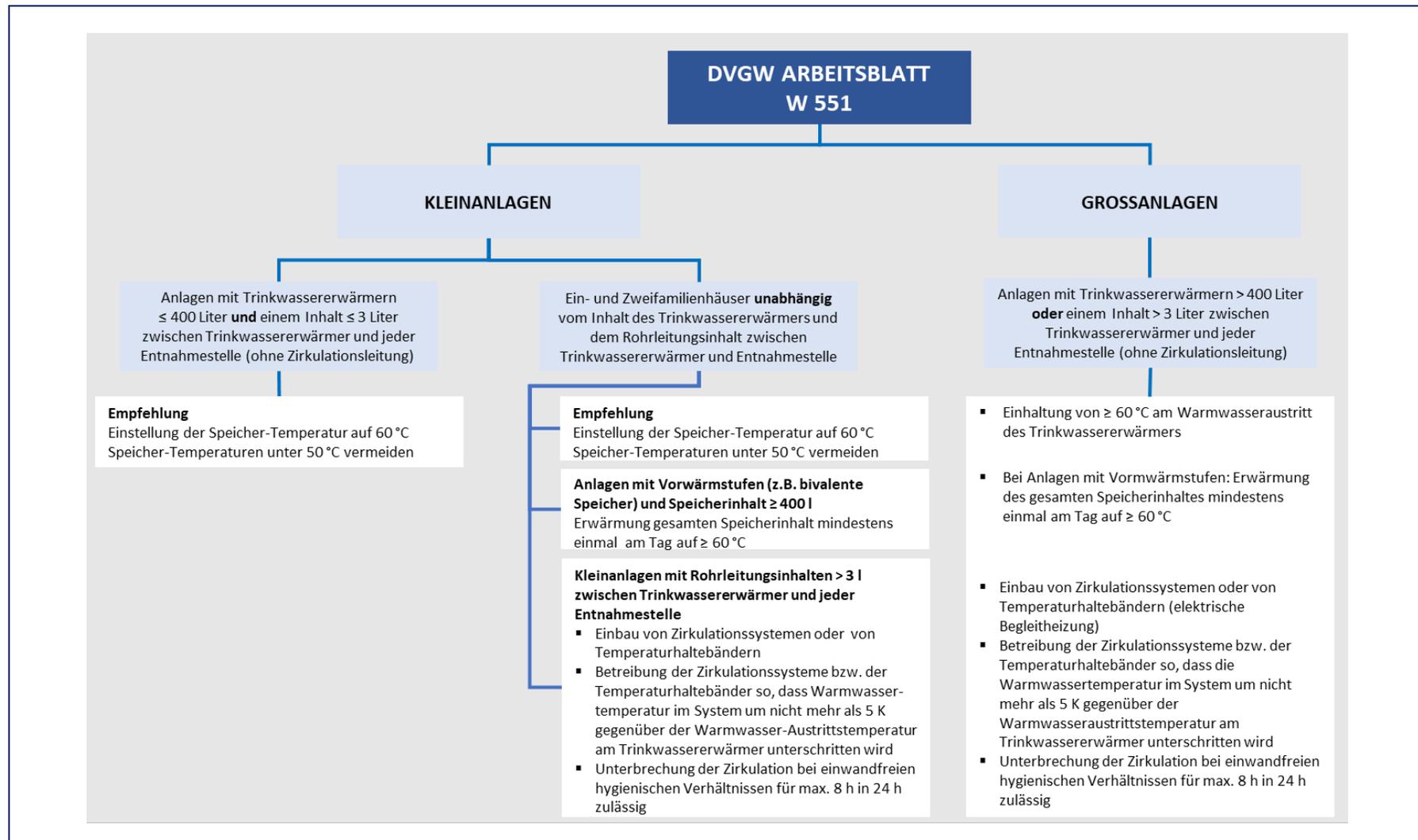
dargestellt. Unter Trinkwassererwärmern sind Speicher-Trinkwassererwärmer und zentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmer zu verstehen. Dezentrale Trinkwassererwärmer mit einem nachgeschalteten Leitungsvolumen ≤ 3 Liter können ohne weitere Maßnahmen betrieben werden.

Das Arbeitsblatt W 551 ist eine allgemein anerkannte Regel der Technik.

Für die Planung von Trinkwasser-Installationen gilt DIN 1988-200:2012-05 (DIN 1988 Teil 200 2012), welche auf die Beachtung der Anforderungen des DVGW Arbeitsblattes W 551 verweist.

Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2021) regelt die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Darin ist (neben anderen Parametern) auch die systematische Untersuchungspflicht bezüglich dem Parameter Legionella spec. verankert. Es sind sowohl die Untersuchungsverfahren und Untersuchungsstellen als auch ein technischer Maßnahmenwert definiert, ab dem entsprechende Maßnahmen incl. einer Gefährdungsanalyse durchgeführt werden müssen. Die Definition von Großanlagen in der Trinkwasserverordnung und im DVGW Arbeitsblatt W 551 sind identisch.

Abbildung 2
Definitionen und Anforderungen des DVGW Arbeitsblattes W 551



Quelle: ITG Dresden GmbH

Anlagen zur Trinkwassererwärmung

Bauarten – allgemein

Technische Regeln für die Trinkwasser-Installation werden in DIN 1988-200:2012-05 (DIN 1988 Teil 200 2012) definiert. Darin erfolgt eine Einteilung der möglichen Arten der Trinkwassererwärmung, diese ist nachfolgend wörtlich übernommen.

Trinkwassererwärmer werden nach folgenden Betriebsarten unterschieden:

Dezentrale Versorgung

a) *Einzelversorgung*

Bei einer Einzelversorgung werden einzelne Entnahmestellen für Trinkwasser warm jeweils von eigenen, unabhängig voneinander zu betreibenden Trinkwassererwärmern versorgt.

b) *Gruppenversorgung*

Bei einer Gruppenversorgung werden innerhalb einer Wohnung oder eines Gebäudeteils räumlich nahe beieinanderliegende Entnahmestellen für Trinkwasser warm von einem Trinkwassererwärmer aus versorgt.

Zentrale Versorgung

Bei einer zentralen Versorgung werden alle Entnahmestellen für Trinkwasser warm in einer oder mehreren Wohnungen oder Gebäuden über ein gemeinsames Leitungsnetz von einem oder mehreren Trinkwassererwärmern aus versorgt.

Nach der Funktion werden folgende Typen unterschieden:

- *Durchfluss-Trinkwassererwärmer sind Erwärmer, in denen das Trinkwasser im Wesentlichen während der Entnahme (des Durchflusses) erwärmt wird.*
- *Speicher-Trinkwassererwärmer sind Erwärmer, in denen das Trinkwasser im Wesentlichen vor der Entnahme erwärmt und zum Verbrauch bereitgehalten wird.*

Nach der Bauart werden unterschieden:

- *Offene Trinkwassererwärmer stehen mit der Atmosphäre ständig unmittelbar in nicht absperrbarer Verbindung. Sie stehen nicht unter dem Druck der Trinkwasserleitung kalt. Bei bestimmungsgemäßem Betrieb wird ein Überdruck von 100 kPa nicht überschritten.*
- *Geschlossene Trinkwassererwärmer stehen mit der Atmosphäre nicht ständig in offener Verbindung.*

Nach der Art der Beheizung werden unterschieden:

- *Unmittelbare Beheizung, wobei die Energieträger ihre Wärmeenergie durch die Wandung unmittelbar (direkt) an das zu erwärmende Wasser abgeben.*
- *Mittelbare Beheizung, wobei die Wärme der Energieträger an einen Wärmeträger (Wasserdampf, Heizwasser, Arbeitsmittel von Solaranlagen oder Wärmepumpen) abgegeben und von diesem auf das zu erwärmende Wasser übertragen wird.*

Eine besondere Variante der mittelbaren Beheizung ist der Zwischenmedium-Wärmeübertrager. Hierbei werden die Wärmeübertragungsflächen der Wärmeträger- und der Trinkwasserseite durch ein zusätzliches Sicherheitssystem voneinander getrennt.

Trinkwassererwärmungsanlagen sind dem Bedarf an erwärmtem Trinkwasser entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik (z. B. für den Wohnungsbau nach DIN 4708-2) auszulegen.

Für Trinkwassererwärmer für Betriebsdrücke $< 1 \text{ MPa}$ sind die Sicherheitseinrichtungen abzustimmen.

Ist eine Speicherung von Energie vorgesehen, sollte dieses nicht im Trinkwasser erfolgen, sondern es ist der Technik der Energiespeicherung im Heizsystem (Pufferspeicher, Latentwärmespeicher) der Vorzug zu geben.

Systeme zur Trinkwassererwärmung

Die Trinkwassererwärmung kann zentral – in Verbindung mit einem zentralen Erzeuger für Raumwärme – oder dezentral – unmittelbar an der Zapfstelle oder als wohnungszentrale Gruppenversorgung – erfolgen. Zudem ist eine zentrale Trinkwassererwärmung unabhängig vom Wärmeerzeuger Heizung möglich.

Nachfolgend werden die Funktionsweise, technische Parameter, Einsatzmöglichkeiten und die jeweiligen Besonderheiten der gängigsten Systeme zur Erwärmung von Trinkwasser der Anlagen in Tabelle 6 näher beschrieben. Es erfolgt eine Einteilung nach zentraler oder dezentraler Erzeugung sowie nach verbundener oder getrennter Erzeugung mit dem Heizungssystem. Die Beschreibungen gelten für übliche Anlagen, im Einzelfall sind davon abweichende Systeme verfügbar.

Tabelle 6
Systeme zur Trinkwassererwärmung

Anlage zur Trinkwassererwärmung	zentrales System	dezentrales System	verbundenes System	getrenntes System
Speichersysteme (außer Elektro-Kleinspeicher)	x		x	
Solare Trinkwassererwärmung	x		x	
Warmwasser-Wärmepumpe	x			x
Wohnungsstationen für Heizung / TWE		x	x	(x)
Elektro-Durchlauferhitzer ggf. + Elektro-Kleinspeicher		x		x
Wärmerückgewinnung aus Duschabwasser Kombination mit einer Photovoltaikanlage	je nach Einbindung in vorhandenes Trinkwassererwärmungssystem			

Quelle: ITG Dresden GmbH

Speichersysteme

Direkt beheizte Warmwasserspeicher

Bei einem direkt beheizten Warmwasserspeicher wird das Trinkwasser durch einen elektrischem Heizwendel oder auch durch eine Flamme direkt erwärmt. Diese Speicher werden unabhängig von der Heizungsanlage betrieben. Sie werden i.d.R. als dezentrale oder wohnungszentrale Trinkwassererwärmer eingesetzt. Als Kleinspeicher (5 Liter) ergänzen sie beispielsweise die Gruppenversorgung durch einen Elektro-Durchlauferhitzer oder versorgen von einer zentralen Trinkwassererwärmung entfernt liegende Einzelzapfstellen. Als Wandspeicher (80 Liter) können sie die Versorgung einer Wohnung übernehmen oder als Standspeicher (200 bis 400 Liter) die Versorgung eines Wohngebäudes.

Indirekt beheizte Warmwasserspeicher

Das Trinkwasser in einem Warmwasserspeicher wird von einem zentralen Wärmeerzeuger indirekt erwärmt. Prinzipiell sind dafür alle Wärmeerzeugerarten geeignet. Dabei wird eine vergleichsweise große Menge an Warmwasser auf einem relativ hohem Temperaturniveau vorgehalten, vgl. auch Abschnitt „Hygieneanforderungen“. Warmwasserspeicher können nach ihrem Material in emaillierte Speicher mit Magnesium-Schutzanode oder Fremdstromanode als Korrosionsschutz und in Speicher aus Edelstahl unterteilt werden. Warmwasserspeicher sind wandhängend, stehend oder liegend ausgeführt.

Für die Erwärmung des Trinkwassers im Speicher stehen verschiedene konstruktive Lösungen zur Verfügung. Üblich sind Glatrohrwärmeübertrager im unteren Bereich des Speichers. Ermöglicht der konstruktive Aufbau des Speichers eine starke Schichtung des Wassers im Speicher spricht man von Schichtenladespeichern oder Thermosiphonspeichern. Für die Einbindung erneuerbarer Energien mit einem niedrigen Temperaturniveau,

wie aus Wärmepumpenanlagen, werden die Wärmeübertrager im Verhältnis zum Speichervolumen größer ausgelegt.

Speicherladesysteme verbinden die Vorteile der Vorratshaltung eines Speichers mit den Vorteilen der hygienischen Trinkwassererwärmung eines Durchflusssystems. Mit einer Speicherladepumpe wird das Trinkwasser über einen externen Wärmeübertrager erwärmt. Auf Grund hoher Spitzenleistungen, das heißt hohe Zapfraten und unterschiedliche Nachheizzeiten, kommen Speicherladesysteme insbesondere im Nichtwohnungsbau zur Anwendung. Speicherladesysteme zeichnen sich weiterhin durch eine niedrige Rücklauftemperatur und einem geringeren Platzbedarf (als herkömmliche Speicher) aus. Einsatzmöglichkeiten bieten sich damit beispielsweise auch bei fernwärmeversorgten großen Mehrfamilienhäusern mit einer Begrenzung der Rücklauftemperatur in das Fernwärmenetz.

Bivalente Warmwasserspeicher

Zur effizienten Einbindung erneuerbarer Energien dienen bivalente Warmwasserspeicher, welche über zwei Glattrohrwärmeübertrager verfügen. So kann beispielsweise im unteren Bereich Wärme aus einer Solarthermieanlage das Kaltwasser vorerwärmen, die gegebenenfalls notwendige Nacherwärmung erfolgt im oberen Bereich über den Wärmeerzeuger. Bivalente Speicher werden auch in Verbindung mit Wärmepumpen eingesetzt, dann wird der Warmwasserspeicher durch beide Wärmeübertrager nacheinander durch die Wärmepumpe beheizt. Gegebenenfalls ist in diesem Fall zusätzlich ein Elektro-Heizeinsatz zur Nacherwärmung erforderlich.

Pufferspeicher mit integrierter Warmwasserbereitung (Kombispeicher)

Kombispeicher dienen sowohl der Speicherung von Wärme als auch der Erwärmung von Trinkwasser, beispielsweise bei Solarthermieanlagen mit Heizungsunterstützung. Die Erwärmung des Trinkwassers kann dabei mit einem im Pufferspeicher befindlichen Wärmeübertrager im Durchflussprinzip oder über einen integrierten Warmwasserspeicher („Tank in Tank-System“) erfolgen.

Pufferspeicher mit Frischwasserstation

Heizungspufferspeicher können mit einem sogenannten Frischwassermodul (externer Wärmeübertrager) ausgestattet werden, welches Warmwasser im Durchflussprinzip bereitstellt. Es wird kein Warmwasser gespeichert, sondern im Bedarfsfall über den Wärmeübertrager (direkte Pufferspeicher- oder Wandmontage) zentral bereitgestellt. Diese Systeme zeichnen sich durch eine hohe Zapfleistung aus und sind daher vielseitig einsetzbar. Frischwassermodule sind mit einer Warmwasserzirkulation kombinierbar.

Abbildung 3

Warmwasserspeicher mit Schutzanode, bivalenter Speicher, Edelstahl und Pufferspeicher mit Frischwasserstation



Fotos: Viessmann Werke GmbH & Co KG

Warmwasser und Pufferspeicher können über einen Elektro-Heizeinsatz verfügen, über den das darin befindliche Trinkwasser oder Heizungswasser mit Strom aus einer Photovoltaikanlage beheizt wird.

Tabelle 7
Kennwerte Speichersysteme

Speichersysteme									
System	zentrale Warmwasserbereitung und dezentrale Kleinspeicher								
Kombination Art Wärmeerzeuger Heizung	alle								
Einsatzgebiet	Ein- und Mehrfamilienhäuser Bestand und Neubau								
Größe / Leistung Einzelspeicheranlage	<table border="1"> <tr> <td>Speicher indirekt beheizt</td> <td>120 Liter bis 1.000 Liter</td> </tr> <tr> <td>bivalente Speicher</td> <td>300 Liter bis 1.000 Liter</td> </tr> <tr> <td>Pufferspeicher mit integrierter TWE / Pufferspeicher mit Frischwasserstation</td> <td>400 Liter bis 1.000 Liter Frischwassermodul je nach Bauart</td> </tr> <tr> <td>dezentrale Elektro-Kleinspeicher</td> <td>5 Liter</td> </tr> </table>	Speicher indirekt beheizt	120 Liter bis 1.000 Liter	bivalente Speicher	300 Liter bis 1.000 Liter	Pufferspeicher mit integrierter TWE / Pufferspeicher mit Frischwasserstation	400 Liter bis 1.000 Liter Frischwassermodul je nach Bauart	dezentrale Elektro-Kleinspeicher	5 Liter
Speicher indirekt beheizt	120 Liter bis 1.000 Liter								
bivalente Speicher	300 Liter bis 1.000 Liter								
Pufferspeicher mit integrierter TWE / Pufferspeicher mit Frischwasserstation	400 Liter bis 1.000 Liter Frischwassermodul je nach Bauart								
dezentrale Elektro-Kleinspeicher	5 Liter								
Zirkulation	ja, entsprechend Hygieneanforderungen, Ausnahme möglich bei günstigen Verhältnissen in Kleinanlagen mit Rohrleitungsinhalten < 3 l zwischen Trinkwassererwärmer und jeder Entnahmestelle								
Temperaturniveau	<p>Kleinanlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Empfehlung Einstellung der Speicher-Temperatur auf 60°C ■ Speicher-Temperaturen unter 50°C vermeiden <p>Großanlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Einhaltung von $\geq 60^\circ\text{C}$ am Warmwasseraustritt des Trinkwassererwärmers <p>dezentrale Elektro-Kleinspeicher</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Einstellbereich: 35 - 85 °C 								
Energieträger	alle Einbindung von solarer Strahlungsenergie								
Besonderheiten	<p>Verbindung mit Photovoltaikanlagen mittels Elektro-Heizeinsatz im Speicher</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Erhöhung des Eigenstromanteils der Photovoltaikanlage ■ Verbindung mit Solarthermie ■ bivalente Speicher ■ Kombispeicher 								
Lebensdauer nach VDI 2067 Blatt 1 (VDI 2067 Blatt 1 2012)	20 Jahre								

Quelle: ITG Dresden GmbH

Auslegung von Speichersystemen

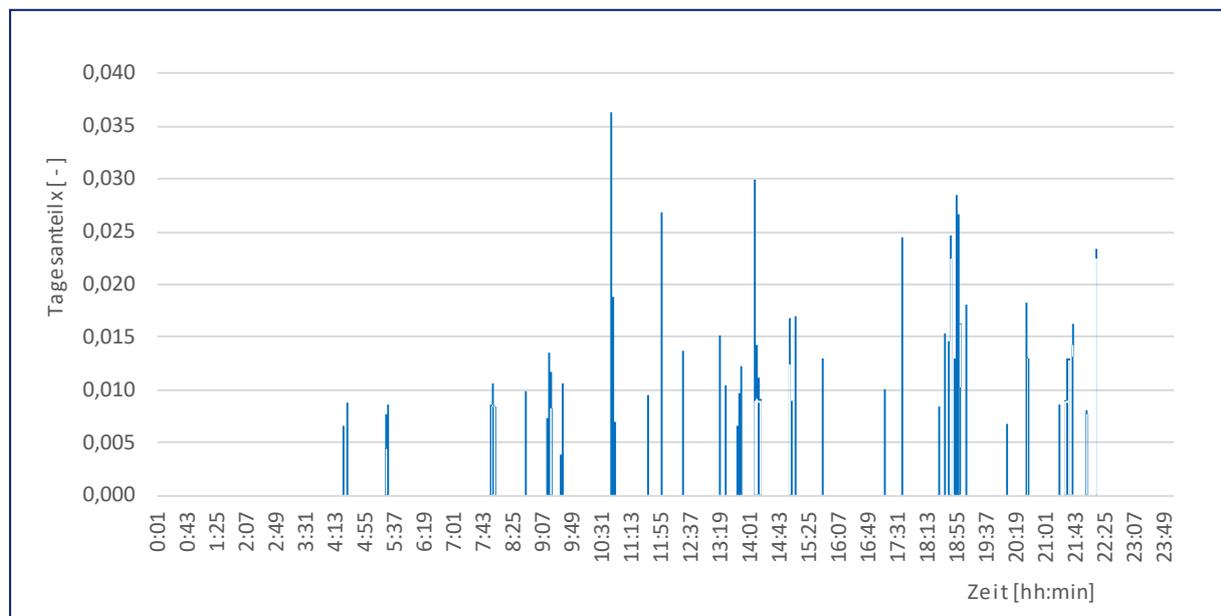
DIN EN 12831-3 (DIN EN 12831-03 2017) beschreibt ein Verfahren zur Berechnung der Leistung und des Speichervolumens, die zur Bemessung von Anlagen zur Trinkwassererwärmung erforderlich sind. Für die optimierte Auslegung der Anlage erfolgt ein Vergleich der Energiebedarfskennlinie für erwärmtes Trinkwasser mit der Versorgungskennlinie der Warmwasseranlage in Abhängigkeit von der Zeit. Die Linien können in kumulierter Form über einen bestimmten Zeitraum (i. d. R. 24 h) graphisch dargestellt werden.

Die Bedarfskennlinie bildet den kumulierten Verlauf des Energiebedarfs ab, der von der Anlage zur Trinkwassererwärmung bereitzustellen ist. Abbildung 4 zeigt das Zapfprofil für ein Mehrfamilienhaus. Mit dem notwendigen Volumen an Warmwasser kann der Energiebedarf je Stunde ermittelt werden, kumuliert ergibt sich die Bedarfskennlinie. Ausführungen zum Nutzenergiebedarf Warmwasser sind dem Abschnitt „Nutzenergiebedarf Warmwasser“ zu entnehmen.

Die Versorgungskennlinie bildet den kumulierten Verlauf der Energieversorgung ab, die die Anlage zur Trinkwassererwärmung bereitstellt, einschließlich der Verluste durch den Speicher oder Leitungsverluste. Zur Bestimmung der Versorgungskennlinie müssen folgende Parameter ermittelt werden:

- maximale Kapazität des Speichers für erwärmtes Trinkwasser
- minimale Speicherkapazität des Speichers für erwärmtes Trinkwasser (Speicher mit Mischbereich)
- Wärmeverluste des Speichers für erwärmtes Trinkwasser
- Wärmeverluste der Verteilleitungen für erwärmtes Trinkwasser
- Ein- und Ausschaltpunkte für die Nachheizung
- Zeitverzögerung des Wärmeerzeugers bis zum Erreichen seiner vollen Leistung
- effektive Leistung der Nacherhitzung des Wärmeerzeugers

Abbildung 4
Bedarfsprofil (Zapfprofil) für ein Mehrfamilienhaus



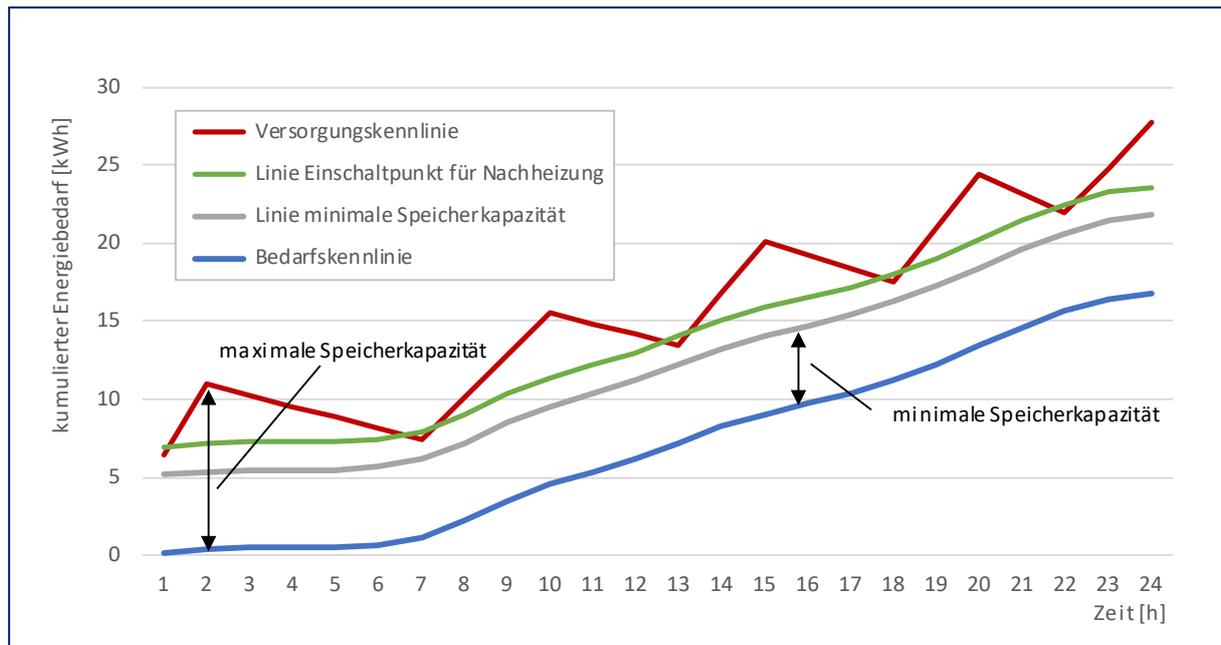
Quelle: (DIN EN 12831-03 2017)

Eine Warmwasseranlage ist angemessen ausgelegt, wenn

- bei Speichersystemen, die durch einen minimalen Mischbereich gekennzeichnet sind (wie Schichtlade-Trinkwasserspeicher oder Trinkwasserspeicher mit externen Wärmeüberträgern) die Versorgungskennlinie die Bedarfskennlinie nicht schneidet;
- bei Speicher-Wassererwärmern und Warmwasserspeichern mit einem ausgeprägten Mischbereich (wie Trinkwarmwasser-Speicher mit internen Wärmeüberträgern) die Versorgungskennlinie stets oberhalb der Bedarfskennlinie liegt und einen Mindestabstand (entspricht der minimalen Speicherkapazität) eingehalten wird.

Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Bedarfs- und Versorgungskennlinie für einen Speicher mit Mischbereich (Speicher mit internen Wärmeübertrager).

Abbildung 5
Bedarfs- und Versorgungskennlinie (Beispiel: Speicher mit Mischbereich – internem Wärmeübertrager)



Quelle: ITG Dresden GmbH

Eine optimale Auslegung des Speichersystems (Speicher und Leistung für die Nachheizung) kann einen Einfluss auf den Vergleich von zentralen und dezentralen Systemen haben bezüglich

- Verringerung der Investitionskosten für das Speichersystem
- Verringerung des Energiebedarfs durch geringeres Speichervolumen an Warmwasser und damit Verringerung der Wärmeverluste (Bereitschaftswärmeverlust).

Speicherdämmung / Wärmeverluste

Die Wärmeverluste eines Speichers zur Trinkwassererwärmung werden Bereitschaftswärmeverluste genannt und sind ein gemessener Produktkennwert. Ist dieser nicht bekannt, kann der Verlust zur energetischen Bewertung nach DIN V 18599 (DIN V 18599 2018) alternativ in Abhängigkeit vom Speichervolumen errechnet werden. Für die Auslegung der Speicher nach DIN EN 12831 Teil 3 (DIN EN 12831-03 2017) stehen Vorgabewerte für den Verlust im Bereitschaftsbetrieb in Abhängigkeit vom Speichervolumen zur Verfügung, vgl. Tabelle 8. Der jährliche Wärmeverlust eines 200 Liter Speichers eines Wohngebäudes beträgt damit rund 570 kWh/a. Teilweise stehen Speicher mit verschiedenen Dämmstärken zur Auswahl, beispielsweise mit 50 mm oder 75 mm Polyurethan/EPS-Hartschaum-Dämmung.

