



Energetische Bewertung des Flächenheizungssystems *cufix* der Schmöle GmbH

Auftraggeber: Schmöle GmbH
Postfach 1462
58720 Fröndenberg

Bearbeiter: Dr.-Ing. Daniel Buchenhorst
Fachbereichsleiter Energietechnik
E-Mail: daniel.buchenhorst@tuev-thuringen.de
Telefon: 0151 2033 1692

Auftragsnummer: 1AU-235825

Berichtsnummer: 1AU-235825/3116/02

Seitenzahl: 10 Seiten zzgl. 2 Anhänge mit insgesamt 13 Seiten

Bearbeitungsstand: 07.02.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Zielstellung	3
2	Energetische Bewertung	3
2.1	Allgemeine Vorgehensweise und Methodik	3
2.2	Systembeschreibung cufix.....	5
2.3	Systembeschreibung Referenzsystem	5
2.4	Einfluss der Vorlauftemperatur auf die Effizienz der Wärmepumpe	6
2.5	Berechnungen und Ergebnisse	7
3	Zusammenfassung	10
4	Abkürzungen und Begriffe	11
5	Verzeichnis der Anhänge	11

1 Ausgangslage und Zielstellung

Die Schmöle GmbH entwickelt und vertreibt das Flächenheizungssystem *cufix*. Nach Angaben des Herstellers ergeben sich bei Verwendung des *cufix*-Systems im Vergleich zu einem konventionellen Flächenheizungssystem folgende Vorteile:

- höhere spezifische Flächenheizleistung bei gleicher Vorlauftemperatur bzw. Betrieb mit geringerer Vorlauftemperatur bei gleicher spezifischer Flächenheizleistung
- geringere Druckverluste aufgrund einer größeren Rohrteilung und der Möglichkeit der Tichelmann-Verschaltung der einzelnen *cufix*-Elemente.

Der TÜV Thüringen e.V. wurde beauftragt, das Flächenheizungssystem *cufix* hinsichtlich der zu erwartenden Vorteile energetisch zu bewerten.

2 Energetische Bewertung

2.1 Allgemeine Vorgehensweise und Methodik

Gemäß der Aufgabenstellung war festzustellen, ob sich durch die Verwendung des Flächenheizungssystems *cufix* energetische Vorteile gegenüber einer konventionellen Fussbodenheizung ergeben.

Energetisches Einsparpotential kann sich ergeben durch

- eine geringere Vorlauftemperatur, die zur Erreichung einer vorgegebenen Wärmeleistung notwendig ist und/ oder
- geringere Druckverluste der Fußbodenheizung.

Die energetische Bewertung wurde im ersten Schritt für ein typisches Referenzgebäude durchgeführt und abschließend durch theoretische Betrachtungen ergänzt.

Für die Vergleichsrechnungen im ersten Schritt wurden verschiedene Szenarien betrachtet, die sich hinsichtlich des spezifischen Heizwärmebedarfs unterscheiden. Die Beheizung des Referenzgebäudes soll bei allen Szenarien durch eine Wärmepumpe erfolgen.

Tabelle 1: Annahmen zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs

Szenario	spezifischer Heizwärmebedarf
A - hochwertig sanierter Altbau	50 W/m ²
B - Niedrigenergiehaus mit effizienter Anlagentechnik (Neubauten ab 2009)	35 W/m ²
C - Passivhausstandard	20 W/m ²

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit wurden bei den Berechnungen gleiche Randbedingungen gewählt. Dazu zählen insbesondere:

- Verlegung des Fußbodenheizungssystems in Zementestrich mit einer Wärmeleitfähigkeit von 1,2 W/mK und 45 mm Rohrüberdeckung
- Berücksichtigung des Wärmeleitwiderstands des Bodenbelags

- gleichmäßige Belegung der zur Verfügung stehenden Bodenfläche ohne Unterscheidung zwischen Rand- und Aufenthaltszonen
- hydraulischer Abgleich der Heizkreise
- Bereitstellung der Heizwärme über die gleiche Wärmepumpe
- gleiche Temperaturspreizung (5 K)

Die Vorgehensweise ist für beide Betrachtungsfälle (cufix-System, konventionelle FBH) und jedes Szenario identisch und lässt sich wie folgt skizzieren:

1. Ermittlung des Wärmebedarfs der einzelnen Räume des Referenzgebäudes unter Zugrundelegung des in Tabelle 1 angegebenen spezifischen Heizwärmebedarfs
2. Erstellung eines Verlegeplans
 - a. cufix-System
 - Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Fußbodenfläche durch Belegung mit vorgefertigten cufix-Standardelementen (3 m / 2 m Länge, 850 mm Breite)
 - keine Differenzierung zwischen Rand- und Aufenthaltszone
 - Tichelmann-Verschaltung der cufix-Elemente
 - b. Referenzsystem
 - Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Fußbodenfläche durch gleichförmige Belegung mit einem Rohrabstand von 200 mm, bifilare Rohrführung
 - keine Differenzierung zwischen Rand- und Aufenthaltszone
 - bei größeren Räumen: Aufteilung auf mehrere Heizkreise zur Einhaltung der maximal zulässigen Leitungslänge gemäß den Vorgaben der Hersteller
3. Ermittlung der erforderlichen Mindest-Vorlauftemperatur zur Deckung des Wärmebedarfs des ungünstigsten Raumes.
4. Ermittlung des zur Deckung des Raumheizbedarfs erforderlichen Volumenstromes je Heizkreis und des zugehörigen Druckverlustes.
5. Ermittlung des Druckverlustes des ungünstigsten Heizkreises sowie der zum hydraulischen Abgleich erforderlichen Drosselverluste der restlichen Heizkreise.
6. Ermittlung der erforderlichen Pumpenarbeit der Umwälzpumpe anhand des Gesamtvolumenstroms und der Gesamtdruckverluste.
7. Ermittlung des Elektroenergiebedarfs zum Betrieb der Wärmepumpe anhand der von der Mindest-Vorlauftemperatur abhängigen Leistungszahl der Wärmepumpe.
8. Ermittlung des jährlichen Gesamtenergieverbrauchs und der prozentualen Energieeinsparung bezogen auf das Referenzsystem.

2.2 Systembeschreibung cufix

Ein cufix-Flächenheizsystem wird aus einzelnen vorgefertigten Heizelementen aufgebaut. Die Heizelemente bestehen aus mit Aluminium-Wärmeleitblechen versehenem Kupferrohr (12 mm x 0,5 mm), das mäanderförmig auf einem Aluminium-Grundblech verlegt ist. Die Wärmeleitbleche sind auf das Grundblech aufgeklebt.

Die einzelnen cufix-Elemente werden mit Baulängen von 2 m und 3 m hergestellt. Mehrere cufix-Elemente können in Reihenschaltung oder in einer Parallelschaltung nach dem Tichelmann-Prinzip miteinander kombiniert werden. Die einzelnen Elemente werden durch Pressverbinder miteinander verbunden.

Der für die wärmetechnische Auslegung der Fußbodenheizung relevante äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient beträgt bei Verlegung in Zementestrich $5,848 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) /3/$.

Für die energetische Bewertung wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Verlegung in Zementestrich mit 45 mm Rohrüberdeckung
- Tichelmann-Verschaltung der cufix-Elemente
- Elementabstand (Auslastung): 200 mm
- Zuleitungen als Stangenrohr (Cu, 18 x 1 mm)
- äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient (Steigung der Kennlinie): $5,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

2.3 Systembeschreibung Referenzsystem

Für das zugrunde gelegte Referenzsystem wurden folgende Annahmen getroffen:

- Flächenheizungssystem bestehend aus Kunststoffverbundrohr (16 x 2 mm) in Zementestrich mit 45 mm Rohrüberdeckung; Ausführung der Zuleitung aus dem gleichen Rohrmaterial
- Verlegung / Befestigung der Rohre mittels Clips / Tackersystem
- Beschränkung der maximalen Heizkreislänge auf 120 m entsprechend den Verlegehinweisen der Hersteller; bei größeren Räumen Aufteilung auf mehrere Heizkreise
- äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient (Steigung der Kennlinie): $4,88 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

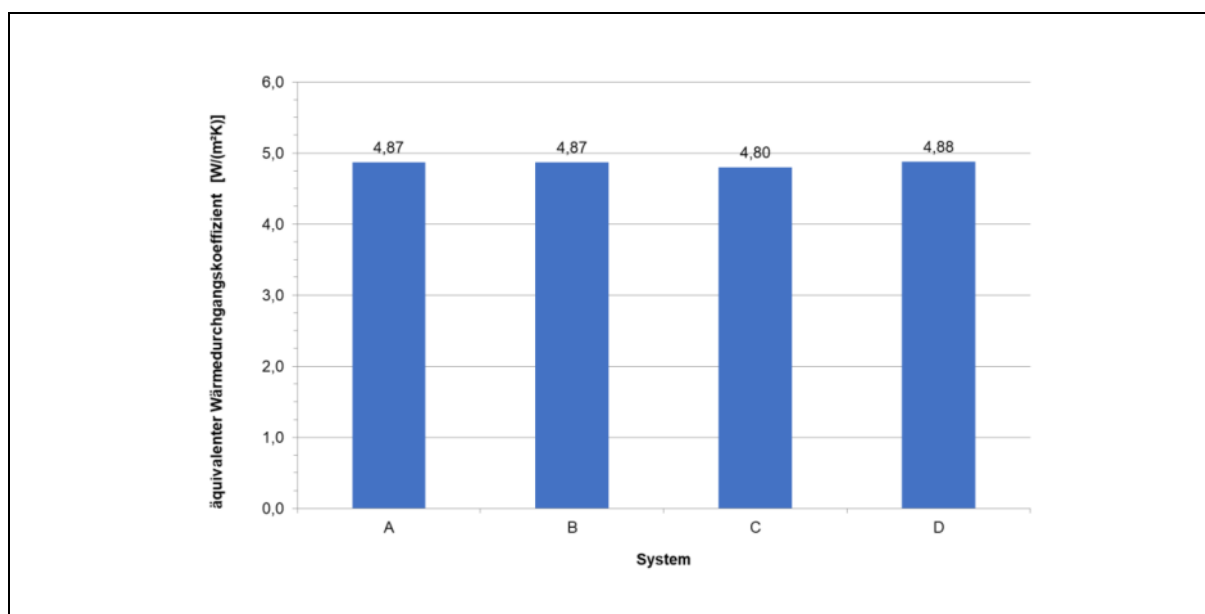


Abbildung 1: Äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient verschiedener konventioneller Fußbodenheizungssysteme (Nassverlegung in Zementestrich).

