

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

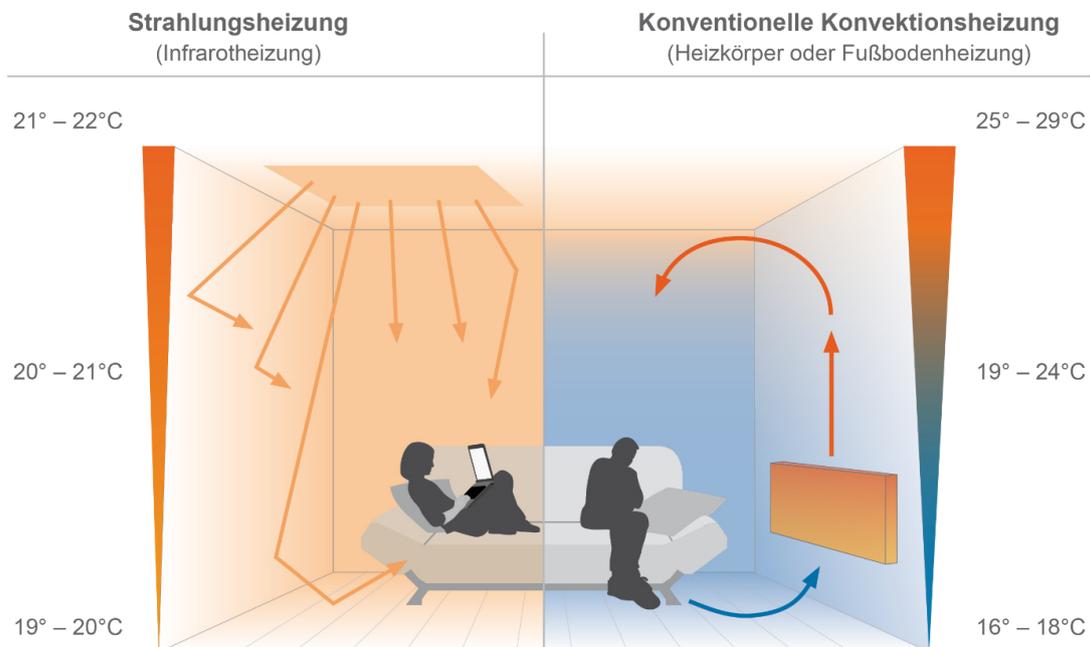


Abbildung 1: Vergleich von Wirkprinzip und Temperaturschichtung. Links Infrarotheizung als Strahlungsheizung, sie erwärmt alle Oberflächen, rechts konventionelle Flüssigkeitsheizung/Konvektionsheizung; sie erwärmt die Luft. Infrarot-Wärmestrahlung ist angenehme Strahlungswärme wie vom Kachelofen, es gibt keine Staubaufwirbelung und -ablagerung, sie ist energiesparend wegen niedriger „Wohlfühltemperatur“, es ergeben sich trockene und warme Wände, kein Schimmelproblem, gleichmäßige Wärmeverteilung und der gesamte Raum speichert die Wärmeenergie.

In der Studie „Forschungsprojekt IR-Bau“¹ 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.

¹ Quelle: Forschungsprojekt „IR-Bau“; Projektabschlussbericht: Stand: 02/2020; Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.11

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.² Durch die Erwärmung aller Bauteile über die Oberflächen und die schnelle Reaktionsfähigkeit auf neue Bedingungen, wie die zusätzliche Solarwärme, wird die notwendige Zieltemperatur gehalten.

Zur Deckung des Wärmebedarfs wurde bei dem Luft-Wasser-Wärmepumpen-System eine Systemjahresarbeitszahl von 3,5 gemessen. Das bedeutet, 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 und geringeren Lüftungsverlusten zu begründen.

In der Abbildung 2 werden Wirkungsgrade, von 400 % (COP = 4) für die häufig im Neubau eingesetzte Luft-Wasser-Wärmepumpe, 92 % für die Speicherung und 95 % für die Verteilung angesetzt. Dies entspricht einem Systemwirkungsgrad von 350 %.

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.

Fazit der Studie

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 % 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.

