Vergleich eines Luft-Wasser-Wärmepumpen-Systems mit einem Infrarot-System

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**

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

1. Vergleich des Wirkprinzips

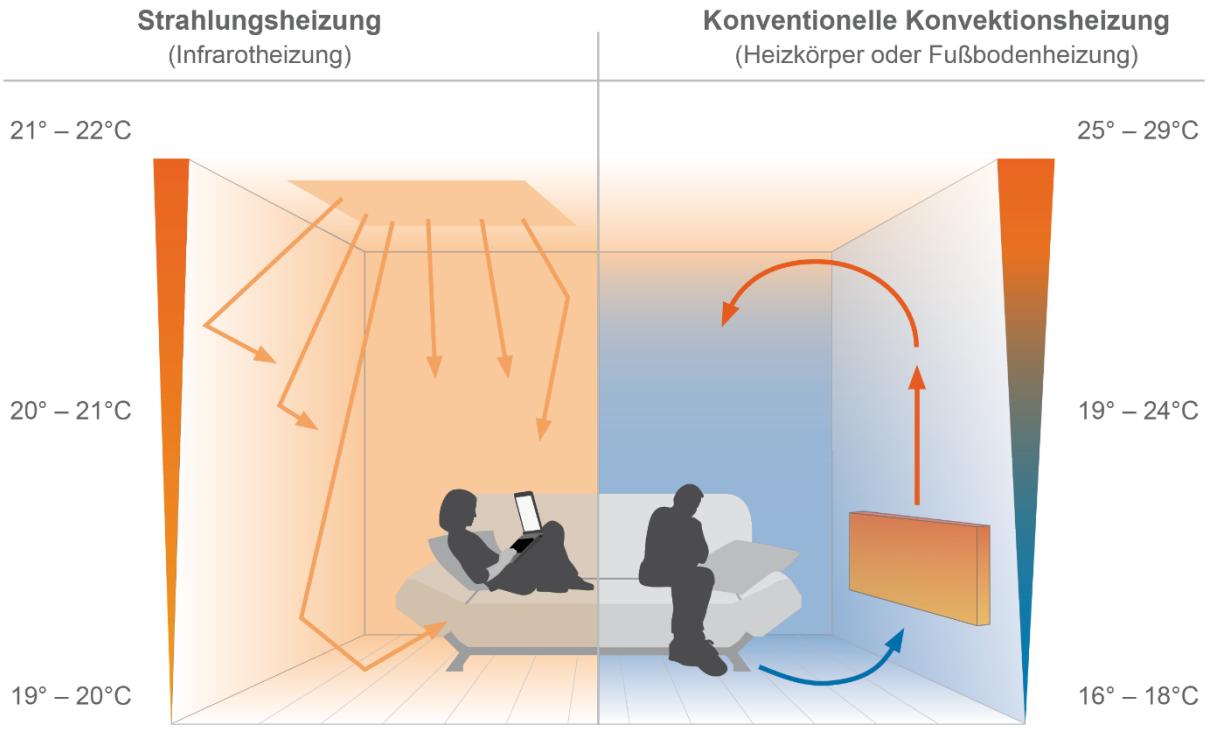


Abbildung 1: Vergleich von Wirkprinzip und Temperaturschichtung.

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

Stand: Januar 2025
Copyright: www.timo-leukefeld.de
ENERGIE VERBINDET.
Autoren: Prof. Dipl.-Ing. Timo Leukefeld, Tobias Druschke-Tittel, Gabriel Jakob Baumüller

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.