Tabelle 8
Verluste im Bereitschaftsbetrieb nach DIN EN 12831-3 (Auszug) (DIN EN 12831-03 2017)

Speichervolumen [l]	täglicher Bereitschaftsverlust [kWh/d]
5	0,35
120	1,20
150	1,35
200	1,56
300	1,91
500	2,46
1.000	3,48

Quelle: ITG Dresden GmbH

Solare Trinkwassererwärmung

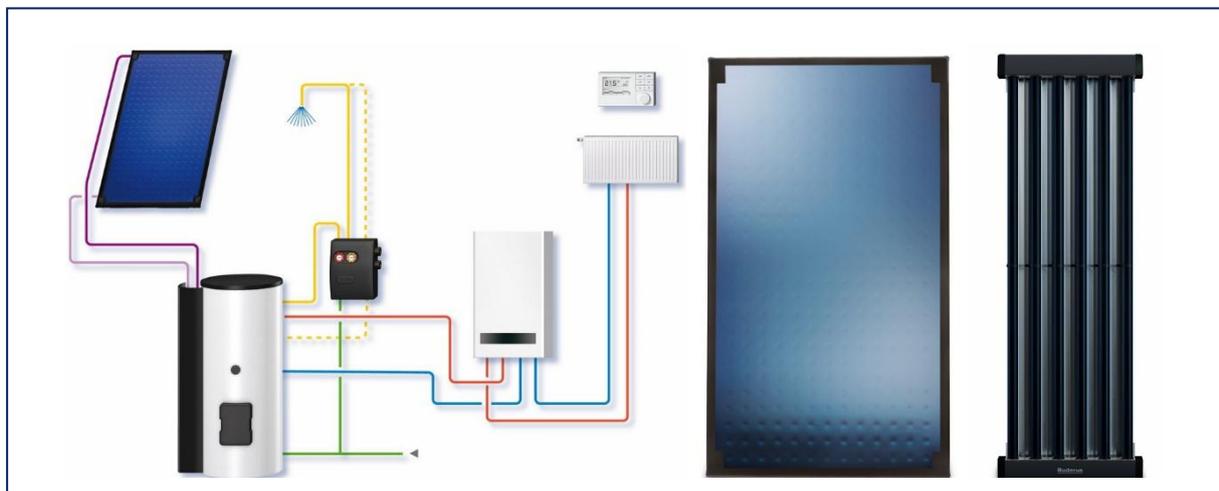
Solarthermische Anlagen nutzen die Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung und gegebenenfalls zur Heizungsunterstützung von Gebäuden. Wesentliche Komponenten einer thermischen Solaranlage sind Solarkollektor, Wärmespeicher und Solarkreislauf. Die Anlagen werden in der Regel bivalent, das heißt in Verbindung mit einem zweiten Wärmeerzeuger ausgeführt, beispielsweise mit einem Brennwert-Kessel.

In solarthermischen Anlagen können zwei verschiedene Kollektortypen zum Einsatz kommen: Flachkollektoren und Vakuum-Röhrenkollektoren. Vorrangig eingesetzt werden in Deutschland Flachkollektoren, sie bestehen aus selektiv beschichteten Hochleistungsabsorbern. Vakuum-Röhrenkollektoren erzielen auf Grund der Vakuumdämmung in der Regel höhere Erträge als Flachkollektoren und benötigen somit für den gleichen Ertrag weniger Fläche, sie sind in der Anschaffung jedoch teurer. Für alle Anwendungen stehen ausgereifte Speichertypen, wie bivalente Trinkwarmwasserspeicher, Pufferspeicher oder Kombispeicher mit integrierter Trinkwassererwärmung zur Verfügung, vgl. Abschnitt „Speichersysteme“. „Solar KEYMARK“ ist das europäische Qualitätszeichen für Sonnenkollektoren und vorgefertigte thermische Solaranlagen.

Bei der Bereitstellung von Warmwasser durch Solarthermie ist das Ziel eine möglichst vollständige Deckung des Warmwasserbedarfes im Sommer, so dass der zweite Wärmeerzeuger abgeschaltet werden kann. Der durchschnittliche jährliche Deckungsgrad für Trinkwassererwärmung liegt bei etwa 60 %.

Abbildung 6

Schema Solarthermieanlage zur Trinkwassererwärmung / Flachkollektor / Röhrenkollektor



Fotos: Bosch Thermotechnik GmbH

Tabelle 9
Kennwerte Solarthermieanlage zur Trinkwassererwärmung

Solarthermieanlage zur Trinkwassererwärmung							
System	zentrale Warmwasserbereitung						
Kombination Art Wärmeerzeuger Heizung	alle						
Einsatzgebiet	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ein- und Mehrfamilienhäuser ■ Bestand und Neubau 						
Größe / Leistung	<p>Beispiele für solare Trinkwassererwärmung</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 2 bis 4 Personenhaushalt 2 Flachkollektoren (5 m² Bruttofläche) + bivalenter Speicher 300 l ■ 3 bis 5 Personenhaushalt 3 Flachkollektoren (7,5 m²) + bivalenter Speicher 400l <p>Beispiele für solare Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung - Einfamilienhäuser</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 4 bis 5 Flachkollektoren (10 m² - 12,5 m²) + Kombispeicher 750l oder + Pufferspeicher 750 l mit Frischwasserstation ■ 6 Flachkollektoren (15 m²) + Kombispeicher 1.000 l oder + Pufferspeicher 1.000 l mit Frischwasserstation 						
Zirkulation	ja, entsprechend den Hygieneanforderungen						
Temperaturniveau	<p>Kleinanlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Empfehlung Einstellung der Speicher-Temperatur auf 60 °C ■ Speicher-Temperaturen unter 50 °C vermeiden <p>Großanlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Einhaltung von ≥ 60 °C am Warmwasseraustritt des Trinkwassererwärmers 						
Energieträger	solare Strahlungsenergie						
Besonderheiten	auch in Kombination mit Heizungsunterstützung						
Lebensdauer nach VDI 2067 Blatt 1 (VDI 2067 Blatt 1 2012)	<table border="0"> <tr> <td>Flachkollektor</td> <td>20 Jahre</td> </tr> <tr> <td>Vakuum-Röhrenkollektor</td> <td>18 Jahre</td> </tr> <tr> <td>Speicher</td> <td>20 Jahre</td> </tr> </table>	Flachkollektor	20 Jahre	Vakuum-Röhrenkollektor	18 Jahre	Speicher	20 Jahre
Flachkollektor	20 Jahre						
Vakuum-Röhrenkollektor	18 Jahre						
Speicher	20 Jahre						

Quelle: ITG Dresden GmbH

Warmwasser-Wärmepumpe

Warmwasser-Wärmepumpen sind kompakte Wärmepumpen mit integriertem Speicher, die der alleinigen Erwärmung von Trinkwasser dienen.

Je nach Wärmequelle unterscheidet man in

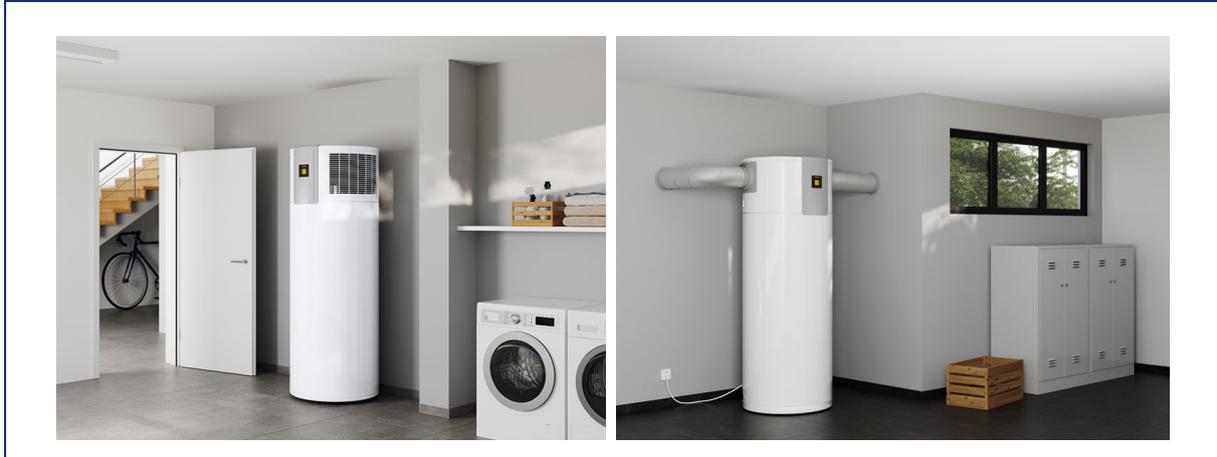
- Warmwasser-Wärmepumpen im Umluftbetrieb
- Warmwasser-Wärmepumpen für Luftkanal-/Außenluftbetrieb.

Warmwasser-Wärmepumpen im Umluftbetrieb nutzen die Innenluft des Aufstellraumes als Wärmequelle, beispielsweise die Kellerluft. Damit kühlen sie den Raum ab, in dem sie sich befinden. Je nach eigentlicher Nutzung und ggf. Beheizung des Aufstellraumes (auch durch Luftverbund mit angrenzenden Räumen) nutzt die Wärmepumpe damit gegebenenfalls Umgebungswärme, welche in der Heizperiode zumindest anteilig durch die Heizungsanlage des Gebäudes bereitgestellt wird. Außerhalb der Heizperiode nutzt die Warmwasser-Wärmepumpe Wärmeüberschüsse, welche andernfalls kaum nutzbar wären und führt darüber hinaus zu einer möglicherweise gewünschten Abkühlung für einen bestimmten Raum, beispielsweise einem Lagerraum.

Warmwasser-Wärmepumpen für Luftkanal-/Außenluftbetrieb nutzen Außenluft oder die Ab- bzw. Fortluft von Lüftungsanlagen als Wärmequelle. Für Gebäude mit Lüftungsanlagen bietet sich die Nutzung dieses Luftstroms als Wärmequelle an. Insbesondere bei reinen Abluftanlagen kann die Trinkwassererwärmung zu einem großen Anteil durch Energie versorgt werden, die ansonsten „weggelüftet“ würde. Doch auch die Fortluft einer Zu-/Abluft-Anlage mit Wärmerückgewinnung weist im Heizfall noch ein etwas höheres

energetisches Potenzial als die Außenluft auf. Zentrale Lüftungsanlagen sind allerdings im älteren Bestand an Ein-/Zweifamilienhäusern kaum verbreitet und eher im sehr jungen Bestand oder im Neubau vorzufinden.

Abbildung 7
Warmwasser-Wärmepumpe mit Umluftbetrieb und für Luftkanal-/Außenluftbetrieb



Fotos: www.stiebel-eltron.de

Tabelle 10
Kennwerte Warmwasser-Wärmepumpe

Warmwasser-Wärmepumpe	
System	zentrale Warmwasserbereitung, unabhängig von Wärmeerzeugung
Kombination Wärmeerzeuger Heizung	alle (außer i.d.R. Wärmepumpen)
Einsatzgebiet	<ul style="list-style-type: none"> ■ vorwiegend Ein-/Zweifamilienhäuser ■ Bestand und Neubau
Größe / Leistung	Speicherinhalt bis 300 Liter
Zirkulation	ja Kleinanlage: Ausnahme möglich bei günstigen Verhältnissen Rohrleitungsinhalten < 3 l zwischen Warmwasser-Wärmepumpe und jeder Entnahmestelle
Temperaturniveau	55 °C / max. 65 °C möglich
Energieträger	Strom
Wärmequelle	<ul style="list-style-type: none"> ■ Innenluft des Aufstellraums (Umluftbetrieb, z.B. Kellerluft) ■ Außenluft ■ Abluft von Abluftanlagen ■ Fortluft einer zentralen Lüftungsanlage
Besonderheiten	Verbindung mit Photovoltaikanlagen <ul style="list-style-type: none"> ■ Erhöhung des Eigenstromanteils der Photovoltaikanlage ■ zweistufige Funktion möglich: Wärmepumpe und Elektro-Heizeinsatz Verbindung mit Solarthermie oder vorhandenem Heizungssystem <ul style="list-style-type: none"> ■ Warmwasser-Wärmepumpe mit integrierten Glattrohr-Wärmeübertrager im Speicher
Lebensdauer nach VDI 2067 Blatt 1 (VDI 2067 Blatt 1 2012)	18 Jahre

Quelle: ITG Dresden GmbH

Wohnungsstationen für Heizung/Trinkwassererwärmung und Wohnungsstationen für Trinkwassererwärmung

Wohnungsstationen versorgen einzelne Wohnungen mit Wärme sowie mit warmem und kaltem Trinkwasser. Die dazu benötigte Wärme wird über einen zentralen Wärmeerzeuger mit Pufferspeicher bereitgestellt und über ein zentrales Verteilsystem zu den Wohnungsstationen geführt. Wohnungsstationen können für die alleinige Trinkwassererwärmung oder für Heizung und Trinkwassererwärmung eingesetzt werden. Je nach Einsatzgebiet, Art des Wärmeübertragers und Leistungsbereich sind die Wohnungsstationen in verschiedenen Ausführungen verfügbar.

Die Erwärmung des Trinkwassers erfolgt dezentral über einen Wärmeübertrager nach dem Durchlaufprinzip. Damit ist eine hygienische Bereitstellung von Warmwasser direkt in der Wohneinheit gewährleistet, da Probleme durch mögliches Legionellenwachstum im Speicher bzw. Rohrleitungen weitestgehend vermieden werden. Die Regelung der Trinkwassererwärmung in den Wohnungsstationen kann elektronisch, thermostatisch oder hydraulisch (mittels Proportionalmengenregler) erfolgen.

Wohnungsstationen mit Heizungsanschluss sind für einen direkten Anschluss oder für einen gemischten Heizkreis konzipiert. So können sowohl freie Heizflächen, Flächenheizungen oder eine Kombination beider vorgesehen werden.

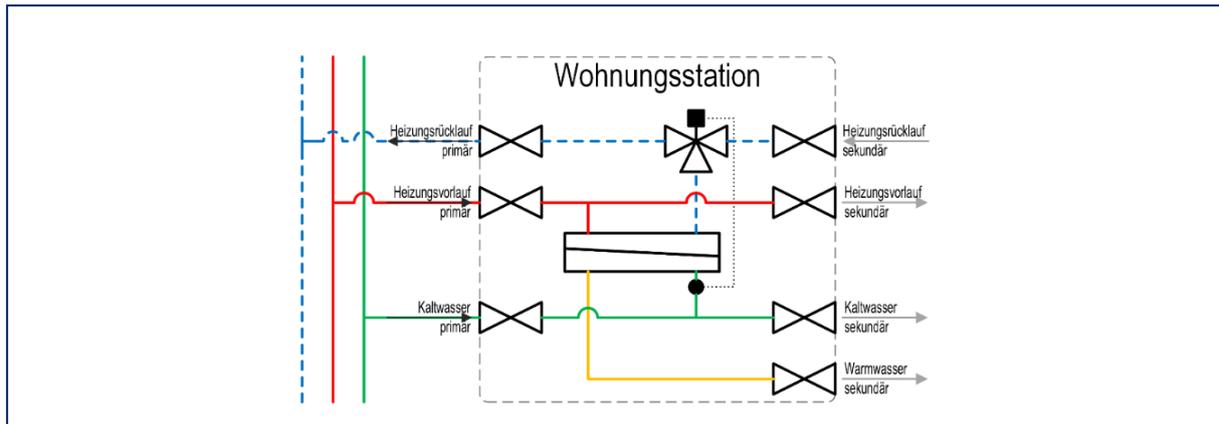
Das primärseitige Verteilnetz kann als 2-Leiternetz oder als 4-Leiter- bzw. 3-Leiternetz konzipiert werden. Ein 2-Leiternetz besteht aus einem Heizungswasservor- und einem Heizungswasserrücklauf, es liegt zu jedem Zeitpunkt primärseitig nur ein Temperaturniveau an, vgl. Abbildung 8. Beim 4-Leiternetz gibt es zwei Vor- und zwei Rücklaufleitungen. Es werden der Wohnungsstation damit primärseitig zwei unterschiedliche und voneinander unabhängige Temperaturniveaus bereitgestellt – üblicherweise Hochtemperaturwärme¹ (HT) zur dezentralen Trinkwassererwärmung und Niedertemperaturwärme (NT) für die Raumheizung. Die Bereitstellung der beiden Temperaturniveaus kann über einen Wärmeerzeuger erfolgen oder getrennt je mit einem Wärmeerzeuger für Heizung und Warmwasser. Das 3-Leiternetz stellt eine Sonderform des 4-Leiternetzes dar, hier wird ein Rücklauf für beide Temperaturniveaus gemeinsam genutzt.

Damit stets Trinkwasser an der Station erwärmt werden kann, muss auch dann, wenn keine Wärme für die Raumheizung benötigt wird, primärseitig Heizungswasser mit ausreichend hoher Temperatur an der Station anliegen. Für die Gewährleistung eines gewissen Heizungswasserdurchflusses muss die Heizungsumwälzpumpe ganztägig und ganzjährig im Betrieb bleiben und eine Überströmeinrichtung vorhanden sein. Diese wird in der Regel innerhalb der letzten Wohnungsstation eines Heizungsstranges oder in jeder Wohnungsstation angeordnet, vgl. Abbildung 9.

Die notwendige primärseitige Vorlauftemperatur zur Wohnungsstation ist von der gewünschten Trinkwarmwassertemperatur und der Warmwasserleistung des Wärmeübertragers abhängig. Derzeit sind primärseitige Übertemperaturen von 5 K bis 15 K üblich. Ein ausreichend hohes primärseitiges Vorlauftemperaturniveau vorausgesetzt, kann Trinkwasser im Durchlaufprinzip vollständig durch die Wohnungsstation auf die geforderte Zapftemperatur (45 °C bis 60 °C) erwärmt werden, Abbildung 10. Ist für einen effizienten Betrieb des Wärmeerzeugers (zum Beispiel bei einem Wärmepumpensystem) ein niedriges primärseitiges Temperaturniveau notwendig oder ist aus anderen Gründen das Temperaturniveau für die Erwärmung des Trinkwassers auf die gewünschte Zapftemperatur zu niedrig, erfolgt üblicherweise eine elektrische Nacherwärmung mittels Elektro-Durchlauferhitzer in der Wohnungsstation (Hybridsystem), Abbildung 11.

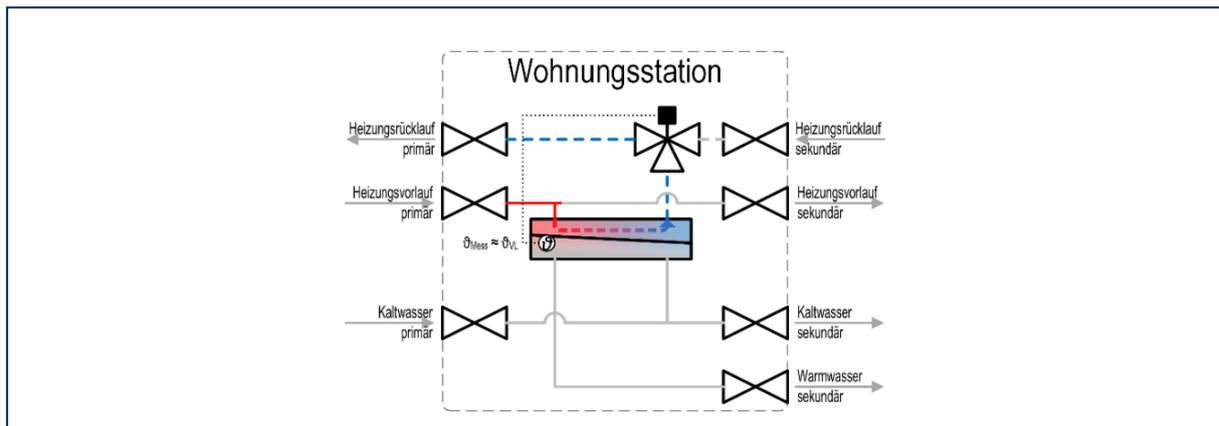
¹ Hochtemperaturwärme bedeutet in diesem Zusammenhang ein Temperaturniveau von etwa 60 °C bis 75 °C.

Abbildung 8
Prinzip Wohnungsstation (direkter Heizungsanschluss, 2-Leitersystem, ohne elektrische Nacherwärmung)



Quelle: ITG Dresden GmbH

Abbildung 9
Vorlauftemperaturvorhaltung bei Stillstand: Überströmung integriert in Durchflusssteuerung des Wärmeübertragers



Quelle: ITG Dresden GmbH

Abbildung 10
Wohnungsstation (direkter Heizkreisanschluss)



Foto: Oventrop GmbH & Co. KG

Abbildung 11
Wohnungsstation (Hybridsystem, mit Anschluss für Flächenheizung)

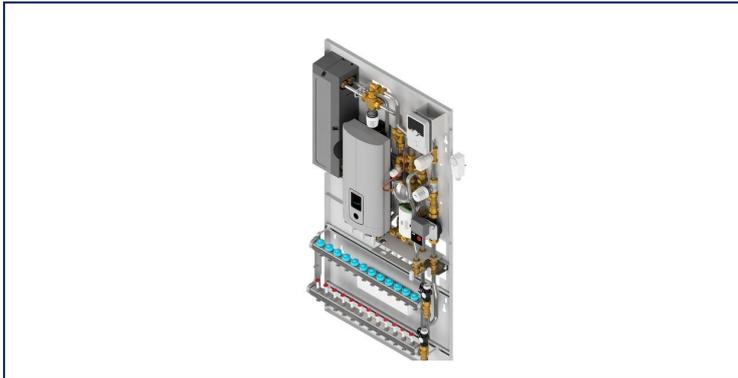


Foto: PEWO Energietechnik GmbH, Elsterheide

Tabelle 11
Kennwerte Wohnungsstationen

Wohnungsstationen für Heizung / TWE			
System	dezentrale bzw. wohnungszentrale Warmwasserbereitung (Gruppenversorgung)		
Kombination Art Wärmeerzeuger Heizung	alle		
Einsatzgebiet	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mehrfamilienhäuser ■ Bestand und Neubau 		
Größe / Leistung / Temperaturen	Zapfmengen je nach Bauart zwischen: 8 bzw. 12 l/min und 25 l/min		
	Temperaturbeispiele		
	Warmwassertemperatur (ohne E-DLE)	Übertemperatur	primärseitige Heizungs- Vorlauftemperatur
	50 °C	5 K	55 °C
	50 °C	15 K	65 °C
55 °C	10 K	65 °C	
35 °C	5 K	40 °C	
Zirkulation	innerhalb der Wohneinheit mit Zusatzausstattung möglich nur notwendig, wenn Zapfstellen zu weit von der Wohnungsstation entfernt liegen Rohrleitungsinhalt > 3 l zwischen Wohnungsstation und Entnahmestelle		
Energieträger	Strom, Gas, Nah-/Fernwärme, Biomasse Einbindung von Solarthermie in den Pufferspeicher möglich		
Wärmequelle	-		
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> ■ Einfacher Austausch von Gas-Etagenheizungen im Bestand ■ Hybridsysteme mit integriertem Elektro-Durchlauferhitzer ■ Unterschiedliche Wärmeübertrager in Abhängigkeit von der Trinkwasserqualität aus Kupfer oder Edelstahl 		
Lebensdauer nach VDI 2067 Blatt 1 (VDI 2067 Blatt 1 2012)	Wohnungsstation 20 Jahre (wie Plattenwärmeübertrager / Wärmeübergabestation) Elektro-Durchlauferhitzer 15 Jahre (elektronisch geregelt)		

Quelle: ITG Dresden GmbH

Elektro-Durchlauferhitzer

Elektro-Durchlauferhitzer versorgen je nach Ausführung eine oder mehrere Zapfstellen einer Wohnung mit Warmwasser. Elektro-Durchlauferhitzer werden entsprechend ihrer Steuerung in hydraulische Durchlauferhitzer und elektronische Durchlauferhitzer eingeteilt.

Moderne Elektro-Durchlauferhitzer sind elektronisch geregelt. Mit ihrer elektronischen Durchflussmengen-Regelung kann die gewünschte Warmwassertemperatur gradgenau bereitgestellt werden. Sensoren bestimmen dabei beispielsweise die Wassertemperatur und die Durchflussmenge des einströmenden Wassers. Es wird damit nur die Energie zur Erwärmung des Wassers auf die Wunschtemperatur benötigt, eine Beimischung von Kaltwasser an der Armatur ist (anders als bei hydraulisch gesteuerten Durchlauferhitzern) nicht erforderlich. Zudem verfügen sie über ein Display, in welchem neben der Warmwasser-Soll-Temperatur weitere Werte, wie die aktuelle Leistungsaufnahme oder der Energieverbrauch angezeigt werden.

Durchlauferhitzer eignen sich für den Betrieb mit vorerwärmtem Wasser (Hybridsysteme), wie beispielsweise aus einer Solar- oder Wärmepumpenanlage, in Verbindung mit Wohnungsstationen oder bei Wärmerückgewinnung aus Duschaabwasser.

Die jeweils notwendige minimale Geräteleistung ergibt sich aus der gewünschten Anwendung in Verbindung mit der notwendigen Warmwassertemperatur und dem Bedarf an Warmwasser (Warmwassermenge). Entsprechend können die verfügbaren Gerätetypen eine oder auch mehrere Zapfstellen versorgen.