² Quelle: Auswertung Testcontainer - Winter 2011/12; Firma easyTherm GmbH & TU Graz

Um die getroffenen 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.

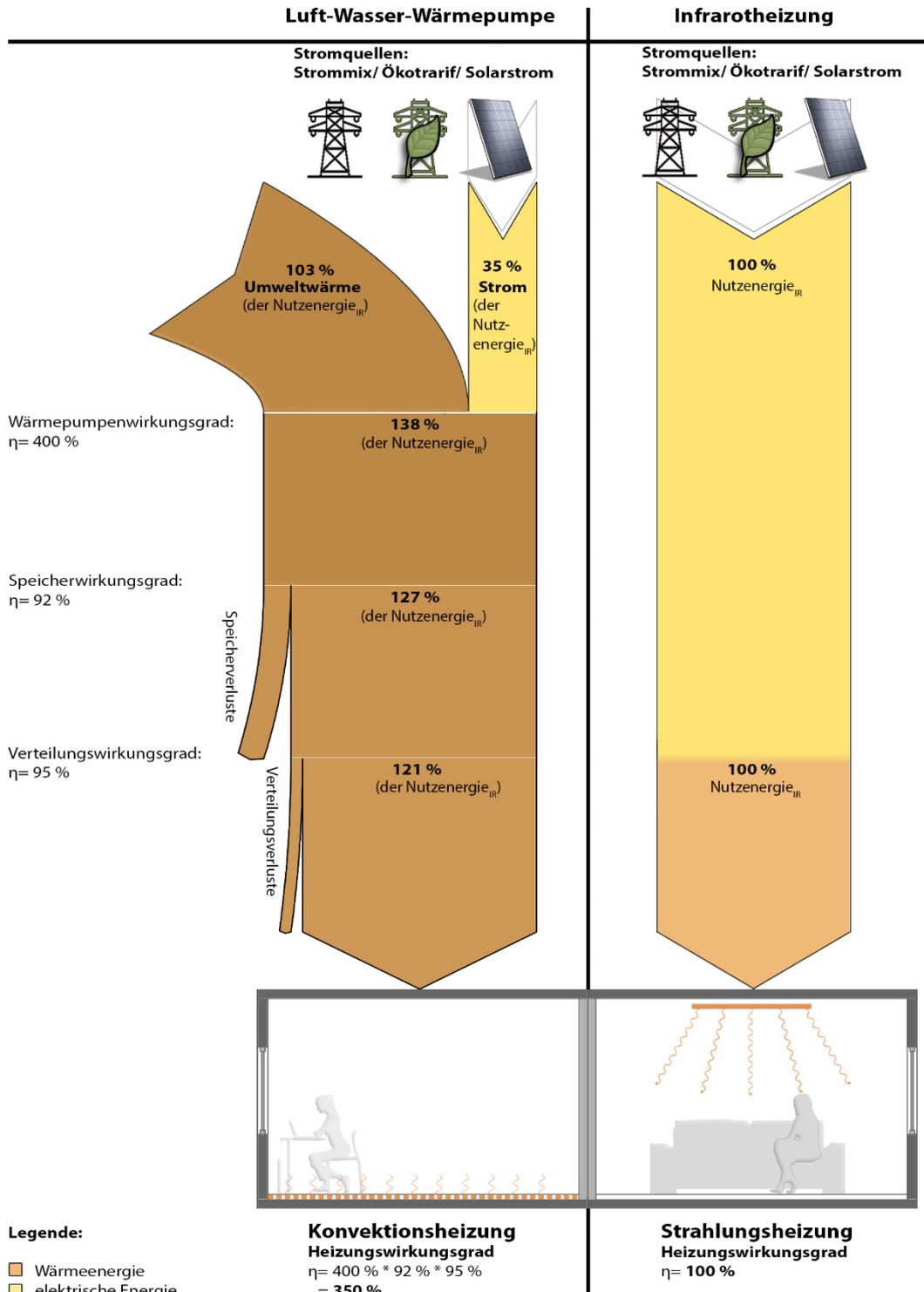


Abbildung 2: Wirkungsgrad-Vergleich zwischen Konvektions- und Strahlungsheizung (mit Laborwerten)

Energetische Betrachtung am theoretischen Beispiel

Es wurde beispielhaft ein Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 150 m² betrachtet (keine Balkone oder Terrassen; Gebäudenutzfläche liegt auch bei 150 m²). Dieses hat einen normkonformen Heizwärmebedarf von 4.500 kWh/a, was einem spezifischen Bedarf von 30 kWh/(m²*a) und dem Nutzenergiebedarf des Wärmepumpen-Systems entspricht.

