

Vergleich eines Luft-Wasser-Wärmepumpen-Systems mit einem Infrarot-System am Beispiel eines EFH-Neubaus

In diesem Dokument sollen Infrarotheizungen mit Luft-Wasser-Wärmepumpen-Heizsystemen verglichen werden. Gegenübergestellt werden die Punkte:

1. Wirkprinzipien
2. graue Energie
3. Stromverbräuche
4. Gesamtkosten
5. Auswirkung von Feuchtigkeit in Baustoffen auf die Wärmeleitfähigkeit

Am Ende des Dokuments werden die Erkenntnisse in einem Fazit zusammengefasst.

1. Vergleich des Wirkprinzips

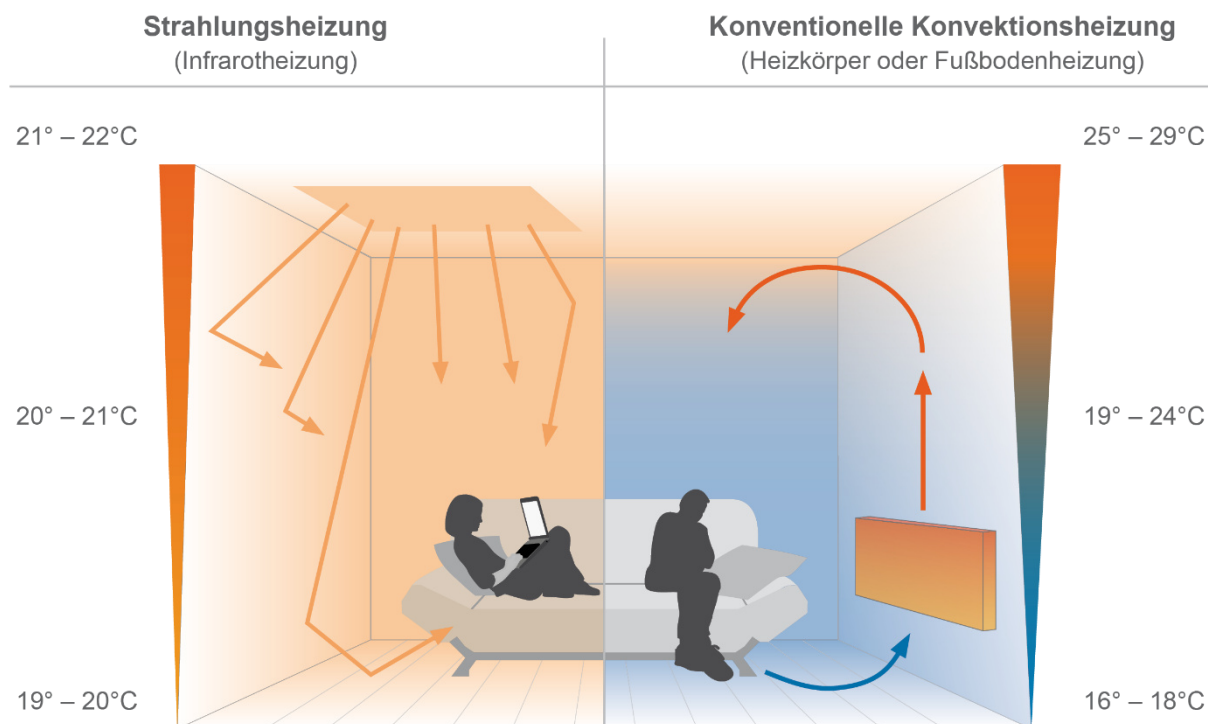


Abbildung 1: Vergleich von Wirkprinzip und Temperaturschichtung.

Links: Infrarotheizung als Strahlungsheizung, sie erwärmt ursächlich alle Oberflächen und erst in Folge die Raumluft. Rechts: konventionelle Flüssigkeitsheizung/Konvektionsheizung; sie erwärmt ursächlich die Raumluft. Infrarot-Wärmestrahlung ist angenehme Strahlungswärme wie vom Kachelofen, es gibt keine Staubaufwirbelung und -ablagerung, sie ist energiesparend, weil die Raumlufttemperatur geringer sein kann, um die gleiche „Wohlfühltemperatur“ zu erreichen, es ergeben sich trockene und warme Wände, kein Schimmelproblem, gleichmäßige Wärmeverteilung und der gesamte Raum speichert die Wärmeenergie

Empfindungstemperaturen und die 4 Faktoren der Behaglichkeit

Das Ziel bei der Schaffung von Aufenthaltsräumen ist die Behaglichkeit der Nutzer. Um Sie auf eine Besonderheit der Infrarotheizung hinzuweisen, wird nachfolgend der Begriff „operative Temperatur“ erklärt.

Die operative Temperatur eines Raumes, auch Empfindungstemperatur genannt, kann näherungsweise als Mittelwert der (mittleren) Raumlufttemperatur und der (mittleren) Temperatur der Umschließungsflächen berechnet werden. Somit ergibt sich die Gleichung:

$$t_{\text{operativ}} = \frac{t_{\text{Raumluft}} + t_{\text{Umschließungsflächen}}}{2}$$

Das bedeutet, dass ein Raum mit einer Raumlufttemperatur von 24 °C und einer Temperatur der Umgebungsflächen von 20 °C genauso empfunden wird, wie ein Raum, bei dem beide Temperaturen bei 22 °C liegen.

Um diese Effekte zu begünstigen sind die folgenden Faktoren der Behaglichkeit ausschlaggebend:

- hoher Strahlungswirkungsgrad
- gleichmäßige Temperaturverteilung im Raum
- keine Luftbewegung
- ausreichende Luftfeuchtigkeit

Eine hocheffiziente Infrarotheizung erfüllt im Gegensatz zu einer Konvektionsheizung (Heizkörper und Fußbodenheizung) die genannten Punkte. In der folgenden Tabelle sind die spezifischen Eigenschaften der beiden Heizsysteme dargestellt.

Position	Infrarotheizung	Konvektionsheizung
Strahlungswirkungsgrad	50 – 70 %	20 – 40 %
Temperaturverteilung	• gleichmäßige Verteilung im Raum • ΔT 1 – 2 K zw. Boden und Decke	• ungleichmäßige Verteilung im Raum • ΔT 8 – 10 K zw. Boden und Decke
Luftbewegung	keine bis sehr geringe Luftzirkulation dadurch wenig Staubaufwirbelung	mittlere bis starke Luftzirkulation, da die Luft als Heizmedium dient dadurch viel Staubaufwirbelung
Luftfeuchtigkeit	ausgeglichene und relativ konstante Luftfeuchtigkeit im Tages- und Jahresverlauf	stark schwankende Luftfeuchtigkeit. Besonders in der Heizperiode meist viel zu trocken

2. Ökologischer Rucksack von Luft-Wasser-Wärmepumpen- und Infrarotheizsystemen

Dieser Abschnitt basiert auf einer Analyse von Markus Fleißgarten, Dipl.-Ing. Architekt und Sachverständiger für Wärmeschutz in Bochum, aus dem Jahr 2023.¹

Der Begriff „graue Energie“ bezeichnet die gesamte Energie, die von der Herstellung bis zur Entsorgung für ein Produkt benötigt wird, die Endenergie für den Betrieb des Gerätes ist nicht enthalten.

Grundlage für die Auswahl der untersuchten Heizsysteme ist ein Einfamilienhaus mit 150 m² Nutzfläche. Für seine Betrachtung bzw. für ein gut funktionierendes Wärmepumpen- und Infrarotheizungssystem hat es mindestens Neubaustandard (KfW-Effizienzhaus 55 bzw. Energieeffizienzklasse A). Für die Untersuchung holte er Angebote inklusive Stücklisten ein. Die folgende Abbildung zeigt die Komplexität des Luft-Wasser-Wärmepumpensystems im Vergleich zu dem Infrarotheizsystem.