Abbildung 12
Elektronischer Durchlauferhitzer mit Bedienteil und Detailansicht Display mit Statistiken



Fotos: clage.de

Tabelle 12
Kennwerte Elektro-Durchlauferhitzer

Elektro-Durchlauferhitzer			
System	dezentrale bzw. wohnungszentrale Warmwasserbereitung, unabhängig von Wärmeerzeugung		
Kombination Art Wärmeerzeuger Heizung	alle		
Einsatzgebiet	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ein- und Mehrfamilienhäuser ■ Bestand und Neubau 		
Größe / Leistung / Temperaturen	Komfort-Durchlauferhitzer für Bad	18 / 21 / 24 / 27 kW	20 - 60 °C
	Kompakt-Durchlauferhitzer für Küchen	11 - 13,5 kW	20 - 60 °C
	Mini-Durchlauferhitzer für Handwaschbecken	3,5 - 6,5 kW	30 - 50 °C
	Temperaturen gradgenau einstellbar bei vollelektronischen Durchlauferhitzern		
Zirkulation	keine		
Energieträger	Strom		
Besonderheiten	Betrieb als Hybridsystem mit vorerwärmtem Wasser möglich <ul style="list-style-type: none"> ■ Solar- oder Wärmepumpenanlage ■ in Verbindung mit Wohnungsstationen ■ bei Wärmerückgewinnung aus Duschwasser 		
Lebensdauer nach VDI 2067 Blatt 1 (VDI 2067 Blatt 1 2012)	15 Jahre (Elektronisch geregelter Durchlauferhitzer)		

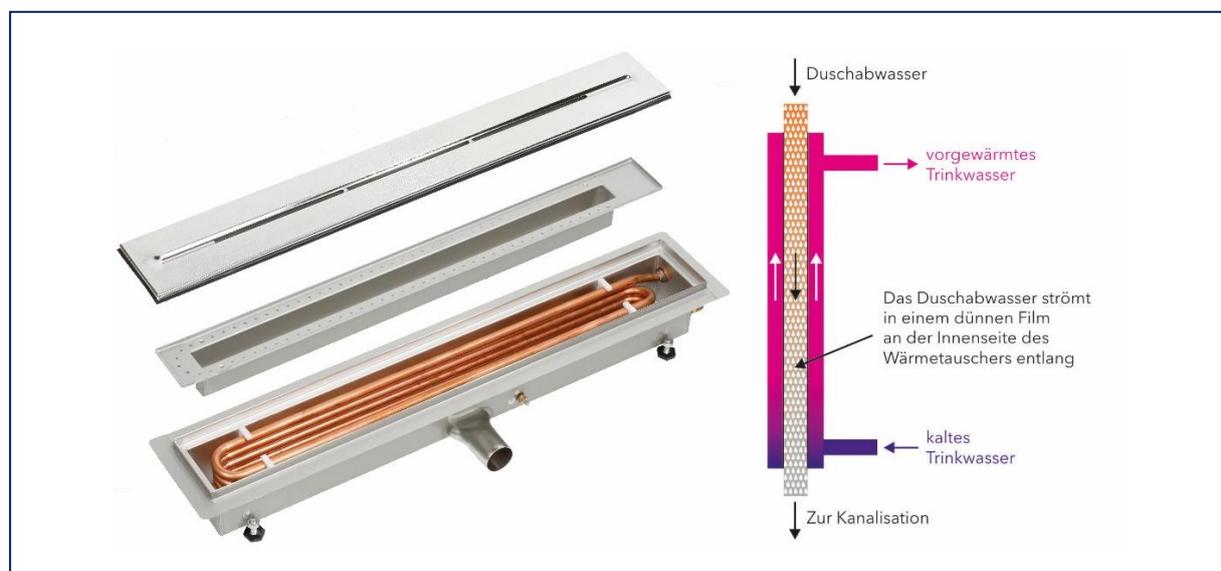
Quelle: ITG Dresden GmbH

Wärmerückgewinnung aus Duschwasser

Eine Wärmerückgewinnung aus dem abfließenden Duschwasser kann mit verschiedenen Systemen erfolgen:

- Duschrinne mit Wärmeübertrager bzw. Duschtassen mit integrierten Wärmeübertrager
- Duschrrohr mit Wärmeübertrager

Abbildung 13
Duschrinne und Schema eines Duschröhres

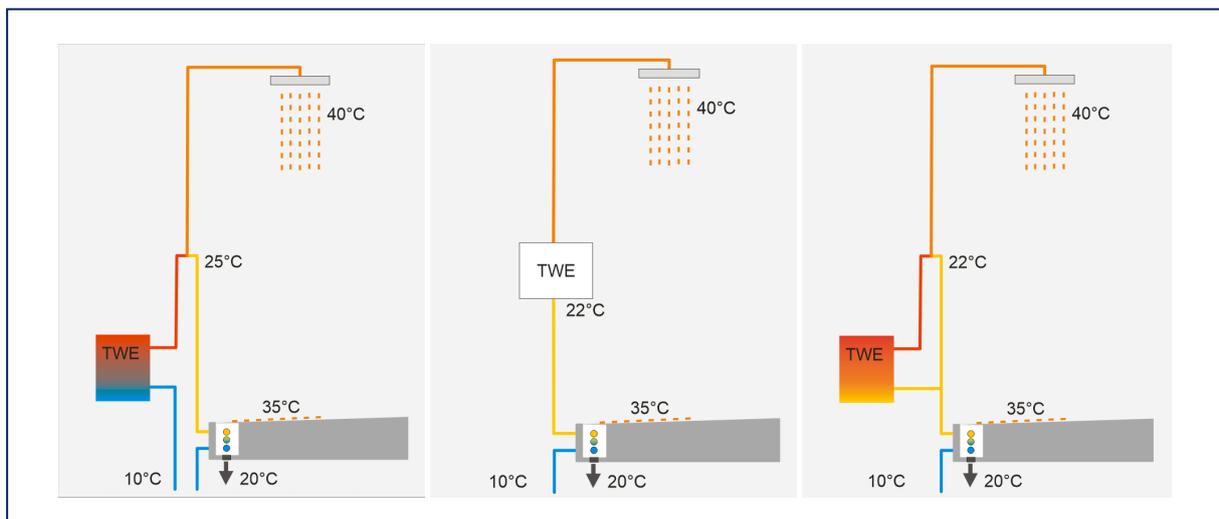


Fotos: Wagner Solar GmbH

Das abfließende Duschwasser erwärmt über einen Wärmeübertrager das nachfließende Kaltwasser. Das so vorerwärmte Kaltwasser kann direkt an die Mischarmatur geführt werden oder zum Trinkwassererwärmer, wie einem elektronischen Durchlauferhitzer. Zur Einbindung der Wärmerückgewinnungssysteme in das Kaltwassernetz sind damit folgende Betriebsweisen möglich:

- (1) Zentrale Trinkwassererwärmung: Vorwärmung des Kaltwassers zur Mischarmatur
Abwassermassestrom der Dusche ist größer als der Kaltwassermassestrom im Wärmeübertrager
⇒ nicht balancierter Betrieb
- (2) Dezentrale Trinkwassererwärmung: Vorwärmung des Kaltwassers zum Trinkwassererwärmer
Abwassermassestrom der Dusche entspricht dem Kaltwassermassestrom im Wärmeübertrager
⇒ balancierter Betrieb
- (3) Trinkwassererwärmung mit Speicher: Vorwärmung des Kaltwassers zum Speicher und zur Mischarmatur
Abwassermassestrom der Dusche entspricht dem Kaltwassermassestrom im Wärmeübertrager
⇒ balancierter Betrieb

Abbildung 14
Schematische Darstellung der Betriebsweisen (1), (2) und (3)



Quelle: ITG Dresden GmbH

Ein balancierter Betrieb ist effizienter als ein nicht balancierter Betrieb. Damit beeinflusst die Betriebsweise neben den Eigenschaften des Wärmeübertragers, dem Duschwasservolumenstrom und den Temperaturen am Wärmeübertrager die Effizienz der Wärmerückgewinnung.

Die dargestellten Systeme sind geprüft, erfüllen die hygienischen Vorschriften (doppelte Trennung zwischen Trinkwasser und Duschabwasser) und entsprechen damit den allgemeinen Regeln der Technik.

Tabelle 13
Kennwerte Duschwasser-Wärmerückgewinnung

Duschwasser-Wärmerückgewinnung	
System	Kombination mit dezentraler und zentraler Warmwasserbereitung
Kombination Art Wärmeerzeuger Heizung	alle
Einsatzgebiet	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ein- und Mehrfamilienhäuser ■ Bestand und Neubau
Größe / Leistung	Duschrinne: Wärmeübertrager mit 3 oder 5 Kupferrohren Wirkungsgrad System hocheffizient: 45 % (balancierter Betrieb) System Standard: 25 % (balancierter Betrieb)
Zirkulation	-
Temperaturniveau	je nach Größe/Effizienz des Wärmeübertragers, der Duschwasser- und der Kaltwassertemperatur Vorerwärmung des Kaltwassers zum Warmwasserbereiter und/oder zur Mischarmatur auf 22 – 27 °C
Energieträger	-
Wärmequelle	Abwärme des Duschabwassers
Besonderheiten	-
Lebensdauer nach VDI 2067 Blatt 1 (VDI 2067 Blatt 1 2012)	15 Jahre (Wärmeübertrager mit Kupferbatterie, Trinkwasser)

Quelle: ITG Dresden GmbH

Kombination der Trinkwassererwärmung mit Photovoltaik-Anlagen

Systeme zur Trinkwassererwärmung können mit Photovoltaik-Anlagen kombiniert werden. Der in der Photovoltaik-Anlage erzeugte Strom kann dabei direkt in Wärmepumpen zur Heizung und Trinkwassererwärmung oder in Warmwasser-Wärmepumpen eingesetzt werden. Zudem ist eine Speicherung in Heizungs-Pufferspeichern oder Warmwasserspeichern über einen Elektro-Heizeinsatz möglich.

Die Nutzung von Strom aus Photovoltaikanlagen zur direkten oder indirekten Erwärmung von Trinkwasser erhöht den Eigenstromverbrauch und damit die Wirtschaftlichkeit der Photovoltaikanlage. So kann ggf. die Photovoltaik-Anlage die Bereitstellung von Warmwasser im Sommer komplett übernehmen.

Für die Nutzung von Strom aus Photovoltaik-Anlagen zur Trinkwassererwärmung in Verbindung mit Elektro-Durchlauferhitzern ist durch den zeitlichen Versatz von Bereitstellung und Nutzung die Kombination mit einem Batteriespeicher sinnvoll. Jedoch sind Speicherkapazität und Leistungsabgabe von Batteriespeichern begrenzt, weswegen bei der Nutzung von Elektro-Durchlauferhitzern ggf. zusätzlich Strom aus dem Netz bezogen werden muss. Der Anteil an selbst genutzten Strom in Verbindung mit Elektro-Durchlauferhitzern ist damit geringer zu erwarten als bei der Nutzung des Stromes in Wärmepumpen- oder Speichersystemen zur Trinkwassererwärmung.

Eine Nutzung von solarer Strahlungsenergie aus Photovoltaik-Anlagen im Heizungs- bzw. Trinkwassererwärmungssystem führt zu einer höheren Anrechenbarkeit der Photovoltaik-Anlage im Sinne des GEG.

Kombinierte Varianten und Parameterstudie

Randbedingungen

Gebäude und baulicher Wärmeschutz

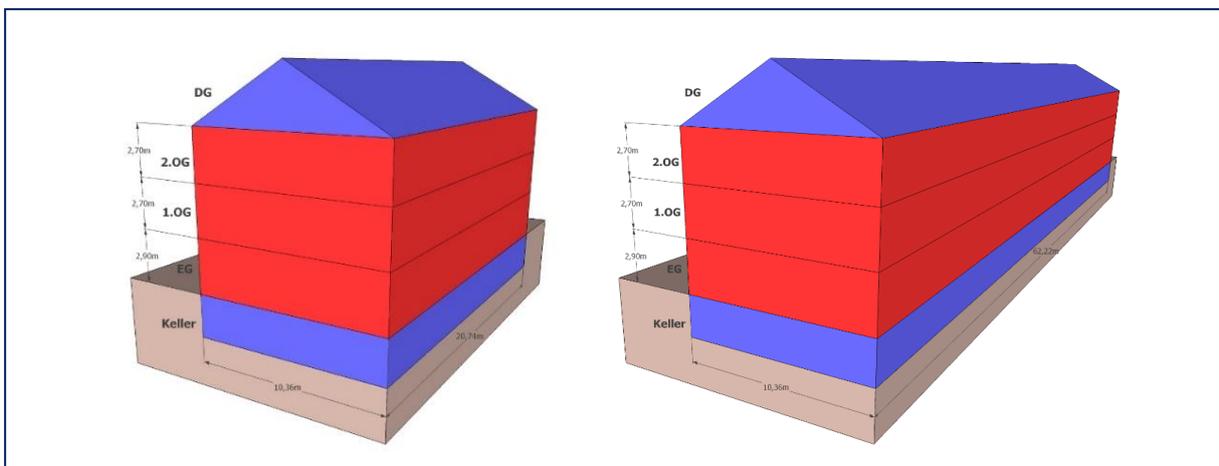
Die Vergleichsrechnungen werden am Beispiel von drei Wohngebäuden mit verschiedenen baulichen Wärmeschutzniveaus durchgeführt. Die jeweiligen Wohn-, Nutz- und Nettogrundflächen² sowie der Warmwasserbedarf nach DIN V 18599 sind in Tabelle 14 angegeben.

Abbildung 15
Einfamilienhaus klein mit Keller



Quelle: (ZUB Kassel e.V. 2010)

Abbildung 16
6-Familienhaus und 18-Familienhaus



Quelle: ITG Dresden GmbH

² Entsprechend GEG ist die Nutzfläche die Bezugsfläche für Wohngebäude. Die Nettogrundfläche wird für die Ermittlung des Warmwasserbedarfs benötigt.

Tabelle 14
Gebäudekennwerte und Warmwasserbedarf

gebäudespezifischer Kennwert	EFH Bestand	EFH Neubau	6-Familienhaus	18-Familienhaus
Wohnfläche	110 m ²	110 m ²	500 m ²	1.500 m ²
Nutzfläche Keller unbeheizt	149 m ²	-	605 m ²	1.815 m ²
Nutzfläche Keller beheizt	-	235 m ²	-	-
Nettogrundfläche Keller unbeheizt	136 m ²	-	555 m ²	1.664 m ²
Nettogrundfläche Keller beheizt	-	192 m ²	-	-
Warmwasserbedarf DIN V 185991 ³	1.320 kWh/a	1.629 kWh/a	6.588 kWh/a	19.763 kWh/a

Quelle: ITG Dresden GmbH

Der bauliche Wärmeschutz der Gebäude im Bestand entspricht etwa einem 20 bis 25 Jahre alten Gebäude bzw. einem älteren Gebäude mit nachträglich verbessertem baulichem Wärmeschutz Für Gebäude im Neubau wird der bauliche Wärmeschutz entsprechend einem Effizienzhaus 55 und einem Effizienzhaus 40 angesetzt. Gemäß der Änderung des GEG im Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor (GEG 2023) gelten für Neubauten ab dem 01.01.2023 die primärenergetischen Anforderungen entsprechend Effizienzhaus 55, die baulichen Anforderungen entsprechen dem Referenzgebäude. Die jeweiligen Anforderungswerte enthält Tabelle 15.

Tabelle 15
Anforderungen Neubau

Neubauniveau	Primärenergiebedarf	baulicher Wärmeschutz
GEG neu	$q_{P,vorhanden} \leq 55\% \cdot q_{P,Referenz}$	$H'_{T,vorhanden} \leq 100\% \cdot H'_{T,Referenz}$
Effizienzhaus 55	$q_{P,vorhanden} \leq 55\% \cdot q_{P,Referenz}$	$H'_{T,vorhanden} \leq 70\% \cdot H'_{T,Referenz}$
Effizienzhaus 40	$q_{P,vorhanden} \leq 40\% \cdot q_{P,Referenz}$	$H'_{T,vorhanden} \leq 55\% \cdot H'_{T,Referenz}$

Quelle: ITG Dresden GmbH

Die angesetzten U-Werte und die grundsätzlichen Ausführungen bezüglich der Lüftung der Gebäude ist in Tabelle 16 angegeben.

Tabelle 16
U-Werte, Wärmebrückenzuschläge sowie Ausführung der Lüftung der Wohngebäude

Kennwert	Bestand 5 Jahre	Effizienzhaus 55	Effizienzhaus 40	
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	0,50	0,20	0,13
	Fenster	1,30	0,90	0,70
	Dach / oberste GD	0,30 / 0,24	0,13	0,10
	Bodenplatte / Kellerdecke	0,37	0,25	0,18
	Wärmebrückenzuschlag	0,10	0,035	0,03
Luftdichtheit	Kategorie III	Kategorie I	Kategorie I	
Lüftungsanlage	keine	Abluftanlage	Zu-/Abluftanlage WRG	

Quelle: ITG Dresden GmbH

³ Warmwasserbedarf unabhängig vom Trinkwassererwärmungssystem. Bei Einsatz eines elektronisch geregelten E-DLE erfolgt eine Korrektur des Nutzenergiebedarfes für Trinkwarmwasser auf Grund der selbsttätigen Regelung der Zapftemperatur direkt am Gerät.

Tabelle 17
Zulässiger Primärenergiebedarf je Anforderungsniveau

Primärenergiebedarf		EFH Neubau	6-Familienhaus	18-Familienhaus
Referenzgebäude	kWh/m ² a	88,44	76,47	68,00
Effizienzhaus 55	kWh/m ² a	48,64	42,06	37,40
Effizienzhaus 40	kWh/m ² a	35,37	30,59	27,20

Quelle: ITG Dresden GmbH

Energetische und ökologische Bewertung

Die Berechnungen zum Energiebedarf erfolgen mit dem Programm „Energieeffizienz Gebäude DIN V 18599/GEG“ auf Basis der DIN V 18599:2018-09 (DIN V 18599 2018). Allen Anlagensystemen wird die Ausführung nach aktuellem Stand der Technik unterstellt. Bei Systemen, welche softwaremäßig derzeit nicht oder nicht vollständig abbildbar sind, werden entsprechende Anpassungen bzw. Handrechnungen durchgeführt. Bei der Umsetzung in der Praxis ist eine detaillierte anlagentechnische Planung Voraussetzung.

Der Warmwasserbedarf wird entsprechend der Vorgabe der DIN V 18599 angesetzt. Dieser ist für den öffentlich-rechtlichen Nachweis bindend. Der Einfluss eines davon abweichenden Warmwasserbedarfes, beispielsweise durch abweichendes Nutzerverhalten, wird durch Verringerung des Warmwasserbedarfes geprüft und die Auswirkungen in einem Exkurs beschrieben.

Für die Neubauvarianten wird die Einhaltung der Vorgaben nach dem Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2020) bzw. diesbezüglicher Änderungen im Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor (GEG 2023) geprüft. Beim baulichen Wärmeschutzniveau nach Effizienzhaus 40 erfolgt die Prüfung der Einhaltung des zulässigen Primärenergiebedarfes für das Effizienzhausniveau 40.

Für die Gebäude im Bestand wird entsprechend Koalitionsvertrag ebenfalls die Einhaltung der Vorgabe zum Einsatz von 65 % erneuerbarer Energien geprüft. Bei den Varianten mit einem Gas-Brennwert-Kessel als zentraler Wärmeerzeuger wird dementsprechend der jeweils notwendige Anteil an Biomethan zur Einhaltung der Vorgabe ausgewiesen und in den Berechnungen berücksichtigt.

Die ökologische Bewertung erfolgt bezüglich des Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) unter Ansatz der Primärenergiefaktoren und der THG-Emissionsfaktoren nach GEG. Für das Wärmenetz wird entsprechend der Ausführungsanforderungen des Modellgebäudeverfahrens der Primärenergiefaktor von 0,60 angesetzt.

Für die Varianten Einfamilienhaus Bestand mit Gas-Brennwertkessel wird jeweils der Anteil an Biomethan ausgewiesen, welcher notwendig ist, das Ziel die Heizungs- und Trinkwassererwärmungsanlagen mit 65 % erneuerbarer Energie zu betreiben. Primärenergiefaktor und THG-Emissionsfaktor bestimmen sich jeweils aus dem notwendigen Anteil an Biomethan im Erdgas-Biomethan-Gemisch.

Tabelle 18
Primärenergiefaktoren und THG-Emissionsfaktoren je Energieträger

Energieträger	Primärenergiefaktor [-]	THG-Emissionsfaktor [g/kWh]
Erdgas	1,1	240
100 % Biomethan (in Brennwertkessel)	0,7	140
Strom	1,8	560
Strom (Verdrängung durch PV-Anlage)	1,8	560
Wärmenetz	0,6	180

Quelle: ITG Dresden GmbH

Die primärenergetische Gutschrift für in unmittelbarem räumlichem Zusammenhang erzeugten Strom in Photovoltaikanlagen erfolgt entsprechend der Änderung des GEG im Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor (GEG 2023). Die für die betrachteten Varianten abzugsfähige Strommenge ergibt sich aus der Gegenüberstellung der monatlichen Erträge der Photovoltaikanlage und dem Strombedarf für Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung und Hilfsenergien. Eine Anrechnung erfolgt unabhängig von Volleinspeisung oder (anteiligem) Eigenverbrauch.

Die Gutschrift an THG-Emissionen erfolgt nach dem Berechnungsansatz des GEG unter Einbeziehung des anrechenbaren Primärenergiebedarfs.

Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Für die Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit der Anlagensysteme erfolgt die Ermittlung der Jahresgesamtkosten in Anlehnung an VDI 2067 Blatt 1 (VDI 2067 Blatt 1 2012). Diese beinhalten folgende Kostenbestandteile:

- verbrauchsgebundene Kosten
 - Energiekosten
 - PV-Vergütung und eingesparte Strombezugskosten und Einspeisevergütung
- Investitionen und kapitalgebundene Kosten
- betriebsgebundene Kosten
 - Kosten für Instandhaltung
 - Wartungskosten
 - Schornsteinfegergebühren
 - Versicherung (PV-Anlage)
 - Heizkostenabrechnung (Mehrfamilienhäuser)
 - Legionellenüberprüfung bei zentraler TWE in Mehrfamilienhäusern (min. alle 3 Jahre).

Der Betrachtungszeitraum (= Lebensdauer) wird für alle Komponenten der Heizungs- und Trinkwassererwärmungssysteme auf 20 Jahre festgelegt. Es werden damit keine Ersatzinvestitionen und Restwerte in den Berechnungen berücksichtigt.

Verbrauchsgebundene Kosten

Die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten die Energiekosten. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung werden folgende Energiepreise angesetzt.

Tabelle 19
Energiepreise

Energieträger	Grundpreis [€/a]	Arbeitspreis [€/kWh]
Erdgas	125,17	0,116
100% Biomethan	125,17	0,158
Strom - Haushaltstarif	-	0,282
Strom - Wärmepumpentarif	104,38	0,220
Wärmenetz EFH	600	0,112
Wärmenetz 6-FH	1.110	0,112
Wärmenetz 18-FH	1.500	0,112

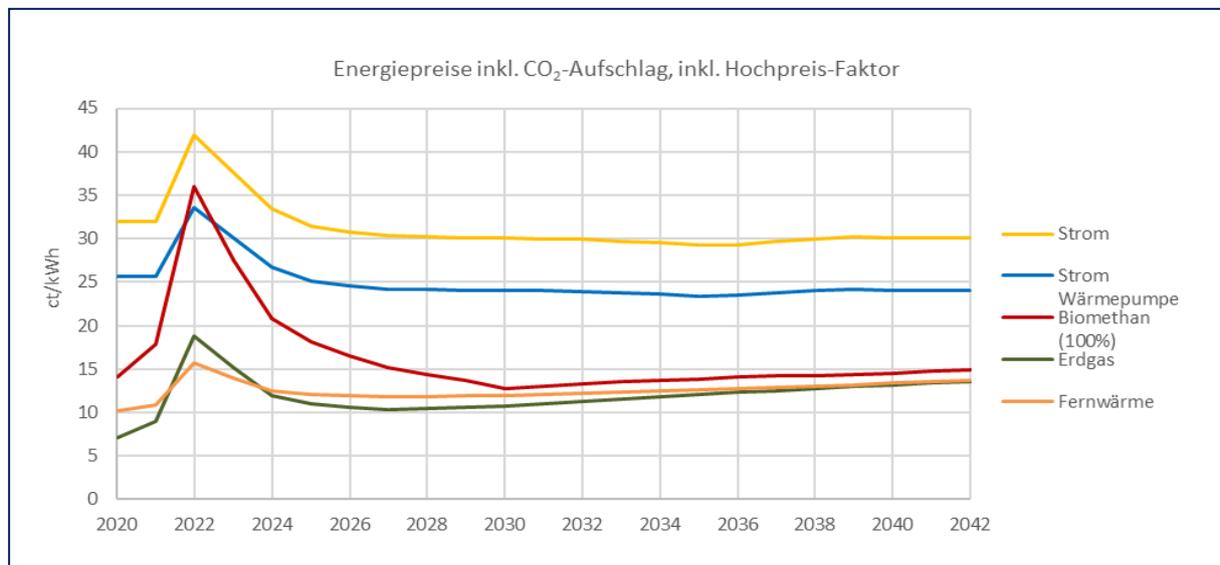
Quelle: ITG Dresden GmbH

Die Werte basieren auf einer unveröffentlichten Aufstellung von Prognos, Stand März 2022. Die Energiepreise beinhalten die Kostenentwicklung über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren beginnend im Jahr 2022 bis 2041, sämtliche Steuern und bei Erdgas zusätzlich die Treibhausgas-Bepreisung für Brennstoffe, vgl. Tabelle 19. Bei Fernwärme erfolgt die Aufteilung des Mischpreises auf Grund- und Arbeitspreis differenziert in Abhängigkeit von der Gebäudegröße. Für Biomethan stehen keine Preise zur Verfügung, es werden daher Annahmen für die Entwicklung des Biomethanpreises getroffen. Der Biomethanpreis orientiert sich am Preis für Erdgas incl. CO₂-Preis und wird mit folgenden Aufschlägen belegt und die Zwischenwerte linear interpoliert:

- 2020/2021 100 %
- 2030 20 %
- ab 2040 10 %

Der Arbeitspreis für das Erdgas-Biomethan-Gemisch bestimmt sich jeweils aus dem notwendigen Anteil an Biomethan, um die Heizungs- und Trinkwassererwärmungsanlagen mit 65 % erneuerbarer Energie zu betreiben.

Abbildung 17
Energiepreisentwicklung der einzelnen Energieträger nach Prognos, Stand März 2022



Quelle: ITG Dresden GmbH

Die Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Systeme bei einer abweichenden Energiepreisentwicklung wird in einem Exkurs näher betrachtet.

Zudem beinhalten die verbrauchsgebundenen Kosten auch die Gutschrift für die Vergütung des eingespeisten Stroms und die eingesparten Strombezugskosten des selbstgenutzten Stromes aus PV-Anlagen. Der Jahresertrag und der Eigenverbrauch aus PV-Anlagen für das Einfamilienhaus werden für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach DIN V 18599:2018-09 (DIN V 18599 2018) bestimmt. Bei der Berechnung der eingesparten Strombezugskosten im Einfamilienhaus mit Wärmepumpe wird bei der Stromgutschrift je nach Anlagensystem zwischen in einer Wärmepumpe ersetzten Strom⁴ und ersetzten Haushaltsstrom⁵ differenziert.

⁴ Strom mit Wärmepumpentarif

⁵ Strom Haushaltstarif

Für das System Wärmepumpe mit Speicher und PV-Anlage im Mehrfamilienhaus werden zwei Szenarien betrachtet:

- a) 100 % Volleinspeisung: der gesamte durch die PV-Anlage erzeugte Strom wird eingespeist und erhält die Einspeisevergütung für Volleinspeisung
- b) 35 % Eigennutzung: ein Anteil des erzeugten PV-Stromes wird im Gebäude genutzt und ersetzt Haushaltsstrom, der andere Teil wird eingespeist und erhält die Einspeisevergütung für Anlagen mit Eigenversorgung.

Bei einer Eigennutzung des Stromes aus PV-Anlagen in Mehrfamilienhäusern entsteht ein zusätzlicher verwaltungstechnischer Aufwand, welcher hier nicht berücksichtigt wird. Weitere Informationen dazu sind unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/FAQ/Mieterstrom/faq-mieterstrom.html> zu finden.

Investitionen und kapitalgebundene Kosten

Die Investitionskosten bilden durchschnittliche Kosten für Deutschland ab und unterliegen Schwankungen, je nach Hersteller, Anbieter, Region und der Jahreszeit. Zudem können je nach konkreter Bausituation weitere Kosten für Nebenarbeiten anfallen. Alle Kostenangaben beinhalten die derzeit gültige Mehrwertsteuer von 19 %. Die Investitionskosten basieren auf einer Kostenanalyse aus dem Jahr 2021, der deutliche Preisanstieg Anfang 2022 wird mit einem pauschalen Aufschlag von 20 % berücksichtigt.

Investitionen, welche ohnehin für die Anlage unabhängig vom Trinkwassererwärmungssystem entstehen, werden in den Investitionskosten nicht berücksichtigt. Dies sind beispielsweise

- die Hausanschlusskosten an ein Wärmenetz,
- die Kosten für eine Lüftungsanlage im Neubau und die zugehörigen Wartungskosten,
- die Kosten für Heizflächen bzw. Fußbodenheizung (Ausnahme: Austausch Heizflächen bei Wärmepumpen im Bestand).

Bei allen Anlagen wird von einem hydraulisch abgeglichenen System ausgegangen.

Berücksichtigt werden jedoch die Kosten für die Erstellung der Warmwasserrohrleitungen mit Differenzierung zwischen zentraler und dezentraler Trinkwassererwärmung sowie ggf. notwendige Zirkulation.

Die Investitionen für eine Duscharwasserwärmerückgewinnung beinhalten die Differenzkosten zu einer Duschrinne bzw. Duschtasse ohne Wärmerückgewinnungssystem

Die kapitalgebundenen Kosten beinhalten die in jährliche Kosten umgerechneten Investitionen mit der Annuitätsmethode. Die Berechnung der Annuität erfolgt über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren mit einem Kalkulationszinssatz von 0 %. Es erfolgt keine Berücksichtigung eines Preisänderungsfaktors.

Fördermaßnahmen in Form von Investitionskostenzuschüssen fließen in die Berechnungen nicht ein.

Betriebsgebundene Kosten

Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten die Kosten für Wartung der Anlage und die Schornsteinfegergebühren, für die Heizkostenabrechnung, die Kosten für notwendige Versicherungen (PV-Anlage) sowie die Instandhaltungskosten. Die Instandhaltungskosten werden mit dem Instandhaltungsfaktor nach VDI 2067 Blatt 1 (VDI 2067 Blatt 1 2012) in Abhängigkeit von den jeweiligen Investitionen der Anlagenkomponente ermittelt.