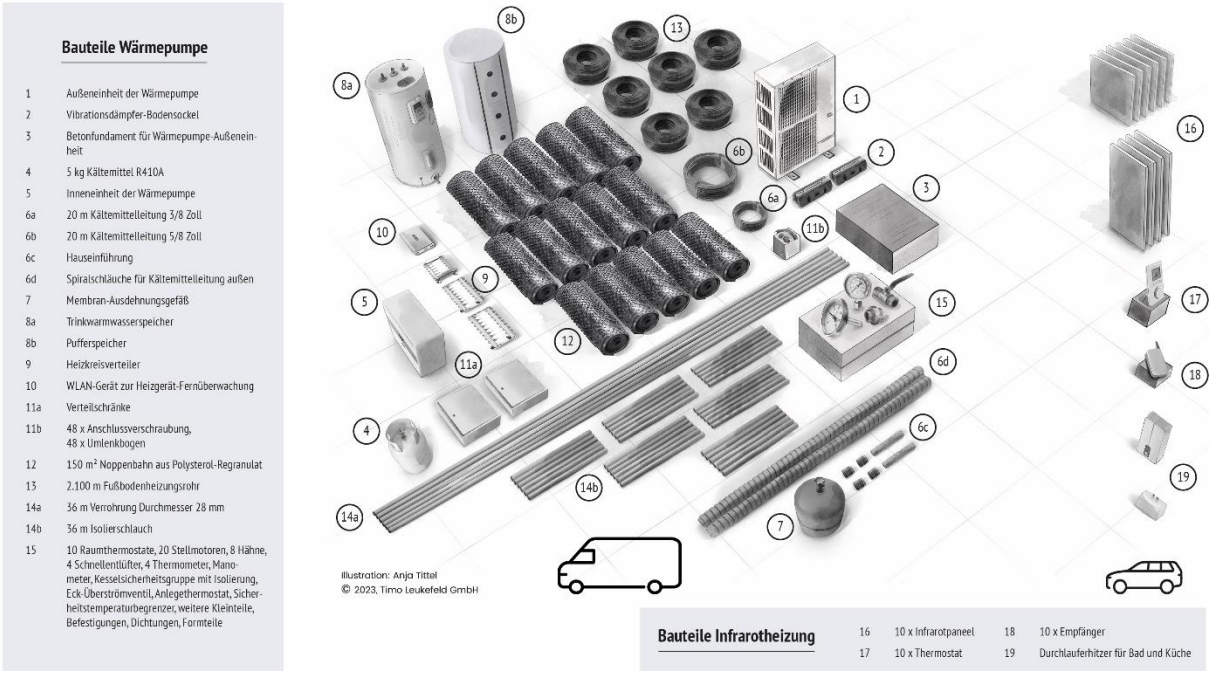


Abbildung 2: Benötigte Komponenten für ein Luft-Wasser-Wärmepumpensystems im Vergleich zu den eines Infrarotheizsystems

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

Copyright: www.timo-leukefeld.de

Das Ergebnis: Die Bestandteile der Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Fußbodenheizung und Trinkwasserbereitung verursachen 7,44 t CO_2-Äquivalente, für fünf Kilogramm Kältemittel kommen nochmals 10,49 t CO_2-Äquivalente dazu. Das heißt, **in der Summe müssen für das Wärmepumpensystem 17,93 t CO_2-Äquivalente graue Energie aufgewendet werden**.

Bei den Infrarot-Deckenheizungen mit Durchlauferhitzer sind es lediglich 0,32 bis 0,74 t CO_2-Äquivalente, so dass sich ein Faktor von durchschnittlich **34:1** ergibt, je nach Infrarothersteller. Da immer mehr umweltschonende Kältemittel wie Propan eingesetzt werden müssen, verringert dies das CO_2-Äquivalent des Wärmepumpensystems. Ohne Berücksichtigung des Kältemittels liegt das Verhältnis bei mindestens **10:1**. Dem Kältemittel, das mit einmaliger Befüllung angesetzt wurde, steht bei der Infrarot-Heiztechnik kein Wert gegenüber, da bei dieser Heizungsart keine Betriebsmittel erforderlich sind.

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 Speichermasse 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

Copyright: www.timo-leukefeld.de

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 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. 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 getroffen Aussagen zu verdeutlichen, folgt eine Abbildung, in welcher bei beiden Systemen der Bezugspunkt die Nutzenergie der Infrarotheizung (100 %) darstellt. In Tabelle 1 sind zusätzlich die absoluten Werte ausgewiesen.