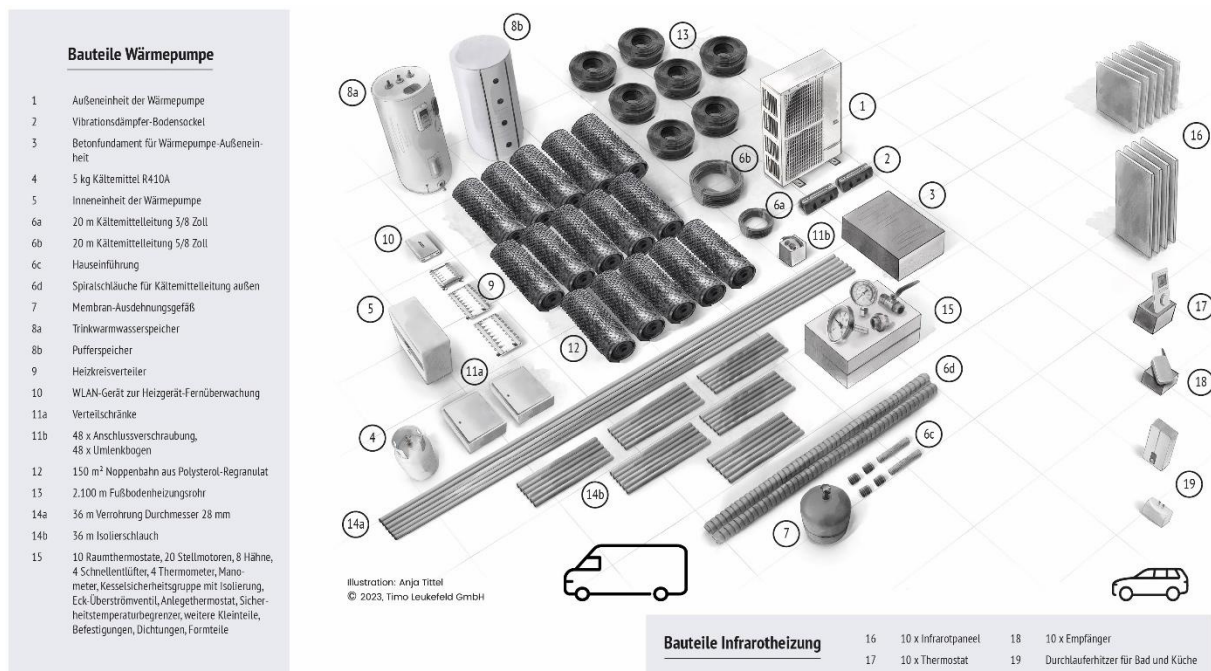


Abbildung 2: Benötigte Komponenten für ein Luft-Wasser-Wärmepumpensystem im Vergleich zu den eines Infrarotheizsystems (Bild 2023)

Auf dieser Basis ermittelte er anhand der Datenbank des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen „ökobau.DAT“ die Graue Energie und über das Global Warming Potential (GWP – Treibhaus- bzw. Erderwärmungspotenzial) die verursacht Treibhausgasemissionen.

¹ Quelle: Welt am Sonntag vom 17.09.2023

Das Ergebnis: Die Bestandteile der Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Fußbodenheizung und Trinkwasserbereitung verursachen 7,44 t CO₂-Äquivalente. Je nach Art des Kältemittels R290 (Propan) bzw. R32 würden für fünf Kilogramm Kältemittel 15 Kg (R290) bzw. 3,38 t (R32) CO₂-Äquivalente dazukommen. Da heute vorwiegend Propan zum Einsatz kommt, wird das Kältemittel nicht berücksichtigt. Das heißt, dass **für das Wärmepumpensystem 7,44 t CO₂-Äquivalente graue Energie aufgewendet werden.**

Bei den Infrarot-Deckenheizungen mit Durchlauferhitzer sind es lediglich 0,32 bis 0,74 t CO₂-Äquivalente, so dass im schlechtesten Fall ein Verhältnis von mindestens **10:1** besteht. Im Allgemeinen haben Kältemittel aber dennoch ein CO₂-Äquivalent und Infrarotheizungen bedürfen keines Kältemittels.

Als Fazit hält Markus Fleißgarten fest, dass das Infrarotheizsystem deutlich besser abschneidet, da es aus wenigen Komponenten besteht, keinen zentralen Wärmeerzeuger, keine Betriebsmittel und kein Wärmeverteilsystem benötigt sowie kaum Energieverluste hat, zumal es direkt am Ort des Wärmebedarfs mit Strom aus der Steckdose betrieben wird.

3. Vergleich des Strombedarfs beider Heizsysteme

In der Studie „Forschungsprojekt IR-Bau“² wurde jeweils ein Raum mit einer Infrarotheizung an der Decke sowie einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Fußbodenheizung ausgestattet. Beide Systeme beheizten den Versuchsraum so, dass sie die identische operative Solltemperatur exakt zu halten versuchten. Dabei kam die Studie zu folgendem Ergebnis:

Die Effizienz eines Luft-Wasser-Wärmepumpen-Systems mit Fußbodenheizung ist geringer als erwartet.

Diese geringere Effizienz entsteht durch eine ungenaue Regelung des Systems. Eine Fußbodenheizung ist träge und bringt gerade in den Morgenstunden Wärme in die Speicher-masse des Bodens ein, die nicht notwendig wäre, da zeitversetzt solare Gewinne auftreten und entsprechend zu einer Übertemperierung des Raums führen können. Auch der Speicher und das Verteilnetz führen zu Wärmeverlusten. Die Übertemperierung erfolgt beim Infrarotheiz-System wesentlich seltener, da die Regelung während des Aufheiz-Prozesses innerhalb kürzester Zeit die Nennleistung bereitstellen und bei Erreichen der Solltemperatur sofort abschalten kann und daher kein Wärmeeintrag mehr erfolgt.³ Durch die Erwärmung aller Bauteile über die Oberflächen und die schnelle Reaktionsfähigkeit auf neue Bedingungen, wie die zusätzliche Solarwärme, wird die notwendige Zieltemperatur gehalten.

² Quelle: Forschungsprojekt „IR-Bau“; Projektabschlussbericht: Stand: 02/2020; Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.11

³ Quelle: Auswertung Testcontainer - Winter 2011/12; Firma easyTherm GmbH & TU Graz

Fazit der Studie

Zur Deckung des Wärmebedarfs wurde bei dem Luft-Wasser-Wärmepumpen-System eine Systemjahresarbeitszahl von 3,5 gemessen. Das bedeutet rechentechnisch, dass die Wärmepumpe jeweils 1 kWh elektrischen Strom aufnimmt, um 3,5 kWh **Nutzwärme** in der Wohneinheit bereitzustellen. Eine Infrarotheizung hatte zur Erfüllung derselben Komfortbedingungen allerdings nicht eine 3,5-fache Stromaufnahme! Sie war nur 2,9-mal so hoch.

Der Unterschied von 21 % ($3,5/2,9-1$) ist mit der oben beschriebenen kurzen Reaktionszeit der Infrarotheizung, dem höheren physiologischen Wärmeempfinden bei Strahlungswärme und geringeren Lüftungsverlusten zu begründen.

Wichtig zu wissen ist, dass die Effizienz einer Wärmepumpe erheblich von der gewünschten Temperatur abhängt. Für Flächenheizungen sind nur geringe Temperaturen notwendig. Werden höhere Temperaturen gefordert, zum Beispiel bei zusätzlicher Warmwasser-Produktion, sinkt der Wirkungsgrad.