Wird die 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 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

Kostenbetrachtung der Systeme

Die Investitionskosten für eine wasserführende Fußbodenheizung und eine Luft-Wasser-Wärmepumpe ohne Trinkwarmwasserbereitung liegen, inklusive Montage und MwSt. bei etwa 50.000 €. Der Einbau einer Infrarotheizung ohne dezentrale Warmwasserbereitung fällt mit circa 12.000 € wesentlich niedriger aus.

Die jährlichen betriebsgebundenen Kosten (Service, Wartung, Instandhaltung, Instandsetzung) liegen bei 250 € für das Wärmepumpen-System und bei 0 € für das Infrarot-System (kein Service, keine Wartung).

Setzt man für die Infrarotheizung einen Brutto-Strombezugspreis von 0,40 €/kWh und einen Wärmepumpentarif von 0,40 €/kWh (brutto) an, so entstehen folgende Heizstromkosten: 516 €/a für die Wärmepumpen-Variante und 1.488 €/a für die Infrarotheizungs-Variante.

Aus den betriebsgebundenen und den Energiekosten ergeben sich 766 €/a laufende Gesamtkosten für die Wärmepumpen-Variante und 1.488 €/a für die Infrarotheizungs-Variante. Beide liegen 722 €/a auseinander. Es zeigt sich, dass die höheren Investitionskosten für das technisch aufwendigere System von 38.000 € rechnerisch erst nach rund 53 Jahren durch den geringeren Bezug wieder ausgeglichen werden.

Allerdings ist es so, dass die Betriebsdauer von Wärmepumpen-Systemen eher bei 15 bis 20 Jahren liegt. Eine Infrarotheizung ist ein quasi wartungsfreies System, welches durchaus 30 Jahre und länger funktionstüchtig ist. Wärmepumpen hingegen müssen regelmäßig gewartet und teilweise repariert werden, was Instandhaltungskosten erzeugt.

Selbst in dem theoretischen Fall, dass beide Systeme denselben Nutzenergieeinsatz hätten, läge die Amortisationszeit der Wärmepumpe über ihrer Lebenserwartung.

Tabelle 2: Kostenvergleich der Heizsysteme (mit Laborwerten)

Position	Einheit	Luft-Wasser-WP	Infrarotheizung	Differenz
Investitionskosten*	€	50.000	12.000	38.000
Wärmeenergie erzeugt	kWh/a	5.150	3.720	1.430
Stromtarif*	€/kWh	0,40	0,40	0,00
Strom eingesetzt	kWh/a	1.290	3.720	2.430
Stromkosten*	€/a	516	1.488	972
Betriebsgebundene Kosten*	€/a	250	0	250
Laufende Gesamtkosten*	€/a	766	1.488	722
Amortisationszeit (ohne Reinvestitionen)	Jahre	53	-	-

*Stand Januar 2023

In der Abbildung 3 werden beide Varianten über einen Zeitraum von 30 Jahren monetär verglichen. Dabei wird bei dem Wärmepumpensystem nach 18 Jahren eine Reinvestition von 20.000 € für ein neues Wärmepumpenaggregat notwendig. Auch für das Infrarotsystem wird eine Reinvestition für elektronische Bauteile wie Thermostate oder Sicherheitstemperaturfühler berücksichtigt. Dafür wird nach 20 Jahren ein Betrag von 1.500 € angesetzt.