Systemvarianten

Für die Wohngebäude werden Kombinationen von Heizungs- und Trinkwassererwärmungssystemen definiert. Es erfolgt ein Vergleich von Systemen mit einer getrennten bzw. verbundenen, dezentralen Trinkwassererwärmung mit konventionellen, verbundenen Trinkwassererwärmungssystemen. Die Berechnungen und der Vergleich erfolgt für jeden Wärmeerzeuger getrennt. Eine Übersicht über die untersuchten Varianten enthält Tabelle 22.

Je nach Heizungssystem im Neubau und Bestand werden als Wärmeübergabesystem freie Heizflächen oder ein Fußbodenheizungssystem (FBH) gewählt. Die Zuordnung und die jeweils angesetzten Systemtemperaturen enthält Tabelle 20.

Tabelle 20
Wärmeübergabesystem und Systemtemperaturen Heizung

Wärmeerzeuger	EFH / MFH	EFH	Mehrfamilienhäuser Neubau		
	Bestand	Neubau	allgemein	Wohnungsstation	Wohnungsstation + E-Durchlauferhitzer
Luft-Wasser-Wärmepumpe	Heizflächen 50/40 °C	FBH 35/28 °C	FBH 35/28 °C	Heizflächen 60/50 °C	FBH 40/32 °C
Wärmenetz	Heizflächen 70/55 °C	FBH 35/28 °C	Heizflächen 55/45 °C	Heizflächen 60/50 °C	-
Gas-BW-Kessel	Heizflächen 70/55 °C	FBH 35/28 °C	Heizflächen 55/45 °C	-	-

Quelle: ITG Dresden GmbH

Die angesetzten Kennwerte der Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) sind in Tabelle 21 angegeben. Bei den Varianten Einfamilienhaus mit Wärmenetz bzw. Gas-Brennwertkessel ist als zusätzlicher Verbraucher ein Elektro-Heizeinsatz im indirekt beheizten Warmwasserspeicher vorgesehen.

Tabelle 21
Kennwerte PV-Anlage

Variante	installierte Leistung	Fläche Photovoltaikanlage	installierte Speicherkapazität Stromspeicher
Einfamilienhaus mit Luft-Wärmepumpe	7,3 kWp	40 m ²	7,3 kWh
Einfamilienhaus mit Wärmenetz	5,5 kWp	30 m ²	ohne Stromspeicher
Einfamilienhaus mit Gas-Brennwertkessel	5,5 kWp	30 m ²	ohne Stromspeicher
6-Familienhaus mit Luft-Wärmepumpe	18 kWp	100 m ²	ohne Stromspeicher
18-Familienhaus mit Luft-Wärmepumpe	30 kWp	165 m ²	ohne Stromspeicher

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 22
Übersicht der berechneten Varianten

Wärmeerzeuger	Trinkwassererwärmung	EFH			Mehrfamilienhäuser		
		Bestand 25 Jahre	Neubau EH 55	Neubau EH 40	Bestand 25 Jahre	Neubau EH 55	Neubau EH 40
Luft-Wasser-WP	indirekt beheizter Speicher	x	x	x	x	x	x
	indirekt beheizter Speicher + PV-Anlage	x	x	x	x	x	x
	Elektro-Durchlauferhitzer	x	x	x	x	x	x
	Elektro-Durchlauferhitzer + Duschwasserwärmerückgewinnung	x	x	x	x	x	x
	Wohnungsstationen für Heizung und TWE (2-Leiter)				x	x	x
	Wohnungsstationen für Heizung und TWE + E-DLE (Hybridsystem)					x	x
Wärmenetz	indirekt beheizter Speicher	x	x	x	x	x	x
	PV-Anlage und indirekt beheizter Speicher mit Elektro-Heizeinsatz	x	x	x			
	Elektro-Durchlauferhitzer	x	x	x	x	x	x
	Elektro-Durchlauferhitzer + Duschwasserwärmerückgewinnung	x	x	x	x	x	x
	Wohnungsstationen für Heizung und TWE (2-Leiter)				x	x	x
	indirekt beheizter Speicher	x					
Gas-BW mit Anteil Biomethan	Warmwasser-Wärmepumpe	x					
	solare Trinkwassererwärmung / Heizungsunterstützung	x					
	PV-Anlage und indirekt beheizter Speicher mit Elektro-Heizeinsatz	x					

Quelle: ITG Dresden GmbH

Ergebnisse

Allgemein

Eine Zusammenstellung aller Energiekennwerte und der einzelnen Kostenbestandteile ist in Anhang 1 – Zusammenstellung der Energie- und Kostenkennwerte enthalten.

Der Anteil des Nutzenergiebedarfes für Trinkwarmwasser am gesamten Nutzenergiebedarf für Heizung und Warmwasser in Abhängigkeit vom baulichen Wärmeschutz ist für das verbundene System Luft-Wasser-Wärmepumpe mit zentralem Warmwasserspeicher der Beispielgebäude in Tabelle 23 angegeben. Der Anteil ist Eingangsgröße der Berechnung der Gesamtjahresarbeitszahl nach VDI 4650 Blatt 1 (VDI 4650 Blatt 1 2019) des Wärmepumpensystems mit verbundener Warmwasserbereitung. Der Anteil muss für das konkrete Gebäude bestimmt werden.

Tabelle 23
Übersicht der berechneten Varianten

Luft-Wärmepumpe	Anteil Nutzenergiebedarf Warmwasser am Gesamtnutzenergiebedarf für Heizung/TWE								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	7 %	16 %	29 %	13 %	26 %	50 %	16 %	30 %	58 %

Quelle: ITG Dresden GmbH

In den nachfolgenden Tabellen und Diagrammen werden für die Trinkwassererwärmungssysteme folgende Abkürzungen verwendet:

- E-DLE Elektro-Durchlauferhitzer
- DWRG Duschwasserwärmerückgewinnung
- WST Wohnungsstation
- WST + E-DLE Wohnungsstation mit nachgeschaltetem Elektro-Durchlauferhitzer

Endenergie

Tabelle 24 und Tabelle 25 enthalten die Endenergiebedarfe (einschließlich Hilfsenergiebedarf) für die Trinkwarmwassersysteme mit Luft-Wärmepumpe und mit Wärmenetz. Dazu werden jeweils die Differenzen zum zentralen, verbundenen Trinkwassererwärmungssystem mit Speicher ausgewiesen. **Grüne Werte** zeigen geringere und **rote Werte** höhere Endenergiebedarfe gegenüber dem Vergleichssystem an. Der Einfluss auf Primärenergiebedarf, THG-Emissionen und verbrauchsgebundene Kosten wird im entsprechenden Abschnitt erläutert.

Tabelle 24
Endenergie und Differenzen: Luft-Wasser-Wärmepumpe

Luft-Wärmepumpe	Endenergiebedarf [kWh/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	9.464	5.164	3.863	25.719	12.374	9.571	88.804	39.458	31.101
+ Speicher + PV-Anlage	6.550	2.683	1.534	18.051	6.158	3.456	71.267	23.569	14.713
+ E-DLE	9.274	5.261	3.904	26.959	13.835	10.476	84.745	41.056	30.714
+ E-DLE + DWRG	8.914	4.817	3.461	25.165	12.041	8.682	79.363	35.674	25.332
+ WST				36.677	17.064	11.257	109.373	51.762	34.748
+ WST + E-DLE					13.638	9.685		38.426	28.378
Luft-Wärmepumpe	Differenz Endenergiebedarf [kWh/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	-2.914	-2.481	-2.329	-7.668	-6.216	-6.115	-17.537	-15.889	-16.388
+ E-DLE	-190	98	41	1.240	1.461	905	-4.059	1.598	-387
+ E-DLE + DWRG	-550	-346	-403	-554	-333	-889	-9.441	-3.784	-5.769
+ WST				10.958	4.690	1.686	20.568	12.304	3.647
+ WST + E-DLE					1.264	114		-1.032	-2.722

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 25
Endenergie und Differenzen: Wärmenetz

Wärmenetz	Endenergiebedarf [kWh/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	26.594	14.959	9.894	72.001	36.848	24.860	195.862	108.813	76.420
+ Speicher + PV-Anlage	23.753	11.562	6.456						
+ E-DLE	24.622	13.772	8.410	66.360	30.600	18.040	172.824	83.820	48.811
+ E-DLE + DWRG	24.263	13.328	7.967	64.566	28.806	16.246	167.442	78.438	43.430
+ WST				70.889	36.062	24.343	188.995	102.576	70.274
Wärmenetz	Differenz Endenergiebedarf [kWh/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	-2.841	-3.397	-3.438						
+ E-DLE	-1.972	-1.187	-1.484	-5.641	-6.248	-6.820	-23.039	-24.992	-27.609
+ E-DLE + DWRG	-2.332	-1.631	-1.928	-7.436	-8.042	-8.614	-28.420	-30.374	-32.991
+ WST				-1.112	-786	-517	-6.867	-6.237	-6.146

Quelle: ITG Dresden GmbH

Primärenergie

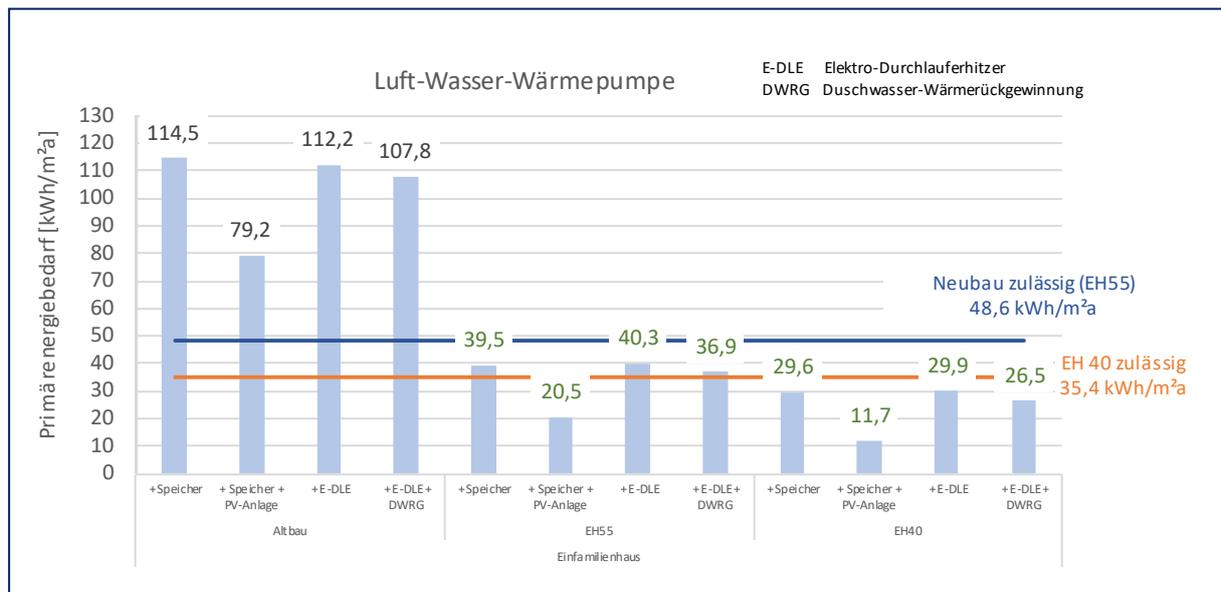
Abbildung 18 bis Abbildung 20 zeigen den Primärenergiebedarf⁶ der betrachteten Wohngebäude beim Einsatz von **Luft-Wasser-Wärmepumpen** mit unterschiedlichen Trinkwarmwassersystemen für verschiedene Wärmeschutzniveaus. **Grüne Werte** zeigen die Einhaltung des jeweiligen Anforderungsniveaus (EH55 bzw. EH40), **rote Werte** liegen über dem jeweiligen Anforderungsniveau. Können die jeweiligen Anforderungen nicht eingehalten werden, sind weitere Maßnahmen erforderlich.

Die primärenergetische Anrechnung des Stromes aus PV-Anlagen erfolgt entsprechend (GEG 2023) unabhängig davon, ob der Strom anteilig im Gebäude genutzt wird oder eine Volleinspeisung erfolgt.

Einfamilienhaus

Die jeweiligen primärenergetischen Anforderungen werden unabhängig vom eingesetzten Trinkwassererwärmungssystem eingehalten.

Abbildung 18
Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit Luft-Wasser-Wärmepumpe im Einfamilienhaus



Quelle: ITG Dresden GmbH

⁶ Die Primärenergiebedarfe werden durch die Primärenergiefaktoren der jeweiligen Energieträger und den Endenergiebedarfen bestimmt.

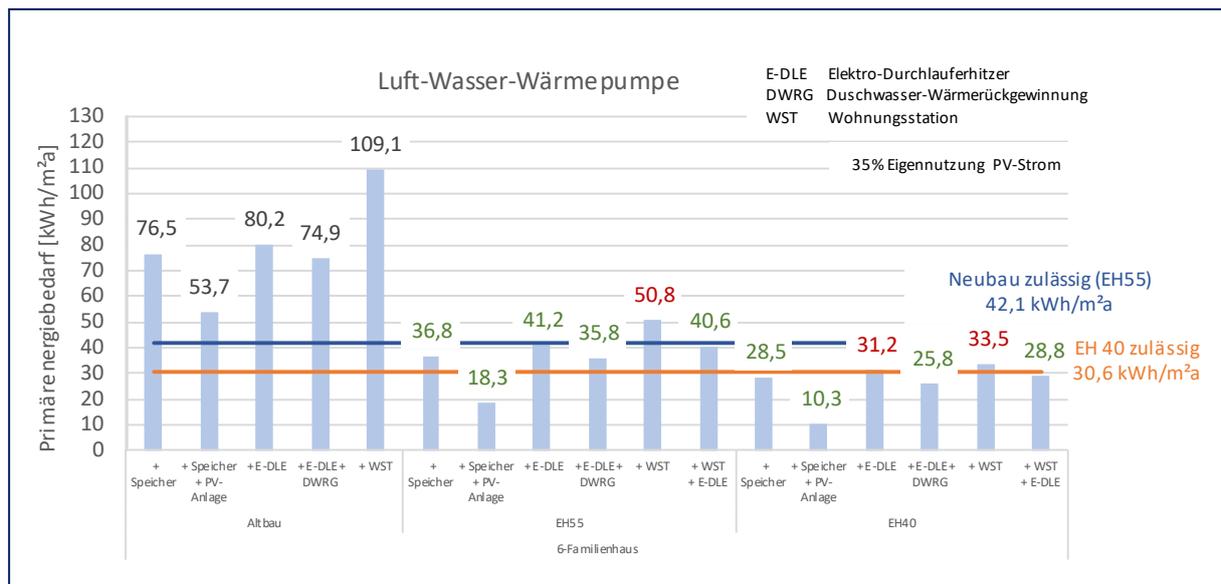
6-Familienhaus

Die jeweiligen primärenergetischen Anforderungen werden bei einem zentralen System mit Warmwasserspeicher eingehalten.

Die primärenergetischen Anforderungen an ein Effizienzhaus 55 können bei dezentraler Trinkwassererwärmung mit E-DLE eingehalten werden. Beim Effizienzhaus 40 liegt der Primärenergiebedarf leicht über dem Anforderungswert, hier sind noch weitere Maßnahmen erforderlich.

Beim Einsatz von Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur: 60 °C) liegt der Primärenergiebedarf deutlich über dem jeweils zulässigen Wert. Erfolgt die Warmwasserbereitung als Hybridssystem zusätzlich mit einem E-DLE (Vorlauftemperatur: 40 °C) können die jeweiligen primärenergetischen Anforderungen eingehalten werden.

Abbildung 19
Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit Luft-Wasser-Wärmepumpe im 6-Familienhaus



Quelle: ITG Dresden GmbH

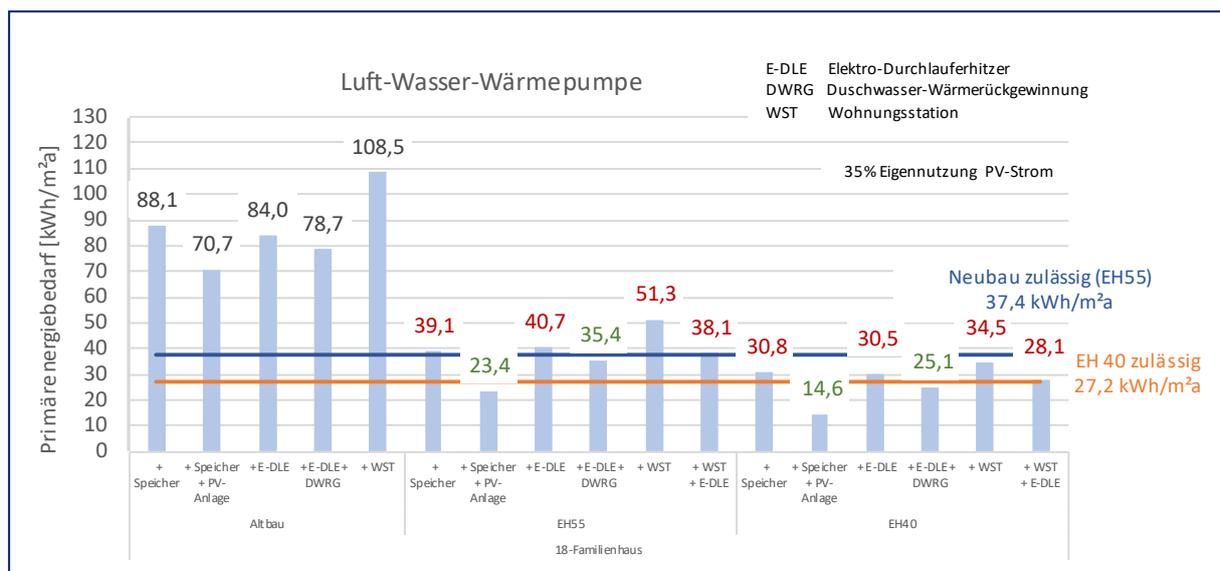
18-Familienhaus

Bei einem zentralen System mit Warmwasserspeicher liegt der Primärenergiebedarf über dem jeweils zulässigen Wert. Wird die Wärmepumpenanlage mit einer PV-Anlage kombiniert, können die primärenergetischen Anforderungen eingehalten werden. Alternativ sind andere Maßnahmen, wie die Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes erforderlich.

Beim Einsatz einer dezentralen Trinkwassererwärmung mit E-DLE liegt der Primärenergiebedarf über dem jeweils zulässigen Wert. Werden die E-DLE mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung kombiniert, können die primärenergetischen Anforderungen eingehalten werden.

Beim Einsatz von Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur: 60 °C) liegt der Primärenergiebedarf deutlich über dem jeweils zulässigen Wert. Erfolgt die Warmwasserbereitung als Hybridsystem zusätzlich mit einem E-DLE (Vorlauf-temperatur: 40 °C) liegt der Primärenergiebedarf immer noch etwas über dem jeweils zulässigen Wert.

Abbildung 20
Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit Luft-Wasser-Wärmepumpe im 18-Familienhaus



Quelle: ITG Dresden GmbH

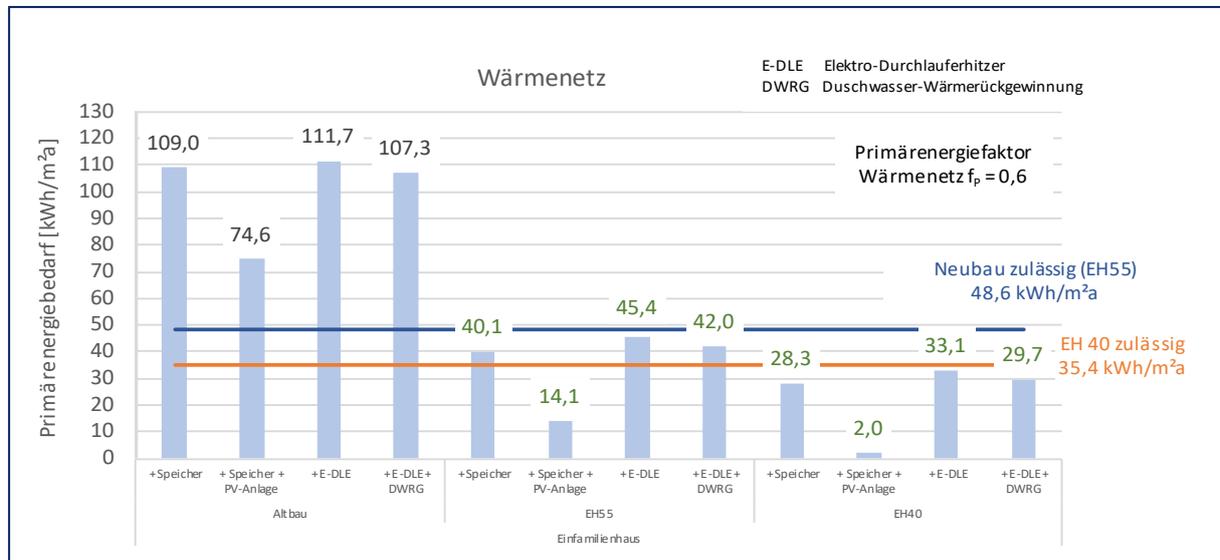
Abbildung 21 und Abbildung 23 zeigen den Primärenergiebedarf der betrachteten Wohngebäude beim Einsatz von **Wärmenetzen** mit unterschiedlichen Trinkwarmwassersystemen für verschiedene Wärmeschutzniveaus. Grüne Werte zeigen die Einhaltung des jeweiligen Anforderungsniveaus (EH55 bzw. EH40), rote Werte liegen über dem jeweiligen Anforderungsniveau. Können die jeweiligen Anforderungen nicht eingehalten werden, sind weitere Maßnahmen erforderlich. Die hier betrachteten Wärmenetze wurden mit dem Primärenergiefaktor von 0,6 entsprechend den Ausführungsanforderungen des Modellgebäudeverfahrens bewertet. Der tatsächliche Primärenergiefaktor für ein konkretes Wärmenetz liegt häufig unter diesem Wert, so dass die primärenergetischen Anforderungen eher eingehalten werden können.

Einfamilienhaus

- Die jeweiligen primärenergetischen Anforderungen des Effizienzhaus 55 und des Effizienzhaus 40 werden bei allen betrachteten Trinkwassererwärmungssystemen bei einem Primärenergiefaktor von 0,6 für das Wärmenetz eingehalten.

Abbildung 21

Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit einem Wärmenetz ($f_p = 0,6$) im Einfamilienhaus

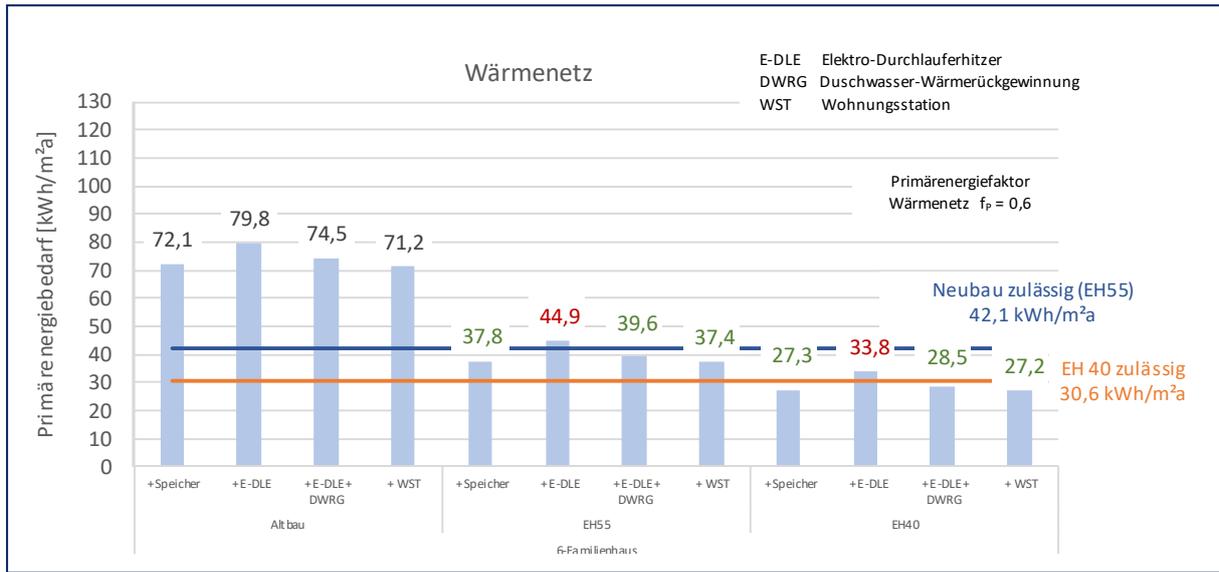


Quelle: ITG Dresden GmbH

6-Familienhaus / 18-Familienhaus

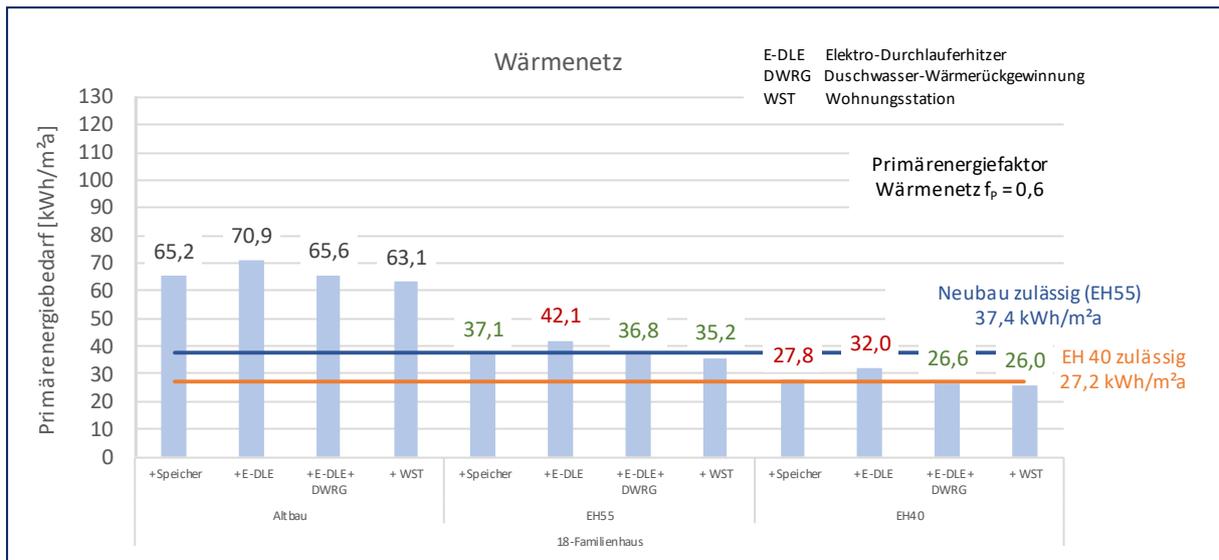
- Die primärenergetischen Anforderungen des Effizienzhaus 55 werden bei einem zentralen System mit Warmwasserspeicher und Ansatz des Primärenergiefaktors von 0,6 für das Wärmenetz eingehalten. Beim kleinen Mehrfamilienhaus werden ebenso die primärenergetischen Anforderungen des Effizienzhaus 40 erfüllt. Beim großen Mehrfamilienhaus liegt der Primärenergiebedarf etwas über dem zulässigen Wert. Bei Ansatz eines niedrigeren Primärenergiefaktors oder der Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes können auch hier die Anforderungen erfüllt werden.
- Beim Einsatz einer dezentralen Trinkwassererwärmung mit E-DLE liegt der Primärenergiebedarf über dem jeweils zulässigen Wert. Bei Ansatz eines niedrigeren Primärenergiefaktors für das Wärmenetz, der Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes und/oder dem Einsatz von Duschwasserwärmerückgewinnung können die Anforderungen eingehalten werden.
- Beim Einsatz von Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur: 60 °C) werden die jeweiligen primärenergetischen Anforderungen eingehalten.