In der Abbildung 3 werden die Wirkungsgrade beider Systeme dargestellt. In Tabelle 1 sind zusätzlich die absoluten Werte ausgewiesen. Diese liegen bei 400 % für die häufig im Neubau eingesetzte Luft-Wasser-Wärmepumpe, 92 % für die Speicherung und 95 % für die Verteilung. Dies entspricht einem Systemwirkungsgrad von 350 %, also einer Systemjahresarbeitszahl von 3,5.

Bezüglich des Systemvergleichs zwischen einem wasserführenden Heizsystem mit Wärmepumpe, Speicher und Verteilungsnetz sowie einer Infrarotheizung zeigt sich, dass zur Gewährleistung einer definierten operativen Raumtemperatur die Wärmepumpe 38 % ($4,0/2,9-1$) mehr Wärme erzeugen muss als die Strahlungsheizung. Das hat zur Folge, dass der Strombezug der Wärmepumpe etwa ein Drittel und nicht, wie von Herstellern oft argumentiert wird, nur ein Viertel im Vergleich zur Infrarotheizung beträgt.

Um die getroffenen Aussagen zu verdeutlichen, folgt eine Abbildung, in welcher bei beiden Systemen der Bezugspunkt die Nutzenergie der Infrarotheizung (100 %) ist.

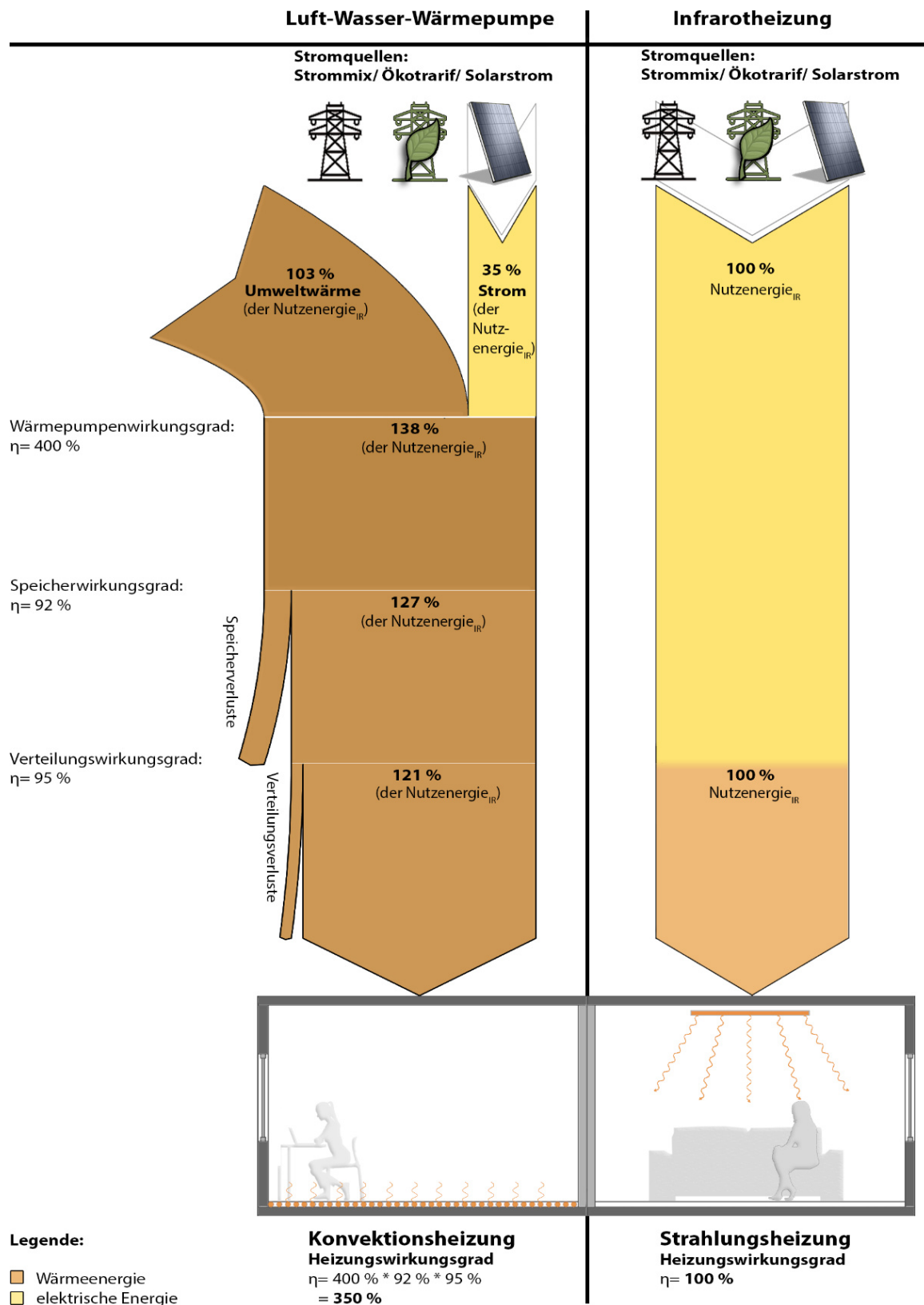


Abbildung 3: Wirkungsgrad-Vergleich zwischen Konvektions- und Strahlungsheizung (mit Laborwerten)

Energetische Betrachtung am theoretischen Beispiel

Es wurde wieder beispielhaft das Einfamilienhaus mit einer Nutzfläche von 150 m² und Neubaustandard (KfW-Effizienzhaus 55 bzw. Energieeffizienzklasse A) betrachtet. Dieses hat einen normkonformen Heizwärmebedarf von 4.500 kWh/a, was einem spezifischen Bedarf von 30 kWh/(m²*a) und gleichzeitig dem Nutzenergiebedarf des Wärmepumpen-Systems entspricht.

Werden die 3.720 kWh/a Nutzenergie_{IR} der Strahlungsheizung als Referenzgröße (100 %) angesetzt, so werden 21 % mehr Nutzenergie für die Konvektionsheizung eingesetzt, um die „Wohlfühlbedingung des Nutzers“ zu erreichen. Durch die zuvor bestimmten Verluste des wasserführenden Systems, ergibt sich ein zu erzeugender Wärmebedarf von etwa 5.150 kWh/a. Die Wärmepumpentechnologie liefert unter geringen Stromeinsatz ein Vielfaches an Umweltwärme. Die Stromaufnahme liegt, in Relation zur Nutzenergie_{IR} der Infrarotheizung, bei 35 % und beläuft sich auf nur 1.290 kWh/a.

Tabelle 1: Energieeinsatz und Anteil an Nutzenergie_{IR} (mit Laborwerten)

Position	Luft-Wasser-WP Energie in kWh/a	Nutzenergie _{IR} in %	IR-Heizung Energie in kWh/a	Nutzenergie _{IR} in %
Strom eingesetzt	1.290	35	3.720	100
Wärmeenergie erzeugt	5.150	138	3.720	100
Wärmeenergie aus Speicher	4.740	127	-	-
Wärmeenergie verteilt (Nutzenergie)	4.500	121	3.720	100

Ein Blick in die Praxis

In einer Feldstudie⁴ zeigte sich, dass die gemessene Effizienz von Wärmepumpen im realen Betrieb nachweislich niedriger ist als unter Laborbedingungen. Ziel der aufgeführten Studie war es, die Leistungszahlen installierter Wärmepumpen-Systeme mit unterschiedlichen Energiequellen über 7 Jahre zu untersuchen. Darunter waren Systeme die Luft, Grundwasser oder Erdwärme nutzen. Für die Luft-Wasser-Wärmepumpen wurde eine Jahresarbeitszahl von 2,8 ermittelt. Die Ersteller argumentieren, dass Planungs- und Ausführungsfehler zu solch niedrigen Werten geführt haben, wobei diese Systeme auch Warmwasser erzeugten und, wie bereits erwähnt, durch höhere Temperaturen die Leistungszahl geringer ausfällt. Die Verluste für Speicherung und Verteilung sind nicht berücksichtigt. Zieht man diese mit in Betracht, liegt der Durchschnitt der System-Jahresarbeitszahl lediglich bei 2,3.