Copyright: www.timo-leukefeld.de

Autoren: Prof. Dipl.-Ing. Timo Leukefeld, Tobias Druschke-Tittel, Gabriel Jakob Baumüller

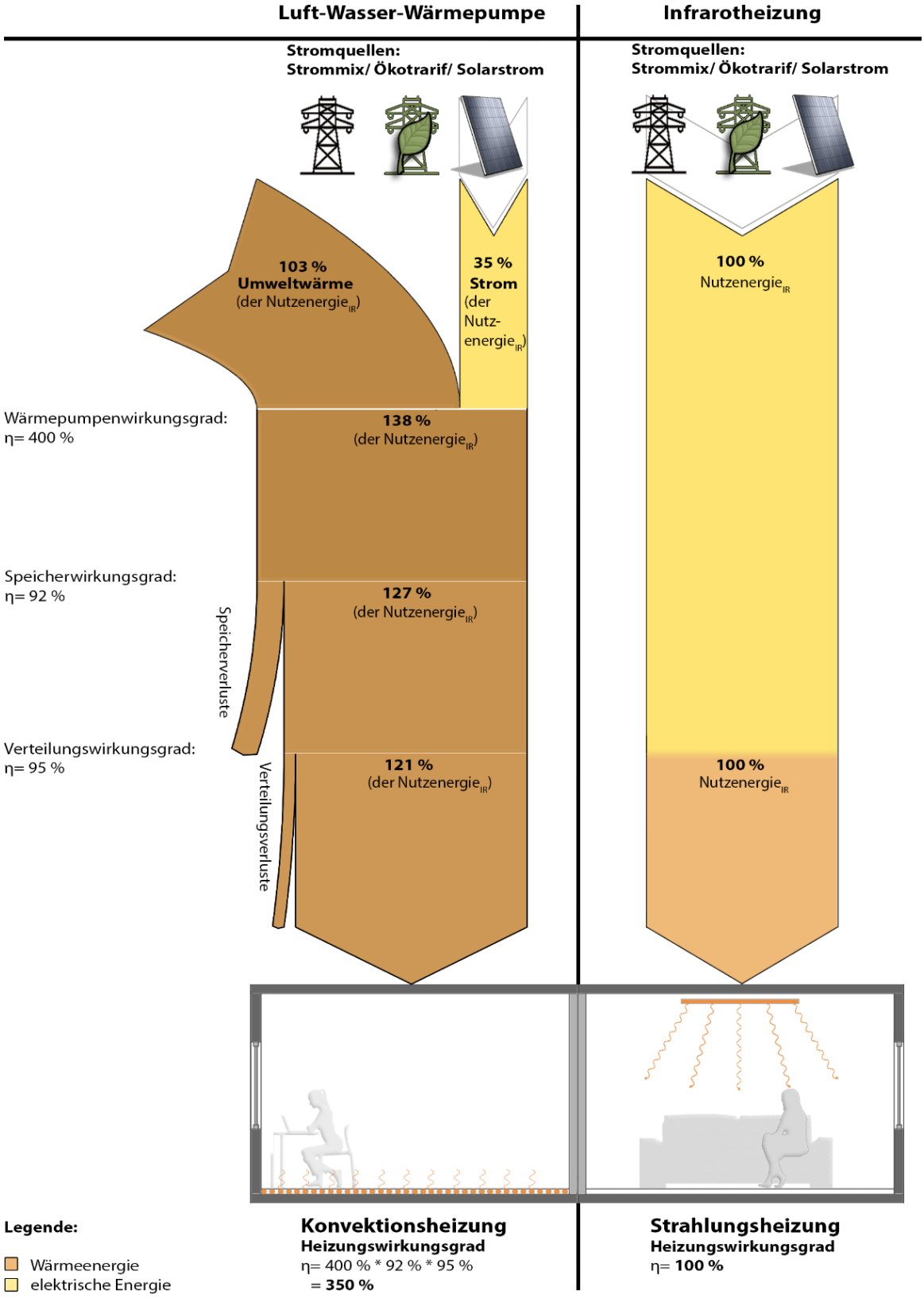


Abbildung 3: Wirkungsgrad-Vergleich zwischen Konvektions- und Strahlungsheizung (mit Laborwerten)