Abbildung 22
Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit einem Wärmenetz ($f_p = 0,6$) im 6-Familienhaus



Quelle: ITG Dresden GmbH

Abbildung 23
Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit einem Wärmenetz ($f_p = 0,6$) im 18-Familienhaus



Quelle: ITG Dresden GmbH

THG-Emissionen

Tabelle 26 und Tabelle 27 enthalten die THG-Emissionen für die Trinkwarmwassersysteme mit Luft-Wärmepumpe und mit Wärmenetz. Dazu werden jeweils die Differenzen der THG-Emissionen zum zentralen, verbundenen Trinkwassererwärmungssystem mit Speicher ausgewiesen. **Grüne Werte** zeigen geringere und **rote Werte** höhere Emissionen gegenüber dem Vergleichssystem.

Tabelle 26
THG-Emissionen und Differenzen: Luft-Wasser-Wärmepumpe

Luft-Wärmepumpe	THG-Emissionen [kg/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	5.300	2.892	2.164	14.403	6.929	5.360	49.730	22.097	17.416
+ Speicher + PV-Anlage	3.668	1.502	859	10.108	3.448	1.935	39.910	13.199	8.239
+ E-DLE	5.193	2.946	2.187	15.097	7.748	5.866	47.457	22.991	17.200
+ E-DLE + DWRG	4.992	2.698	1.938	14.092	6.743	4.862	44.444	19.978	14.186
+ WST				20.539	9.556	6.304	61.249	28.987	19.459
+ WST + E-DLE					7.637	5.423		21.519	15.892
Luft-Wärmepumpe	Differenz THG-Emissionen [kg/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	-1.632	-1.389	-1.304	-4.294	-3.481	-3.424	-9.821	-8.898	-9.177
+ E-DLE	-107	+55	+23	+694	+818	+507	-2.273	+895	-217
+ E-DLE + DWRG	-308	-194	-225	-310	-186	-498	-5.287	-2.119	-3.230
+ WST				+6.136	+2.627	+944	+11.518	+6.890	+2.042
+ WST + E-DLE					+708	+64		-578	-1.525

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 27
THG-Emissionen und Differenzen: Wärmenetz

Wärmenetz	THG-Emissionen [kg/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	4.869	2.840	2.011	13.087	6.872	4.983	35.536	20.226	15.223
+ Speicher + PV-Anlage	4.349	2.195	1.312						
+ E-DLE	5.015	3.245	2.380	14.628	8.296	6.303	39.038	23.364	17.888
+ E-DLE + DWRG	4.814	2.996	2.132	13.623	7.292	5.299	36.025	20.351	14.874
+ WST				12.935	6.797	4.971	34.358	19.202	14.252
Wärmenetz	Differenz THG-Emissionen [kg/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	-520	-645	-699						
+ E-DLE	+146	+405	+369	+1.541	+1.424	+1.320	+3.502	+3.139	+2.665
+ E-DLE + DWRG	-55	+156	+121	+537	+420	+316	+489	+125	-349
+ WST				-152	-75	-12	-1.178	-1.024	-971

Quelle: ITG Dresden GmbH

Luft-Wasser-Wärmepumpe

Analog zum Endenergiebedarf sind beim dezentralen System mit E-DLE höhere THG-Emissionen zu verzeichnen als bei verbundener Trinkwassererwärmung mit zentralem Speicher. Ausnahmen bilden das Einfamilienhaus im Bestand sowie das 18-Familienhaus im Bestand und im Effizienzhaus 40 Standard.

Wird der E-DLE zusammen mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung betrieben liegen die THG-Emissionen (analog zum Endenergiebedarf) unter denen eines zentralen Trinkwassererwärmungssystems mit Speicher.

Beim Einsatz von Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur: 60 °C) sind deutlich höhere THG-Emissionen zu verzeichnen. Erfolgt die Warmwasserbereitung als Hybridsystem zusätzlich mit einem E-DLE (Vorlauftemperatur: 40 °C) werden die Differenzen beim 6-FH deutlich geringer und führen beim 18-FH zu Einsparungen gegenüber dem zentralen System mit Warmwasserspeicher.

Wärmenetz

Trotz deutlicher Einsparungen an Endenergie sind beim Einsatz von dezentralen E-DLE infolge des höheren THG-Emissionsfaktors die THG-Emissionen höher. Wird der E-DLE zusammen mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung betrieben werden die Differenzen deutlich geringer bzw. sind bei einzelnen Konstellationen auch Einsparungen zu verzeichnen.

Beim Einsatz von Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur: 60 °C) können gegenüber dem System mit zentralem Warmwasserspeicher Einsparungen an THG-Emissionen erzielt werden.

Jahresgesamtkosten

Tabelle 28 und Tabelle 30 enthalten die Jahresgesamtkosten für die Trinkwarmwassersysteme mit Luft-Wärmepumpe und mit Wärmenetz. Dazu werden jeweils die Differenzen der Jahresgesamtkosten zum zentralen, verbundenen Trinkwassererwärmungssystem mit Speicher ausgewiesen. Für den Mieter sind insbesondere die verbrauchsgebundenen Kosten, als Bestandteil der Jahresgesamtkosten, maßgeblich. In Tabelle 29 und Tabelle 31 werden die verbrauchsgebundenen Kosten (Energiekosten) extra angegeben. **Grüne Werte** zeigen geringere und **rote Werte** höhere Kosten gegenüber dem Vergleichssystem.

Die Ermittlung der verbrauchsgebundenen Kosten und damit der Jahresgesamtkosten erfolgt bei einem System mit PV-Anlage für zwei Szenarien:

- a) Mehrfamilienhäuser mit 100 % Volleinspeisung: der gesamte durch die PV-Anlage erzeugte Strom wird eingespeist und erhält die Einspeisevergütung für Volleinspeisung
- b) Einfamilienhäuser mit Eigenstromnutzung nach DIN V 18599 und Mehrfamilienhäuser mit Ansatz 35 % Eigennutzung: ein Anteil des erzeugten PV-Stromes wird im Gebäude genutzt und ersetzt Haushaltsstrom, der andere Teil wird eingespeist und erhält die Einspeisevergütung für Anlagen mit Eigenversorgung.

Bei einer Eigennutzung des Stromes aus PV-Anlagen in Mehrfamilienhäusern entsteht ein zusätzlicher verwaltungstechnischer Aufwand, welcher hier nicht berücksichtigt wird. Weitere Informationen dazu sind unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/FAQ/Mieterstrom/faq-mieterstrom.html> zu finden.

Die Berechnungen wurden mit einem unterstellten Zinssatz von 0 % durchgeführt (vgl. Abschnitt „Wirtschaftlichkeitsberechnungen“). Muss ein Kredit mit höherem Zinssatz aufgenommen werden, erhöhen sich die jährlichen kapitalgebundenen Kosten.

Tabelle 28
Jahresgesamtkosten und Differenzen: Luft-Wasser-Wärmepumpe

Luft-Wärmepumpe	Jahresgesamtkosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	3.773	2.346	1.970	10.237	6.198	5.524	29.652	15.857	13.897
a) + Speicher + PV-Anlage				10.258	6.218	5.545	29.793	15.998	14.038
b) + Speicher + PV-Anlage	3.869	2.350	1.967	9.870	5.831	5.157	29.077	15.282	13.322
+ E-DLE	3.551	2.206	1.815	10.393	6.404	5.607	28.946	16.396	13.997
+ E-DLE + DWRG	3.562	2.194	1.803	10.565	6.576	5.779	29.462	16.913	14.513
+ WST				13.857	8.441	7.116	37.739	22.129	18.286
+ WST + E-DLE					8.137	7.220		20.555	18.243
Luft-Wärmepumpe	Differenz Jahresgesamtkosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a) + Speicher + PV-Anlage				+20	+20	+20	+141	+141	+141
b) + Speicher + PV-Anlage	+96	+5	-3	-367	-367	-367	-575	-575	-575
+ E-DLE	-222	-140	-155	+156	+206	+83	-707	+540	+100
+ E-DLE + DWRG	-211	-152	-167	+328	+378	+255	-190	+1.056	+616
+ WST				+3.620	+2.243	+1.592	+8.086	+6.272	+4.390
+ WST + E-DLE					+1.939	+1.695		+4.699	+4.346

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 29
Verbrauchsgebundene Kosten und Differenzen: Luft-Wasser-Wärmepumpe

Luft-Wärmepumpe	verbrauchsgebundene Kosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	2.200	1.265	991	5.783	2.871	2.294	19.685	8.908	7.194
a) + Speicher + PV-Anlage				4.123	1.212	634	17.026	6.249	4.535
b) + Speicher + PV-Anlage	1.006	-21	-302	3.736	824	247	16.310	5.533	3.819
+ E-DLE	2.240	1.387	1.104	6.474	3.612	2.911	20.041	10.509	8.356
+ E-DLE + DWRG	2.138	1.262	979	5.968	3.107	2.406	18.523	8.992	6.838
+ WST				8.186	3.898	2.670	24.190	11.598	8.001
+ WST + E-DLE					3.322	2.501		9.194	7.127
Luft-Wärmepumpe	Differenz verbrauchsgebundene Kosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a) + Speicher + PV-Anlage				-1.660	-1.660	-1.660	-2.659	-2.659	-2.659
b) + Speicher + PV-Anlage	-1.194	-1.285	-1.293	-2.047	-2.047	-2.047	-3.375	-3.375	-3.375
+ E-DLE	+40	+122	+113	+691	+741	+618	+355	+1.602	+1.162
+ E-DLE + DWRG	-62	-3	-12	+185	+235	+112	-1.162	+84	-356
+ WST				+2.404	+1.027	+376	+4.504	+2.690	+808
+ WST + E-DLE					+451	+207		+286	-67

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 30
Jahresgesamtkosten und Differenzen: Wärmenetz

Wärmenetz	Jahresgesamtkosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	4.302	3.030	2.501	10.958	7.079	5.859	27.576	17.950	14.672
+ Speicher + PV-Anlage	4.472	3.132	2.598						
+ E-DLE	4.206	3.075	2.520	11.190	7.232	5.941	27.870	18.020	14.448
+ E-DLE + DWRG	4.217	3.063	2.508	11.362	7.404	6.113	28.386	18.536	14.964
+ WST				12.155	8.321	7.138	30.453	20.915	17.664
Wärmenetz	Differenz Jahresgesamtkosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	+170	+102	+98						
+ E-DLE	-96	+44	+19	+232	+153	+82	+293	+69	-224
+ E-DLE + DWRG	-84	+32	+7	+404	+325	+254	+810	+586	+292
+ WST				+1.197	+1.242	+1.279	+2.876	+2.965	+2.991

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 31
Verbrauchsgebundene Kosten und Differenzen: Wärmenetz

Wärmenetz	verbrauchsgebundene Kosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	3.610	2.338	1.809	9.215	5.336	4.117	23.520	13.950	10.700
+ Speicher + PV-Anlage	2.991	1.651	1.117						
+ E-DLE	3.614	2.483	1.928	9.730	5.780	4.496	24.372	14.578	11.034
+ E-DLE + DWRG	3.512	2.358	1.803	9.224	5.274	3.990	22.854	13.060	9.516
+ WST				9.113	5.278	4.095	22.779	13.297	10.074
Wärmenetz	Differenz verbrauchsgebundene Kosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	-619	-687	-691						
+ E-DLE	+4	+144	+119	+515	+443	+379	+851	+627	+334
+ E-DLE + DWRG	-97	+19	-6	+9	-63	-127	-666	-890	-1.184
+ WST				-103	-58	-21	-742	-653	-627

Quelle: ITG Dresden GmbH

Luft-Wasser-Wärmepumpe

Die Jahresgesamtkosten eines dezentralen Systems mit E-DLE liegen etwa auf einem Niveau mit einer zentralen Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher. Je nach Konstellation fallen sie etwas geringer oder höher aus. Die verbrauchsgebundenen Kosten sind in jedem Fall höher als beim Vergleichssystem.

Wird der E-DLE zusammen mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung betrieben, fallen infolge höherer Investitionen die Einsparungen geringer aus bzw. erhöhen sich die Mehrkosten.

Beim Einsatz von Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (primärseitige Heizungs-Vorlauftemperatur: 60 °C) erhält man infolge des höheren Endenergiebedarfs wesentlich höhere verbrauchsgebundene Kosten. Durch die zusätzlich noch höheren Investitionen ist die Differenz der Jahresgesamtkosten gegenüber dem Vergleichssystem noch deutlicher.

Erfolgt die Warmwasserbereitung als Hybridsystem zusätzlich mit einem E-DLE (Vorlauftemperatur: 40 °C) sind die verbrauchsgebundenen Kosten höher (bzw. nur geringfügig niedriger) als bei zentraler Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher. Infolge der höheren Investitionen sind die Jahresgesamtkosten höher als beim Vergleichssystem.

Wärmenetz

Die verbrauchsgebundenen Kosten eines dezentralen Systems mit Elektro-Durchlauferhitzer liegen über denen des Vergleichssystems. Auf Grund der niedrigeren Investitionskosten ist der Mehraufwand bei den Jahresgesamtkosten geringer, teilweise fallen die Jahresgesamtkosten niedriger aus bzw. herrschen ausgeglichene Verhältnisse.

Wird der E-DLE zusammen mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung betrieben sinken die verbrauchsgebundenen Kosten und liegen unter denen des Vergleichssystems bzw. auf einem Niveau. Infolge der höheren Investitionen sind die Jahresgesamtkosten bei den Mehrfamilienhäusern höher und beim Einfamilienhaus etwa auf einem Niveau.

Beim Einsatz von Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur: 60 °C) ergeben sich geringere verbrauchsgebundene Kosten als bei einer zentralen Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher. Infolge der deutlich höheren Investitionen sind die Jahresgesamtkosten in jedem betrachteten Fall höher als beim Vergleichssystem.

Ableitung von Empfehlungen

Trinkwassererwärmung in Verbindung mit Luft-Wasser-Wärmepumpen

Tabelle 32

Zusammenstellung der Kennwerte und Kosten: System mit Luft-Wasser-Wärmepumpe

Luft-Wasser-Wärmepumpe			+ Speicher	+ Speicher + PV-Anlage	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ WST + E-DLE
Hygieneanforderungen an die Trinkwassererwärmung	EFH	Bestand	Empfehlungen	Empfehlungen	nein	nein		
		EH55	Empfehlungen	Empfehlungen	nein	nein		
		EH40	Empfehlungen	Empfehlungen	nein	nein		
	6-FH	Bestand	ja	ja	nein	nein		
		EH55	ja	ja	nein	nein	nein	nein
		EH40	ja	ja	nein	nein	nein	nein
	18-FH	Bestand	ja	ja	nein	nein		
		EH55	ja	ja	nein	nein	nein	nein
EH40		ja	ja	nein	nein	nein	nein	
Differenz vorhandener Primärenergiebedarf zu Anforderungswert [kWh/m ² a]	EFH	Bestand	-	-	-	-		
		EH55	-9,1	-28,1	-8,4	-11,8		
		EH40	-5,8	-23,6	-5,5	-8,9		
	6-FH	Bestand	-	-	-	-	-	
		EH55	-5,2	-23,7	-0,9	-6,2	+8,7	-1,5
		EH40	-2,1	-20,3	+0,6	-4,8	+2,9	-1,8
	18-FH	Bestand	-	-	-	-	-	
		EH55	+1,7	-14,0	+3,3	-2,0	+13,9	+0,7
EH40		+3,6	-12,6	+3,3	-2,1	+7,3	+0,9	
Differenz THG-Emissionen zu Vergleichssystem [kg/a]	EFH	Bestand	0	-1.632	-107	-308		
		EH55	0	-1.389	+55	-194		
		EH40	0	-1.304	+23	-225		
	6-FH	Bestand	0	-4.294	+694	-310	+6.136	
		EH55	0	-3.481	+818	-186	+2.627	+708
		EH40	0	-3.424	+507	-498	+944	+64
	18-FH	Bestand	0	-9.821	-2.273	-5.287	+11.518	
		EH55	0	-8.898	+895	-2.119	+6.890	-578
EH40		0	-9.177	-217	-3.230	+2.042	-1.525	
Differenz Jahresgesamtkosten zu Vergleichssystem [€/a] 100% Einspeisung / 35% Eigenstromnutzung	EFH	Bestand	0	+96	-222	-211		
		EH55	0	+5	-140	-152		
		EH40	0	-3	-155	-167		
	6-FH	Bestand	0	+20 / -367	+156	+328	+3.620	
		EH55	0	+20 / -367	+206	+378	+2.243	+1.939
		EH40	0	+20 / -367	+83	+255	+1.592	+1.695
	18-FH	Bestand	0	+141 / -575	-707	-190	+8.086	
		EH55	0	+141 / -575	+540	+1.056	+6.272	+4.699
EH40		0	+141 / -575	+100	+616	+4.390	+4.346	
Differenz verbrauchsgebundene Kosten zu Vergleichssystem [€/a] 100% Einspeisung / 35% Eigenstromnutzung	EFH	Bestand	0	-1.194	+40	-62		
		EH55	0	-1.285	+122	-3		
		EH40	0	-1.293	+113	-12		
	6-FH	Bestand	0	-1.660 / -2.047	+691	+185	+2.404	
		EH55	0	-1.660 / -2.047	+741	+235	+1.027	+451
		EH40	0	-1.660 / -2.047	+618	+112	+376	+207
	18-FH	Bestand	0	-2.659 / -3.375	+355	-1.162	+4.504	-
		EH55	0	-2.659 / -3.375	+1.602	+84	+2.690	+286
EH40		0	-2.659 / -3.375	+1.162	-356	+808	-67	

Quelle: ITG Dresden GmbH

Zentrale Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher

Eine mit der Luft-Wasser-Wärmepumpe verbundene Trinkwassererwärmung mit zentralem Warmwasserspeicher ist eine energetisch, ökologisch und wirtschaftlich sinnvolle Warmwasserbereitung.

Die Anforderungen an den Primärenergiebedarf entsprechend Effizienzhaus 55 können eingehalten werden. Bei größeren, kompakten Wohngebäuden ist ggf. die leichte Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes gegenüber dem baulichen Wärmeschutz eines Effizienzhaus 55 erforderlich.

Sollen die Anforderungen an ein Effizienzhaus 40 erfüllt werden, können diese bei Einfamilienhäusern und kleinen Mehrfamilienhäusern mit dem baulichen Wärmeschutz eines Effizienzhaus 40 eingehalten werden. Bei größeren, kompakten Wohngebäuden ist dies nicht ohne weiteres möglich.

An Ein- und Zweifamilienhäuser mit einem Speichervolumen kleiner 400 Liter werden keine Hygieneanforderungen gestellt. Es wird empfohlen die Speicher-Temperatur auf 60 °C einzustellen und Speicher-Temperaturen unter 50 °C zu vermeiden. Bei Kleinanlagen mit Rohrleitungsinhalten > 3 l zwischen Trinkwassererwärmer und jeder Entnahmestelle sind eine Zirkulation oder Temperaturhaltebänder vorgeschrieben, welche bei einwandfreien hygienischen Verhältnissen für max. 8 h in 24 h unterbrochen werden darf.

Bei Großanlagen, d.h. Anlagen mit Trinkwassererwärmern > 400 Liter oder einem Rohrinhalt > 3 Liter zwischen Trinkwassererwärmer und jeder Entnahmestelle, ist die Einhaltung von ≥ 60 °C am Warmwasseraustritt des Trinkwassererwärmers vorgeschrieben. Ebenso ist der Einbau von Zirkulationssystemen oder Temperaturhaltebändern (elektrische Begleitheizung) vorzusehen, welche bei einwandfreien hygienischen Verhältnissen für max. 8 h in 24 h unterbrochen werden darf. Entsprechend Trinkwasserverordnung ist eine regelmäßige Untersuchung auf Legionellen vorzunehmen.

Zentrale Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher + Photovoltaikanlage

Infolge der primärenergetischen Gutschrift für den mit der Photovoltaikanlage erzeugten Strom können die Anforderungen an ein Effizienzhaus 55 und an ein Effizienzhaus 40 leicht erfüllt werden.

Gegenüber einem System ohne Photovoltaikanlage verringern sich die Treibhausgasemissionen durch die Gutschrift für den erzeugten Strom.

Für die Photovoltaikanlage sind höhere Investitionen erforderlich. Im Einfamilienhaus können diese durch die Eigennutzung und die Einspeisevergütung egalisiert werden. Dies trifft ebenso bei Volleinspeisung bei den Mehrfamilienhäusern zu. Erfolgt in Mehrfamilienhäusern eine anteilige Eigennutzung des erzeugten Stromes sinken die verbrauchsgebundenen Kosten und damit die Jahresgesamtkosten weiter.

Die Anforderungen an die Trinkwasserhygiene sind analog zu einem System ohne Photovoltaikanlage einzuhalten.

Dezentrale Trinkwassererwärmung mit Elektro-Durchlauferhitzer (elektronisch geregelt)

Eine dezentrale Trinkwassererwärmung mit Elektro-Durchlauferhitzern ist hygienisch einwandfrei. Es werden keine technischen Anforderungen bezüglich der Trinkwasserhygiene gestellt und regelmäßige Untersuchungen auf Legionellen sind nicht erforderlich.

Die Verteilverluste werden durch Wegfall von Verteil- und Steigleitungen incl. Zirkulation verringert. Zudem kann die gewünschte Warmwassertemperatur gradgenau bereitgestellt werden, so dass nur die Energie zur Erwärmung des Wassers auf die Wunschttemperatur benötigt wird.

Die Anforderungen an den Primärenergiebedarf entsprechend Effizienzhaus 55 und Effizienzhaus 40 können bei Einfamilienhäusern und kleinen Mehrfamilienhäusern ohne weiteres eingehalten werden. Bei größeren Mehrfamilienhäusern sind weitere Maßnahmen erforderlich, dies kann die Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes sein und/oder die Kombination mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung.

Je nach Gebäude werden gegenüber einer zentralen Warmwasserbereitung mit Speicher mehr oder auch weniger Treibhausgase emittiert.

Trotz höherer verbrauchsgebundener Kosten gegenüber dem zentralen System ergeben sich durch geringere Investitionskosten niedrigere (Einfamilienhaus) oder nur geringfügig höhere Jahresgesamtkosten.

Dezentrale Trinkwassererwärmung mit Elektro-Durchlauferhitzer (elektronisch geregelt) in Kombination mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung

Eine dezentrale Trinkwassererwärmung mit Elektro-Durchlauferhitzern mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung ist hygienisch einwandfrei. Es werden keine technischen Anforderungen bezüglich der Trinkwasserhygiene gestellt und regelmäßige Untersuchungen auf Legionellen sind nicht erforderlich.

Die Verteilverluste werden durch Wegfall von Verteil- und Steigleitungen incl. Zirkulation verringert. Zudem kann die gewünschte Warmwassertemperatur gradgenau bereitgestellt werden, so dass nur die Energie zur Erwärmung des Wassers auf die Wunschttemperatur benötigt wird.

Die primärenergetischen Anforderungen an ein Effizienzhaus 55 und ein Effizienzhaus 40 können ohne weiteres bei den betrachteten Wohngebäuden (bis 18-Familienhaus) eingehalten werden.

Gegenüber der zentralen Trinkwassererwärmung mit Speicher werden weniger Treibhausgase emittiert.

Auf Grund der Duschwasserwärmerückgewinnung sinken die verbrauchsgebundenen Kosten und liegen je nach Gebäude unter denen des Vergleichssystems bei zentraler Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher. Trotz höherer Investitionen ergeben sich damit auch ähnliche Jahresgesamtkosten wie bei ausschließlicher Einsatz von Elektro-Durchlauferhitzern.

Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur: 60 °C)

Eine dezentrale Trinkwassererwärmung mit Wohnungsstationen ist hygienisch einwandfrei. Eine Zirkulation oder Temperaturhaltebänder sind innerhalb der Wohneinheiten nur notwendig, wenn der Rohrinhalt der Warmwasserleitung zwischen Wohnungsstation und jeder Entnahmestelle > 3 Liter ist.

Aus primärenergetischer, ökologischer und wirtschaftlicher Sicht ist ein Betrieb von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Verbindung mit Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur 60 °C) auf Grund der schlechten Effizienz der Wärmepumpen bei (dauerhaft) hohen Vorlauftemperaturen nicht zu empfehlen.

Hybridsystem: Wohnungsstation mit Elektro-Durchlauferhitzer (Vorlauftemperatur: 40 °C)

Eine dezentrale Trinkwassererwärmung mit Wohnungsstationen mit zusätzlichem Elektro-Durchlauferhitzer ist hygienisch einwandfrei. Eine Zirkulation oder Temperaturhaltebänder sind innerhalb der Wohneinheiten nur notwendig, wenn der Rohrinhalt der Warmwasserleitung zwischen Wohnungsstation und jeder Entnahmestelle > 3 Liter ist.

Die primärenergetischen Anforderungen an ein Effizienzhaus 55 und ein Effizienzhaus 40 können beim kleinen Mehrfamilienhaus eingehalten werden, beim größeren Mehrfamilienhaus ist eine geringe Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes gegenüber dem baulichen Wärmeschutz des jeweiligen Effizienzgebäudes erforderlich.

Die THG-Emissionen liegen beim kleinen Mehrfamilienhaus über denen der zentralen Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher, beim größeren Mehrfamilienhaus darunter.

Die verbrauchsgebundenen Kosten sind infolge der Nacherwärmung mit Haushaltsstrom im E-DLE höher bzw. nur geringfügig niedriger als bei zentraler Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher. Infolge der höheren Investitionen sind die Jahresgesamtkosten höher als beim Vergleichssystem.

Trinkwassererwärmung in Verbindung mit Wärmenetz

Tabelle 33
Zusammenstellung der Kennwerte und Kosten: System mit Wärmenetz

Wärmenetz			+ Speicher	+ Speicher + PV-Anlage	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ WST + E-DLE
Hygieneanforderungen an die Trinkwasser-erwärmung	EFH	Bestand	Empfehlungen	Empfehlungen	nein	nein		
		EH55	Empfehlungen	Empfehlungen	nein	nein		
		EH40	Empfehlungen	Empfehlungen	nein	nein		
	6-FH	Bestand	ja	ja	nein	nein		
		EH55	ja	ja	nein	nein	nein	
		EH40	ja	ja	nein	nein	nein	
	18-FH	Bestand	ja	ja	nein	nein		
		EH55	ja	ja	nein	nein	nein	
		EH40	ja	ja	nein	nein	nein	
Differenz vorhandener Primärenergiebedarf zu Anforderungswert [kWh/m²a]	EFH	Bestand	-	-	-	-		
		EH55	-8,5	-34,5	-3,2	-6,6		
		EH40	-7,1	-33,4	-2,3	-5,7		
	6-FH	Bestand	-		-	-	-	
		EH55	-4,3		+2,8	-2,5	-4,7	
		EH40	-3,3		+3,3	-2,1	-3,4	
	18-FH	Bestand	-		-	-	-	
		EH55	-0,3		+4,7	-0,6	-2,2	
		EH40	+0,6		+4,8	-0,6	-1,2	
Differenz THG- Emissionen zu Vergleichssystem [kg/a]	EFH	Bestand	0	-520	+146	-55		
		EH55	0	-645	+405	+156		
		EH40	0	-699	+369	+121		
	6-FH	Bestand	0		+1.541	+537	-152	
		EH55	0		+1.424	+420	-75	
		EH40	0		+1.320	+316	-12	
	18-FH	Bestand	0		+3.502	+489	-1.178	
		EH55	0		+3.139	+125	-1.024	
		EH40	0		+2.665	-349	-971	
Differenz Jahresgesamtkosten zu Vergleichssystem [€/a]	EFH	Bestand	0	+170	-96	-84		
		EH55	0	+102	+44	+32		
		EH40	0	+98	+19	+7		
	6-FH	Bestand	0		+232	+404	+1.197	
		EH55	0		+153	+325	+1.242	
		EH40	0		+82	+254	+1.279	
	18-FH	Bestand	0		+293	+810	+2.876	
		EH55	0		+69	+586	+2.965	
		EH40	0		-224	+292	+2.991	
Differenz verbrauchsgebundene Kosten zu Vergleichssystem [€/a]	EFH	Bestand	0	-619	+4	-97		
		EH55	0	-687	+144	+19		
		EH40	0	-691	+119	-6		
	6-FH	Bestand	0		+515	+9	-103	
		EH55	0		+443	-63	-58	
		EH40	0		+379	-127	-21	
	18-FH	Bestand	0		+851	-666	-742	
		EH55	0		+627	-890	-653	
		EH40	0		+334	-1.184	-627	

Quelle: ITG Dresden GmbH

Zentrale Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher

Eine mit dem Wärmenetz verbundene Trinkwassererwärmung mit zentralem Warmwasserspeicher ist eine energetisch, ökologisch und wirtschaftlich sinnvolle Warmwasserbereitung.