⁴ Quelle: Feldstudie; Wärme aus der Umwelt auch gut für die Umwelt? Ergebnisse einer siebenjährigen Praxisuntersuchung, Dr. Falk Auer und Herbert Schöte (2014)

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP in ihrem Forschungsbericht⁵ „Energieeffizienz elektrisch angetriebener Wärmepumpen – Praxisergebnisse aus dem Monitoring“. Dieser untersuchte die im praktischen Betrieb erreichten Jahres-Arbeitszahlen (JAZ) von 37 über ganz Deutschland verteilten Wärmepumpensystemen für unterschiedliche Bilanzräume. In der folgenden Abbildung 4 sind die betrachteten Bilanzräume dargestellt.

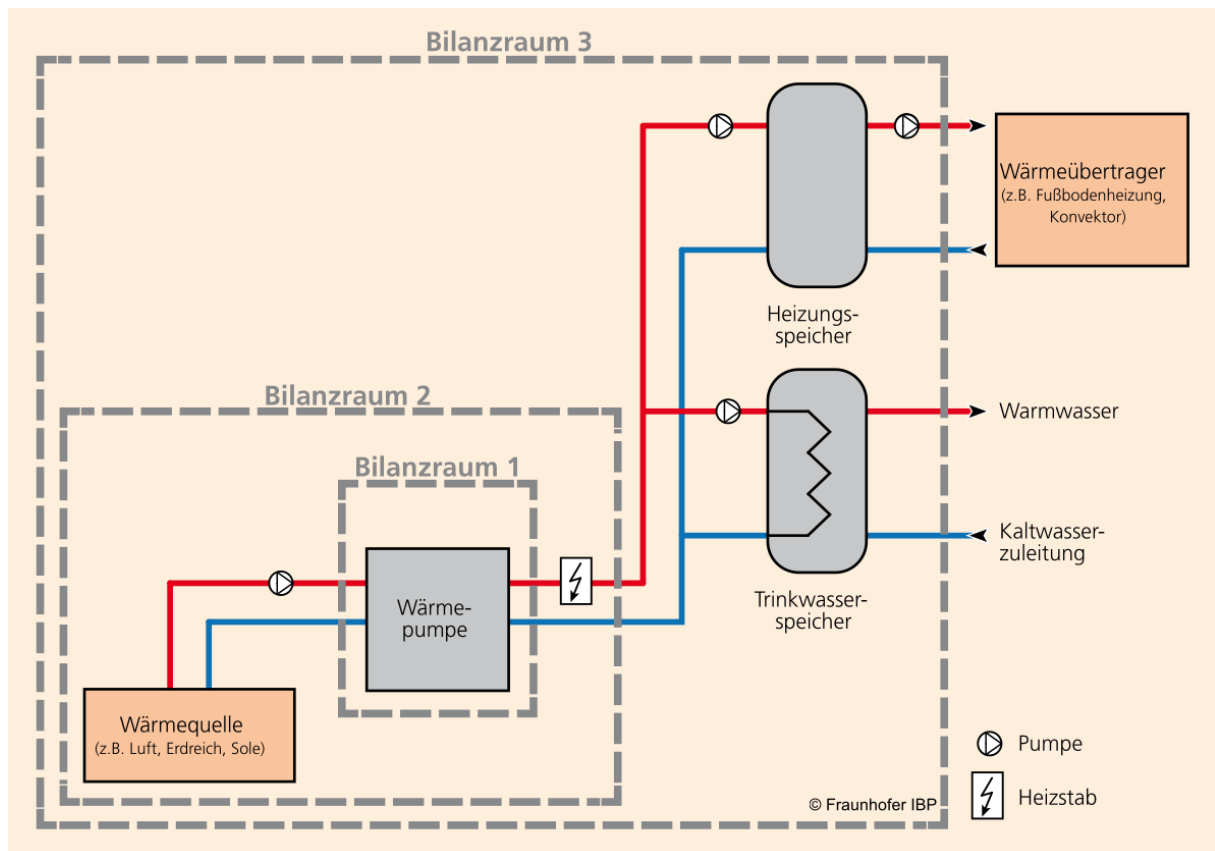


Abbildung 4: Bilanzräume von Wärmepumpensystemen Quelle: Fraunhofer IBP

Der Bericht kam für den Bilanzraum 2 zu folgendem Ergebnis: Luft-Wärmepumpen erreichen eine mittlere JAZ von 2,6 und Erdreich-Wärmepumpen von 3,2. Interessanter und für die vorliegende Betrachtung aussagekräftiger ist aber der Bilanzraum 3, welcher den gesamten Wärmepumpenkreislauf einschließlich der Wärmeverteilung und Trinkwarmwasserbereitung umfasst. **Die mittleren JAZ lagen für diesen Bilanzraum bei 1,5 für Wasser-, 2,2 für Luft- und 2,5 für Erdreichwärmepumpen.** Werden zusätzlich die Verluste des Wärmeverteilsystems – sowohl bei Heizkörpern als auch bei Fußbodenheizungen – berücksichtigt, **verringert sich die praktische JAZ weiter.**

⁵ Quelle: IBP-Mitteilung 549; www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/ibp-neu/de/dokumente/ibpmitteilungen/501-550/549.pdf

Erwähnenswert ist zudem, dass eine weitere Monitoringstudie mit dem Titel "Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - WPsmart im Bestand" vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE aus dem Jahr 2020 zu dem Ergebnis kam, dass die praktische Jahresarbeitszahl JAZ von Luft-Wasser-Wärmepumpen im Bestand durchschnittlich 3,1 beträgt. Dabei wurde jedoch ein kleinerer Verlust-Bilanzkreis zugrunde gelegt, in dem die Verluste aller Pufferspeicher, der Wärmeverteilung und aller Nebenaggregate (außer dem Heizstab) unberücksichtigt bleiben. Bei der ISE-Studie kann davon ausgegangen werden, dass die Anlagen optimal eingestellt sind, was in der Praxis eher selten der Fall ist. Zudem handelte es sich bei 50 % der untersuchten Anlagen um Hybridanlagen. 87 % der vermessenen Gebäude waren Bestandsgebäude mit einem spezifischen Heizwärmebedarf, der den Mindestanforderungen eines Neubaus entspricht. Würde der Bilanzraum der Verluste – entsprechend der Studie von 2017 – auf Bilanzraum 3 erweitert und die wirkungsgradverbessernden Effekte der Spitzenlastkessel bereinigt, dann läge die praktische Jahresarbeitszahl sehr wahrscheinlich weit unter dem Wert von 3,1.

Auswirkung auf beide Systeme

Setzt man nun den in der Feldstudie ermittelten durchschnittlichen Wärmepumpenwirkungsgrad von nur 280 % in das Energieflussdiagramm ein, ergibt sich die Abbildung 5. Die Folge davon ist, dass die Wärmepumpe nun etwa die Hälfte des Stroms benötigt, der für eine Infrarot-Heizung aufgewendet werden muss.