Copyright: www.timo-leukefeld.de

Autoren: Prof. Dipl.-Ing. Timo Leukefeld, Tobias Druschke-Tittel, Gabriel Jakob Baumüller

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 einem relativ 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 dem Speicher	4.740	127	-	-
Wärmeenergie verteilt (Nutzenergie)	4.500	121	3.720	100

Ein Blick in die Praxis

In einer Feldstudie[4] 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 erzeugt haben und, wie bereits erwähnt, durch höhere Temperaturen die Leistungszahl geringer ausfällt.

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

Stand: Januar 2025
Copyright: www.timo-leukefeld.de
ENERGIE VERBINDET.
Autoren: Prof. Dipl.-Ing. Timo Leukefeld, Tobias Druschke-Tittel, Gabriel Jakob Baumüller

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.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP in dem Forschungsbericht „Energieeffizienz elektrische angetriebener Wärmepumpen – Praxisergebnisse aus dem Monitoring“ [5]. 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.

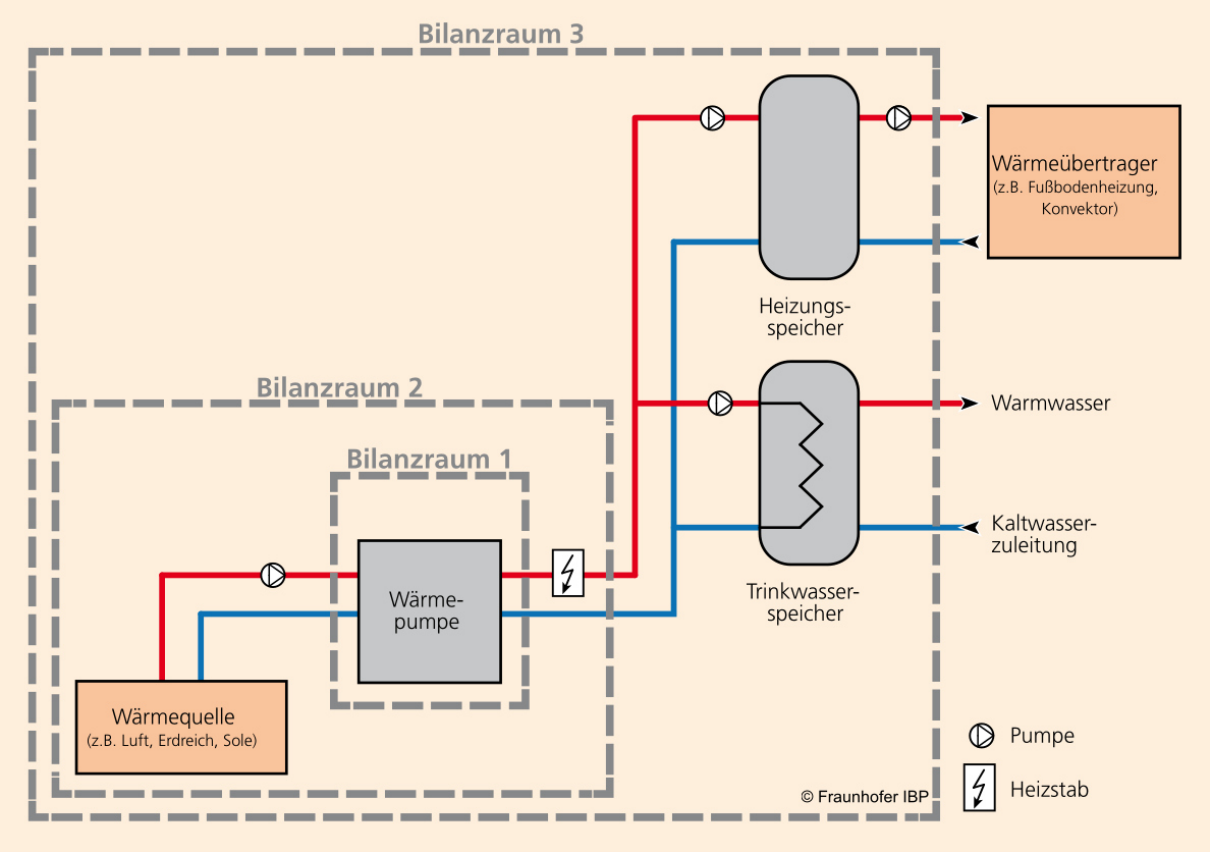


Abbildung 4: Bilanzräume von Wärmepumpensystemen Quelle: Fraunhofer IBP

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.

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

Copyright: www.timo-leukefeld.de

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.

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. Durch die Warmwasserbereitung müssen wesentlich höhere Temperaturen bereitgestellt werden. Das führt zu einem höheren Stromverbrauch der Wärmepumpe. Dieser Effekt wird hier nicht berücksichtigt.

Bei der Infrarot-Variante erhöht sich der Strombezug auf 6.370 kWh/a, da zwar die Infrarotheizung verlustfrei arbeitet, aber bei der Trinkwarmwasserbereitung mit einem Elektro-Boiler Speicher- und Leitungsverluste berücksichtigt werden müssen.

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.

Copyright: www.timo-leukefeld.de

Autoren: Prof. Dipl.-Ing. Timo Leukefeld, Tobias Druschke-Tittel, Gabriel Jakob Baumüller