Die primärenergetischen Anforderungen an ein Effizienzhaus 55 und ein Effizienzhaus 40 können eingehalten werden. Beim großen Mehrfamilienhaus sind für das Effizienzhausniveau 40 leichte Verbesserungen notwendig, beispielsweise am baulichen Wärmeschutz oder unter Ansatz des niedrigeren Primärenergiefaktors für das konkrete Wärmenetz

An Ein- und Zweifamilienhäuser mit einem Speichervolumen kleiner 400 Liter werden keine Hygieneanforderungen gestellt. Es wird empfohlen die Speicher-Temperatur auf 60 °C einzustellen und Speicher-Temperaturen unter 50 °C zu vermeiden. Bei Kleinanlagen mit Rohrleitungsinhalten > 3 l zwischen Trinkwassererwärmer und jeder Entnahmestelle sind eine Zirkulation oder Temperaturhaltebänder vorgeschrieben, welche bei einwandfreien hygienischen Verhältnissen für max. 8 h in 24 h unterbrochen werden darf.

Bei Großanlagen, d.h. Anlagen mit Trinkwassererwärmern > 400 Liter oder einem Rohrinhalt > 3 Liter zwischen Trinkwassererwärmer und jeder Entnahmestelle, ist die Einhaltung von ≥ 60 °C am Warmwasseraustritt des Trinkwassererwärmers vorgeschrieben. Ebenso ist der Einbau von Zirkulationssystemen oder Temperaturhaltebändern (elektrische Begleitheizung) vorzusehen, welche bei einwandfreien hygienischen Verhältnissen für max. 8 h in 24 h unterbrochen werden darf. Entsprechend Trinkwasserverordnung ist eine regelmäßige Untersuchung auf Legionellen vorzunehmen.

Zentrale Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher + Photovoltaikanlage (Einfamilienhaus)

Infolge der primärenergetischen Gutschrift für den mit der Photovoltaikanlage erzeugten Strom, können die Anforderungen an ein Effizienzhaus 55 und an ein Effizienzhaus 40 leicht erfüllt werden.

Gegenüber einem System ohne Photovoltaikanlage verringern sich die Treibhausgasemissionen durch die Gutschrift für den erzeugten Strom.

Für die Photovoltaikanlage sind höhere Investitionen erforderlich. Im Einfamilienhaus verringern sich die verbrauchsgebundenen Kosten durch die anteilige Eigennutzung und die Einspeisevergütung für den erzeugten Strom deutlich. Die Jahresgesamtkosten liegen (mit den hier zu Grunde liegenden Strompreisen) noch etwas über denen des Vergleichssystems ohne PV-Anlage.

Dezentrale Trinkwassererwärmung mit Elektro-Durchlauferhitzer (elektronisch geregelt)

Eine dezentrale Trinkwassererwärmung mit Elektro-Durchlauferhitzern ist hygienisch einwandfrei. Es werden keine technischen Anforderungen bezüglich der Trinkwasserhygiene gestellt und regelmäßige Untersuchungen auf Legionellen sind nicht erforderlich.

Die Verteilverluste werden durch Wegfall von Verteil- und Steigleitungen incl. Zirkulation verringert. Zudem kann die gewünschte Warmwassertemperatur gradgenau bereitgestellt werden, so dass nur die Energie zur Erwärmung des Wassers auf die Wunschtemperatur benötigt wird.

Die primärenergetischen Anforderungen an ein Effizienzhaus 55 und ein Effizienzhaus 40 können unter bestimmten Voraussetzungen eingehalten werden. Dies kann der Ansatz des niedrigeren Primärenergiefaktors für das konkrete Wärmenetz, eine Kombination mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung und/oder die Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes sein.

Beim Einsatz von dezentralen Elektro-Durchlauferhitzern sind die emittierten Treibhausgase infolge des höheren THG-Emissionsfaktors für Strom deutlich höher als bei einem zentralen System mit Warmwasserspeicher.

Die verbrauchsgebundenen Kosten liegen über denen eines zentralen Systems mit Warmwasserspeicher. Auf Grund der geringeren Investitionskosten für die Warmwasserbereitung sind die Jahresgesamtkosten auf etwa einem Niveau.

Dezentrale Trinkwassererwärmung mit Elektro-Durchlauferhitzer (elektronisch geregelt) in Kombination mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung

Eine dezentrale Trinkwassererwärmung mit Elektro-Durchlauferhitzern mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung ist hygienisch einwandfrei. Es werden keine technischen Anforderungen bezüglich der Trinkwasserhygiene gestellt und regelmäßige Untersuchungen auf Legionellen sind nicht erforderlich.

Die Verteilverluste werden durch Wegfall von Verteil- und Steigleitungen incl. Zirkulation verringert. Zudem kann die gewünschte Warmwassertemperatur gradgenau bereitgestellt werden, so dass nur die Energie zur Erwärmung des Wassers auf die Wunschtemperatur benötigt wird.

Die primärenergetischen Anforderungen an ein Effizienzhaus 55 und ein Effizienzhaus 40 können eingehalten werden.

Gegenüber einem ausschließlichen Einsatz von Elektro-Durchlauferhitzern sinken die emittierten Treibhausgase deutlich und sind etwa auf einem Niveau wie bei einem zentralen System mit Warmwasserspeicher.

Auf Grund der Duschwasserwärmerückgewinnung sinken die verbrauchsgebundenen Kosten und liegen unter denen des Vergleichssystems bei zentraler Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher. Trotz höherer Investitionen ergeben sich damit auch ähnliche Jahresgesamtkosten wie bei ausschließlichem Einsatz von Elektro-Durchlauferhitzern.

Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur: 60 °C)

Eine dezentrale Trinkwassererwärmung mit Wohnungsstationen ist hygienisch einwandfrei. Eine Zirkulation oder Temperaturhaltebänder sind innerhalb der Wohneinheiten nur notwendig, wenn der Rohrinhalt der Warmwasserleitung zwischen Wohnungsstation und jeder Entnahmestelle > 3 Liter ist.

Die primärenergetischen Anforderungen an ein Effizienzhaus 55 und ein Effizienzhaus 40 können eingehalten werden.

Die THG-Emissionen liegen unter denen der zentralen Trinkwassererwärmung mit Warmwasserspeicher.

Auf Grund der höheren Investitionen ergeben sich höhere Jahresgesamtkosten als beim zentralen System mit Warmwasserspeicher. Die verbrauchsgebundenen Kosten sind hingegen niedriger.

Trinkwassererwärmung in Verbindung mit Gas-Brennwert-Kessel

Bei einer Trinkwassererwärmung in Verbindung mit einem Gas-Brennwertkessel ist zur Erreichung des Zieles Einsatz von 65 % erneuerbarer Energie ein wesentlicher Anteil Biomethan notwendig. Je höher der Anteil an Biomethan, umso niedriger sind die anzusetzenden Primärenergie- und THG-Emissionsfaktoren. Dem gegenüber stehen höhere Energiepreise.

Primärenergiebedarf und THG-Emissionen sowie verbrauchsgebundene Kosten und Jahresgesamtkosten werden im Vergleich zu einem zentralen System mit Warmwasserspeicher ohne anteiligen Einsatz von Biomethan ausgewiesen.

Tabelle 34

Zusammenstellung der Kennwerte und Kosten: System mit Gas-Brennwert-Kessel beim EFH Bestand

Gas-Brennwert-Kessel	+ Speicher ohne Biomethan	+ Speicher	+ Warm-wasser-WP	+ solare TWE/HeizU	+ PV-Anlage + Speicher
Hygieneanforderungen an die Trinkwassererwärmung	Empfehlungen	Empfehlungen	Empfehlungen	Empfehlungen	Empfehlungen
Anteil erneuerbarer Energie (ohne Biomethananteil)	0%	0%	15%	13%	12%
notwendiger Anteil Biomethan zur Erreichung 65% EE		65%	50%	52%	53%
Primärenergiefaktor [-]	1,1	0,84	0,90 / 1,8	0,89	0,89
THG-Emissionsfaktor [g/kWh] Heizung/TWE	240	175	190 / 560	188	187
Arbeitspreis [kWh/a]	0,116	0,143	0,137	0,138	0,138
Differenz Primärenergiebedarf zu Vergleichssystem [kWh/m ² a]	0,0	-44,6	-39,6	-58,1	-72,8
Differenz THG-Emissionen zu Vergleichssystem [kg/a]	0	-1.657	-1.215	-2.025	-1.930
Differenz Jahresgesamtkosten zu Vergleichssystem [€/a]	0	+697	+566	+569	+678
Differenz verbrauchsgebundene Kosten zu Vergleichssystem [€/a]	0	+697	+426	+42	-111

Quelle: ITG Dresden GmbH

Die THG-Emissionen sinken bei allen Trinkwassererwärmungsvarianten beim anteiligen Einsatz von Biomethan.

Gegenüber dem zentralen System mit Warmwasserspeicher steigen beim anteiligen Einsatz von Biomethan die verbrauchsgebundenen Kosten und die Jahresgesamtkosten. In Verbindung mit einer PV-Anlage reduzieren sich die verbrauchsgebundenen Kosten, die Jahresgesamtkosten steigen auf Grund der höheren Investitionskosten.

Im Vergleich zum zentralen System mit Warmwasserspeicher mit anteiligem Einsatz von Biomethan sind bei allen anderen Varianten niedrigere verbrauchsgebundene Kosten zu verzeichnen, die Jahresgesamtkosten sind auf Grund der höheren Investitionskosten nahezu ausgeglichen.

Abweichender bzw. sich ändernder Warmwasserbedarf

Den Berechnungen liegt der Warmwasserbedarf entsprechend der Vorgabe nach DIN V 18599 zugrunde. Der tatsächliche Warmwasserbedarf in einem Gebäude kann sich jedoch durch dessen sanitäre Ausstattung, der Personenzahl und den Nutzergewohnheiten davon unterscheiden. Es erfolgt eine Betrachtung bezüglich der Wirtschaftlichkeit der dezentralen Systeme gegenüber einem verbundenen, zentralen System mit Warmwasserspeicher bei einem verringerten Warmwasserbedarf. Ein niedriger Warmwasserbedarf als nach Norm vorgegeben reduziert den Endenergiebedarf, den Primärenergiebedarf und die emittierten THG-Emissionen aller betrachteten Systeme.

In Tabelle 35 sind der angesetzte Nutzenergiebedarf für Warmwasser nach DIN V 18599 und der reduzierte Bedarf angegeben.

Die Ermittlung der verbrauchsgebundenen Kosten und damit der Jahresgesamtkosten erfolgt bei einem System Wärmepumpe mit Speicher und PV-Anlage für zwei Szenarien, vgl. auch Abschnitt „Jahresgesamtkosten“:

- a) Mehrfamilienhäuser mit 100 % Volleinspeisung
- b) Einfamilienhäuser mit Eigennutzung nach DIN V 18599 und Mehrfamilienhäuser mit Ansatz 35 % Eigennutzung.

Tabelle 35
Ansatz Nutzenergiebedarf Warmwasser

Warmwasserbedarf	Einfamilienhaus Bestand	Einfamilienhaus Neubau	6-Familienhaus	18-Familienhaus
nach DIN V 18599	1.320 kWh/a	1.629 kWh/a	6.588 kWh/a	19.763 kWh/a
verringert	1.095 kWh/a	1.314 kWh/a	5.548 kWh/a	16.425 kWh/a

Quelle: ITG Dresden GmbH

In Tabelle 36 und Tabelle 37 sind die Differenzen der Jahresgesamtkosten zum jeweiligen Vergleichssystem unter Ansatz unterschiedlicher Warmwasserbedarfe jeweils für die Systeme mit Luft-Wasser-Wärmepumpe und für Systeme mit Wärmenetz gegenübergestellt.

Tabelle 36

Differenz der Jahresgesamtkosten bei unterschiedlichen Warmwasserbedarf: Luft-Wärmepumpe

Luft-Wärmepumpe	Differenz Jahresgesamtkosten [€/a] – Warmwasserbedarf DIN V 18599								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a) + Speicher + PV-Anlage				+20	+20	+20	+141	+141	+141
b) + Speicher + PV-Anlage	+96	+5	-3	-367	-367	-367	-575	-575	-575
+ E-DLE	-222	-140	-155	+156	+206	+83	-707	+540	+100
+ E-DLE + DWRG	-211	-152	-167	+328	+378	+255	-190	+1.056	+616
+ WST				+3.620	+2.243	+1.592	+8.086	+6.272	+4.390
+ WST + E-DLE					+1.939	+1.695		+4.699	+4.346

Luft-Wärmepumpe	Differenz Jahresgesamtkosten [€/a] – Warmwasserbedarf verringert								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a) + Speicher + PV-Anlage				+20	+20	+20	+141	+141	+141
b) + Speicher + PV-Anlage	+96	+5	-3	-367	-367	-367	-575	-575	-575
+ E-DLE	-264	-196	-212	-33	+17	-106	-1.192	-59	-506
+ E-DLE + DWRG	-235	-184	-200	+219	+269	+145	-419	+714	+267
+ WST				+3.655	+2.248	+1.597	+8.197	+6.300	+4.406
+ WST + E-DLE					+1.878	+1.634		+4.513	+4.150

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 37

Differenz der Jahresgesamtkosten bei unterschiedlichen Warmwasserbedarf: Wärmenetz

Wärmenetz	Differenz Jahresgesamtkosten [€/a] – Warmwasserbedarf DIN V 18599								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	+170	+102	+98						
+ E-DLE	-96	+44	+19	+232	+153	+82	+293	+69	-224
+ E-DLE + DWRG	-84	+32	+7	+404	+325	+254	+810	+586	+292
+ WST				+1.197	+1.242	+1.279	+2.876	+2.965	+2.991

Wärmenetz	Differenz Jahresgesamtkosten [€/a] – Warmwasserbedarf verringert								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	+170	+102	+98						
+ E-DLE	-131	-8	-33	+63	-16	-88	-253	-478	-773
+ E-DLE + DWRG	-102	+5	-20	+315	+236	+164	+519	+295	-0
+ WST				+1.198	+1.242	+1.279	+2.876	+2.964	+2.991

Quelle: ITG Dresden GmbH

Bei Trinkwassererwärmung mit Wohnungsstation ändern sich die verbrauchsgebundenen Kosten und damit die Jahresgesamtkosten in ähnlichem Maße wie beim zentralen System mit Warmwasserspeicher. Beim Einsatz von dezentralen E-DLE sinken die verbrauchsgebundenen Kosten und damit die Jahresgesamtkosten im Vergleich zum zentralen System stärker und verbessern dadurch die Wirtschaftlichkeit⁷. Werden die E-DLE in

⁷ Unterschiedliche Energiepreise für das dezentrale System: Strom-Wärmepumpentarif bzw. Wärmenetz für Heizung und E-DLE mit Strom-Haushaltstarif.

Verbindung mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung betrieben, verringert sich bei niedrigeren Warmwasserbedarf auch der Energieeintrag durch die Duschwasserwärmerückgewinnung. Trotzdem sinken die verbrauchsgebundenen Kosten und damit auch die Jahresgesamtkosten gegenüber dem Vergleichssystem stärker und verbessern auch hier die Wirtschaftlichkeit.

Bei einem niedrigen Warmwasserbedarf ist der Einsatz von dezentralen E-DLE gegebenenfalls in Verbindung mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung damit eher kostengleich bzw. kostengünstiger als das Vergleichssystem mit zentraler, verbundener Warmwasserbereitung mit einem Speicher. Ein von der DIN V 18599 abweichender Warmwasserbedarf ist jedoch für die Nachweisführung nach GEG nicht zulässig. Er kann aber zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit herangezogen werden, wenn begründeterweise durch beispielsweise die bekannte dauerhaft niedrige Anzahl an Bewohnern von einem geringeren Warmwasserbedarf ausgegangen werden kann.

Zusammenfassung

Soll die Trinkwassererwärmung dezentral erfolgen, sind folgende Empfehlungen für eine effiziente Trinkwassererwärmung zu beachten.

Trinkwassererwärmung in Verbindung mit Luft-Wasser-Wärmepumpen

- Der Einsatz von dezentralen, elektronisch geregelten Elektro-Durchlauferhitzern sollte aus energetischer Sicht möglichst in Kombination mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung erfolgen. Dabei ist die Hygiene beim Einbau von Duschwasserwärmerückgewinnungssystemen (Trennung von Trink- und Abwasser) zu beachten.
- Kann von einem niedrigeren Warmwasserbedarf als dem Durchschnittswert nach Norm ausgegangen werden, beispielsweise durch eine geringere Personenbelegung, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit des dezentralen Systems mit Elektro-Durchlauferhitzer gegenüber einem zentralen System mit Warmwasserspeicher.
- Beim Einsatz von Wohnungsstationen sollten niedrige Systemtemperaturen gewährleistet werden (Vorlauftemperatur: 40 °C), dies ist als Hybridsystem mit Elektro-Durchlauferhitzer zur Nacherwärmung des Trinkwarmwassers möglich.
- Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Heizungs-Vorlauftemperatur 60 °C) sind auf Grund der ungünstigeren Effizienz der Wärmepumpen bei (dauerhaft) hohen Vorlauftemperaturen nicht zu empfehlen.
- Ein verringerter Warmwasserbedarf hat nur einen geringen Einfluss auf die wirtschaftlichen Verhältnisse zwischen Wohnungsstationen und einem zentralen System mit Warmwasserspeicher.

Trinkwassererwärmung in Verbindung mit Wärmenetz

- Der Einsatz von dezentralen, elektronisch geregelten Elektro-Durchlauferhitzern sollte aus energetischer Sicht möglichst in Kombination mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung erfolgen. Dabei ist die Hygiene beim Einbau von Duschwasserwärmerückgewinnungssystemen (Trennung von Trink- und Abwasser) zu beachten.
- Kann von einem niedrigeren Warmwasserbedarf als der Durchschnittswert nach Norm ausgegangen werden, beispielsweise durch eine geringe Personenbelegung, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit des dezentralen Systems mit Elektro-Durchlauferhitzer gegenüber einem zentralen System mit Warmwasserspeicher.
- In Verbindung mit Wärmenetzen kann ein Einsatz von Wohnungsstationen zur vollständigen Trinkwassererwärmung (Vorlauftemperatur 60 °C) erfolgen, da höhere Systemtemperaturen bei Wärmenetzen oft unproblematisch sind. Noch höhere primärseitige Vorlauftemperaturen sollten zur Minimierung der Wärmeverteilverluste vermieden werden.
- Ein verringerter Warmwasserbedarf hat keinen Einfluss auf die wirtschaftlichen Verhältnisse zwischen Wohnungsstationen und einem zentralen System mit Warmwasserspeicher.

Exkurs

Abweichende Energiepreisentwicklung

Die Berechnungen wurden mit Energiepreisen entsprechend Kostenentwicklung nach Prognos über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren durchgeführt, vgl. Abschnitt „Wirtschaftlichkeitsberechnungen“. Die zukünftige Entwicklung der Energiepreise ist jedoch schwer einschätzbar. Es werden zwei verschiedene Szenarien betrachtet.

Preise aller Energieträger steigen auf ein deutlich höheres Niveau

Bei einem deutlich höheren Energiepreisniveau aller Energieträger gibt es bei den Systemen mit Wärmepumpen keine Verschiebungen der Kostenverhältnisse zwischen den verschiedenen Warmwasserbereitungssystemen untereinander. Auch bei den Systemen mit Wärmenetzen sind bei gleichmäßig deutlich höheren Energiepreisen ähnliche Verhältnisse zu verzeichnen.

Strompreis erhöht sich deutlich stärker gegenüber dem Energiepreis von Wärmenetzen

Bei diesem Szenario wird unterstellt, dass sich der Preis für Strom stärker erhöht als der Energiepreis von Wärmenetzen. Gegenüber der bisherigen Betrachtung wird der Strompreis mit einer zusätzlichen Erhöhung von + 2 % pro Jahr angesetzt und die Varianten der verschiedenen Trinkwassererwärmungssysteme in Verbindung mit Wärmenetzen mit unveränderter Energiepreisentwicklung untersucht.

Tabelle 38
Energiepreise angepasst

Energieträger	Grundpreis €/a	Arbeitspreis €/kWh
Strom - Haushaltstarif	-	0,343
Wärmenetz EFH	600	0,112
Wärmenetz 6-FH	1.110	0,112
Wärmenetz 18-FH	1.500	0,112

Quelle: ITG Dresden GmbH

Die Differenzen der Jahresgesamtkosten und der verbrauchsgebundenen Kosten zwischen einer getrennten zentralen und dezentralen Trinkwassererwärmung mit dem ursprünglichen Energiepreisen werden in Tabelle 39 denen mit einer stärkeren Preisentwicklung beim Energieträger Strom in Tabelle 40 gegenübergestellt.

Tabelle 39

Differenz Jahresgesamtkosten und verbrauchsgebundene Kosten – ursprüngliches Preisszenario

Wärmenetz	Differenz Jahresgesamtkosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	+170	+102	+98						
+ E-DLE	-96	+44	+19	+232	+153	+82	+293	+69	-224
+ E-DLE + DWRG	-84	+32	+7	+404	+325	+254	+810	+586	+292
+ WST				+1.197	+1.242	+1.279	+2.876	+2.965	+2.991
Wärmenetz	Differenz verbrauchsgebundene Kosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	-619	-687	-691						
+ E-DLE	+4	+144	+119	+515	+443	+379	+851	+627	+334
+ E-DLE + DWRG	-97	+19	-6	+9	-63	-127	-666	-890	-1.184
+ WST				-103	-58	-21	-742	-653	-627

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 40

Differenz Jahresgesamtkosten und verbrauchsgebundene Kosten – stärkere Energiepreisentwicklung bei Strom

Wärmenetz	Differenz Jahresgesamtkosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	+170	+102	+98						
+ E-DLE	-16	+143	+121	+639	+560	+488	+1.513	+1.287	+993
+ E-DLE + DWRG	-26	+104	+82	+703	+623	+552	+1.703	+1.477	+1.183
+ WST				+1.205	+1.253	+1.292	+2.886	+2.981	+3.013
Wärmenetz	Differenz verbrauchsgebundene Kosten [€/a]								
	EFH			6-FH			18-FH		
	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40	Bestand	EH55	EH40
+ Speicher	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ Speicher + PV-Anlage	-619	-687	-691						
+ E-DLE	+84	+243	+221	+922	+850	+785	+2.071	+1.845	+1.551
+ E-DLE + DWRG	-39	+91	+69	+308	+235	+171	+227	+1	-293
+ WST				-95	-47	-8	-732	-637	-605

Quelle: ITG Dresden GmbH

Steigt der Strompreis deutlich stärker als der Wärmenetzpreis, sind die Energiekosten bei einer mit dem Wärmenetz verbundene Warmwasserbereitung niedriger als bei einem System mit dezentraler elektrischer Trinkwassererwärmung. In Verbindung mit einer Duschwasserwärmerückgewinnung sinken die Energiekosten für Heizung und Trinkwassererwärmung auf ein ähnliches Niveau.

Betriebsweise von Luft-Wärmepumpen mit Wohnungsstationen als Hybridsystem

Wohnungsstationen mit integrierten elektrischen Durchlauferhitzern zur Nacherwärmung des Trinkwarmwassers werden dann eingesetzt, wenn für einen effizienten Betrieb des Wärmeerzeugers (zum Beispiel bei einem Wärmepumpensystem) ein niedriges primärseitiges Temperaturniveau notwendig oder aus anderen Gründen das Temperaturniveau für die Erwärmung des Trinkwassers auf die gewünschte Zapftemperatur zu niedrig ist.

Die vorangegangenen Betrachtungen hinsichtlich des Energieaufwandes und der Kosten erfolgten für eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einer ganzjährig konstanten, niedrigen Vorlauftemperatur. Eine bestimmte Warmwasserzapftemperatur erfordert damit zu jedem Zeitpunkt bzw. bei jeder Außentemperatur denselben Anteil an elektrischer Nacherwärmung.

Denkbar sind auch folgende Betriebsweisen:

- Außentemperatur- und Zeitsteuerung ähnlich konventionellen Heizungsnetzen
- Anhebung der erzeugerseitigen Vorlauftemperatur in der Nichtheizzeit

Außentemperatur- und Zeitsteuerung ähnlich konventionellen Heizungsnetzen

Die erzeugerseitige Vorlauftemperatur wird nach der Zeit und/oder einem geeigneten Bedarfsindikator (i. d. R. Außentemperatur) gesteuert. Der Aufwand der elektrischen Trinkwassernacherwärmung zur Bereitstellung derselben Warmwassertemperatur schwankt damit im Jahres- und ggf. auch Tagesverlauf.

Anhebung der erzeugerseitigen Vorlauftemperatur in der Nichtheizzeit

Die Vorlauftemperatur von der Luft-Wasser-Wärmepumpe wird in der Heizzeit auf einem Niveau belassen, welches den Anforderungen der Raumheizung genügt. In der Nichtheizzeit wird sie merklich angehoben. Diesem Betriebskonzept liegen folgende Ideen zugrunde:

- Die Trinkwassererwärmung über eine Elektrowärmepumpe ist auch unter ungünstigen Bedingungen noch energieeffizienter ($\eta > 1$) als die direktelektrische Trinkwassererwärmung ($\eta \approx 1$).
- In der Nichtheizzeit kann die freiwerdende Kapazität der Wärmepumpe genutzt werden, um einen signifikant höheren Anteil an der Trinkwassererwärmung zu übernehmen.

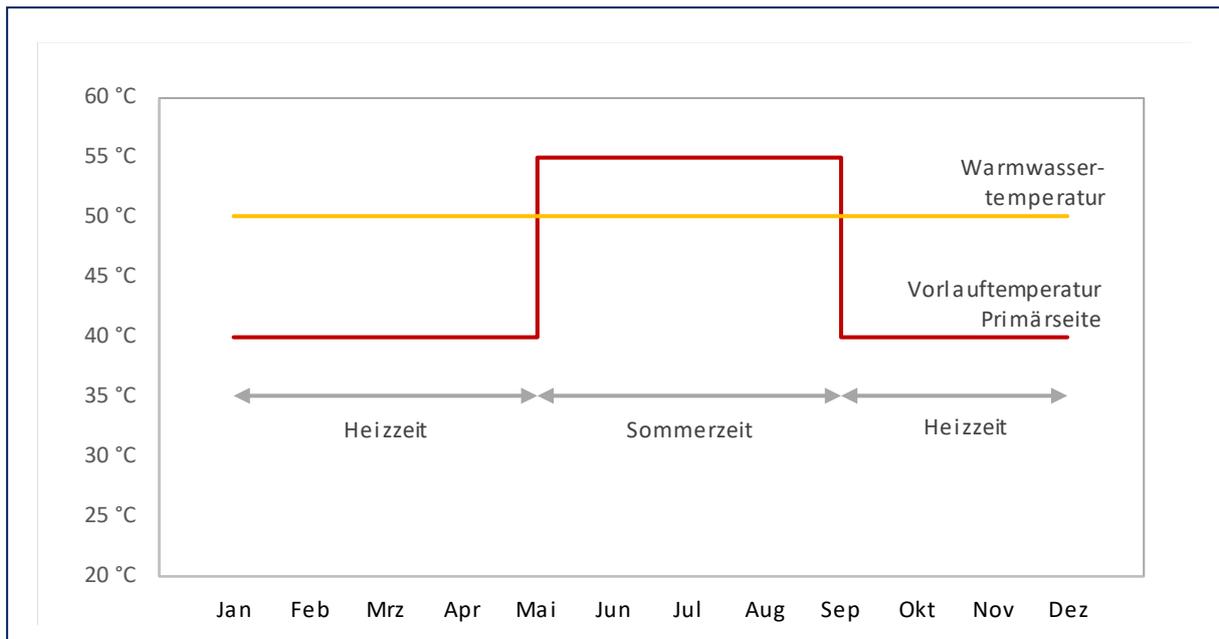
Im einfachsten Fall – das heißt Betrieb mit einer konstanten Winter- und einer konstanten Sommervorlauftemperatur – würde der Anteil der elektrischen Nacherwärmung für dieselbe Warmwassertemperatur saisonal zwischen zwei Werten wechseln. Gegenüber dem Betrieb mit ganzjährig konstanter Vorlauftemperatur am Wärmeerzeuger treten nun zwei gegensätzlich wirkende energetische Effekte auf:

- Die Trinkwassererwärmung erfolgt in der Nichtheizzeit zu einem höheren Anteil über die Wärmepumpe, das heißt mit einer höheren energetischen Effizienz der Erzeugung.
- Die Wärmeverteilverluste des Primärnetzes nehmen durch die höhere Netztemperatur in der Nichtheizzeit insgesamt zu. Das Maß der Zunahme hängt wesentlich vom Unterschied zwischen den Vorlauftemperaturen in der Heiz- und Nichtheizzeit ab.