Tabelle 2: Energieeinsatz und Anteil an Nutzenergie_{IR+B} (mit Feldtest-Werten)

Position	Luft-Wasser-WP Energie in kWh/a	Nutzenergie _{IR+B} in %*	IR-Heizung + el. Boiler Energie in kWh/a	Nutzenergie _{IR+B} in %*
Strom eingesetzt	2.650	46	6.370	111
Wärmeenergie erzeugt	7.430	130	6.370	111
Wärmeenergie aus dem Speicher	6.840	120	5.780	101
Wärmeenergie verteilt (Nutzenergie)	6.500	114	5.720	100

*Durch die Kombination von Warmwasserbereitung und Heizung ergeben sich andere Nutzenergieanteile gegenüber der Heizung ohne Warmwasserbereitung.

Wird mit einer **Nutzenergie** für die Trinkwarmwasserbereitung von 2.000 kWh/a gerechnet, so müssen 6.500 kWh/a Nutzenergie bereitgestellt werden. Mit einer Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe von 2,8 müssen nun 2.650 kWh/a Strom eingesetzt werden. Allgemein muss durch die Warmwasserbereitung wesentlich höhere Temperaturen bereitgestellt werden, was zu einem höheren Stromverbrauch der Wärmepumpe führt. Dieser Effekt wird hier nicht berücksichtigt. Bei der Infrarot-Variante erhöht sich der Strombezug auf 6.370 kWh/a, da zwar die Infrarot-Heizung verlustfrei arbeitet, aber bei der Trinkwarmwasserbereitung mit einem Elektro-Boiler Speicher- und Leitungsverluste berücksichtigt werden müssen.

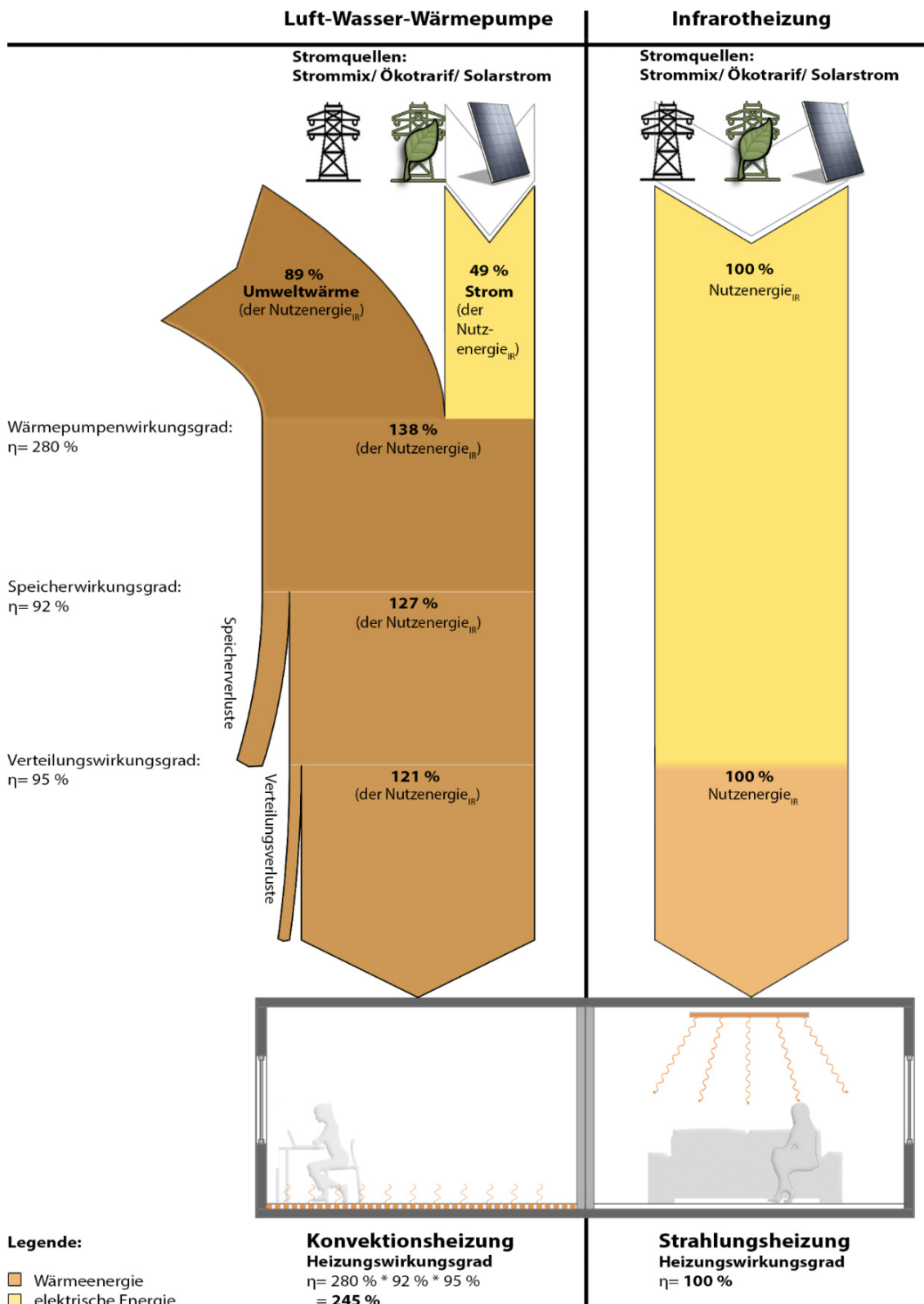


Abbildung 5: Wirkungsgrad-Vergleich zwischen Konvektions- und Strahlungsheizung (mit Feldtest-Werten)

4. Kostenvergleich ohne und mit Photovoltaikanlage mit Akkusystem

In der folgenden Tabelle 3 werden diese 4 Varianten miteinander verglichen:

Variante 1a: Heizung und Warmwasserbereitung mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe

Variante 1b: Heizung mit Decken-Infrarot-Paneelen und elektrischem Warmwasserboiler

Variante 2a: Heizung und Warmwasserbereitung mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit einer PV-Anlage mit einer Nennleistung von 10 kW_p und einem Akkusystem mit einer Kapazität von 10 kWh

Variante 2b: Heizung mit Decken-Infrarot-Paneelen und elektrischem Warmwasserboiler in Kombination mit einer PV-Anlage mit einer Nennleistung von 10 kW_p und einem Akkusystem mit einer Kapazität von 10 kWh

Tabelle 3: Kostenvergleich der Heizsysteme (mit Feldtest-Werten)

Position	Einheit	Variante 1a: Luft-Wasser-WP	Variante 1b: IR-Heizung + el. Boiler	Variante 2a: Luft-Wasser-WP, 10 kW _p PV, Akku 10 kWh	Variante 2b: IR-Heizung, el. Boiler, 10 kW _p PV, Akku 10 kWh
Investitionskosten mit Trinkwarmwasserbereitung*	€	47.500	12.000	62.500	27.000
Differenz zur Variante mit Wärmepumpe	€	-	35.500	-	35.500
Wärmeenergie erzeugt	kWh/a	7.430	6.370	7.430	6.370
Haushaltsstrom	kWh/a	4.000	4.000	4.000	4.000
Auto tanken 15.000 km/a (Benzin)**	€/a	2.106	2.106	-	-
E-Auto laden 15.000 km/a**	kWh/a	-	-	3.000	3.000
Stromtarif* (brutto)	€/kWh	0,28	0,28	0,28	0,28
Netzbezug	kWh/a	6.650	10.370	4.825	7.455
Netzbezugskosten*	€/a	1.862	2.904	1.351	2.087
Betriebsgebundene Kosten*	€/a	300	0	300	0
Netzeinspeisung	kWh/a	-	-	4.350	3.430
Einspeisevergütung	€/kWh	-	-	0,0778	0,0778
	€/a	-	-	338	267
Laufende Gesamtkosten	€/a	4.268	5.010	1.313	1.821
Differenz zur Variante mit Wärmepumpe	€/a	-	742	-	508
Statische Amortisation WP gegenüber IR bei JAZ = 2,8	a	48		70	
bei JAZ = 3,5	a	40		51	
Bei JAZ = ∞	a	24		29	