2.4 Einfluss der Vorlauftemperatur auf die Effizienz von Wärmepumpen

Die Effizienz von Wärmepumpen wird maßgeblich beeinflusst von dem durch die Wärmepumpe aufzubringenden Temperaturhub, das heißt der Temperaturdifferenz zwischen der zur Erreichung der Heizleistung erforderlichen Heizwassertemperatur und der Temperatur der zur Verfügung stehenden Wärmequelle (Außenluft / Grundwasser). Grundsätzlich arbeiten Wärmepumpen umso effizienter je geringer dieser Temperaturhub ist.

Als Maß für die Energieeffizienz einer Wärmepumpe ist die Leistungszahl als das Verhältnis aus erzeugter Nutzwärmeleistung und der erforderlichen Antriebsleistung definiert. Die Leistungszahlen von Wärmepumpen werden von den Herstellern für genormte Randbedingungen auf Prüfständen ermittelt. Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen sind dies 7°C Außentemperatur und eine Vorlauftemperatur von 35°C. Unter diesen Bedingungen erreichen marktverfügbare Luft-Wasser-Wärmepumpen Leistungszahlen im Bereich von 4,6 bis 5,2, während die Leistungszahlen bei einer Vorlauftemperatur von 55°C und sonst gleichen Randbedingungen im Bereich von 3,1 bis 4,2 liegen /5/. Eine Erhöhung der Vorlauftemperatur um 20 K hat – je nach Wärmepumpe – einen um 25% bis ca. 60% höheren Elektroenergieverbrauch zur Folge.

Die Leistungszahlen gelten in der Regel für den Betrieb mit voller Last und nur für bestimmte Betriebsbedingungen. Die Betriebsbedingungen einer Wärmepumpenheizung variieren im Laufe eines Jahres deutlich. Deswegen ist die Jahresarbeitszahl, die die im Mittel erreichte Leistungszahl angibt, eigentlich aussagekräftiger für die erreichte Energieeffizienz eines Wärmepumpenheizungssystems.

Für die hier durchgeführten vergleichenden Betrachtungen ist die Höhe der absoluten Leistungs- bzw. Jahresarbeitszahl jedoch nicht von Bedeutung. Zur Ermittlung des sich aus der Verwendung des cufix-Systems ergebenden Einsparpotentials bei sonst gleichen Randbedingungen ist lediglich die Abhängigkeit der Leistungs- bzw. der Arbeitszahl von der Vorlauftemperatur entscheidend.

Zur Bewertung des Einsparpotentials wurde daher auf die von Herstellern unter normierten Bedingungen ermittelten und für mindestens zwei Betriebspunkte (A7/W35 und A7/W55) angegebenen Leistungszahlen zurückgegriffen. Anhand dieser Betriebspunkte wurde für verschiedene marktverfügbare Wärmepumpen jeweils eine lineare Funktion zur Beschreibung der Leistungszahl in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur entwickelt und zur Ermittlung des Einsparpotentials genutzt. Diese Funktionen wurden sowohl zur Ermittlung des Elektroenergiebedarfs der Wärmepumpe bei Verwendung des cufix-Systems als auch bei Verwendung des Referenzsystems zugrunde gelegt. Durch die differentielle Betrachtungsweise werden die mit der Linearisierung einhergehende Modell-/Berechnungsfehler kompensiert.

2.5 Einfluss der Heizwassertemperatur auf die Effizienz von Brennwertheizungen

Bei Brennwertheizungen wird auch die Kondensationsenthalpie des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes zur Erwärmung des Heizwassers genutzt. Die Höhe des maximal möglichen Brennwertnutzens ist insbesondere von der Brennstoffzusammensetzung abhängig und beträgt bei Erdgas H bis zu 12 % des Heizwertes.

Zur Ausnutzung des Brennwerteffektes muss die Heizwassertemperatur deutlich unterhalb des Wasserdampftaupunkts des Abgases liegen. Der Wasserdampftaupunkt ist unter anderem abhängig von den Verbrennungsbedingungen und liegt bei Erdgas H im Bereich von 50°C bis ca. 60°C. Unter Berücksichtigung einer für die Wärmeübertragung erforderlichen Temperaturdifferenz von üblicherweise 10 K ist somit erst ab einer Rücklauftemperatur von deutlich weniger als 50°C von einer signifikanten Ausnutzung des Brennwerteffektes auszugehen.

Bei einer Rücklauftemperatur von 30°C (Abgastemperatur 40°C) kondensieren ca. 73% des im Abgas enthaltenen Wasserdampfs. Damit sind dann ca. 10% der erzeugten Heizwärme auf den Brennwerteffekt zurückzuführen (siehe Abbildung 2, Anhang 2.3). Der durchschnittliche Effizienzgewinn beträgt somit ca. 0,5 % je Kelvin Rücklauftemperaturabsenkung¹.

2.6 Berechnungen und Ergebnisse

Die Berechnungen wurden im ersten Schritt für ein Referenzgebäude durchgeführt und sind im Anhang 2 dokumentiert. Grundlage der Berechnungen bildete ein eingeschossiges Referenzgebäude mit den in Tabelle 2 zusammengefassten Räumen.

Tabelle 2: Räume des Referenzgebäudes und Wärmebedarf

Zimmer	Nutzung	Tiefe	Breite	Fläche	Raumtemperatur	Heizwärmebedarf bei vorgegebenem spezifischen Heizwärmebedarf [*]		
						50 W/m ²	35 W/m ²	20 W/m ²
		m	m	m ²	°C	W	W	W
Zi01	Wohnen	10,0	6,0	60,0	20	3.000	2.100	1.200
Zi02	Schlafen 1	4,5	5,8	26,3	20	1.313	919	525
Zi03	Schlafen 2	4,5	5,5	24,8	20	1.238	866	495

¹ Der Effizienzgewinn je Kelvin Rücklauftemperaturabsenkung ist genau genommen nicht konstant sondern zeigt die im Anhang 2.3, Abbildung 2 dargestellte Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur.

Zimmer	Nutzung	Tiefe	Breite	Fläche	Raumtemperatur	Heizwärmebedarf bei vorgegebenem spezifischen Heizwärmebedarf [*]		
						50 W/m ²	35 W/m ²	20 W/m ²
		m	m	m ²	°C	W	W	W
Zi04	Küche	2,7	3,9	10,4	20	520	364	208
Zi06	Bad	4,5	2,7	12,0	24	780	600	420
Zi07	WC	1,5	2,3	3,4	20	171	120	68
Zi08	Abstellraum	1,5	1,3	1,9	20	95	67	38
Gesamt				138,7		6.937	4.856	2.775

(* Bei dem Bad wurden von einem um 15 W/m² erhöhten spezifischen Heizwärmebedarf ausgegangen.

Die Temperaturspreizung wurde vorgegeben. Die erforderliche Vorlauftemperatur zur Bedarfsdeckung des ungünstigsten Raumes wurde berechnet. Die erforderlichen Volumenströme ergeben sich je Heizkreis aus dem zugeordneten Wärmebedarf.

Aus dem Volumenströmen der einzelnen Heizkreise wurden anhand von Herstellerangaben zunächst der spezifische Druckverlust und anhand der Rohrleitungslänge der Druckverlust des jeweiligen Heizkreises berechnet. Der ungünstigste Heizkreis, d.h. der Heizkreis mit dem höchsten Druckverlust, bestimmt die zum hydraulischen Abgleich der restlichen Heizkreise erforderlichen Drosselverluste. Der Gesamtdruckverlust des Heizungssystems wurde anhand des Druckverlusts der Heizkreise und unter pauschaler Berücksichtigung zusätzlicher Druckverluste (Wärmeerzeuger, Verteilung) abgeschätzt.

Der Gesamtvolumenstrom ergibt sich aus den Volumenströmen der einzelnen Heizkreise.

Die mechanische Pumpenleistung wurde anhand des Gesamtvolumenstroms und des Gesamtdruckverlusts berechnet. Unter Annahme eines elektrischen Wirkungsgrades in Höhe von 70% folgt aus der mechanischen Pumpenleistung die erforderliche elektrische Antriebsleistung. Der Elektroenergiebedarf für den Betrieb der Heizungsumwälzpumpe wurde anhand der erforderlichen elektrischen Antriebsleistung und einer angenommenen Betriebszeit in Höhe von 4.800 h/a abgeschätzt.

Bezüglich der Ermittlung des Elektroenergiebedarfs der Wärmepumpe wird auf den Abschnitt 2.4 verwiesen.