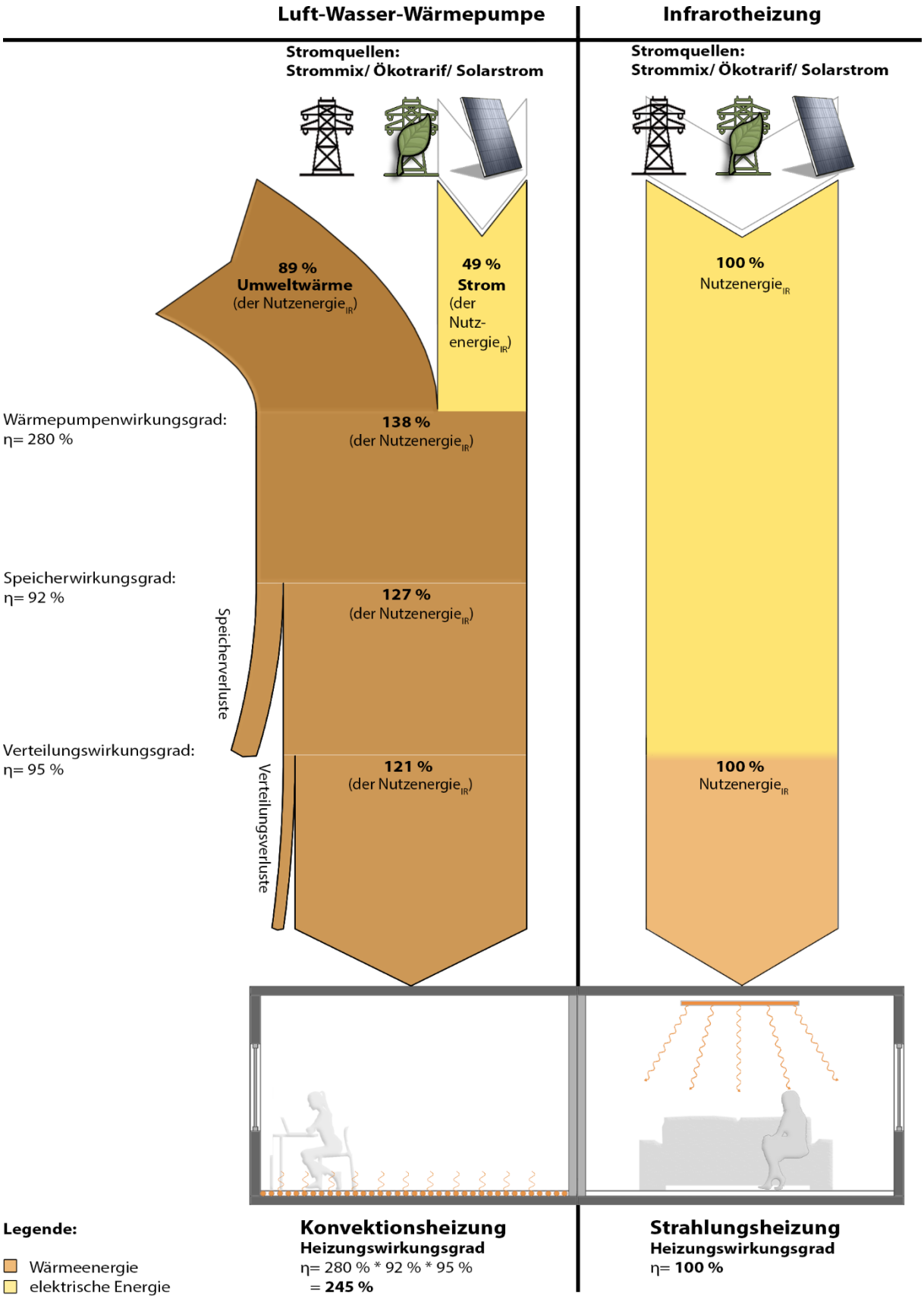


Abbildung 5: Wirkungsgrad-Vergleich zwischen Konvektions- und Strahlungsheizung (mit Feldtest-Werten)

Copyright: www.timo-leukefeld.de

Autoren: Prof. Dipl.-Ing. Timo Leukefeld, Tobias Druschke-Tittel, Gabriel Jakob Baumüller

4. Kostenvergleich ohne und mit Photovoltaikanlage mit Akkusystem

In der folgenden Tabelle 3 werden 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 kWp PV, Akku 10 kWh	Variante 2b: IR-Heizung, el. Boiler, 10 kW_p PV, Akku 10 kWh
Investitionskosten mit Trinkwarmwasser-bereitung*	€	45.000	12.000	60.000	27.000
Differenz zur Variante mit Wärmepumpe	€	-	33.000	-	33.000
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	-	-	0,0803	0,0803
	€/a	-	-	349	275
Laufende Gesamtkosten	€/a	4.268	5.010	1.302	1.812
Differenz zur Variante mit Wärmepumpe	€	-	742	-	510
Statische Amortisation WP gegenüber IR	a	44		65	

* Stand: Januar 2025
** Annahmen Benzin: 7,8 l/100 km Verbrauch; 1,80 €/l Kosten, Annahme E-Auto: 20 kWh/100 km

Copyright: www.timo-leukefeld.de

Autoren: Prof. Dipl.-Ing. Timo Leukefeld, Tobias Druschke-Tittel, Gabriel Jakob Baumüller

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 kW_p 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 €