* Stand: Juni 2026 / Neubau - Endkundenpreis, fertig montiert, inkl. MwSt. und ohne Förderung

** Annahmen Benzin: 7,8 l/100 km Verbrauch; 1,80 €/l Kosten, Annahme E-Auto: 20 kWh/100 km

Für jede Variante wurden die Investitionskosten sowie die jährlichen Kosten für Heizung, Warmwasser, Haushaltsstrom, Mobilität und betriebsgebundene Kosten kalkuliert. Kapitalgebundene Kosten wurden in der Betrachtung nicht berücksichtigt. Diese würden das Ergebnis zu Gunsten der IR-Heizung verbessern. Die jährlichen betriebsgebundenen Kosten (Service, Wartung, Instandhaltung, Instandsetzung) liegen in den **Varianten 1a und 2a** bei 300 € für das Wärmepumpen-System und in den **Varianten 1b und 2b** bei 0 € für das Infrarot-System (kein Service, keine Wartung). Für alle Varianten wird ein Brutto-Strombezugspreis von 0,28 €/kWh angesetzt.

In der Abbildung 6 werden alle Varianten über einen Zeitraum von 30 Jahren monetär verglichen. Dafür werden in der folgenden Tabelle die Reinvestitionskosten berechnet.

Tabelle 4: Reinvestitionskosten der verschiedenen Varianten

Jahr	Position	Variante 1a: Luft-Wasser-WP	Variante 1b: IR-Heizung + el. Boiler	Variante 2a: Luft-Wasser-WP, 10 kWp PV, Akku 10 kWh	Variante 2b: IR-Heizung, el. Boiler, 10 kWp PV, Akku 10 kWh
10	Wechselrichter	-	-	1.200 €	1.200 €
18	Wärmepumpe	20.000 €	-	20.000 €	-
20	Wechselrichter	-	-	1.200 €	1.200 €
	Akkusystem	-	-	5.000 €	5.000 €
	Elektronische Bauteile	-	3.880 €	-	3.880 €

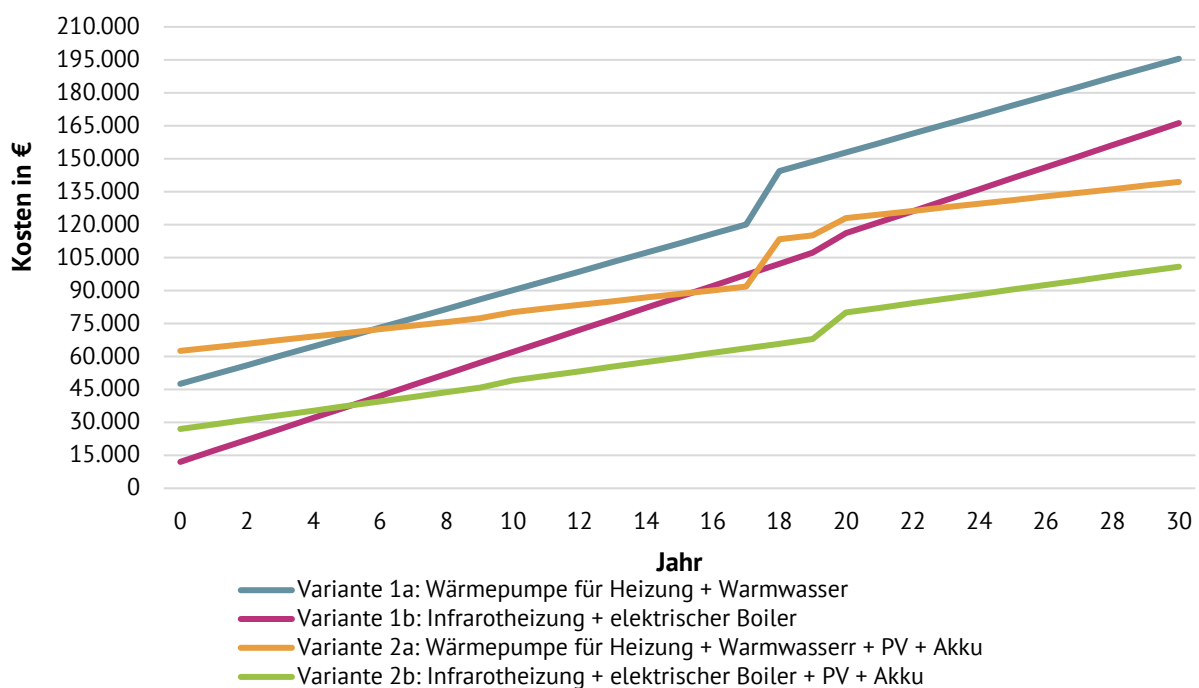


Abbildung 6: Kostenübersicht (mit Feldtest-Werten; kumuliert)

Fazit und Ausblick

Die graue Energie zur Herstellung und Entsorgung eines Wärmepumpen-Fußbodenheizungs-Systems ist deutlich höher als die eines Infrarotheizungssystems. Zum Betrieb benötigen Wärmepumpensysteme weniger Strom, trotzdem sind die Infrarot-**Varianten 1b und 2b** bei dem Vergleich der Systeme wirtschaftlicher als die Wärmepumpen-**Varianten 1a und 2a**, da die Lebensdauer der Wärmepumpe geringer ausfällt als ihre statische Amortisationszeit (48 bzw. 70 Jahre) und damit eine Amortisation unmöglich ist. Vergleicht man die benötigte Technikfläche der Varianten, so ergeben sich etwa 2 m² weniger benötigte Fläche, wenn die Wärmepumpe eingespart werden kann. Diese Fläche entspricht einer Ersparnis von etwa 7.830 €. ⁶

Wenn die eingesparten Investitionskosten (35.500 €) genutzt werden, um das Energiesystem (IR + Boiler) mit einer PV-Anlage und zugehörigem Akkusystem (15.000 €) zu erweitern, sind nicht nur 20.500 € geringere Investitionskosten notwendig, sondern auch die laufenden Kosten liegen bei weniger als der Hälfte. Das sieht man in Abbildung 6 daran, dass die Steigung der blauen Linie (Variante 1a) stärker ausfällt als die der grünen Linie (Variante 2b). Die Aussage bleibt auch ohne Umstieg auf ein E-Auto bestehen. Über den Großteil des Jahres wird der Energiebedarf des Hauses kostengünstig mit eigenem Solarstrom abgedeckt. Darüber hinaus stehen in diesem Zeitraum solare Stromüberschüsse zum Laden eines E-Mobiles oder zur Einspeisung zur Verfügung. In der zuvor erwähnten Studie „Forschungsprojekt IR-Bau“⁷ wurden ökologische und ökonomische Vorteile eines PV-Infrarot-Systems gegenüber einem Wärmepumpen-Fußbodenheizungs-System prognostiziert.