Die Ergebnisse der im ersten Teil der energetischen Bewertung durchgeführten Betrachtungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die geringeren Druckverluste des cufix-Systems bedingen eine deutlich geringere elektrische Pumpenarbeit. Einsparungen von mehr als 50% der Pumpenarbeit des Referenzsystems sind realistisch.
2. Der Elektroenergiebedarf für den Betrieb der Umwälzpumpe macht jedoch nur einen Anteil von weniger als 5% des Gesamtenergieverbrauchs des Wärmepumpenheizungssystems aus.
3. Gemessen am Gesamtenergieverbrauch des Wärmepumpenheizungssystems bietet die Möglichkeit der Absenkung der Vorlauftemperatur gegenüber der Reduzierung der Pumpenarbeit ein deutlich höheres energetisches Einsparpotential.

Anhand der Betrachtungen im zweiten Teil der energetischen Bewertung (Anhang 2.2) wurden die Auswirkungen verschiedener Einflussfaktoren auf das energetische Einsparpotential untersucht. Diese Betrachtungen wurden ohne konkreten Bezug zu einem Referenzgebäude durchgeführt. Ausgangspunkt der Betrachtungen bildete der im Vergleich zu einer konventionellen Fußbodenheizung (200 mm Rohrteilung) höhere äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient des cufix-Systems.

Die Berechnungen sind im Anhang 2.2 dokumentiert; die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die bei Verwendung des cufix-Systems erreichbaren Energieeinsparungen sind umso höher je höher die erforderliche Vorlauftemperatur der Referenz-Fußbodenheizung ist.
2. Bei Verwendung des cufix-Systems können bei sonst gleichen Randbedingungen die erforderlichen Wärmeleistungen mit einer bis zu 4,2 K geringeren Vorlauftemperatur realisiert werden.
3. Der Elektroenergiebedarf von Wärmepumpen reduziert sich um 1 bis 2,5 Prozent je Kelvin Vorlauftemperaturabsenkung. Die konkrete Höhe der zu erwartenden Energieeinsparung ist von der Wärmepumpe abhängig und kann nur anhand der entsprechenden Herstellerangaben ermittelt werden.
4. Gegenüber einer konventionellen Fußbodenheizung können bei Verwendung des cufix-Systems realistisch bis zu 10% des Elektroenergiebedarfs der Wärmepumpe ohne Einschränkung hinsichtlich der Behaglichkeit eingespart werden.

3 Zusammenfassung

Die Schmöle GmbH hat den TÜV Thüringen e.V. beauftragt, die sich aus der Verwendung des Flächenheizungssystems *cufix* ergebenden energetischen Vorteile zu bewerten. Dafür wurde das *cufix*-System einer vergleichenden energetischen Bewertung unterzogen; die Referenz bildete eine konventionelle Fußbodenheizung. Die Methodik der energetischen Bewertung ist im Kapitel 2 beschrieben.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Bei Verwendung des *cufix*-Systems sind zur Erreichung der Wärmeleistung einer konventionellen Fußbodenheizung geringere Vorlauftemperaturen ausreichend. Bei geringeren Vorlauftemperaturen können Wärmeerzeuger, wie zum Beispiel Wärmepumpen und Brennwert-Heizkessel, mit höherem Wirkungsgrad betrieben werden.


Das Absenkpotential hinsichtlich der Vorlauftemperatur ist umso größer, je höher die erforderliche Vorlauftemperatur des konventionellen Flächenheizungssystems ist bzw. wäre. Bei Verwendung des *cufix*-Systems sind um 1,5 K bis zu 4,2 K geringere Vorlauftemperaturen realistisch.

2. Der Elektroenergiebedarf von Wärmepumpen reduziert sich um 1 bis zu 2,5 Prozent je Kelvin Vorlauftemperaturabsenkung. Gegenüber einer konventionellen Fußbodenheizung können bei Verwendung eines *cufix*-Systems somit bis zu 10% des Elektroenergiebedarfs der Wärmepumpe ohne Einschränkung hinsichtlich der Behaglichkeit eingespart werden².
3. Bei Erdgas-Brennwertthermen reduziert sich der Brennstoffbedarf um ca. 0,5 Prozent je Kelvin Temperaturabsenkung. Das sich durch die Verwendung des *cufix*-Systems ergebende Brennstoff-Energieeinsparpotential ist umso höher, je höher die erforderlichen Heizwassertemperaturen sind, was typischerweise bei Bestandsgebäuden der Fall ist.
4. Die Verschaltung von *cufix*-Elementen nach dem Tichelmann-Prinzip bewirkt eine gleichmäßige Wärmeverteilung bei gleichzeitig sehr geringeren Druckverlusten. Dadurch kann der Elektroenergiebedarf für den Betrieb der Heizungsumwälzpumpe deutlich reduziert werden. Einsparungen von mehr als 60% des Elektroenergiebedarfs der Heizungsumwälzpumpe sind realistisch.
5. Die Verschaltung von *cufix*-Elementen nach dem Tichelmann-Prinzip ermöglicht auch die Realisierung großer Heizflächen mit nur einem Heizkreis. Die bei einer konventionellen Fußbodenheizung bestehenden Restriktionen hinsichtlich der maximal zulässigen Rohrleitungslänge in einem Heizkreis bestehen bei dem *cufix*-System in der Regel nicht; selbst größere Räume (40 - 60 m²) können mit einem Heizkreis beheizt werden.

² Bezugsgröße ist das Referenzsystem (konventionelle FBH). Das konkrete Einsparpotential ist abhängig vom Wärmebedarf und der Dimensionierung der FBH sowie der Bauart/ Ausführung der Wärmepumpe.

Für den Inhalt und die Erstellung:

Leipzig, den 07.02.2022
Ort, Datum


Dr.-Ing. Daniel Buchenhorst

4 Abkürzungen und Begriffe

Abkürzungen

FBH Fussbodenheizung

5 Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1 Bearbeitungsgrundlagen

Anhang 2 Berechnungstabellen zur energetischen Bewertung

Anhang 1 – Bearbeitungsgrundlagen

- /1/ Technische Informationen & Einbauanleitungen cufix®, Schmöle GmbH, 03/2021
- /2/ Verlege-Hinweise cufix®, Schmöle GmbH, 03/2021
- /3/ Prüfbericht 21.57.SMÖ.001, Cufix mit Gussasphalt, WSPLab Dr.-Ing. Frank Bitter, 13.08.2021
- /4/ Prüfbericht 21.57.SMÖ.002, Cufix mit Zementestrich, WSPLab Dr.-Ing. Frank Bitter, 13.08.2021
- /5/ Herstellerangaben zu den Fußbodenheizungssystemen
 - Athetherm Athe-CoNtact 45mm
 - ROTH Werke GmbH
 - KE Kelit Kunststoffwerke GmbH
 - Prineto, Tackersystem
- /6/ Herstellerunterlagen zu den Wärmepumpen
 - Viessmann, Vitocal 250-A
 - Weishaupt, WBB12-A-RMD-AJ
 - Ochsner, Air hawk 518 C11A
 - NIBE, F2120-12
 - Stiebel Eltron, WPL-19
 - Weider, LW 140
 - Wolf, BWS-1
 - Heim AG Heizsysteme, SWHi 2-34
 - Hautech, HCS-PN 30
- /7/ Wärmepumpen Effizienz - Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Kurzfassung, 27. Mai 2011
- /8/ Abschlussbericht „WPsmart im Bestand“, Förderkennzeichen: 03ET1272A, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Version 2.1, Stand: 23.07.2020

**Anhang 2 – Berechnungstabellen
zur energetischen Bewertung**

Anhang 2 - Energetische Bewertung, Teil 1

Standard-Fußbodenheizung

Szenario	A - hochwertig sanierter Altbau
spez. Heizwärmebedarf	50,0 W/m ²
Vorlauf	t _v 39,2 °C
Rücklauf	t _R 33,2 °C
Spreizung	Δt 6,0 K
mittlere Heizmitteltemperatur	t _{Hm} 36,2 °C
spez. Wärmekapazität	c _p 4,18 kJ/kgK
Dichte	ρ 994 kg/m ³

Material	Prineto (14x2,0)
Außendurchmesser	14,0 mm
Wandstärke	2,0 mm
Querschnitt	7,85E-05 m ²