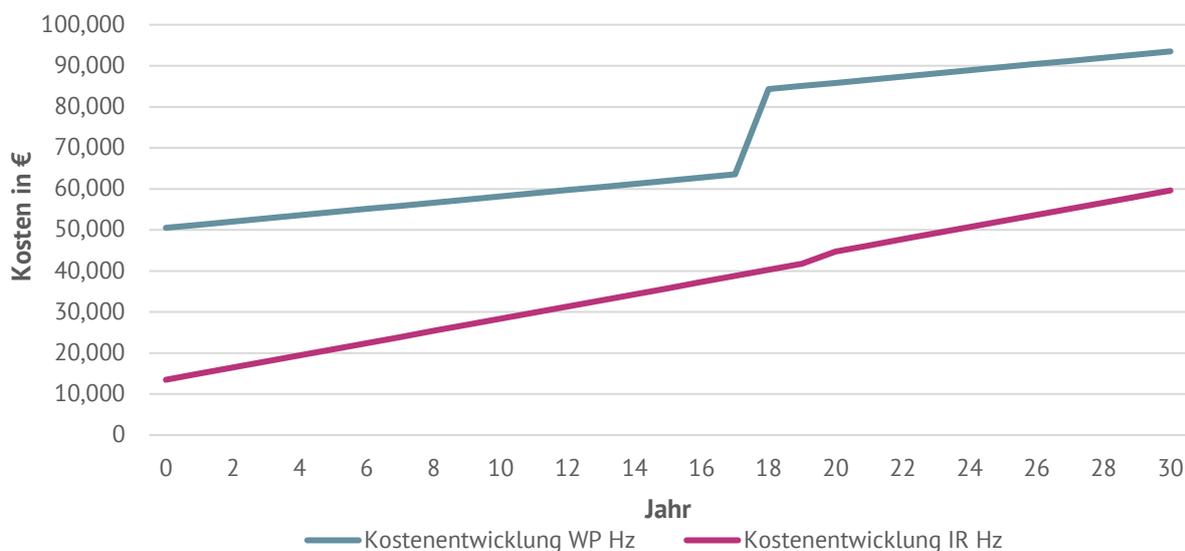


Abbildung 3: Kostenübersicht (mit Laborwerten; kumuliert)

Ein Blick in die Praxis

In einer Feldstudie zeigte sich, dass die gemessene Effizienz von Wärmepumpen im realen Betrieb nachweislich niedriger ist als unter Laborbedingungen.³ 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 durchschnittliche Leistungszahl (COP) 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. Die Verluste für Speicherung und Verteilung sind auch nicht berücksichtigt. Zieht man diese mit in Betracht, liegt der Durchschnitt der System-Jahresarbeitszahl lediglich bei 2,3.

Je nach Interessengruppe wird die Schwelle, ab der eine Wärmepumpe als energieeffizient gesehen wird zwischen 2,0 (Hersteller und Lobby) und 4,0 (Kritiker) angegeben. Stützt man sich auf die Fördergrenze des BAFA (bis 2020) für energieeffiziente Geräte von 3,5⁴, so muss festgestellt werden, dass die meisten verbauten und betriebenen Luft-Wasser-Wärmepumpen nicht als energieeffizient bezeichnet werden können. Auch die Definition der Deutschen Energieagentur (dena) legt eine Leistungszahl von 3,0⁵ fest, um die Bezeichnung „energieeffizient“ zu verwenden.

³ Quelle: Feldstudie; Wärme aus der Umwelt auch gut für die Umwelt? Ergebnisse einer siebenjährigen Praxisuntersuchung, Dr. Falk Auer und Herbert Schöte (2014)

⁴ Quelle: www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Foerdervoraussetzungen/foerdervoraussetzungen_node.html

⁵ Quelle: www.energieverbraucher.de/de/arbeitszahlen__298/

Auswirkung auf beide Systeme

Setzt man nun den ermittelten durchschnittlichen Wärmepumpenwirkungsgrad von nur 280 % in das Energieflussdiagramm ein, ergibt sich die Abbildung 4. Die Folge davon ist, dass die Wärmepumpe nun etwa die Hälfte des Stroms benötigt, der für eine Infrarot-Heizung aufgewendet werden muss.