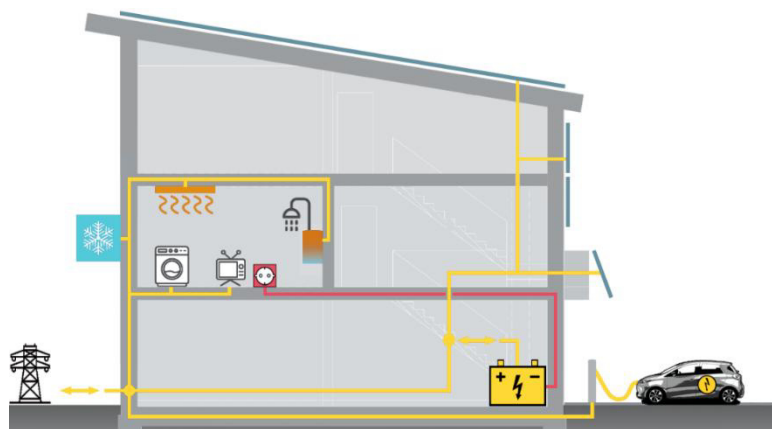


Abbildung 7: Neue Gebäude haben auf Grund von mildereren Wintern (Klimawandel) und besseren Gebäudehüllen (gesetzliche Vorgaben) immer weniger Heizwärmebedarf. Deswegen ist zukünftig eine komplett elektrische und wartungsfreie Energieversorgung des Gebäudes mit Wärme, Warmwasser, Haushalt und E-Auto eine Alternative zu wasserführenden Heizsystemen.

5. Auswirkung von Feuchtigkeit in Baustoffen auf die Wärmeleitfähigkeit

⁶ Rund 3.915 € im Bundesdurchschnitt je m² für neu gebaute Häuser laut: QUIS Wohnungsmarktreport Mai 2026

⁷ Quelle: Forschungsprojekt „IR-Bau“; Projektabschlussbericht: Stand: 02/2020; Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.11

Der größte physikalische Nachteil von konvektiven Heizsystemen liegt in dem indirekten Wirkprinzip, denn sie erwärmen ursächlich und daher hauptsächlich die Raumluft und nicht die umliegenden Bauteile. Das führt dazu, dass sich die wärmere, feuchte Raumluft an der kälteren Innenseite der Außenwand abkühlt, es zur Kondensation kommt und sich der Wassergehalt der Wand entsprechend erhöht. In der folgenden Abbildung sind einige Temperaturen dargestellt, die im Rahmen einer Studie gemessen werden konnten. Der Unterschied zwischen einer Luft- und einer Strahlungsheizung ist klar erkennbar.

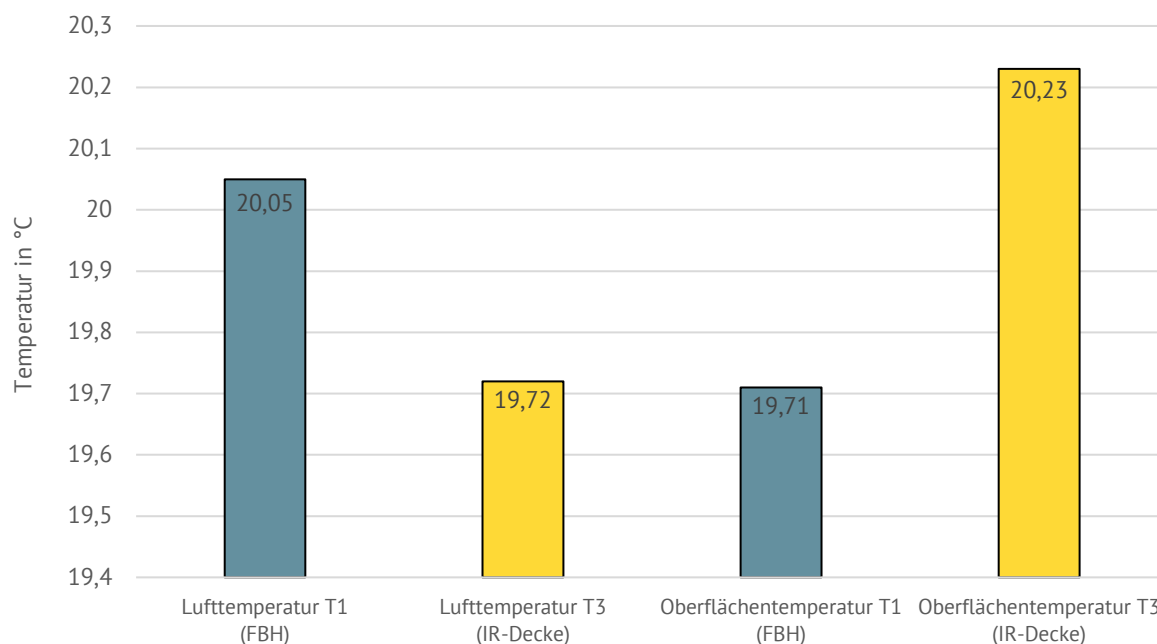


Abbildung 8: Neue Vergleich der nächtlichen Luft- und Oberflächentemperaturen zwischen einer WP-FBH und einer IR-Decke [Quelle: Potenzial von Infrarot-Heizsystemen für hocheffiziente Wohngebäude]

Eine Studie⁸ zur Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen zeigt, dass insbesondere der Feuchtegehalt des Baustoffs einen hohen Einfluss auf den Wärmetransport hat. Die Abbildung 9 zeigt den Zusammenhang zwischen der Wärmeleitfähigkeit [λ] verschiedener Ziegelwandzusammensetzungen und dem jeweiligen Feuchtegehalt auf. Erkennbar ist ein deutliches Ansteigen von λ bei zunehmendem Volumenanteil [Vol.-%] an Wasser im Baustoff. Die rote Markierung weist für einen gemauerten Ziegelstein mit einer Dichte von 1.800 kg/m^3 und einem Wassergehalt von 15 Vol.-% eine Wärmeleitfähigkeit von rund $1,4 \text{ W/(m}^*\text{K)}$ aus. Dabei ist der Wassergehalt des Ziegels zum Vergleich bei 0 Vol.-% in einer Trockenkammer und 16-25 Vol.-% im Wasserbad. 15 Vol.-% bedeuten also je nach Stein ein durchfeuchtetes bis nasses Mauerwerk.

⁸ A. Llorente-Alvarez et al., The thermal conductivity of the masonry of handmade brick Cultural Heritage with respect to density and humidity, Journal of Cultural Heritage, Volume 53, January–February 2022, Pages 212–219, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.12.004>

In der Praxis sind Werte von etwa 10 Vol.-% nach der Erstellung des Bauwerks und 2 Vol.-% im bewohnten Zustand im Sommer üblich. Somit ist die Wärmeleitfähigkeit nach der Erstellung des Bauwerks etwa 20 % höher als im bewohnten Zustand. Allerdings kann sich der Wassergehalt des Ziegels durch Kondensatbildung im Winter bei Konvektionsheizungen auf 5-8 Vol.-% steigen, was den Wärmeleitwert erhöht und daher verschlechtert sich die Wärmedämmung merkbar. Mit hocheffizienten Infrarotheizungen wird dieser Effekt hingegen verhindert. Sobald die Bauteile wärmer sind als die davon eingeschlossene Raumluft, führt dies auch im Winter zu einer Entfeuchtung der Wände.