Diese Betriebsweise kann in der Gesamtschau energieeffizienter sein als der Betrieb mit ganzjährig konstanter Vorlauftemperatur. Ob sich ein energetischer Vorteil ergibt und ggf. wie hoch dieser ausfällt, hängt davon ab, welcher der beiden oben genannten Effekte im konkreten Fall überwiegt und damit von einer Vielzahl weiterer Einflussgrößen (Maß der Temperaturänderung, Leitungslängen etc.).

Durch diese unterschiedlichen Betriebsweisen kann sich bei wohnungsweiser Abrechnung der elektrischen Nacherwärmung Kostenungleichheit zwischen unterschiedlichen Nutzern (bei gleicher Warmwassermenge und -temperatur) ergeben.

Abbildung 24
Wärmepumpen-Vorlauftemperatur Primärseite in Heizzeit und Sommerzeit



Quelle: ITG Dresden GmbH

Beispielrechnung: Luft-Wärmepumpen mit Wohnungsstationen als Hybridsystem mit geänderter Regelstrategie

Für das System Luft-Wärmepumpe mit Wohnungsstation als Hybridsystem werden Berechnungen mit einer geänderten Regelstrategie durchgeführt. Im Vergleichsfall erfolgt eine Anpassung der Vorlauftemperatur auf der Primärseite auf 55 °C, um eine vollständige Erwärmung des Trinkwassers auf 50 °C sicherzustellen.

Der sich aus der geänderten Regelstrategie zwischen Heizzeit und Sommerzeit ergebende Energiebedarf für den Monat Juli ist in Tabelle 41 den bisherigen Ergebnissen gegenübergestellt. Endenergiebedarf und Energiekosten des Gesamtsystems für Heizung und Trinkwassererwärmung sind in Tabelle 42 gegenübergestellt.

Tabelle 41
Gegenüberstellung Trinkwassererwärmung für Monat Juli

Monat Juli	6-FHEH55		18-FHEH55	
	40 °C	55 °C	40 °C	55 °C
Vorlauftemperatur	40 °C	55 °C	40 °C	55 °C
Nutzenergiebedarf Warmwasser	555 kWh	560 kWh	1.666 kWh	1.678 kWh
Endenergiebedarf – gesamt	465 kWh	327 kWh	1.406 kWh	886 kWh
Endenergiebedarf – TWE DLE	240 kWh	0 kWh	719 kWh	0 kWh

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 42
Gegenüberstellung von Endenergiebedarf und Energiekosten

		6-FH EH55		18-FH EH55	
		Regelstrategie für Sommer- und Heizzeit	40 °C konstante Vorlauftemperatur	Regelstrategie für Sommer- und Heizzeit	40 °C konstante Vorlauftemperatur
Endenergiebedarf	WP	10.493 kWh	10.075 kWh	28.846 kWh	28.018 kWh
	DLE	1.890 kWh	2.843 kWh	5.670 kWh	8.528 kWh
	Hilfsenergie	720 kWh	720 kWh	1.881 kWh	1.881 kWh
	gesamt	13.104 kWh	13.638 kWh	36.396 kWh	38.426 kWh
	Differenz	-534 kWh		-2.030 kWh	
Energiekosten	WP	2.409 €/a	2.317 €/a	6.440 €/a	6.258 €/a
	DLE + HE	736 €/a	1.005 €/a	2.129 €/a	2.935 €/a
	gesamt	3.145 €/a	3.322 €/a	8.569 €/a	9.194 €/a
	Differenz	-177 €/a		-624 €/a	

Quelle: ITG Dresden GmbH

Erfolgt die Trinkwassererwärmung in der Sommerzeit zu einem höheren Anteil (im Beispiel 100 %) über die Wärmepumpe, erfolgt die Erzeugung mit einer höheren energetischen Effizienz. Der Primärenergiebedarf und die THG-Emissionen sinken, trotz höherer Wärmeverteilverluste des Primärnetzes. Durch die Energieeinsparung und zusätzlich durch den Wechsel der Trinkwassererwärmung von Haushaltsstromtarif auf Strom-Wärmepumpentarif in der Sommerzeit werden die Energiekosten günstiger.

Luft-Wasser-Wärmepumpen mit geänderter Regelstrategie

Aktuelle gesetzliche Vorgaben

Entsprechend geltendem Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020) sind Zentralheizungsanlagen mit zentralen selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Verringerung und Abschaltung der Wärmezufuhr sowie zur Ein- und Ausschaltung elektrischer Antriebe auszustatten. Die Regelung der Wärmezufuhr sowie der elektrischen Antriebe hat in Abhängigkeit der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße und der Zeit zu erfolgen.

Die technische Umsetzung erfolgt üblicherweise mit einer Nachtabenkung der Soll-Raumtemperatur um 3 bis 4 K. Eine stärkere Absenkung ist wegen der Feuchtegefahr (Schimmelbildung) und einer schlechteren Leistungszahl der Luft-Wasser-Wärmepumpe beim Wiederaufheizen am Morgen mit deutlich angehobenen Vorlauftemperaturen nicht zu empfehlen. In Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten könnten jedoch auch andere Regelungsstrategien sinnvoll sein. Im Folgenden werden verschiedene Einflussgrößen näher betrachtet.

Baulicher Wärmeschutz

Die thermische Trägheit eines Gebäudes wird durch die Güte des baulichen Wärmeschutzes und die Bauschwere bestimmt. Luft-Wasser-Wärmepumpen finden in Neubauten oder energetisch sanierten Bestandsgebäuden Einsatz, bei denen für einen effizienten Betrieb die Systemtemperaturen niedrig gehalten werden können. Diese Gebäude verfügen in der Regel über eine hohe Gebäudeträgheit, das heißt das Gebäude kühlt langsam aus, benötigt aber auch viel Zeit zum Aufheizen, wenn der Wärmeerzeuger nicht deutlich überdimensioniert ist. Mit zunehmend besseren baulichen Wärmeschutz werden die Potenziale für eine Energieeinsparung durch eine Nachtabenkung immer geringer.

Trägheit des Heizungssystems

Die Länge der Wiederaufheizphase und der dafür notwendige Energiebedarf wird zudem durch das vorhandene Heizsystem bestimmt. Flächenheizungen sind üblicherweise⁸ deutlich träger als freie Heizflächen, eine Nachtabsenkung kann damit früher erfolgen, analog muss dafür das Wiederaufheizen früher beginnen. Da Flächenheizungen die Wärme gut speichern können, ist es sinnvoll, insbesondere in Verbindung mit Luft-Wasser-Wärmepumpen, auf eine Nachtabsenkung zu verzichten. Die Wärmepumpe wird dann zu Zeiten höheren Warmwasserbedarfs nicht gleichzeitig für das Wiederaufheizen beansprucht. Eine sonst gegebenenfalls notwendige Unterstützung durch einen Elektroheizstab kann begrenzt bzw. vermieden werden.

Erneuerbare Stromerzeugung

Wärmepumpen werden mit Strom aus dem Stromnetz zum Haushaltsstromtarif oder mit einem Wärmepumpentarif betrieben. Beim günstigeren Wärmepumpentarif kann der Versorger in Spitzenlastzeiten die Versorgung durch Sperrzeiten unterbrechen. Daher erfolgt der Betrieb von Luft-Wasser-Wärmepumpen i.d.R. mit einem Heizungspufferspeicher. Dieser dient zum Ausgleich der Sperrzeiten des Stromversorgers, kann aber in Verbindung mit Photovoltaikanlagen auch in Zeiten mit Stromangebot bei keiner oder geringer Wärmeabnahme beladen werden.

Um einen möglichst hohen Eigenverbrauch zu generieren, sollte der Strom aus einer Photovoltaikanlage nacheinander folgenden Anwendungen zur Verfügung stehen:

- (1) Versorgung der Stromanwendungen im Haus gezielt bei zur Verfügung stehenden PV-Strom
 - Haushaltgeräte, wie Waschmaschine und Spülmaschine
 - Elektro-Wärmepumpe
 - Laden von Elektro-Fahrzeugen
- (2) Laden eines Batteriespeichers (wenn vorhanden)
- (3) Laden des Pufferspeichers und des Warmwasserspeichers über die Elektro-Wärmepumpe über die normalerweise notwendigen Temperaturen hinaus.

Der danach noch überschüssige Strom wird ins Netz eingespeist⁹.

Flexibilisierung der Stromtarife (Smart Meter)

Mit der Flexibilisierung der Stromtarife wird dem Verbraucher über ein Preissignal die Möglichkeit gegeben, Strom in einem selbstgewählten Umfang netzdienlich einzusetzen. Alle Verbrauchseinrichtungen im Haushalt, für Heizung und Trinkwassererwärmung sowie Ladeeinrichtungen für Elektromobilität können einbezogen werden. Die Strompreise werden dabei durch das Verhältnis von aktuell verfügbarem Strom aus erneuerbaren Energien und der Stromnachfrage bestimmt. Niedrige Stromtarife sind zum Beispiel bei geringer Stromnachfrage in der Nacht oder bei hoher Strahlungsintensität am Tag vorstellbar. Für einen optimierten Betrieb von Luft-Wasser-Wärmepumpen ist neben dem momentanen Strompreis auch die Außenlufttemperatur zu berücksichtigen, da die Leistungszahl auch von der Quelltemperatur bestimmt wird.

⁸ Dies gilt insbesondere für nassverlegte Fußbodenheizungen, bei denen der Heizstrich eine erhebliche Speicherkapazität besitzt. Trockensysteme oder sogenannte Dünnschichtsysteme weisen demgegenüber eine verringerte Speicherkapazität auf.

⁹ Wenn das Verhältnis zwischen Einspeisevergütung und Strombezugskosten besonders ungünstig ist, kann darüber hinaus auch eine direktelektrische Aufladung von Puffer- oder Warmwasserspeicher wirtschaftlich sinnvoll sein.

Möglichkeiten für angepasste Regelungsstrategien

Für angepasste Regelungsstrategien sind folgende Ansätze denkbar:

- Betrieb der Wärmepumpe und Laden des Puffer- und Warmwasserspeichers in Zeiten mit überschüssigen Stromangebot aus Photovoltaikanlagen
- Betrieb der Wärmepumpe ohne Nachtabsenkung bei baulichem Wärmeschutz entsprechend Neubauniveau
 - keine höhere Leistung zum Wiederaufheizen in Zeiten mit geringster Luft-Außentemperatur (niedrige Quellentemperatur) notwendig
 - Vermeidung des Einsatzes einer Elektro-Zusatzheizung
- Betrieb der Wärmepumpe und Laden des Puffer- und Warmwasserspeichers in Zeiten mit geringem Strombedarf im Netz.

Fazit

Die Vorgabe im GEG, dass die Regelung der Wärmezufuhr und der elektrischen Antriebe in Abhängigkeit von der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße und der Zeit zu erfolgen hat, bietet in der Praxis die Möglichkeit verschiedene Regelstrategien umzusetzen. Neben der Außentemperatur können auch andere Führungsgrößen, wie das Stromangebot aus Photovoltaikanlagen oder ein Netzsignal, Einsatz finden. Eine Beibehaltung der Regelung nach der Zeit ist weiterhin sinnvoll – auch wenn andere Regelstrategien perspektivisch eine tageszeitabhängige Regelung zumindest in Einzelfällen ersetzen – da die Zeit beispielsweise bei Winterurlauben oder anderen Abwesenheiten beim Betrieb der Heizungsanlage zu berücksichtigen ist. Zudem steht in modernen digitalen Regelungen die Zeit ohnehin zu Verfügung. Es ist daher keine Kosteneinsparung zu erwarten, wenn die Vorgabe der Zeitregelung entfällt.

Mögliche Einsparpotenziale durch geänderte Regelungsstrategie

Die normative Bewertung nach DIN V 18599:2018-09 lässt eine detaillierte Berechnung möglicher Energieeinsparungen durch speziell auf Luft-Wasser-Wärmepumpen angepasste Regelstrategien bisher nicht zu.

Eine genaue Quantifizierung der Effekte ist schwierig. Aussagen zum Einsparpotenzial werden daher auf Basis der Auswertung von vorhandener Literatur und eigenen Abschätzungen getroffen.

Im Projekt „Anpassung der SRI-Systematik für eine Einführung in Deutschland“ (BMWK 2022b) wird die Methodik eines Smart Readiness Indicator (SRI) untersucht, welcher die Fähigkeiten eines Gebäudes in Bezug auf Energieeffizienz, Netzdienlichkeit und Nutzerkomfort durch intelligente Gebäudetechnologien aufzeigen soll. Mögliche Einsparpotenziale und Aussagen zu Netzdienlichkeit und Nutzerkomfort, welche sich auch durch angepasste (intelligente) Regelstrategien bei der Heizung und Trinkwassererwärmung ergeben können, werden wie folgt qualitativ zusammengefasst:

- „Der technische Bereich Heizung weist auf Grund des hohen Endenergieverbrauchs das größte technische Einsparpotenzial auf. Für diesen Bereich wurde das Gesamtpotenzial aufgeteilt in einzelne Dienste dargestellt.
- Ein Einsparpotenzial bei der Trinkwassererwärmung ist vor allem aufgrund der Legionellen-Gefahr und damit der verbundenen Temperaturuntergrenze von 60 °C begrenzt.
...
- In dem Bereich Elektrizität liegt der Fokus der Studien auf der Steuerung des Eigenverbrauches von lokal erzeugtem Strom, zum Beispiel aus Photovoltaikanlagen. Ein Einsparpotenzial ergibt sich aus der Verbraucherinformation durch Visualisierung des Stromverbrauchs und einer automatisierten Geräteabschaltung.
...“

Im Projekt „Analyse und Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen zur Optimierung des energieeffizienten und klimaschonenden Betriebs von Heizungen“ (BMWK 2022a) wurde das Einsparpotenzial verschiedener Maßnahmen untersucht. Für den Betrieb einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit optimierter Regelungsstrategie können daraus folgende Einsparpotenziale abgeleitet werden. Können durch eine optimierte Regelung beim Betrieb der Wärmepumpe die Raumtemperaturen besser an die Nutzungserfordernisse angepasst werden, führt dies zu einem geringeren Energieverbrauch. Eine sich dadurch ergebende Raumtemperaturabsenkung um 0,5 K führt entsprechend Heizsparmehrs zu einer jährlichen Endenergieeinsparung von 5 %. Eine Anpassung der Warmwasser-Zirkulationszeiten wirkt sich ebenfalls auf den Energieverbrauch aus. Im Heizsparmehrs wird eine Einsparung von bis 10 % an fossiler Endenergie angegeben, wenn die Zirkulation nachts abgeschaltet wird. Bei einer Warmwasserbereitung mit einer Wärmepumpe dürfte das Einsparpotenzial noch darüber liegen, da das Nachladen der Zirkulationsverluste in einem für die Wärmepumpe ungünstigen Betriebsbereich erfolgt.

Im Folgenden wird eine Abschätzung des Einsparpotenzials an Endenergie infolge einer optimierten Regelungsstrategie der Luft-Wasser-Wärmepumpe für Heizung und Trinkwassererwärmung für das Einfamilienhaus bei Neubauniveau (Effizienzhausniveau 55) vorgenommen. Kann durch eine optimierte Regelungsstrategie beim Betrieb der Luft-Wasser-Wärmepumpe die Jahresarbeitszahl um 0,2 verbessert werden, ohne dass der Nutzenergiebedarf maßgeblichen Änderungen unterliegt, ergeben sich Endenergieeinsparungen von 290 kWh/a für das Einfamilienhaus (EH55).

Literaturverzeichnis

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022a: Analyse und Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen zur Optimierung des energieeffizienten und klimaschonenden Betriebs von Heizungen, Gesamtbericht.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022b: Anpassung der SRI-Systematik für eine Einführung in Deutschland. Guidhouse Germany GmbH, ITG Dresden GmbH, Öko-Institut e.V., FIW München, adelphi.

Bundesregierung, 2021: Mehr Fortschritt wagen. Koalitionsvertrag zwischen SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP. Berlin.

DIN 1988 Teil 200, Mai 2012: Installation Typ A (geschlossenes System) – Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe; Technische Regel des DVGW. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN 4708 Teil 1 bis 3, 1994: Zentrale Wassererwärmungsanlagen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN EN 12831-03, 2017: Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Teil 3: Trinkwassererwärmungsanlagen, Heizlast und Bedarfsbestimmung. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN V 18599, September 2018: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung (12 Normenteile). Beuth Verlag GmbH.

DVGW Arbeitsblatt W 551, April 2004: Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verhinderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen. Bonn.

GEG, 2020: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG) vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728).

GEG, 2023: Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor.

TrinkwV, September 2021: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459). Zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. September 2021 (BGBl. I S. 434).

VDI 2067 Blatt 1, September 2012: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung. VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik.

VDI 2067 Blatt 12, April 2017: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung. VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik.

VDI 4650 Blatt 1, März 2019: Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen, Elektrowärmepumpen zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung. VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik.

ZUB Kassel e.V., Oktober 2010: Im Auftrag des BMVBS/BBSR: Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Spezifischer Nutzwärmebedarf Warmwasser in Abhängigkeit von der Nettogrundfläche einer Wohneinheit und Höchstwert des spezifischen Heizwärmebedarfs eines Passivhauses	18
Abbildung 2	Definitionen und Anforderungen des DVGW Arbeitsblattes W 551	23
Abbildung 3	Warmwasserspeicher mit Schutzanode, bivalenter Speicher, Edelstahl und Pufferspeicher mit Frischwasserstation	27
Abbildung 4	Bedarfsprofil (Zapfprofil) für ein Mehrfamilienhaus	29
Abbildung 5	Bedarfs- und Versorgungskennlinie (Beispiel: Speicher mit Mischbereich – internem Wärmeübertrager)	30
Abbildung 6	Schema Solarthermieanlage zur Trinkwassererwärmung / Flachkollektor / Röhrenkollektor	31
Abbildung 7	Warmwasser-Wärmepumpe mit Umluftbetrieb und für Luftkanal-/Außenluftbetrieb	33
Abbildung 8	Prinzip Wohnungsstation (direkter Heizungsanschluss, 2-Leitersystem, ohne elektrische Nacherwärmung)	35
Abbildung 9	Vorlauftemperaturvorhaltung bei Stillstand: Überströmung integriert in Durchflusssteuerung des Wärmeübertragers	35
Abbildung 10	Wohnungsstation (direkter Heizkreisanschluss)	35
Abbildung 11	Wohnungsstation (Hybridsystem, mit Anschluss für Flächenheizung)	36
Abbildung 12	Elektronischer Durchlauferhitzer mit Bedienteil und Detailansicht Display mit Statistiken	37
Abbildung 13	Duschrinne und Schema eines Duschröhres	38
Abbildung 14	Schematische Darstellung der Betriebsweisen (1), (2) und (3)	39
Abbildung 15	Einfamilienhaus klein mit Keller	41
Abbildung 16	6-Familienhaus und 18-Familienhaus	41
Abbildung 17	Energiepreisentwicklung der einzelnen Energieträger nach Prognos, Stand März 2022	45
Abbildung 18	Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit Luft-Wasser-Wärmepumpe im Einfamilienhaus	51
Abbildung 19	Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit Luft-Wasser-Wärmepumpe im 6-Familienhaus	52
Abbildung 20	Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit Luft-Wasser-Wärmepumpe im 18-Familienhaus	53
Abbildung 21	Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit einem Wärmenetz ($f_p = 0,6$) im Einfamilienhaus	54
Abbildung 22	Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit einem Wärmenetz ($f_p = 0,6$) im 6-Familienhaus	55
Abbildung 23	Primärenergiebedarf bei TWE in Verbindung mit einem Wärmenetz ($f_p = 0,6$) im 18-Familienhaus	55
Abbildung 24	Wärmepumpen-Vorlauftemperatur Primärseite in Heizzeit und Sommerzeit	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Nutzung von erneuerbaren Energien bei einem zu errichtenden Gebäude nach GEG (GEG, 2020)	16
Tabelle 2	Volumen von erwärmtem Trinkwasser in Abhängigkeit von der Art des Gebäudes nach (DIN EN 12831-03, 2017)	19
Tabelle 3	Nutzenergiebedarf Warmwasser für verschiedene Wohngebäude und Anzahl an Personen	20
Tabelle 4	Personenbezogener Nutzenergiebedarf der Entnahmestelle (VDI 2067 Blatt 12, 2017)	21
Tabelle 5	Personenbezogener Gesamtbedarf für verschiedene Ausstattungsvarianten (VDI 2067 Blatt 12, 2017)	21
Tabelle 6	Systeme zur Trinkwassererwärmung	25
Tabelle 7	Kennwerte Speichersysteme	28
Tabelle 8	Verluste im Bereitschaftsbetrieb nach DIN EN 12831-3 (Auszug) (DIN EN 12831-03, 2017)	30
Tabelle 9	Kennwerte Solarthermieanlage zur Trinkwassererwärmung	32
Tabelle 10	Kennwerte Warmwasser-Wärmepumpe	33
Tabelle 11	Kennwerte Wohnungsstationen	36
Tabelle 12	Kennwerte Elektro-Durchlauferhitzer	38
Tabelle 13	Kennwerte Duschwasser-Wärmerückgewinnung	40
Tabelle 14	Gebäudekennwerte und Warmwasserbedarf	42
Tabelle 15	Anforderungen Neubau	42
Tabelle 16	U-Werte, Wärmebrückenzuschläge sowie Ausführung der Lüftung der Wohngebäude	42
Tabelle 17	Zulässiger Primärenergiebedarf je Anforderungsniveau	43
Tabelle 18	Primärenergiefaktoren und THG-Emissionsfaktoren je Energieträger	43
Tabelle 19	Energiepreise	44
Tabelle 20	Wärmeübergabesystem und Systemtemperaturen Heizung	47
Tabelle 21	Kennwerte PV-Anlage	47
Tabelle 22	Übersicht der berechneten Varianten	48
Tabelle 23	Übersicht der berechneten Varianten	49
Tabelle 24	Endenergie und Differenzen: Luft-Wasser-Wärmepumpe	50
Tabelle 25	Endenergie und Differenzen: Wärmenetz	50
Tabelle 26	THG-Emissionen und Differenzen: Luft-Wasser-Wärmepumpe	56
Tabelle 27	THG-Emissionen und Differenzen: Wärmenetz	56
Tabelle 28	Jahresgesamtkosten und Differenzen: Luft-Wasser-Wärmepumpe	59
Tabelle 29	Verbrauchsgebundene Kosten und Differenzen: Luft-Wasser-Wärmepumpe	59
Tabelle 30	Jahresgesamtkosten und Differenzen: Wärmenetz	60
Tabelle 31	Verbrauchsgebundene Kosten und Differenzen: Wärmenetz	60
Tabelle 32	Zusammenstellung der Kennwerte und Kosten: System mit Luft-Wasser-Wärmepumpe	62

Tabelle 33 Zusammenstellung der Kennwerte und Kosten: System mit Wärmenetz	65
Tabelle 34 Zusammenstellung der Kennwerte und Kosten: System mit Gas-Brennwert-Kessel beim EFH Bestand	68
Tabelle 35 Ansatz Nutzenergiebedarf Warmwasser	69
Tabelle 36 Differenz der Jahresgesamtkosten bei unterschiedlichen Warmwasserbedarf: Luft-Wärmepumpe	70
Tabelle 37 Differenz der Jahresgesamtkosten bei unterschiedlichen Warmwasserbedarf: Wärmenetz	70
Tabelle 38 Energiepreise angepasst	73
Tabelle 39 Differenz Jahresgesamtkosten und verbrauchsgebundene Kosten – ursprüngliches Preisszenario	74
Tabelle 40 Differenz Jahresgesamtkosten und verbrauchsgebundene Kosten – stärkere Energiepreisentwicklung bei Strom	74
Tabelle 41 Gegenüberstellung Trinkwassererwärmung für Monat Juli	76
Tabelle 42 Gegenüberstellung von Endenergiebedarf und Energiekosten	77
Tabelle 43 Energie- und Kostenkennwerte: Einfamilienhaus, Systeme mit Luft-Wärmepumpe	86
Tabelle 44 Energie- und Kostenkennwerte: 6-Familienhaus, Systeme mit Luft-Wärmepumpe	87
Tabelle 45 Energie- und Kostenkennwerte: 18-Familienhaus, Systeme mit Luft-Wärmepumpe	88
Tabelle 46 Energie- und Kostenkennwerte: Einfamilienhaus, Systeme mit Wärmenetz	89
Tabelle 47 Energie- und Kostenkennwerte: 6-Familienhaus, Systeme mit Wärmenetz	90
Tabelle 48 Energie- und Kostenkennwerte: 18-Familienhaus, Systeme mit Wärmenetz	91
Tabelle 49 Energie- und Kostenkennwerte: Einfamilienhaus Bestand, Systeme mit Gas-Brennwert-Kessel und anteilig Biomethan	92

Anlagen – Zusammenstellung der Energie- und Kostenkennwerte

In Tabelle 43 bis Tabelle 49 sind die Energie- und Kostenkennwerte für die Gebäude und Anlagensysteme zusammengestellt.

Die Ergebnisse für die Mehrfamilienhäuser mit PV-Anlage sind für das Szenario b) 35% Eigennutzung des erzeugten Stromes angegeben.

Primärenergiebedarf des Gebäudes

Grüne Werte zeigen die Einhaltung des jeweiligen Anforderungsniveaus (EH55 bzw. EH40), **rote Werte** liegen über dem jeweiligen Anforderungsniveau. Kann beim Effizienzhaus 40 der zulässige Primärenergiebedarf für dieses Effizienzhausniveau nicht eingehalten werden, so werden jedoch die Vorgaben des neuen GEG (EH55) eingehalten.