Raum / Heizkreis	Wärmebedarf	Verlegeabstand	mittlere Heizmittel- über- temperatur	Fuß- boden- belag	Wärme- leitwider- stand Bodenbelag	spez. Heiz- leistung	Wärme- strom- dichte	install. Heiz- leistung	Dimen- sionier- ung	Volumen- strom gesamt	Ström.- geschw.	spez. Druck- verlust	Leitungslänge			Druckverlust		
													Heiz- fläche	Zulei- tung	gesamt Heiz- kreis	Δp _{V,HK} Heiz- kreis	Δp _{V,z} f. hydraul. Abgleich	Δp _V gesamt
	W	m	K		m ² K/W	W/m ² K	W/m ²	W	%	Liter/s	m/s	mbar/m	m	m	m	mbar	mbar	mbar
Heizkreis 1	615	0,2	16,2	A	0,015	4,5	73,8	888	144%	0,025	0,31	1,76	57,9	13,0	70,9	125,0	206,2	331,2
Küche	520	0,2	16,2	A	0,015								51,0					
Abstellraum	95	0,2	16,2	A	0,015								7,0					
Wohnen	3.000	0,2	16,2					3.093	103%									
Heizkreis 2	465	0,2	16,2	C	0,050	3,9	63,7	467		0,019	0,24	1,00	32,4	11,0	43,4	43,6	287,6	331,2
Heizkreis 3	665	0,2	16,2	C	0,050	3,9	63,7	659		0,027	0,34	2,06	46,4	14,0	60,4	124,1	207,1	331,2
Heizkreis 4	626	0,2	16,2	C	0,050	3,9	63,7	667		0,025	0,32	1,82	43,7	18,0	61,7	112,4	218,8	331,2
Heizkreis 5	632	0,2	16,2	C	0,050	3,9	63,7	666		0,025	0,32	1,86	44,1	21,0	65,1	121,1	210,2	331,2
Heizkreis 6	613	0,2	16,2	C	0,050	3,9	63,7	635		0,025	0,31	1,75	42,7	26,0	68,7	120,0	211,2	331,2
Schlafen 1	1.313	0,2	16,2					1.490	114%									
Heizkreis 7	630	0,2	16,2	C	0,050	3,9	63,7	718		0,025	0,32	1,85	52,0	26,0	78,0	144,1	187,2	331,2
Heizkreis 8	683	0,2	16,2	C	0,050	3,9	63,7	773		0,027	0,35	2,17	56,3	21,0	77,3	167,6	163,6	331,2
Bad	780	0,1	12,2					780	100%									
Heizkreis 9	780	0,1	12,2	A	0,015	5,9	72,0	780		0,031	0,40	2,83	104,0	13,0	117,0	331,2	0,0	331,2
Schlafen 2	1.238	0,2	16,2					1.490	120%									
Heizkreis 10	670	0,2	16,2	C	0,050	3,9	63,7	800		0,027	0,34	2,09	56,4	11,0	67,4	141,0	190,2	331,2
Heizkreis 11	567	0,2	16,2	C	0,050	3,9	63,7	690		0,023	0,29	1,50	47,8	13,0	60,8	91,0	240,3	331,2
WC	171	0,2	16,2	A	0,015	4,5	73,8	184	107%	0,007	0,09	0,14	11,1	13,0	24,1	3,3	327,9	331,2
Heizkreis 12																		
Gesamt	7.117							7.742	100%	0,285			595	200	795	331,2		

Anhang 2 - Energetische Bewertung, Teil 1

Flächenheizung cufix

Szenario	A - hochwertig sanierter Altbau	
spez. Heizwärmebedarf	50 W/m ²	
Vorlauf	t _V	36,0 °C
Rücklauf	t _R	30,0 °C
Spreizung	Δt	6,0 K
mittlere Heizmitteltemperatur	t _{fm}	33,0 °C
spez. Wärmekapazität	c _p	4,18 kJ/kgK
Dichte	ρ	994 kg/m ³

	cufix-Modul	Zuleitung
Material	cufix (12x0,5)	cufix (18x1,0)
Außendurchmesser	12,0 mm	18,0 mm
Wandstärke	0,5 mm	1,0 mm
Querschnitt	9,50E-05 m ²	2,01E-04 m ²

Raum / Heizkreis	Wärmebedarf	mittlere Heizmittel- übertemp.	Boden- belag	Wärme- leitwider- stand Bodenbelag	Anzahl der cufix- Module	Modul- länge	Modul- art	spez. Heiz- leistung	Wärme- strom- dichte	Heiz- fläche	install. Heiz- leistung	Dimen- sionier- ung	Volumenstrom		Strömungsgeschw.		spez. Druckverlust		Leitungslänge		Druckverlust						
													je Modul	in der Zuleitung	je Modul	in der Zuleitung	je Modul	in der Zuleitung	je Modul	Zu- leitung	ΔP _{V,M} Modul	ΔP _{V,ZL} Zu- leitung	ΔP _{V,HK} Heiz- kreis	ΔP _{V,z f.} hydraul. Abgleich	ΔP _V gesamt		
Heizkreis 1	615										760	124%															
Küche	520	13,0	X	0,000	4	2,5	T250	5,8	76,0	10,0	760		0,006	0,025	0,065	0,12	0,05	0,10	7,8	21	0,4	2,1	2,5	42,3	44,8		
Abstellraum	95	13,0	X	0,000																							
Wohnen	3.000	13,0	X	0,000	9						3.425	114%															
Heizkreis 2	2.997	13,0	X	0,000	9	5,0	T250	5,8	76,0	45,0	3.422		0,013	0,120	0,141	0,60	0,23	2,37	19,5	17	4,5	40,3	44,8	0,0	44,8		
Heizkreis 3	3	13,0	X	0,000	0	4,0	T250	5,8	76,0	0,0	3		0,013	0,000	0,141	0,00	0,23	0,00	19,5	31	4,5	0,0	4,5	40,3	44,8		
Schlafen 1																											
Heizkreis 4	1.313	13,0	X	0,000	4	5,0	T250	5,8	76,0	20,0	1.521	116%	0,013	0,053	0,139	0,26	0,22	0,46	19,5	17	4,3	7,7	12,1	32,7	44,8		
Bad																											
Heizkreis 5	780	9,0	X	0,000	2	5,0	T125	8,8	79,0	10,0	790	101%	0,016	0,031	0,165	0,16	0,31	0,16	19,5	17	6,1	2,7	8,9	35,9	44,8		
Schlafen 2																											
Heizkreis 6	1.238	13,0	X	0,000	4	5,0	T250	5,8	76,0	20,0	1.521	123%	0,012	0,050	0,131	0,25	0,20	0,40	19,5	17	3,9	6,9	10,7	34,1	44,8		
WC																											
Heizkreis 7	171	13,0	X	0,000	1	1,5	T125	8,8	114,1	1,5	171	100%	0,007	0,007	0,072	0,03	0,06	0,01	19,5	17	1,2	0,1	1,3	43,5	44,8		
Gesamt	3.787													0,285						137				max: 44,8	44,8		

Fußbodenbelag: A - Naturstein, Fließen (Stärke < 15 mm); B - Naturstein, Fließen (Stärke < 25 mm); C - Parkett / Laminat; X - ohne Belag
 Modulart: T250 - Standardmodul mit 250 mm Teilung; T125 - Hochleistungsmodul mit 125 mm Teilung

Anhang 2 - Energetische Bewertung, Teil 1

Standard-Fußbodenheizung

Szenario	B - Niedrigenergiehaus mit effizienter Anlagentechnik (Neubauten ab 2009)		
spez. Heizwärmebedarf		35,0 W/m ²	
Vorlauf	t _v	35,1 °C	
Rücklauf	t _R	30,1 °C	
Spreizung	Δt	5,0 K	
mittlere Heizmitteltemperatur	t _{Hm}	32,6 °C	
spez. Wärmekapazität	c _p	4,18 kJ/kgK	
Dichte	ρ	994 kg/m ³	

Material	Prineto (14x2,0)
Außendurchmesser	14,0 mm
Wandstärke	2,0 mm
Querschnitt	7,85E-05 m ²

Raum / Heizkreis	Wärmebedarf	Verlegeabstand	mittlere Heizmittel- übertemperatur	bodenbelag	Wärmeleitwiderstand Bodenbelag	spez. Heizleistung	Wärmeleistungsdichte	install. Heizleistung	Dimensionierung	Volumenstromgesamt	Ström.geschw.	spez. Druckverlust	Leitungslänge			Druckverlust		
													Heizfläche	Zuleitung	gesamt Heizkreis	Δp _{V,HK} Heizkreis	Δp _{V,z} f. hydraul. Abgleich	Δp _V gesamt
	W	m	K		m ² K/W	W/m ² K	W/m ²	W	%	Liter/s	m/s	mbar/m	m	m	m	mbar	mbar	mbar
Heizkreis 1	431	0,2	12,6	X	0,000	4,9	61,4	739	171%	0,021	0,26	1,24	57,9	13,0	70,9	88,2	194,0	282,2
Küche	364	0,2	12,6	X	0,000								51,0					
Abstellraum	67	0,2	12,6	X	0,000								7,0					
Wohnen	2.100	0,2	12,6					2.982	142%									
Heizkreis 2	325	0,2	12,6	X	0,000	4,9	61,4	450		0,016	0,20	0,71	32,4	11,0	43,4	30,8	251,4	282,2
Heizkreis 3	465	0,2	12,6	X	0,000	4,9	61,4	635		0,022	0,29	1,45	46,4	14,0	60,4	87,6	194,7	282,2
Heizkreis 4	438	0,2	12,6	X	0,000	4,9	61,4	643		0,021	0,27	1,29	43,7	18,0	61,7	79,3	202,9	282,2
Heizkreis 5	443	0,2	12,6	X	0,000	4,9	61,4	642		0,021	0,27	1,31	44,1	21,0	65,1	85,4	196,8	282,2
Heizkreis 6	429	0,2	12,6	X	0,000	4,9	61,4	612		0,021	0,26	1,23	42,7	26,0	68,7	84,7	197,5	282,2
Schlafen 1	919	0,2	12,6					1.436	156%									
Heizkreis 7	441	0,2	12,6	X	0,000	4,9	61,4	692		0,021	0,27	1,30	52,0	26,0	78,0	101,6	180,6	282,2
Heizkreis 8	478	0,2	12,6	X	0,000	4,9	61,4	745		0,023	0,29	1,53	56,3	21,0	77,3	118,3	164,0	282,2
Bad	600	0,1	8,6					600	100%									
Heizkreis 9	600	0,1	8,6	X	0,000	6,5	55,4	600		0,029	0,37	2,41	104,0	13,0	117,0	282,2	0,0	282,2
Schlafen 2	866	0,2	12,6					1.436	166%									
Heizkreis 10	469	0,2	12,6	X	0,000	4,9	61,4	771		0,023	0,29	1,48	56,4	11,0	67,4	99,5	182,7	282,2
Heizkreis 11	397	0,2	12,6	X	0,000	4,9	61,4	665		0,019	0,24	1,06	47,8	13,0	60,8	64,2	218,0	282,2
WC	120	0,2	12,6	X	0,000	4,9	61,4	153	128%	0,006	0,07	0,10	11,1	13,0	24,1	2,3	279,9	282,2
Heizkreis 12																		
Gesamt	5.036							7.193		0,242			595	200	795	max: 282,2		