In der folgenden Betrachtung wird zusätzlich die Trinkwarmwasserbereitung mit einbezogen. Es wird mit einer Nutzenergie für die Trinkwarmwasserbereitung von 2.000 kWh/a gerechnet. Somit müssen bei dem Wärmepumpen-System 2.000 kWh/a mehr Nutzenergie verteilt werden, wodurch sich diese auf 6.500 kWh/a erhöht. Durch die geringere Leistungszahl der Wärmepumpe müssen nun 2.650 kWh/a Strom eingesetzt werden. Entsprechend steigen die Energiebezugskosten. 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. Für das aufwendigere Wärmepumpen-System wird jetzt mit insgesamt 55.000 € Investitionskosten gerechnet. Bei dem Infrarot-System wird ein elektrischer Warmwasserboiler inklusive Zubehör und Installation angesetzt, woraus sich insgesamt 14.000 € Investitionskosten ergeben.

In der Abbildung 5 werden beide Varianten über einen Zeitraum von 30 Jahren monetär verglichen. Dabei wird bei dem Wärmepumpensystem nach 18 Jahren eine Reinvestition von 25.000 € für ein neues Wärmepumpenaggregat notwendig. Auch bei dem Infrarotsystem wird eine Reinvestition für elektronische Bauteile wie Thermostate oder Sicherheitstemperturfühler sowie ein Austausch des Elektro-Boilers berücksichtigt. Dafür wird nach 20 Jahren ein Betrag von 3.500 € angesetzt. Die Amortisationszeit sinkt bei dieser Betrachtung auf 35 Jahre, was jedoch immer noch nicht wirtschaftlich ist, weil die Lebenserwartung einer Wärmepumpe wesentlich geringer ausfällt.