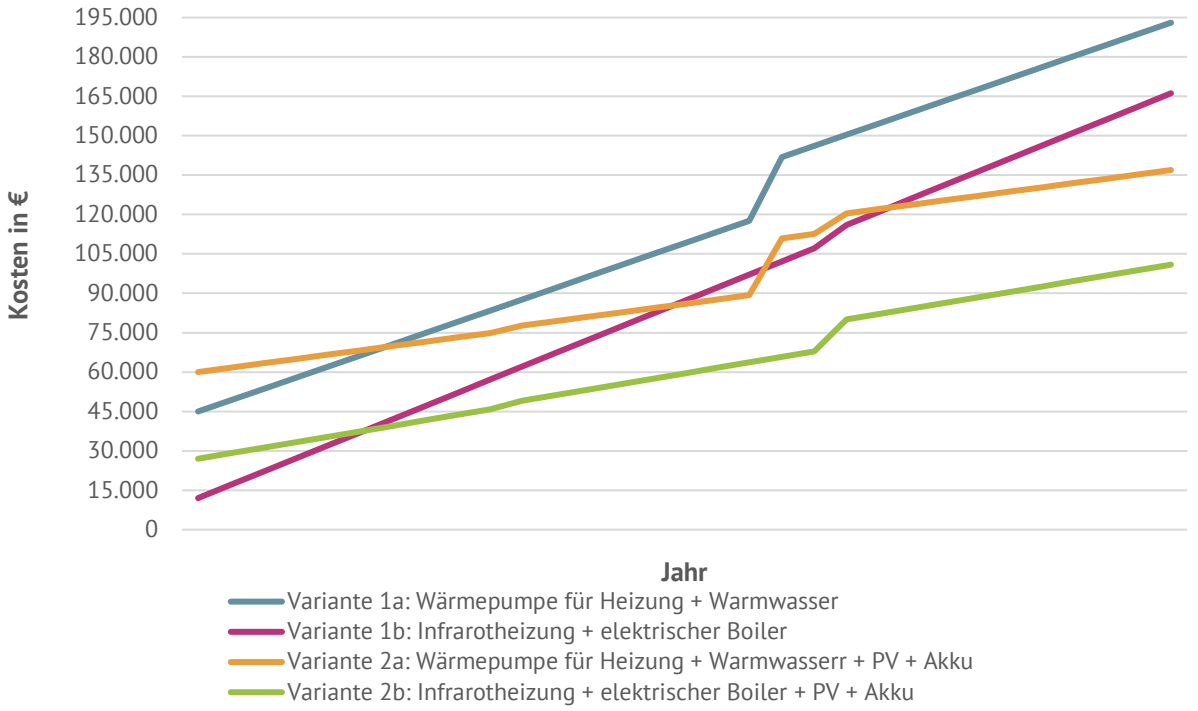


Abbildung 6: Kostenübersicht (mit Feldtest-Werten; kumuliert)

Copyright: www.timo-leukefeld.de

Autoren: Prof. Dipl.-Ing. Timo Leukefeld, Tobias Druschke-Tittel, Gabriel Jakob Baumüller

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 (44 bzw. 65 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 7.400 €.[6] (Wert für das Jahr 2024 noch nicht veröffentlicht, aber vermutlich höher).

Wenn die eingesparten Investitionskosten (33.000 €) genutzt werden, um das Energiesystem (IR + Boiler) mit einer PV-Anlage und zugehörigem Akkusystem (15.000 €) zu erweitern, sind nicht nur 18.000 € 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 Steigung 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.

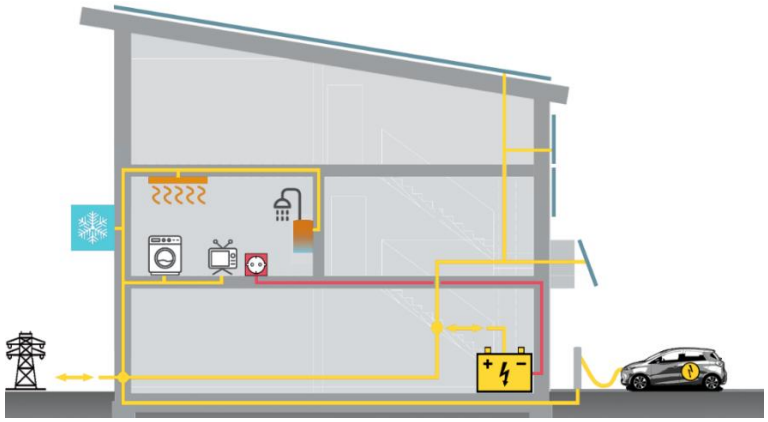


Abbildung 7: Neue Gebäude haben auf Grund von milderen Wintern (Klimawandel) und besseren Gebäudehüllen (gesetzliche Vorgaben) immer weniger Heizwärmebedarf. Deswegen ist zukünftig eine komplett elektrische und wartungsfreie Energieversorgung des Gebäudes mit Wärme, Warmwasser, Haushalt und E-Auto eine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

[6] Rund 3.700 € im Bundesdurchschnitt je m² für neu gebaute Häuser laut: QUIS Wohnungsmarkreport Juli 2023

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

Copyright: www.timo-leukefeld.de