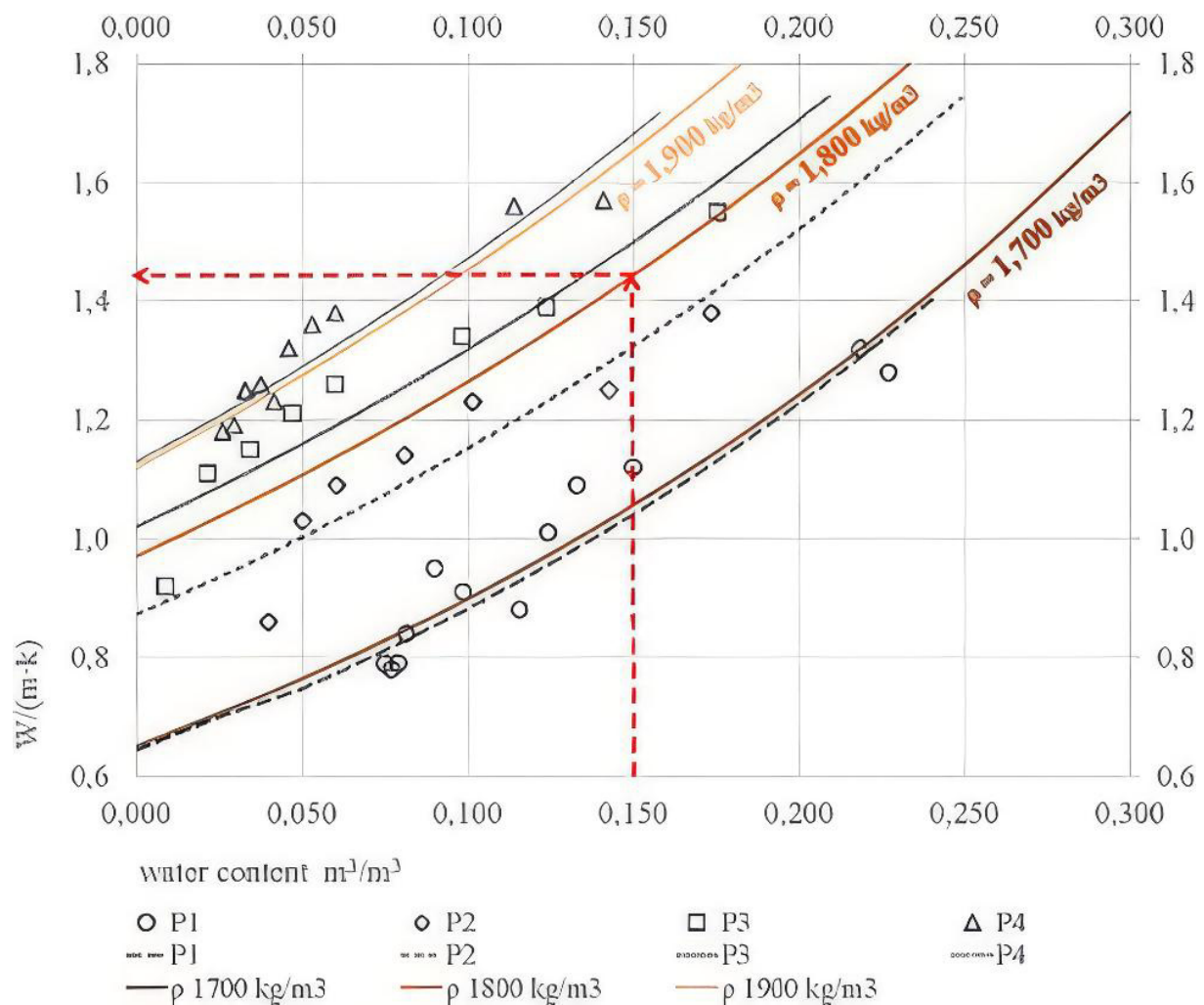


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Feuchtegehalt und Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffs

Abbildung 10 versinnbildlicht den erhöhten Wärmestrom durch feuchtes Mauerwerk sowie den Einfluss der Heizsysteme, Infrarotheizung (links) und konvektive Heizung (rechts) auf die Oberflächentemperatur und damit die Kondensationsneigung.

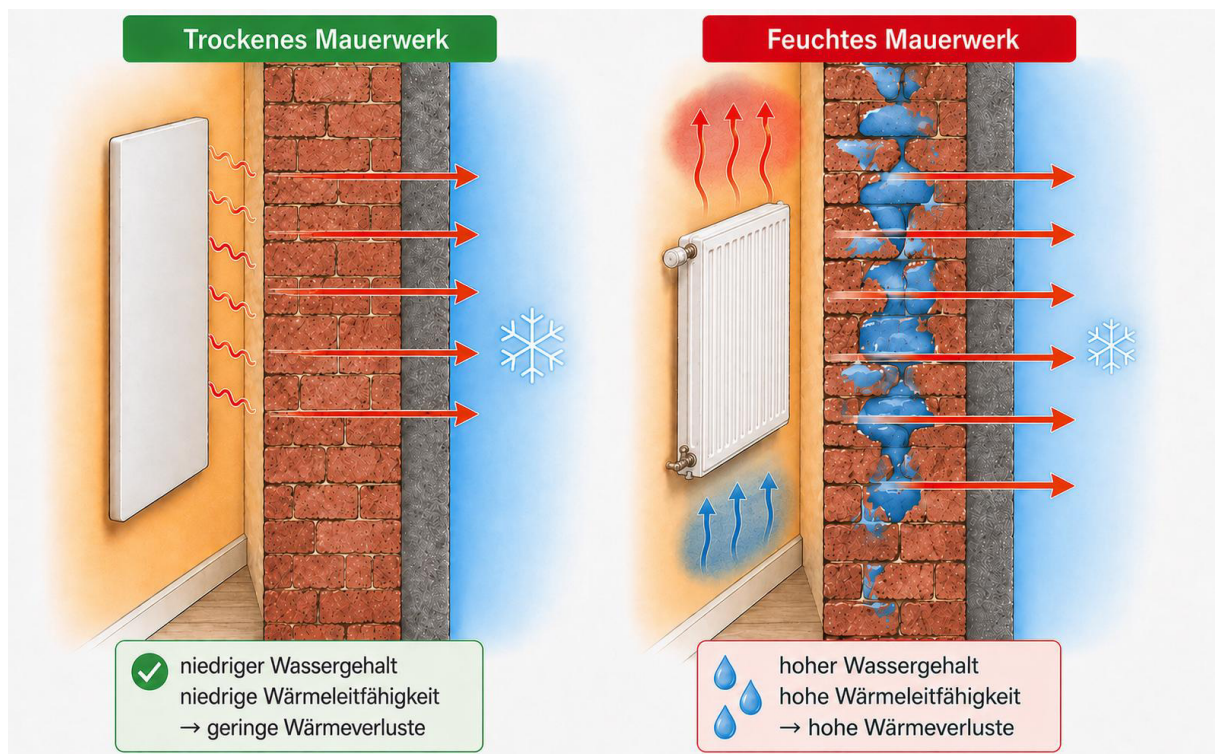


Abbildung 10: Einfluss von Feuchtegehalt und Heizsystem auf den Wärmeverlust durch Mauerwerk
[Quelle: Eigene Darstellung (unter Verwendung von KI-gestützter Bildgenerierung)]

Zusammenfassung

Insgesamt lässt sich sagen, dass konvektive Heizungen indirekt zur energetischen Ineffizienz beitragen, da sie zur erhöhten Feuchtigkeit in Bauteilen beitragen und Wärmeverluste erhöhen. Infrarotheizungen hingegen besitzen unter bauphysikalischen Gesichtspunkten wie Feuchtehaushalt und Wärmeleitfähigkeit klare Vorteile gegenüber konventionellen, konvektionsbasierten Heizsystemen.

Zusätzlich verbessert sich das Komfortempfinden durch das Heizen mit Infrarot, da die Strahlungswärme direkt vom menschlichen Körper aufgenommen wird. Bereits bei niedrigeren Lufttemperaturen kann so ein angenehmes Wärmegefühl erreicht werden, was weiteres Einsparpotenzial eröffnet.