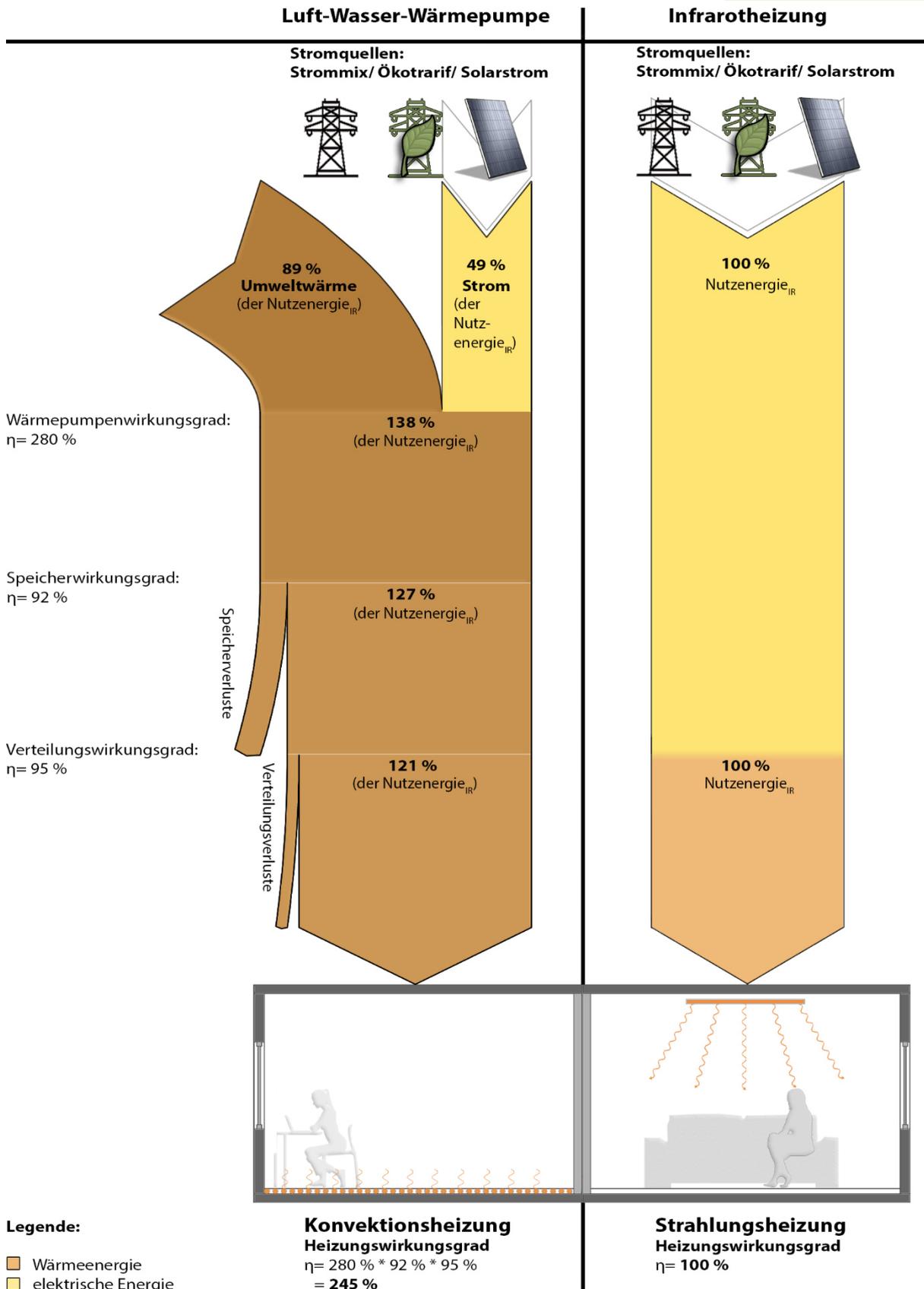


Abbildung 4: Wirkungsgrad-Vergleich zwischen Konvektions- und Strahlungsheizung (mit Feldtest-Werten)

Tabelle 3: Energieeinsatz und Anteil an Nutzenergie_{IR+B} (mit Feldtest-Werten)

Position	Luft-Wasser-WP Energie in kWh/a	Nutzenergie _{IR+B} in %*	IR-Heizung + 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.

Tabelle 4: Kostenvergleich der Heizsysteme (mit Feldtest-Werten)

Position	Einheit	Luft-Wasser-WP	IR-Heizung + Boiler	Differenz
Investitionskosten mit Trinkwarmwasserbereitung*	€	55.000	14.000	41.000
Wärmeenergie erzeugt	kWh/a	7.430	6.370	1.060
Stromtarif*	€/kWh	0,40	0,40	0,00
Strom eingesetzt	kWh/a	2.650	6.370	3.720
Stromkosten*	€/a	1.060	2.548	1.488
Betriebsgebundene Kosten*	€/a	300	0	300
Laufende Gesamtkosten	€/a	1.360	2.548	1.188
Amortisationszeit (ohne Reinvestitionen)	Jahre	35	-	-

*Stand Januar 2023

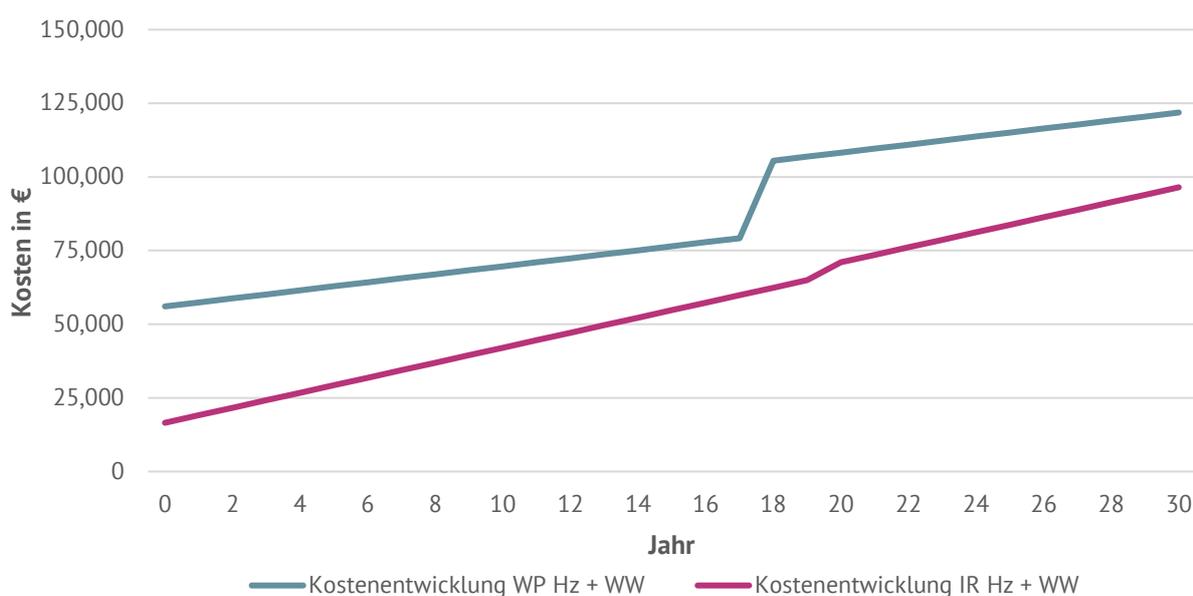


Abbildung 5: Kostenübersicht (mit Feldtest-Werten; kumuliert)