Anhang 2 - Energetische Bewertung, Teil 1

Flächenheizung cufix

Szenario B - Niedrigenergiehaus mit effizienter Anlagentechnik (Neubauten ab 2009)

spez. Heizwärmebedarf		35 W/m ²
Vorlauf	t _v	33,3 °C
Rücklauf	t _r	28,3 °C
Spreizung	Δt	5,0 K
mittlere Heizmitteltemperatur	t _{hm}	30,8 °C
spez. Wärmekapazität	c _p	4,18 kJ/kgK
Dichte	ρ	994 kg/m ³

Material	cufix-Modul	Zuleitung
Außendurchmesser	cufix (12x0,5)	cufix (18x1,0)
Wandstärke	12,0 mm	18,0 mm
Querschnitt	0,5 mm	1,0 mm
	9,50E-05 m ²	2,01E-04 m ²

Raum / Heizkreis	Wärmebedarf	mittlere Heizmittel- übertemp.	Boden- belag	Wärme- leitwider- stand Bodenbelag	Anzahl der cufix- Module	Modul- art	spez. Heiz- leistung	Wärme- strom- dichte	Heiz- fläche	install. Heiz- leistung	Dimen- sionier- ung	Volumenstrom		Strömungsgeschw.		spez. Druckverlust		Leitungslänge		Druckverlust				
												je Modul	in der Zuleitung	je Modul	in der Zuleitung	je Modul	in der Zuleitung	je Modul	Zu- leitung	ΔP _{v, M} Modul	ΔP _{v, ZL} Zu- leitung	ΔP _{v, HK} Heiz- kreis	ΔP _{v, z f.} hydraul. Abgleich	ΔP _v gesamt
	W	K	-	m ² K/W	St.	-	W/m ² K	W/m ²	m ²	W	%	Liter/s	Liter/s	m/s	m/s	mbar/m	mbar/m	m	m	mbar	mbar	mbar	mbar	mbar
Heizkreis 1	431									634	147%													
Küche	364	10,8	X	0,000	4	T250	5,8	63,4	10,0	634		0,005	0,021	0,055	0,10	0,03	0,07	7,8	21	0,3	1,5	1,8	11,7	13,4
Abstellraum	67	10,8	X	0,000																				
Wohnen	2.100	10,8	X	0,000	9					2.853	136%													
Heizkreis 2	1.167	10,8	X	0,000	5	T250	5,8	63,4	25,0	1.585		0,011	0,056	0,118	0,28	0,16	0,52	19,5	17	3,2	8,8	12,0	1,5	13,4
Heizkreis 3	933	10,8	X	0,000	4	T250	5,8	63,4	20,0	1.268		0,011	0,045	0,118	0,22	0,16	0,33	19,5	31	3,2	10,3	13,4	0,0	13,4
Schlafen 1																								
Heizkreis 4	919	10,8	X	0,000	4	T250	5,8	63,4	20,0	1.268	138%	0,011	0,044	0,116	0,22	0,16	0,32	19,5	17	3,1	5,5	8,5	4,9	13,4
Bad																								
Heizkreis 5	600	6,8	X	0,000	2	T125	8,8	60,0	10,0	600	100%	0,014	0,029	0,152	0,14	0,27	0,14	19,5	17	5,2	2,3	7,5	5,9	13,4
Schlafen 2																								
Heizkreis 6	866	10,8	X	0,000	4	T250	5,8	63,4	20,0	1.268	146%	0,010	0,042	0,110	0,21	0,14	0,29	19,5	17	2,7	4,9	7,6	5,9	13,4
WC																								
Heizkreis 7	120	10,8	X	0,000	1	T125	8,8	95,1	1,5	143	119%	0,006	0,006	0,061	0,03	0,04	0,01	19,5	17	0,8	0,1	0,9	12,5	13,4
Gesamt	2.651												0,242						137				max: 13,4	13,4

Fußbodenbelag: A - Naturstein, Fliesen (Stärke < 15 mm); B - Naturstein, Fliesen (Stärke < 25 mm); C - Parkett / Laminat; X - ohne Belag
Modulart: T250 - Standardmodul mit 250 mm Teilung; T125 - Hochleistungsmodul mit 125 mm Teilung

Anhang 2 - Energetische Bewertung, Teil 1

Standard-Fußbodenheizung

Szenario	C - Passivhausstandard
spez. Heizwärmebedarf	20,0 W/m ²
Vorlauf	t _v 32,6 °C
Rücklauf	t _R 28,6 °C
Spreizung	Δt 4,0 K
mittlere Heizmitteltemperatur	t _{Hm} 30,6 °C
spez. Wärmekapazität	c _p 4,18 kJ/kgK
Dichte	ρ 994 kg/m ³

Material	Prineto (14x2,0)
Außendurchmesser	14,0 mm
Wandstärke	2,0 mm
Querschnitt	7,85E-05 m ²

Raum / Heizkreis	Wärmebedarf	Verlegeabstand	mittlere Heizmittel- übertemperatur	Fußbodenbelag	Wärmeleitwiderstand Bodenbelag	spez. Heizleistung	Wärmeleistungsdichte	install. Heizleistung	Dimensionierung	Volumenstromgesamt	Ström.geschw.	spez. Druckverlust	Leitungslänge			Druckverlust		
													Heizfläche	Zuleitung	gesamt Heizkreis	Δp _{V,HK} Heizkreis	Δp _{V,z} f. hydraul. Abgleich	Δp _V gesamt
	W	m	K		m ² K/W	W/m ² K	W/m ²	W	%	Liter/s	m/s	mbar/m	m	m	m	mbar	mbar	mbar
Heizkreis 1	246	0,2	10,6	A	0,015	4,5	48,1	579	235%	0,015	0,19	0,63	57,9	13,0	70,9	45,0	171,1	216,1
Küche	208	0,2	10,6	A	0,015								51,0					
Abstellraum	38	0,2	10,6	A	0,015								7,0					
Wohnen	1.200	0,2	10,6					2.017	168%									
Heizkreis 2	186	0,2	10,6	C	0,050	3,9	41,5	305		0,011	0,14	0,36	32,4	11,0	43,4	15,7	200,4	216,1
Heizkreis 3	266	0,2	10,6	C	0,050	3,9	41,5	430		0,016	0,20	0,74	46,4	14,0	60,4	44,7	171,4	216,1
Heizkreis 4	250	0,2	10,6	C	0,050	3,9	41,5	435		0,015	0,19	0,66	43,7	18,0	61,7	40,5	175,6	216,1
Heizkreis 5	253	0,2	10,6	C	0,050	3,9	41,5	434		0,015	0,19	0,67	44,1	21,0	65,1	43,6	172,5	216,1
Heizkreis 6	245	0,2	10,6	C	0,050	3,9	41,5	414		0,015	0,19	0,63	42,7	26,0	68,7	43,2	172,9	216,1
Schlafen 1	525	0,2	10,6					972	185%									
Heizkreis 7	252	0,2	10,6	C	0,050	3,9	41,5	468		0,015	0,19	0,66	52,0	26,0	78,0	51,9	164,2	216,1
Heizkreis 8	273	0,2	10,6	C	0,050	3,9	41,5	504		0,016	0,21	0,78	56,3	21,0	77,3	60,3	155,7	216,1
Bad	420	0,1	6,6					420	100%									
Heizkreis 9	420	0,1	6,6	A	0,015	5,9	38,8	420		0,025	0,32	1,85	104,0	13,0	117,0	216,1	0,0	216,1
Schlafen 2	495	0,2	10,6					972	196%									
Heizkreis 10	268	0,2	10,6	C	0,050	3,9	41,5	522		0,016	0,21	0,75	56,4	11,0	67,4	50,8	165,3	216,1
Heizkreis 11	227	0,2	10,6	C	0,050	3,9	41,5	450		0,014	0,17	0,54	47,8	13,0	60,8	32,7	183,3	216,1
WC	68	0,2	10,6	A	0,015	4,5	48,1	120	175%	0,004	0,05	0,05	11,1	13,0	24,1	1,2	214,9	216,1
Heizkreis 12																		
Gesamt	2.955							4.960	100%	0,178			595	200	795	216,1		

Anhang 2 - Energetische Bewertung, Teil 1

Flächenheizung cufix

Szenario	C - Passivhausstandard	
spez. Heizwärmebedarf	20	W/m²
Vorlauf	<input type="text" value="31,4"/>	°C
Rücklauf	<input type="text" value="27,4"/>	°C
Spreizung	<input type="text" value="4,0"/>	K
mittlere Heizmitteltemperatur	<input type="text" value="29,4"/>	°C
spez. Wärmekapazität	<input type="text" value="4,18"/>	kJ/kgK
Dichte	<input type="text" value="994"/>	kg/m³

Material	cufix-Modul	Zuleitung
Außendurchmesser	cufix (12x0,5)	cufix (18x1,0)
Wandstärke	12,0 mm	18,0 mm
Querschnitt	0,5 mm	1,0 mm
	9,50E-05 m²	2,01E-04 m²