Tabelle 43
Energie- und Kostenkennwerte: Einfamilienhaus, Systeme mit Luft-Wärmepumpe

Gebäude	Wärmeschutzstandard	Einfamilienhaus											
		Bestand				EH55				EH40			
		+ Speicher	+ Speicher + PV-Anlage	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ Speicher	+ Speicher + PV-Anlage	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ Speicher	+ Speicher + PV-Anlage	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG
Nutzenergiebedarf Heizung	kWh/a	17.426	17.426	17.757	17.757	8.815	8.815	10.436	10.436	4.072	4.072	5.369	5.369
Nutzenergiebedarf TWE	kWh/a	1.320	1.320	1.294	1.294	1.629	1.629	1.596	1.596	1.629	1.629	1.596	1.596
Anteil Warmwasser am Gesamtnutzenergiebedarf	-	7%	7%	7%	7%	16%	16%	13%	13%	29%	29%	23%	23%
Endenergiebedarf Heizung	kWh/a	7.539	7.539	7.698	7.698	2.731	2.731	3.222	3.222	1.246	1.246	1.632	1.632
Endenergiebedarf TWE	kWh/a	1.653	1.653	1.360	1.000	2.013	2.013	1.661	1.217	2.011	2.011	1.660	1.217
Hilfsenergiebedarf	kWh/a	272	272	216	216	419	419	379	379	607	607	613	613
PV-Strom erzeugt	kWh/a	0	5.521	0	0	0	5.521	0	0	0	5.521	0	0
PV-Strom endenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	-2.914	0	0	0	-2.481	0	0	0	-2.329	0	0
PV-Strom primärenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	-5.245	0	0	0	-4.466	0	0	0	-4.192	0	0
Primärenergiebedarf zulässig GEG neu (EH55)	kWh/m²a	-	-	-	-	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6
Primärenergiebedarf zulässig Effizienzhausniveau	kWh/m²a	-	-	-	-	48,6	48,6	48,6	48,6	35,4	35,4	35,4	35,4
Primärenergiebedarf des Gebäudes	kWh/m²a	114,5	79,2	112,2	107,8	39,5	20,5	40,3	36,9	29,6	11,7	29,9	26,5
THG-Emissionen	kg/a	5.300	3.668	5.193	4.992	2.892	1.502	2.946	2.698	2.164	859	2.187	1.938
Energiekosten	€/a	2.200	2.200	2.240	2.138	1.265	1.265	1.387	1.262	991	991	1.104	979
Stromvergütung/ingesparte Strombezugskosten	€/a	0	-1.194	0	0	0	-1.285	0	0	0	-1.293	0	0
verbrauchsgebundene Kosten	€/a	2.200	1.006	2.240	2.138	1.265	-21	1.387	1.262	991	-302	1.104	979
Wärmeerzeuger Heizung	€	15.500	39.100	14.200	14.200	11.100	34.700	9.800	9.800	9.400	33.000	8.000	8.000
Trinkwassererwärmung	€	3.500	3.500	1.000	2.400	3.500	3.500	1.000	2.400	3.500	3.500	1.000	2.400
Austausch Heizflächen Wärmepumpen Bestand	€	3.800	3.800	3.800	3.800	0	0	0	0	0	0	0	0
Warmwasserleitungen	€	500	500	100	100	500	500	100	100	500	500	100	100
Gas-/Elektroinstallation	€	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Investitionskosten gesamt	€	23.800	47.400	19.600	21.000	15.600	39.200	11.400	12.800	13.900	37.500	9.600	11.000
kapitalgebundene Kosten	€/a	1.190	2.370	980	1.050	780	1.960	570	640	695	1.875	480	550
Instandhaltung	€/a	238	238	196	224	156	156	114	142	139	139	96	124
Wartung	€/a	145	180	135	150	145	180	135	150	145	180	135	150
Versicherung	€/a	-	75	-	-	-	75	-	-	-	75	-	-
Heizkostenabrechnung	€/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
betriebsbedingte Kosten	€/a	383	493	331	374	301	411	249	292	284	394	231	274
Jahresgesamtkosten	€/a	3.773	3.869	3.551	3.562	2.346	2.350	2.206	2.194	1.970	1.967	1.815	1.803

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 44
Energie- und Kostenkennwerte: 6-Familienhaus, Systeme mit Luft-Wärmepumpe

Gebäude Wärmeschutzstandard	Luft-Wasser-Wärmepumpe	6-Familienhaus																
		Bestand					EH55					EH40						
		+ Speicher	+ Speicher + PV	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ Speicher	+ Speicher + PV	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ WST + E-DLE	+ Speicher	+ Speicher + PV	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ WST + E-DLE
Nutzenergiebedarf Heizung	kWh/a	43.631	43.631	45.400	45.400	40.479	18.385	18.385	20.049	20.049	12.954	18.865	6.593	6.593	7.709	7.709	4.386	6.898
Nutzenergiebedarf TWE	kWh/a	6.588	6.588	6.456	6.456	6.588	6.588	6.588	6.456	6.456	6.588	6.538	6.588	6.588	6.456	6.456	6.588	6.538
Anteil Warmwasser am Gesamtnutzenergiebedarf	-	13 %	13 %	12 %	12 %	14 %	26 %	26 %	24 %	24 %	34 %	26 %	50 %	50 %	46 %	46 %	60 %	49 %
Endenergiebedarf Heizung	kWh/a	18.923	18.923	19.778	19.778	30.715	5.267	5.267	6.310	6.310	10.655	6.775	1.858	1.858	2.361	2.361	4.096	2.072
Endenergiebedarf TWE	kWh/a	6.329	6.329	6.819	5.025	5.544	6.321	6.321	6.815	5.021	5.676	6.143	6.318	6.318	6.814	5.020	5.674	6.140
Hilfsenergiebedarf	kWh/a	467	467	362	362	418	786	786	710	710	733	720	1.395	1.395	1.301	1.301	1.488	1.472
PV-Strom erzeugt	kWh/a	0	13.753	0	0	0	0	13.753	0	0	0	0	0	13.753	0	0	0	0
PV-Strom endenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	-7.668	0	0	0	0	-6.216	0	0	0	0	0	-6.115	0	0	0	0
PV-Strom primärenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	-13.802	0	0	0	0	-11.189	0	0	0	0	0	-11.007	0	0	0	0
Primärenergiebedarf zulässig GEG neu (EH55)	kWh/m²a	-	-	-	-	-	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Primärenergiebedarf zulässig Effizienzhausniveau	kWh/m²a	-	-	-	-	-	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6
Primärenergiebedarf des Gebäudes	kWh/m²a	76,5	53,7	80,2	74,9	109,1	36,8	18,3	41,2	35,8	50,8	40,6	28,5	10,3	31,2	25,8	33,5	28,8
THG-Emissionen	kg/a	14.403	10.108	15.097	14.092	20.539	6.929	3.448	7.748	6.743	9.556	7.637	5.360	1.935	5.866	4.862	6.304	5.423
Energiekosten	€/a	5.783	5.783	6.474	5.968	8.186	2.871	2.871	3.612	3.107	3.898	3.322	2.294	2.294	2.911	2.406	2.670	2.501
Stromvergütung/ingesparte Strombezugskosten	€/a	0	-2.047	0	0	0	0	-2.047	0	0	0	0	0	-1.660	0	0	0	0
verbrauchsgebundene Kosten	€/a	5.783	3.736	6.474	5.968	8.186	2.871	824	3.612	3.107	3.898	3.322	2.294	634	2.911	2.406	2.670	2.501
Wärmeerzeuger Heizung	€	35.900	66.100	33.100	33.100	41.400	31.200	61.400	28.400	28.400	36.700	36.700	29.600	59.800	26.800	26.800	35.100	35.100
Trinkwassererwärmung	€	4.200	4.200	5.800	14.200	20.900	4.200	4.200	5.800	14.200	20.900	25.900	4.200	4.200	5.800	14.200	20.900	25.900
Austausch Heizflächen Wärmepumpen Bestand	€	14.100	14.100	14.100	14.100	14.100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Warmwasserleitungen	€	4.500	4.500	500	500	500	4.500	4.500	500	500	500	500	4.500	4.500	500	500	500	500
Gas-/Elektroinstallation	€	500	500	700	700	500	500	500	700	700	500	500	500	500	700	700	500	500
Investitionskosten gesamt	€	59.200	89.400	54.200	62.600	77.400	40.400	70.600	35.400	43.800	58.600	63.600	38.800	69.000	33.800	42.200	57.000	62.000
kapitalgebundene Kosten	€/a	2.960	4.470	2.710	3.130	3.870	2.020	3.530	1.770	2.190	2.930	3.180	1.940	3.450	1.690	2.110	2.850	3.100
Instandhaltung	€/a	592	592	542	710	983	404	404	354	522	795	817	388	388	338	506	779	801
Wartung	€/a	253	343	228	318	278	253	343	228	318	278	278	253	343	228	318	278	278
Versicherung	€/a	-	80	-	-	-	-	80	-	-	-	-	-	80	-	-	-	-
Heizkostenabrechnung	€/a	650	650	440	440	540	650	650	440	440	540	540	650	650	440	440	540	540
betriebsbedingte Kosten	€/a	1.495	1.665	1.210	1.468	1.801	1.307	1.477	1.022	1.280	1.613	1.635	1.291	1.461	1.006	1.264	1.597	1.619
Jahresgesamtkosten	€/a	10.237	9.870	10.393	10.565	13.857	6.198	5.831	6.404	6.576	8.441	8.137	5.524	5.157	5.607	5.779	7.116	7.220

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 45
Energie- und Kostenkennwerte: 18-Familienhaus, Systeme mit Luft-Wärmepumpe

Gebäude	Wärmeschutzstandard	18-Familienhaus																
		Bestand					EH55					EH40						
		+ Speicher	+ Speicher + PV	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ Speicher	+ Speicher + PV	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ WST + E-DLE	+ Speicher	+ Speicher + PV	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ WST + E-DLE
Nutzenergiebedarf Heizung	kWh/a	105.966	105.966	113.181	113.181	97.674	46.854	46.854	53.907	53.907	31.763	49.973	14.456	14.456	18.854	18.854	9.548	16.305
Nutzenergiebedarf TWE	kWh/a	19.763	19.763	19.368	19.368	19.763	19.763	19.368	19.368	19.763	19.613	19.763	19.763	19.368	19.368	19.763	19.613	19.763
Anteil Warmwasser am Gesamtnutzenergiebedarf	-	16%	16%	15%	15%	17%	30%	30%	26%	26%	38%	28%	58%	58%	51%	51%	67%	55%
Endenergiebedarf Heizung	kWh/a	65.244	65.244	63.542	63.542	90.144	14.948	14.948	18.815	18.815	31.568	18.079	4.648	4.648	6.576	6.576	12.298	5.785
Endenergiebedarf TWE	kWh/a	22.351	22.351	20.454	15.072	18.236	22.322	22.322	20.443	15.061	18.210	18.466	22.313	22.313	20.439	15.057	18.202	18.457
Hilfsenergiebedarf	kWh/a	1.210	1.210	750	750	993	2.189	2.189	1.798	1.798	1.984	1.881	4.140	4.140	3.698	3.698	4.247	4.136
PV-Strom erzeugt	kWh/a	0	22.922	0	0	0	0	22.922	0	0	0	0	0	22.922	0	0	0	0
PV-Strom endenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	-17.537	0	0	0	0	-15.889	0	0	0	0	0	-16.388	0	0	0	0
PV-Strom primärenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	-31.567	0	0	0	0	-28.600	0	0	0	0	0	-29.498	0	0	0	0
Primärenergiebedarf zulässig GEG neu (EH55)	kWh/m²a	-	-	-	-	-	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4
Primärenergiebedarf zulässig Effizienzhausniveau	kWh/m²a	-	-	-	-	-	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2
Primärenergiebedarf des Gebäudes	kWh/m²a	88,1	70,7	84,0	78,7	108,5	39,1	23,4	40,7	35,4	51,3	38,1	30,8	14,6	30,5	25,1	34,5	28,1
THG-Emissionen	kg/a	49.730	39.910	47.457	44.444	61.249	22.097	13.199	22.991	19.978	28.987	21.519	17.416	8.239	17.200	14.186	19.459	15.892
Energiekosten	€/a	19.685	19.685	20.041	18.523	24.190	8.908	8.908	10.509	8.992	11.598	9.194	7.194	7.194	8.356	6.838	8.001	7.127
Stromvergütung/eingesparte Strombezugskosten	€/a	0	-3.375	0	0	0	0	-3.375	0	0	0	0	0	-3.375	0	0	0	0
verbrauchsgebundene Kosten	€/a	19.685	16.310	20.041	18.523	24.190	8.908	5.533	10.509	8.992	11.598	9.194	7.194	3.819	8.356	6.838	8.001	7.127
Wärmeerzeuger Heizung	€	68.700	119.100	60.200	60.200	74.500	58.300	108.700	49.800	49.800	64.100	64.100	54.200	104.600	45.700	45.700	60.000	60.000
Trinkwassererwärmung	€	5.900	5.900	17.300	42.500	62.600	5.900	5.900	17.300	42.500	62.600	77.800	5.900	5.900	17.300	42.500	62.600	77.800
Austausch Heizflächen Wärmepumpen Bestand	€	39.900	39.900	39.900	39.900	39.900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Warmwasserleitungen	€	14.500	14.500	1.600	1.600	1.600	14.500	14.500	1.600	1.600	1.600	1.600	14.500	14.500	1.600	1.600	1.600	1.600
Gas-/Elektroinstallation	€	500	500	1.300	1.300	500	500	500	1.300	1.300	500	500	500	500	1.300	1.300	500	500
Investitionskosten gesamt	€	129.500	179.900	120.300	145.500	179.100	79.200	129.600	70.000	95.200	128.800	144.000	75.100	125.500	65.900	91.100	124.700	139.900
kapitalgebundene Kosten	€/a	6.475	8.995	6.015	7.275	8.955	3.960	6.480	3.500	4.760	6.440	7.200	3.755	6.275	3.295	4.555	6.235	6.995
Instandhaltung	€/a	1.295	1.295	1.203	1.707	2.417	792	792	700	1.204	1.914	1.985	751	751	659	1.163	1.873	1.944
Wartung	€/a	467	617	407	677	557	467	617	407	677	557	557	467	617	407	677	557	557
Versicherung	€/a	-	130	-	-	-	-	130	-	-	-	-	130	-	-	-	-	-
Heizkostenabrechnung	€/a	1.730	1.730	1.280	1.280	1.620	1.730	1.730	1.280	1.280	1.620	1.620	1.730	1.730	1.280	1.280	1.620	1.620
betriebsbedingte Kosten	€/a	3.492	3.772	2.890	3.664	4.594	2.989	3.269	2.387	3.161	4.091	4.162	2.948	3.228	2.346	3.120	4.050	4.121
Jahresgesamtkosten	€/a	29.652	29.077	28.946	29.462	37.739	15.857	15.282	16.396	16.913	22.129	20.555	13.897	13.322	13.997	14.513	18.286	18.243

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 46
Energie- und Kostenkennwerte: Einfamilienhaus, Systeme mit Wärmenetz

Gebäude Wärmeschutzstandard Wärmenetz		Einfamilienhaus											
		Bestand				EH55				EH40			
		+ Speicher	+ Speicher + PV-Anlage	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ Speicher	+ Speicher + PV-Anlage	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ Speicher	+ Speicher + PV-Anlage	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG
Nutzenergiebedarf Heizung	kWh/a	17.084	17.084	17.406	17.406	8.747	8.747	10.315	10.315	4.007	4.007	5.276	5.276
Nutzenergiebedarf TWE	kWh/a	1.320	1.320	1.294	1.294	1.629	1.629	1.596	1.596	1.629	1.629	1.596	1.596
Anteil Warmwasser am Gesamtnutzenergiebedarf	-	7%	7%	7%	7%	16%	16%	13%	13%	29%	29%	23%	23%
Endenergiebedarf Heizung	kWh/a	22.736	22.736	23.088	23.088	10.058	10.058	11.756	11.756	4.784	4.784	6.131	6.131
Endenergiebedarf TWE	kWh/a	3.643	3.643	1.360	1.000	4.512	4.512	1.661	1.217	4.506	4.506	1.660	1.217
Hilfsenergiebedarf	kWh/a	216	216	174	174	388	388	355	355	604	604	619	619
PV-Strom erzeugt	kWh/a	0	4.141	0	0	0	4.141	0	0	0	4.141	0	0
PV-Strom endenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	-2.841	0	0	0	-3.397	0	0	0	-3.438	0	0
PV-Strom primärenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	-5.114	0	0	0	-6.115	0	0	0	-6.188	0	0
Primärenergiebedarf zulässig GEG neu (EH55)	kWh/m²a	-	-	-	-	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6
Primärenergiebedarf zulässig Effizienzhausniveau	kWh/m²a	-	-	-	-	48,6	48,6	48,6	48,6	35,4	35,4	35,4	35,4
Primärenergiebedarf des Gebäudes	kWh/m²a	109,0	74,6	111,7	107,3	40,1	14,1	45,4	42,0	28,3	2,0	33,1	29,7
THG-Emissionen	kg/a	4.869	4.349	5.015	4.814	2.840	2.195	3.245	2.996	2.011	1.312	2.380	2.132
Energiekosten	€/a	3.610	3.610	3.614	3.512	2.338	2.338	2.483	2.358	1.809	1.809	1.928	1.803
Stromvergütung/ingesparte Strombezugskosten	€/a	0	-619	0	0	0	-687	0	0	0	-691	0	0
verbrauchsggebundene Kosten	€/a	3.610	2.991	3.614	3.512	2.338	1.651	2.483	2.358	1.809	1.117	1.928	1.803
Wärmeerzeuger Heizung	€	5.500	18.600	5.500	5.500	5.500	18.600	5.500	5.500	5.500	18.600	5.500	5.500
Trinkwassererwärmung	€	2.100	2.500	1.000	2.400	2.100	2.500	1.000	2.400	2.100	2.500	1.000	2.400
Austausch Heizflächen Wärmepumpen Bestand	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Warmwasserleitungen	€	500	500	100	100	500	500	100	100	500	500	100	100
Gas-/Elektroinstallation	€	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Investitionskosten gesamt	€	8.700	22.200	7.200	8.600	8.700	22.200	7.200	8.600	8.700	22.200	7.200	8.600
kapitalgebundene Kosten	€/a	435	1.110	360	430	435	1.110	360	430	435	1.110	360	430
Instandhaltung	€/a	142	146	127	155	142	146	127	155	142	146	127	155
Wartung	€/a	115	150	105	120	115	150	105	120	115	150	105	120
Versicherung	€/a	-	75	-	-	-	75	-	-	-	75	-	-
Heizkostenabrechnung	€/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
betriebsbedingte Kosten	€/a	257	371	232	275	257	371	232	275	257	371	232	275
Jahresgesamtkosten	€/a	4.302	4.472	4.206	4.217	3.030	3.132	3.075	3.063	2.501	2.598	2.520	2.508

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 47
Energie- und Kostenkennwerte: 6-Familienhaus, Systeme mit Wärmenetz

Gebäude Wärmeschutzstandard Wärmenetz		6-Familienhaus											
		Bestand				EH55				EH40			
		+ Speicher	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ Speicher	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ Speicher	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST
Nutzenergiebedarf Heizung	kWh/a	40.439	42.032	42.032	39.735	13.978	15.184	15.184	13.513	4.744	5.450	5.450	4.591
Nutzenergiebedarf TWE	kWh/a	6.588	6.456	6.456	6.588	6.588	6.456	6.456	6.588	6.588	6.456	6.456	6.588
Anteil Warmwasser am Gesamtnutzenergiebedarf	-	14 %	13 %	13 %	14 %	32 %	30 %	30 %	33 %	58 %	54 %	54 %	59 %
Endenergiebedarf Heizung	kWh/a	57.148	59.298	59.298	56.174	21.716	23.263	23.263	21.296	9.026	9.997	9.997	8.837
Endenergiebedarf TWE	kWh/a	14.520	6.819	5.025	14.254	14.502	6.815	5.021	13.960	14.497	6.814	5.020	13.955
Hilfsenergiebedarf	kWh/a	333	242	242	461	630	522	522	806	1.337	1.228	1.228	1.551
PV-Strom erzeugt	kWh/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PV-Strom endenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PV-Strom primärenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Primärenergiebedarf zulässig GEG neu (EH55)	kWh/m²a	-	-	-	-	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Primärenergiebedarf zulässig Effizienzhausniveau	kWh/m²a	-	-	-	-	42,1	42,1	42,1	42,1	30,6	30,6	30,6	30,6
Primärenergiebedarf des Gebäudes	kWh/m²a	72,1	79,8	74,5	71,2	37,8	44,9	39,6	37,4	27,3	33,8	28,5	27,2
THG-Emissionen	kg/a	13.087	14.628	13.623	12.935	6.872	8.296	7.292	6.797	4.983	6.303	5.299	4.971
Energiekosten	€/a	9.215	9.730	9.224	9.113	5.336	5.780	5.274	5.278	4.117	4.496	3.990	4.095
Stromvergütung/eingesparte Strombezugskosten	€/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
verbrauchsgebundene Kosten	€/a	9.215	9.730	9.224	9.113	5.336	5.780	5.274	5.278	4.117	4.496	3.990	4.095
Wärmeerzeuger Heizung	€	5.800	5.800	5.800	11.300	5.800	5.700	5.700	11.300	5.800	5.600	5.600	11.300
Trinkwassererwärmung	€	2.800	5.800	14.200	20.900	2.800	5.800	14.200	20.900	2.800	5.800	14.200	20.900
Austausch Heizflächen Wärmepumpen Bestand	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Warmwasserleitungen	€	4.500	500	500	500	4.500	500	500	500	4.500	500	500	500
Gas-/Elektroinstallation	€	600	800	800	600	600	800	800	600	600	800	800	600
Investitionskosten gesamt	€	13.700	12.900	21.300	33.300	13.700	12.800	21.200	33.300	13.700	12.700	21.100	33.300
kapitalgebundene Kosten	€/a	685	645	1.065	1.665	685	640	1.060	1.665	685	635	1.055	1.665
Instandhaltung	€/a	195	187	355	600	195	185	353	600	195	183	351	600
Wartung	€/a	213	188	278	238	213	188	278	238	213	188	278	238
Versicherung	€/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heizkostenabrechnung	€/a	650	440	440	540	650	440	440	540	650	440	440	540
betriebsbedingte Kosten	€/a	1.058	815	1.073	1.378	1.058	813	1.071	1.378	1.058	811	1.069	1.378
Jahresgesamtkosten	€/a	10.958	11.190	11.362	12.155	7.079	7.232	7.404	8.321	5.859	5.941	6.113	7.138

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 48
Energie- und Kostenkennwerte: 18-Familienhaus, Systeme mit Wärmenetz

Gebäude Wärmeschutzstandard Wärmenetz		18-Familienhaus											
		Bestand				EH55				EH40			
		+ Speicher	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ Speicher	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST	+ Speicher	+ E-DLE	+ E-DLE + DWRG	+ WST
Nutzenergiebedarf Heizung	kWh/a	96.666	103.017	103.017	96.176	33.950	38.745	38.745	33.300	10.033	12.601	12.601	10.026
Nutzenergiebedarf TWE	kWh/a	19.763	19.368	19.368	19.763	19.763	19.368	19.368	19.763	19.763	19.368	19.368	19.763
Anteil Warmwasser am Gesamtnutzenergiebedarf	-	17%	16%	16%	17%	37%	33%	33%	37%	66%	61%	61%	66%
Endenergiebedarf Heizung	kWh/a	143.079	151.955	151.955	143.891	55.146	62.039	62.039	55.801	20.594	24.859	24.859	21.241
Endenergiebedarf TWE	kWh/a	52.045	20.454	15.072	44.213	51.984	20.443	15.061	44.833	51.964	20.439	15.057	44.816
Hilfsenergiebedarf	kWh/a	739	415	415	892	1.683	1.338	1.338	1.942	3.862	3.513	3.513	4.217
PV-Strom erzeugt	kWh/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PV-Strom endenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PV-Strom primärenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Primärenergiebedarf zulässig GEG neu (EH55)	kWh/m²a	-	-	-	-	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4
Primärenergiebedarf zulässig Effizienzhausniveau	kWh/m²a	-	-	-	-	37,4	37,4	37,4	37,4	27,2	27,2	27,2	27,2
Primärenergiebedarf des Gebäudes	kWh/m²a	65,2	70,9	65,6	63,1	37,1	42,1	36,8	35,2	27,8	32,0	26,6	26,0
THG-Emissionen	kg/a	35.536	39.038	36.025	34.358	20.226	23.364	20.351	19.202	15.223	17.888	14.874	14.252
Energiekosten	€/a	23.520	24.372	22.854	22.779	13.950	14.578	13.060	13.297	10.700	11.034	9.516	10.074
Stromvergütung/eingesparte Strombezugskosten	€/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
verbrauchsggebundene Kosten	€/a	23.520	24.372	22.854	22.779	13.950	14.578	13.060	13.297	10.700	11.034	9.516	10.074
Wärmeerzeuger Heizung	€	10.500	9.900	9.900	16.300	9.700	9.100	9.100	15.500	9.300	8.700	8.700	15.100
Trinkwassererwärmung	€	5.300	17.300	42.500	62.600	5.300	17.300	42.500	62.600	5.300	17.300	42.500	62.600
Austausch Heizflächen Wärmepumpen Bestand	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Warmwasserleitungen	€	14.500	1.600	1.600	1.600	14.500	1.600	1.600	1.600	14.500	1.600	1.600	1.600
Gas-/Elektroinstallation	€	600	1.400	1.400	600	600	1.400	1.400	600	600	1.400	1.400	600
Investitionskosten gesamt	€	30.900	30.200	55.400	81.100	30.100	29.400	54.600	80.300	29.700	29.000	54.200	79.900
kapitalgebundene Kosten	€/a	1.545	1.510	2.770	4.055	1.505	1.470	2.730	4.015	1.485	1.450	2.710	3.995
Instandhaltung	€/a	414	401	905	1.542	398	385	889	1.526	390	377	881	1.518
Wartung	€/a	367	307	577	457	367	307	577	457	367	307	577	457
Versicherung	€/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heizkostenabrechnung	€/a	1.730	1.280	1.280	1.620	1.730	1.280	1.280	1.620	1.730	1.280	1.280	1.620
betriebsbedingte Kosten	€/a	2.511	1.988	2.762	3.619	2.495	1.972	2.746	3.603	2.487	1.964	2.738	3.595
Jahresgesamtkosten	€/a	27.576	27.870	28.386	30.453	17.950	18.020	18.536	20.915	14.672	14.448	14.964	17.664

Quelle: ITG Dresden GmbH

Tabelle 49

Energie- und Kostenkennwerte: Einfamilienhaus Bestand, Systeme mit Gas-Brennwert-Kessel und anteilig Biomethan

Gebäude Wärmeschutzstandard Gas-Brennwert-Kessel		Einfamilienhaus Bestand				
		+ Speicher (ohne Biomethan)	+ Speicher (65 % Biomethan)	+ WW-WP (50 % Biomethan)	+ solare TWE/HeizU (52 % Biomethan)	+ PV-Anlage + Speicher (53 % Biomethan)
Nutzenergiebedarf Heizung	kWh/a	17.084	17.084	17.084	17.084	17.084
Nutzenergiebedarf TWE	kWh/a	1.320	1.320	1.320	1.320	1.320
Anteil Warmwasser am Gesamtnutzenergiebedarf	-	7 %	7 %	7 %	7 %	7 %
Endenergiebedarf Heizung	kWh/a	22.001	22.001	22.074	20.058	22.001
Endenergiebedarf TWE	kWh/a	3.496	3.496	1.288	1.636	3.559
Hilfsenergiebedarf	kWh/a	503	503	484	531	504
PV-Strom erzeugt	kWh/a	0	0	0	0	4.141
PV-Strom endenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	0	0	0	-3.045
PV-Strom primärenergetisch anrechenbar	kWh/a	0	0	0	0	-5.481
Primärenergiebedarf zulässig GEG neu (EH55)	kWh/m ² a	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6
Primärenergiebedarf zulässig Effizienzhausniveau	kWh/m ² a	-	-	-	-	-
Primärenergiebedarf des Gebäudes	kWh/m²a	194,6	150,0	154,9	136,5	121,8
THG-Emissionen	kg/a	6.401	4.743	5.186	4.376	4.471
Energiekosten	€/a	3.219	3.916	3.645	3.261	3.839
Stromvergütung/eingesparte Strombezugskosten	€/a	0	0	0	0	-688
verbrauchsgebundene Kosten	€/a	3.219	3.916	3.645	3.261	3.108
Wärmeerzeuger Heizung	€	4.800	4.800	4.800	4.800	17.900
Trinkwassererwärmung	€	2.100	2.100	4.600	10.600	2.500
Austausch Heizflächen Wärmepumpen Bestand	€	0	0	0	0	0
Warmwasserleitungen	€	500	500	500	500	500
Gas-/Elektroinstallation	€	700	700	700	1.000	700
Investitionskosten gesamt	€	9.200	9.200	11.700	18.000	22.700
kapitalgebundene Kosten	€/a	460	460	585	900	1.135
Instandhaltung	€/a	116	116	141	178	120
Wartung	€/a	145	145	135	170	180
Versicherung	€/a	-	-	-	-	75
Heizkostenabrechnung	€/a	0	0	0	0	0
betriebsbedingte Kosten	€/a	291	291	306	377	405
Jahresgesamtkosten	€/a	3.970	4.667	4.535	4.538	4.648

Quelle: ITG Dresden GmbH