Fazit und Ausblick

Die Infrarot-Variante ist bei dem Vergleich der Systeme eindeutig die wirtschaftlichere, da die Lebensdauer der Wärmepumpe geringer ausfällt als ihre Amortisationszeit und damit eine Amortisation unmöglich ist.

Wenn die eingesparten Investitionskosten genutzt werden, um das Energiesystem mit einer PV-Anlage und zugehörigem Akku zu erweitern, kann mit der Kombination aus Infrarotheizung, Warmwasserboiler, PV-Anlage und Akku noch wirtschaftlicher agiert werden. 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“⁶, wurden anhand von Berechnungen ökologische und ökonomische Vorteile eines PV-Infrarot-Systems gegenüber einem Wärmepumpen-Fußbodenheizungs-System prognostiziert.

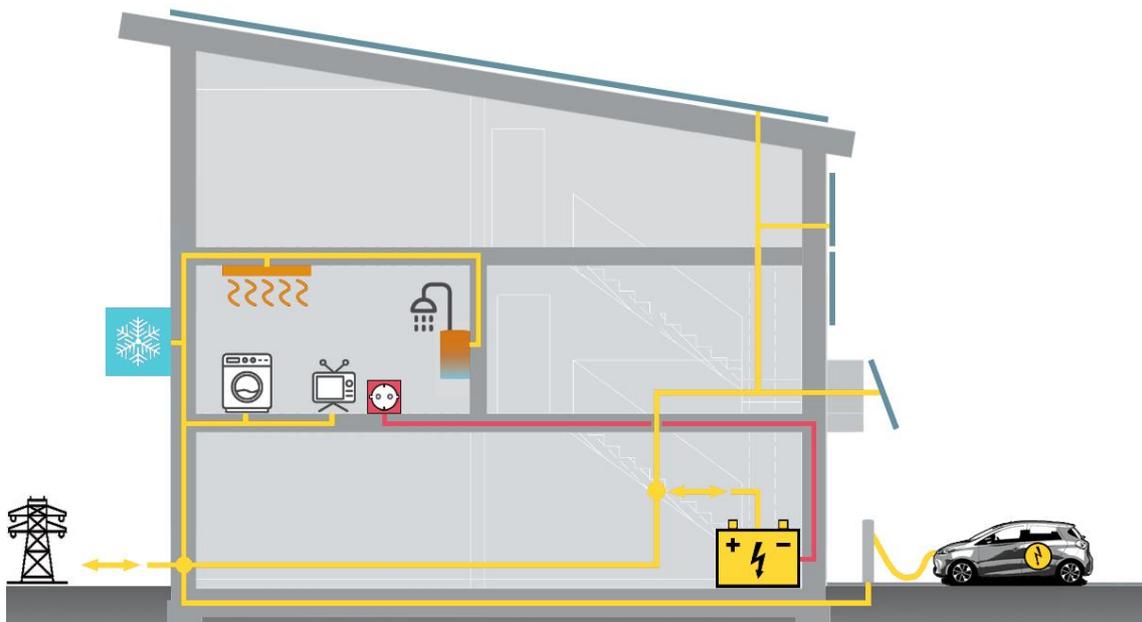


Abbildung 6: Neue Gebäude haben immer weniger Heizwärmebedarf. Deswegen ist in Zukunft eine komplett elektrische und wartungsfreie Energieversorgung des Gebäudes mit Wärme, Warmwasser, Haushalt und E-Auto eine Alternative zu wasserführenden Heizsystemen.

⁶ Quelle: Forschungsprojekt „IR-Bau“; Projektabschlussbericht: Stand: 02/2020; Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.11