Raum / Heizkreis	Wärmebedarf	mittlere Heizmittel- übertemp.	Boden- belag	Wärme- leitwider- stand Bodenbelag	Anzahl der cufix- Module	Modul- länge	Modul- art	spez. Heiz- leistung	Wärme- strom- dichte	Heiz- fläche	install. Heiz- leistung	Dimen- sionier- ung	Volumenstrom		Strömungsgeschw.		spez. Druckverlust		Leitungslänge		Druckverlust				
													je Modul	in der Zuleitung	je Modul	in der Zuleitung	je Modul	in der Zuleitung	je Modul	Zu- leitung	ΔP _{V,M} Modul	ΔP _{V,ZL} Zu- leitung	ΔP _{V,HK} Heiz- kreis	ΔP _{V,z.f.} hydraul. Abgleich	ΔP _V gesamt
	W	K	-	m²K/W	St.	m	-	W/m²K	W/m²	m²	W	%	Liter/s	Liter/s	m/s	m/s	mbar/m	mbar/m	m	m	mbar	mbar	mbar	mbar	mbar
Heizkreis 1	246										506	205,7%													
Küche	208	9,4	A	0,015	4	2,5	T250	5,4	50,6	10,0	506		0,004	0,015	0,039	0,07	0,02	0,04	7,8	21	0,1	0,8	0,9	6,0	6,9
Abstellraum	38	9,4	A	0,015																					
Wohnen	1.200	9,4	C	0,050	9						1.918	159,8%													
Heizkreis 2	667	9,4	C	0,050	5	5,0	T250	4,5	42,6	25,0	1.065		0,008	0,040	0,084	0,20	0,08	0,26	19,5	17	1,6	4,5	6,1	0,8	6,9
Heizkreis 3	533	9,4	C	0,050	4	5,0	T250	4,5	42,6	20,0	852		0,008	0,032	0,084	0,16	0,08	0,17	19,5	31	1,6	5,2	6,9	0,0	6,9
Schlafen 1																									
Heizkreis 4	525	9,4	C	0,050	4	5,0	T250	4,5	42,6	20,0	852	162,3%	0,008	0,032	0,083	0,16	0,08	0,16	19,5	17	1,6	2,8	4,3	2,5	6,9
Bad																									
Heizkreis 5	420	5,4	A	0,015	2	5	T125	7,8	42,0	10,0	420	100,0%	0,013	0,025	0,133	0,13	0,20	0,10	19,5	17	4,0	1,8	5,8	1,1	6,9
Schlafen 2																									
Heizkreis 6	495	9,4	C	0,050	4	5,0	T250	4,5	42,6	20,0	852	172,2%	0,007	0,030	0,078	0,15	0,07	0,15	19,5	17	1,4	2,5	3,9	3,0	6,9
WC																									
Heizkreis 7	68	9,4	A	0,015	1	1,5	T125	7,8	73,0	1,5	110	160,0%	0,004	0,004	0,043	0,02	0,02	0,00	19,5	17	0,4	0,0	0,5	6,4	6,9
Gesamt	1.515											100,0%		0,178										max: 6,9	6,9

Fußbodenbelag: A - Naturstein, Fließen (Stärke < 15 mm); B - Naturstein, Fließen (Stärke < 25 mm); C - Parkett / Laminat; X - ohne Belag
 Modulart: T250 - Standardmodul mit 250 mm Teilung; T125 - Hochleistungsmodul mit 125 mm Teilung

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse sowie Ermittlung des Energie-Einsparpotentials für Heizungssystemen mit Wärmepumpen

Parameter	Einheit	FBH	cufix	FBH	cufix	FBH	cufix	FBH	cufix
Wärmebedarf und Betriebsparameter									
spez. Heizwärmebedarf (*)	W/m ²	50	50	35	35	20	20	35	35
Mindest-Vorlauftemperatur	°C	39,2	36,0	35,1	33,3	32,6	31,4	35,1	33,3
Temperaturspreizung	K	6,0	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	5,0	5,0
Wärmepumpe									
Art		Luft-Wasser		Luft-Wasser		Luft-Wasser		Wasser-Wasser	
Jahresarbeitszahl		3,4	3,6	3,6	3,7	3,8	3,9	5,0	5,2
Jahresheizwärmebedarf	kWh/a	12.486	12.486	8.740	8.740	4.994	4.994	8.740	8.740
Elektroenergiebedarf	kWh/a	3.677	3.478	2.398	2.331	1.316	1.292	1.752	1.697
Umwälzpumpe Heizungssystem									
Volumenstrom gesamt	m ³ /h	1,03	1,03	0,87	0,87	0,64	0,64	0,87	0,87
Druckverluste gesamt (**)	mbar	451	165	402	133	336	127	402	133
mech. Pumpenleistung	W	12,9	4,7	9,7	3,2	6,0	2,3	9,7	3,2
Wirkungsgrad Pumpe		70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
elektr. Pumpenleistung	W	18,4	6,7	13,9	4,6	8,5	3,2	13,9	4,6
Jahresbetriebsstunden	h/a	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800
Elektroenergiebedarf	kWh/a	88,3	32,3	66,9	22,2	41,0	15,5	66,9	22,2
prozentuale Einsparung		63%		67%		62%		67%	
Lebenszyklus									
Nutzungsdauer	a	20,0	20	20	20	20	20	20	20
jährlicher Elektroenergiebedarf gesamt	kWh/a	3.765	3.510	2.465	2.353	1.357	1.308	1.818	1.719
Elektroenergiebedarf gesamt	kWh	75.307	70.207	49.294	47.061	27.143	26.153	36.369	34.384
Einsparung	kWh	5.100		2.233		990		1.984	
prozentuale Einsparung		6,8%		4,5%		3,6%		5,5%	
Einsparung je Kelvin Vorlauf- temperaturabsenkung		2,1%/K		2,6%/K		3,1%/K		3,1%/K	

(*) Bad zzgl. 15 W/m²

(**) Druckverlust des ungünstigsten Heizkreises zzgl. 120 mbar

Ermittlung des Energie-Einsparpotentials für Heizungssysteme mit Brennwert-Gasthermen

Parameter	Einheit	FBH	cufix	FBH	cufix	FBH	cufix
Wärmebedarf und Betriebsparameter							
spez. Heizwärmebedarf (*)	W/m ²	50	50	35	35	20	20
Vorlauftemperatur	°C	39,2	36,0	35,1	33,3	32,6	31,4
Rücklauftemperatur	°C	33,2	30,0	30,1	28,3	28,6	27,4
Temperaturspreizung	K	6,0	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0
Brennwert-Therme (Erdgas)							
Wirkungsgrad bez. auf H _o (**)		95,9%	96,9%	96,8%	97,3%	97,2%	97,5%
Jahresheizwärmebedarf	kWh/a	12.486	12.486	8.740	8.740	4.994	4.994
Brennstoffbedarf bez. auf H _o	kWh/a	13.014	12.889	9.024	8.983	5.136	5.121
Umwälzpumpe Heizungssystem							
Volumenstrom gesamt	m ³ /h	1,03	1,03	0,87	0,87	0,64	0,64
Druckverluste gesamt (***)	mbar	451	165	402	133	336	127
mech. Pumpenleistung	W	12,9	4,7	9,7	3,2	6,0	2,3
Wirkungsgrad Pumpe		70%	70%	70%	70%	70%	70%
elektr. Pumpenleistung	W	18,4	6,7	13,9	4,6	8,5	3,2
Jahresbetriebsstunden	h/a	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800
Elektroenergiebedarf	kWh/a	88,3	32,3	66,9	22,2	41,0	15,5
prozentuale Einsparung			63%		67%		62%
Lebenszyklus							
Nutzungsdauer	a	20	20	20	20	20	20
Jahres-Brennstoffbedarf	kWh/a	13.014	12.889	9.024	8.983	5.136	5.121
Brennstoffbedarf im Lebenszyklus	kWh	260.283	257.781	180.489	179.657	102.729	102.425
jährlicher Elektroenergiebedarf gesamt	kWh/a	88	32	67	22	41	15
Elektroenergiebedarf gesamt	kWh	1.766	645	1.337	444	819	309
Einsparung Elektroenergie	kWh	1.121		894		510	
prozentuale Einsparung		63,5%		66,8%		62,3%	
Einsparung je Kelvin Vorlauf- temperaturabsenkung		19,6%/K		38,3%/K		53,1%/K	

Anhang 2 - Energetische Bewertung, Teil 1

Einsparung Brennstoff	kWh	2.502	832	304
prozentuale Einsparung		1,0%	0,5%	0,3%
Einsparung je Kelvin Vorlauf- temperaturabsenkung		0,3%/K	0,3%/K	0,3%/K

(* Bad zzgl. 15 W/m²; (** siehe Anhang A2.3; (***) Druckverlust des ungünstigsten Heizkreises zzgl. 120 mbar

Parameter	Zeichen	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Bemerkungen
äquivalente Wärmestromdichte					
Referenzsystem	$k_{H,Ref, V}$	4,88	4,88	4,88	W/(m²K)
cufix	$k_{H,cufix, V}$	5,85	5,85	5,85	W/(m²K)
Bodenbelag		Naturstein, Fliesen (< 15 mm)	Naturstein, Fliesen (< 25 mm)	Parkett, Laminat	
Wärmeleitwiderstand Bodenbelag		0,015	0,025	0,050	W/(mK)
äquivalente Wärmestromdichte unter Berücksichtigung des Bodenbelags					
Referenzsystem	$k_{H,Ref}$	4,55	4,35	3,92	W/(m²K)
cufix	$k_{H,cufix}$	5,38	5,10	4,53	W/(m²K)
Verhältnis	$k_{H,Ref} / k_{H,cufix}$	85%	85%	87%	---
Raumtemperatur	T_R	20,0	20,0	20,0	°C
Temperaturspreizung	ΔT_{Spr}	5,0	5,0	5,0	K
Hilfsgröße	C	22,5	22,5	22,5	$C = T_R + 0,5 \cdot \Delta T_{Spr}$
<hr/>					
Vorlauftemperatur d. Referenz-FBH		Wärmestromdichte [W/m²] der Referenz-Fussbodenheizung			Vorlauftemperatur d. Referenz-FBH
30,0 °C		32,8	31,4	28,3	30,0 °C
35,0 °C		56,1	53,6	48,4	35,0 °C
40,0 °C		79,0	75,6	68,2	40,0 °C
45,0 °C		101,9	97,5	87,9	45,0 °C
Markierte Bereiche: Überschreitung der zulässigen Grenztemperatur!					
Erforderliche Vorlauftemperatur bei Verwendung des cufix-Systems zur Erreichung der Wärmestromdichte der Referenz-Fussbodenheizung					
		28,6 °C	28,6 °C	28,8 °C	Vorlauftemperatur d. Referenz-FBH
		32,9 °C	33,0 °C	33,2 °C	30,0 °C
		37,2 °C	37,3 °C	37,6 °C	35,0 °C
		41,4 °C	41,6 °C	41,9 °C	40,0 °C
					45,0 °C
Temperaturdifferenz gegenüber der Vorlauftemperatur der Referenz-FBH					
		-1,4 K	-1,4 K	-1,2 K	30 °C
		-2,1 K	-2,0 K	-1,8 K	35 °C
		-2,8 K	-2,7 K	-2,4 K	40 °C
		-3,6 K	-3,4 K	-3,1 K	45 °C
<hr/>					
<u>Einsparpotential hinsichtlich des Elektroenergiebedarfs für den Wärmepumpenbetrieb</u>					Vorlauftemperatur d. Referenz-FBH
Wärmepumpe A		1,8%	1,7%	1,6%	30 °C
Luft-Wasser-WP		2,8%	2,7%	2,5%	35 °C
		4,1%	3,9%	3,6%	40 °C
		5,5%	5,3%	4,8%	45 °C
Wärmepumpe B		1,3%	1,2%	1,1%	30 °C
Luft-Wasser-WP		2,0%	1,9%	1,7%	35 °C
		2,8%	2,6%	2,4%	40 °C
		3,7%	3,5%	3,2%	45 °C
Wärmepumpe C		1,2%	1,2%	1,1%	30 °C
Luft-Wasser-WP		1,9%	1,8%	1,7%	35 °C
		2,7%	2,6%	2,3%	40 °C
		3,6%	3,4%	3,1%	45 °C
Wärmepumpe D		2,1%	2,1%	1,9%	30 °C
Luft-Wasser-WP		3,4%	3,3%	3,0%	35 °C
		4,9%	4,7%	4,3%	40 °C
		6,8%	6,5%	5,9%	45 °C
Wärmepumpe E		2,2%	2,1%	1,9%	30 °C
Luft-Wasser-WP		3,4%	3,3%	3,0%	35 °C
		5,0%	4,8%	4,4%	40 °C
		6,9%	6,6%	6,0%	45 °C

Parameter	Zeichen	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Bemerkungen
äquivalente Wärmestromdichte					
Referenzsystem	$k_{H,Ref, V}$	4,88	4,88	4,88	W/(m ² K)
cufix	$k_{H,cufix, V}$	5,85	5,85	5,85	W/(m ² K)
Bodenbelag		Naturstein, Fliesen (< 15 mm)	Naturstein, Fliesen (< 25 mm)	Parkett, Laminat	
Wärmeleitwiderstand Bodenbelag		0,015	0,025	0,050	W/(mK)
<u>Einsparpotential hinsichtlich des Elektroenergiebedarfs für den Wärmepumpenbetrieb</u>					Vorlauftemperatur d. Referenz-FBH
Wärmepumpe F		2,3%	2,2%	2,0%	30 °C
Luft-Wasser-WP		3,6%	3,4%	3,1%	35 °C
		5,2%	5,0%	4,6%	40 °C
		7,2%	6,9%	6,3%	45 °C
Wärmepumpe G		1,8%	1,8%	1,6%	30 °C
Sole/Wasser-Wasser-WP		2,9%	2,7%	2,5%	35 °C
		4,1%	3,9%	3,6%	40 °C
		5,5%	5,3%	4,8%	45 °C
Wärmepumpe H		1,8%	1,8%	1,6%	30 °C
Sole/Wasser-Wasser-WP		2,9%	2,7%	2,5%	35 °C
		4,1%	3,9%	3,6%	40 °C
		5,5%	5,3%	4,8%	45 °C
Wärmepumpe I		1,8%	1,8%	1,6%	30 °C
Sole/Wasser-Wasser-WP		2,9%	2,7%	2,5%	35 °C
		4,1%	3,9%	3,6%	40 °C
		5,5%	5,3%	4,8%	45 °C
<u>Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse</u>					
			Minimalwert		Maximalwert
mögliche Temperaturabsenkung			1,2 K		3,6 K
Einsparung Elektroenergiebedarf Wärmepumpe			1,1%		6,9%
spezifische Einsparung			0,9%/K		2,0%/K

Anhang 2.3 Ermittlung des Einsparpotentials für Erdgas-Brennwertheizungen

Tabelle 1: Verbrennungsrechnung Erdgas

Verbrennungsrechnung für gasförmige Brennstoffe															
Verbrennungsluftparameter															
rel. Luftfeuchte		50 %		Luftdruck		1,01325 bar		Lufttemperatur						20 °C	
Gaszusammensetzung	Normdichte kg/m³	Raumanteil Vol.%	Heizwert		Mindestsauerstoffbedarf		Abgasbestandteile bei Lambda = 1								
			MJ/kg	MJ/m³	fO₂	VO₂	fCO₂	VCO₂	fN₂	VN₂	fH₂O	VH₂O			
Kohlenmonoxid	CO	1,25	0%	10,103	0,00	0,5	0	1	0			0,00		0	
Wasserstoff	H₂	0,09	2,0%	119,972	0,22	0,5	0,01					0,00	1	0,02	
Methan	CH₄	0,72	90%	50,013	32,29	2	1,8	1	0,9			0,00	2	1,8	
Ethan	C₂H₆	1,36	2,0%	47,486	1,29	3	0,06	2	0,04			0,00	2	0,04	
Ethylen (Ethen)	C₂H₄	1,18	2,0%	47,146	1,11	3,5	0,07	2	0,04			0,00	3	0,06	
Propan	C₃H₈	2,01	2,0%	46,354	1,86	5	0,1	3	0,06			0,00	4	0,08	
n-Butan	C₄H₁₀	2,71		45,715	0,00	6,5	0	4	0			0,00	5	0	
Kohlendioxid	CO₂	1,97	2%					1	0,02			0,00		0	
Stickstoff	N₂	1,25	0%							1		0,00		0	
Sauerstoff	O₂	1,43				-1						0,00		0	
Wasserdampf	H₂O	0,80										0,00	1	0	
Summe			100%		36,78		2,040		1,06			0,000		2,00	
Dichte Brenngas				0,78 kg/m³		Umrechnungsfaktor Heizwert / Brennwert						0,901			
Heizwert H _u		36,78 MJ/m³ =		10,22 kWh/m³		13,13 kWh/kg									
Brennwert H _o				11,34 kWh/m³		14,58 kWh/kg									
spezifischer Verbrennungsluftbedarf															
Mindestsauerstoffbedarf				2,040 m³/kg Br.				Luftstickstoff				7,72 m³/kg Br.			
Mindestluftbedarf (trockene Luft)				9,761 m³/kg Br.				Mindeststickstoff im Abgas VN _{2,min}				7,72 m³/kg Br.			
Lambda				1,30				absoluter Wassergehalt der Verbrennungsluft				0,109 m³/kg Br.			
tats. Verbrennungsluftmenge				12,69 m³/kg Br.				Mindestwasser im Abgas VH _{2O,min}				3,010 m³/kg Br.			
spezifische Abgasmenge															
min. trock. Abgasmenge (lambda = 1)				8,781 m³/kg Br.				tats. trock. Abgasmenge (lambda > 1)				11,709 m³/kg Br.			
min. feuchte Abgasmenge (lambda = 1)				11,791 m³/kg Br.				tats. feuchte Abgasmenge (lambda > 1)				15,056 m³/kg Br.			
Abgaszusammensetzung bei lambda															
		Konz. c _i [Vol %]		M _i		c _{i, tr} * M _i		c _{i, f} * M _i							
		trocken		feucht		g/mol		trocken		feucht					
Kohlendioxid		1,06 m³/kg Br.		9,05		7,04		44		3,98		3,10			
Stickstoff		10,04 m³/kg Br.		85,72		66,66		28		24,00		18,67			
Sauerstoff		0,61 m³/kg Br.		5,23		4,06		32		1,67		1,30			
Wasserdampf		3,35 m³/kg Br.				22,23		18		0,00		4,00			
Gesamt		15,06 m³/kg Br.		100,00		100,00				29,66		27,07			
Dichte trockenes Abgas		1,324 kg/m³		Dichte feuchtes Abgas		1,208		kg/m³							
Abgastaupunkt		62,6 °C													

II. Einfluss der Rücklauf-temperatur auf den Wirkungsgrad der Brennwertheizung

Faktoren zur Berechnung des Abgasverlustes nach 1. BImSchV

A	0,66
B	0,009

Übertemperatur

10 K

Temperaturdifferenz zw. Abgastemperatur und Rücklauf-temperatur

Tabelle 2: Ermittlung der Kondensat- und Effizienzgewinne in Abhängigkeit von der Rücklauf-temperatur des Heizwassers für die Abgaszusammensetzung gem. Tab. 1

Rücklauf-temperatur	Abgas-temperatur	Sättigungs-dampf-druck	relative Abgas-feuchte	absolute Abgas-feuchte	Kondensatmenge			Kondensations-gewinn (* bez. auf Hu)	Abgas-verlust (** bez. auf Hu)	Abstrahl-verluste d. Thermo bez. auf Hu	Wirkungsgrad		Effizienz-gewinn
					g Kond. kg tr. Abgas	g Kond. kWh	kg Kond. kg Erdgas				bez. auf H _u	bez. auf H _o	
°C	°C	Pa	%	g H ₂ O kg tr. Abgas	g Kond. kg tr. Abgas	g Kond. kWh	kg Kond. kg Erdgas	%	%	%	%	%	% K
20	30	4.234	100%	0,027	151	160	2,336	12%	0,5%	1,6%	110,0%	99,1%	0,2
22	32	4.745	100%	0,031	147	157	2,283	12%	0,6%	1,6%	109,5%	98,7%	0,2
24	34	5.309	100%	0,034	143	153	2,223	11%	0,7%	1,7%	109,1%	98,3%	0,2
26	36	5.931	100%	0,039	139	148	2,157	11%	0,8%	1,7%	108,6%	97,9%	0,2
28	38	6.616	100%	0,043	134	143	2,083	11%	0,9%	1,8%	108,1%	97,4%	0,2
30	40	7.367	100%	0,049	129	137	2,000	10%	1,0%	1,8%	107,5%	96,9%	0,3
32	42	8.192	100%	0,055	123	131	1,908	10%	1,1%	1,8%	106,9%	96,3%	0,3
34	44	9.096	100%	0,061	116	124	1,805	9%	1,2%	1,9%	106,2%	95,7%	0,3
36	46	10.085	100%	0,069	109	116	1,691	9%	1,3%	1,9%	105,5%	95,0%	0,3
38	48	11.166	100%	0,077	101	107	1,562	8%	1,4%	2,0%	104,7%	94,3%	0,4
40	50	12.345	100%	0,086	92	97	1,419	7%	1,5%	2,0%	103,8%	93,5%	0,4
42	52	13.630	100%	0,097	81	86	1,258	6%	1,6%	2,0%	102,8%	92,6%	0,4
44	54	15.029	100%	0,108	69	74	1,077	6%	1,7%	2,1%	101,8%	91,7%	0,5
46	56	16.550	100%	0,121	56	60	0,874	5%	1,8%	2,1%	100,6%	90,6%	0,5
48	58	18.202	100%	0,136	42	44	0,645	3%	1,9%	2,2%	99,2%	89,4%	0,6
50	60	19.993	100%	0,153	25	26	0,386	2%	2,0%	2,2%	97,8%	88,1%	0,7
52	62	21.934	100%	0,172	6	6	0,092	0%	2,1%	2,2%	96,1%	86,6%	0,7
53	63	22.963	98%	0,178	0	0	0,000	0%	2,2%	2,3%	95,6%	86,1%	0,5
54	64	24.034	94%	0,178	0	0	0,000	0%	2,2%	2,3%	95,5%	86,0%	0,1
56	66	26.304	86%	0,178	0	0	0,000	0%	2,3%	2,3%	95,3%	85,9%	0,1
58	68	28.754	78%	0,178	0	0	0,000	0%	2,4%	2,4%	95,2%	85,8%	0,1
60	70	31.398	72%	0,178	0	0	0,000	0%	2,5%	2,4%	95,1%	85,6%	0,1
62	72	34.246	66%	0,178	0	0	0,000	0%	2,6%	2,4%	94,9%	85,5%	0,1
64	74	37.311	60%	0,178	0	0	0,000	0%	2,7%	2,5%	94,8%	85,4%	0,1
66	76	40.608	55%	0,178	0	0	0,000	0%	2,8%	2,5%	94,6%	85,3%	0,1
68	78	44.149	51%	0,178	0	0	0,000	0%	2,9%	2,6%	94,5%	85,1%	0,1
70	80	47.949	47%	0,178	0	0	0,000	0%	3,1%	2,6%	94,3%	85,0%	0,1

(* nach DIN 4702-2

(** nach 1. BImSchV

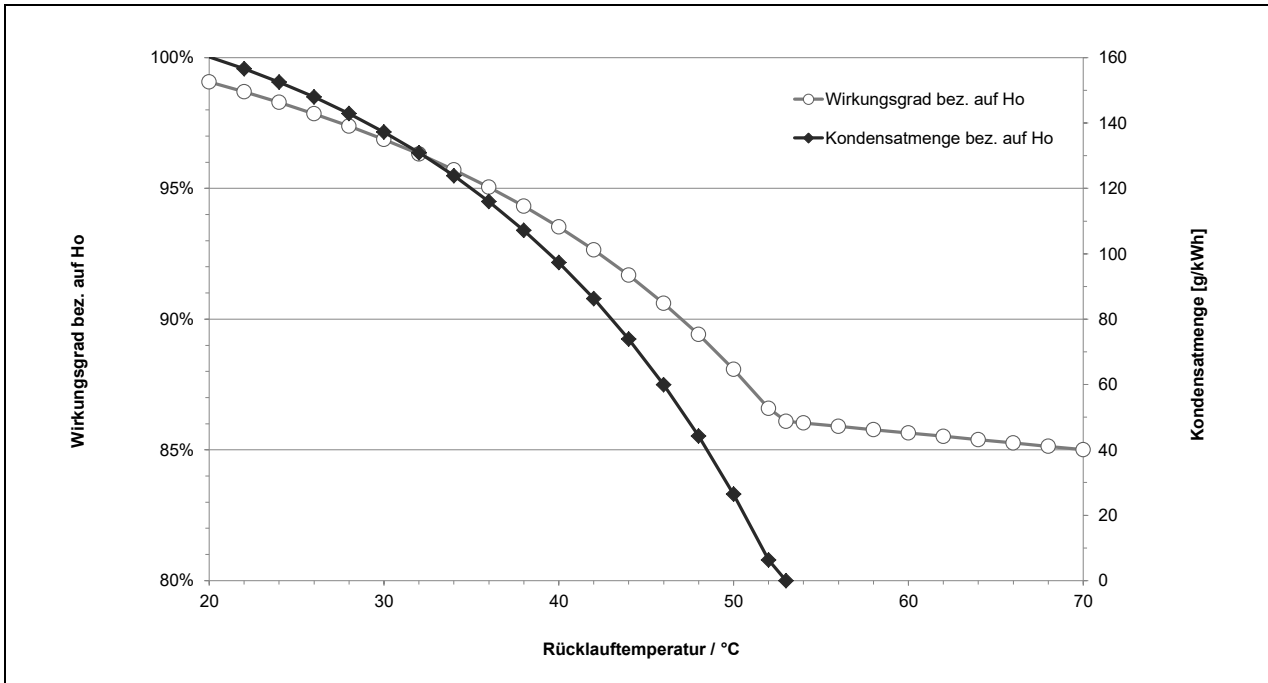


Abbildung 1: Wirkungsgrad und Kondensatmenge in Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur

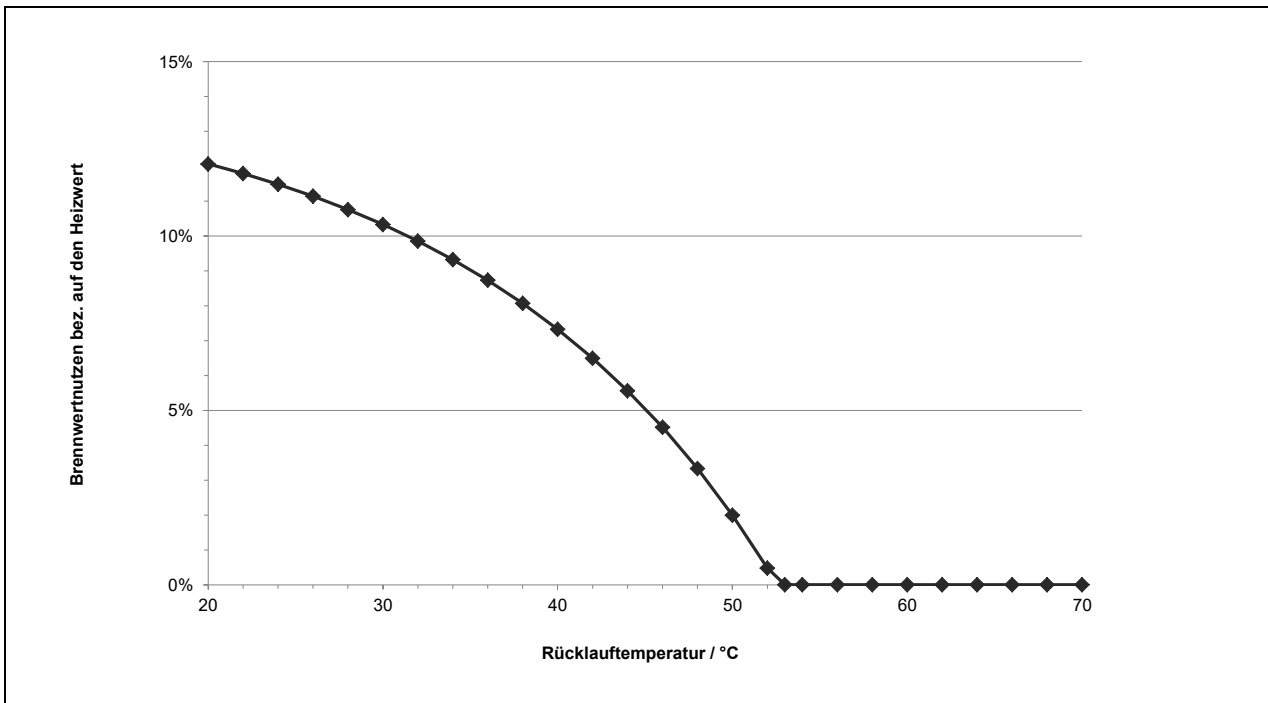


Abbildung 2: Brennwertnutzen (Effizienzgewinn) in Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur