

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEUREBerechnung der Jahresarbeitszahl von  
Wärmepumpenanlagen  
Elektrowärmepumpen zur Raumheizung und  
TrinkwassererwärmungCalculation of the seasonal coefficient of  
performance of heat pumpsElectric heat pumps for space heating and  
domestic hot water

VDI 4650

Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.**The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung .....	3	Preliminary note.....	3
Einleitung.....	3	Introduction.....	3
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>5</b>	<b>1 Scope.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Normative Verweise.....</b>	<b>6</b>	<b>2 Normative references.....</b>	<b>6</b>
<b>3 Begriffe.....</b>	<b>7</b>	<b>3 Terms and definitions.....</b>	<b>7</b>
<b>4 Formelzeichen, Abkürzungen und Indizes.....</b>	<b>9</b>	<b>4 Symbols, abbreviations, and indices.....</b>	<b>9</b>
<b>5 Grundlagen der Berechnung.....</b>	<b>11</b>	<b>5 Basics of calculation.....</b>	<b>11</b>
5.1 Bilanzgrenze.....	11	5.1 System boundaries.....	11
5.2 Einflussfaktoren auf die Berechnung der Jahresarbeitszahlen.....	12	5.2 Factors influencing the calculation of the seasonal coefficients of performance.....	12
5.3 Zusätzliche Annahmen und Einflussfaktoren für die Trinkwassererwärmung.....	14	5.3 Additional assumptions and influencing factors for domestic hot water heating.....	14
5.4 Betriebsweise einer Wärmepumpe.....	14	5.4 Operating mode of the heat pump.....	14
<b>6 Berechnung der   Jahresarbeitszahl.....</b>	<b>19</b>	<b>6 Calculation of the seasonal   coefficient of performance.....</b>	<b>19</b>
6.1 Berechnung der Jahresarbeitszahl Raumheizung.....	19	6.1 Calculation of the seasonal coefficient of performance for space heating.....	19
6.2 Berechnung der Jahresarbeitszahl Trinkwassererwärmung.....	30	6.2 Calculation of the seasonal coefficient of performance for domestic hot water heating.....	30
6.3 Monoenergetische und bivalente Betriebsweise.....	39	6.3 Mono-energetic and bivalent operation.....	39
6.4 Solarunterstützung.....	41	6.4 Solar support.....	41
6.5 Kühlung.....	42	6.5 Cooling.....	42
6.6 Berechnung der Gesamtjahresarbeitszahl.....	43	6.6 Calculation of the overall seasonal coefficient of performance.....	43
<b>7 Primärenergetische Bewertung.....</b>	<b>44</b>	<b>7 Primary energy assessment.....</b>	<b>44</b>
7.1 Monovalente und monoenergetische Wärmepumpenanlage.....	44	7.1 Monovalent heat pump system.....	44
7.2 Bivalente Wärmepumpenanlage mit mehreren Wärmeerzeugern.....	46	7.2 Bivalent heat pump system with several heat generators.....	46

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)

Fachbereich Energie- und Umwelttechnik

VDI-Handbuch Energietechnik  
VDI-Handbuch Wärme-/Heiztechnik

Inhalt	Seite
<b>8 Beispielrechnungen</b> .....	48
8.1 Erdwärmesonden- Wärmepumpe.....	48
8.2 Grundwasser-Wärmepumpe.....	50
8.3 Luft-Wasser-Wärmepumpe.....	52
8.4 Warmwasser-Wärmepumpe.....	54
8.5 Heizungsanlagen mit zwei Wärmeerzeugern (bivalenter oder monoenergetischer Betrieb).....	55
<b>Anhang</b> Leistungszahlen von Luft-Wasser- Wärmepumpen nach DIN EN 14511 aus Angaben gemäß DIN EN 14825.....	59
A1 Umrechnung der Leistungszahlen nach DIN EN 14825 an den Teillastpunkten „B“ und „A“ .....	59
A2 Problemstellung .....	60
A3 Herleitung von Gleichung (A1) und Gleichung (A2) .....	60
Schrifttum .....	63

Contents	Page
<b>8 Calculation examples</b> .....	48
8.1 Heat pump with borehole heat exchangers .....	48
8.2 Groundwater-source heat pump.....	50
8.3 Air-water heat pump .....	52
8.4 Hot water heat pump.....	54
8.5 Heating systems with two heat generators (bivalent or mono-energetic operation mode).....	55
<b>Annex</b> Coefficients of performance of air- water heat pumps according to DIN EN 14511 from data as per DIN EN 14825 .....	59
A1 Conversion of coefficients of performance to DIN EN 14825 at partial load points “B” and “A”.....	59
A2 Rationale.....	60
A3 Derivation of Equation (A1) and Equation (A2) .....	60
Bibliography .....	63

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/4650](http://www.vdi.de/4650).

## Einleitung

Um die energie- und umweltpolitischen Ziele der Bundesregierung (Verminderung des Primärenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie ein vermehrter Einsatz von regenerativer Energie) zu erreichen, sind Anstrengungen in allen Verbrauchssektoren nötig. Bei der Raumheizung, mit ihrem sehr großen Anteil am Energieverbrauch, bietet neben der Verminderung des Bedarfs durch Wärmeschutz eine effiziente Heiztechnik erhebliches Potenzial zur Erreichung der Ziele.

Insbesondere das „thermodynamische“ Heizen mit Wärmepumpen kann für neue und vor allem für Millionen bestehende Gebäude beträchtliche Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen erbringen, indem die von der Sonne eingestrahlte Umweltwärme genutzt wird (bodennahe Atmosphärenschichten, Gewässer und oberflächennahe Erdwärme). Die Ökobilanz einer Wärmepumpe ist u. a. abhängig von

- ihrer Effizienz,
- dem Strommix,
- der Art des Kältemittels und
- dem Umgang mit dem Kältemittel.

Durch die zunehmende Bereitstellung von Strom aus regenerativen Energiequellen und effizienterer Stromerzeugung verbessern sich die Primärenergie- und Ökobilanz von Wärmepumpen kontinuierlich. Dies betrifft auch die bereits seit Jahren in Betrieb befindlichen Wärmepumpenanlagen, die somit ohne zusätzliche Maßnahmen und Investitionen primärenergetisch effizienter werden.

## Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/4650](http://www.vdi.de/4650).

## Introduction

In order to achieve the energy and environmental policy targets of the German government, namely the reduction of primary energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions, as well as an increased deployment of energy from renewable sources, efforts are necessary in all consuming sectors. In space heating, which accounts for a very large proportion of energy consumption, heating technology has a considerable potential of contributing to these targets, in addition to a cutback on the demand by means of thermal insulation.

In particular, the “thermodynamic” heating using heat pumps can lead to significant primary energy and CO<sub>2</sub> savings in new, and mainly in millions of existing buildings, by making use of the ambient heat resulting from solar radiation (ground-level layers of the atmosphere, water bodies and near-surface geothermal energy). The life cycle assessment of a heat pump depends, among other factors, on

- the efficiency of the heat pump,
- the electricity mix,
- the type of the refrigerant and
- the application of the refrigerant.

Owing to the increasing supply of electricity from renewable sources of energy and more efficient electricity generation, the primary energy balance and life cycle assessment of heat pumps are constantly improving. This also applies to heat pump systems that have been operated for years, which are automatically becoming more efficient in terms of primary energy consumption, without any additional measures or capital expenditure.

In der Europäischen Union wird die Anwendung der Wärmepumpe als wichtiger Bestandteil zur Erreichung der Energieeinspar- und Klimagasreduktionsziele angesehen. Wärmepumpen sind daher in den EU-Richtlinien zu erneuerbaren Energien ausdrücklich berücksichtigt (Richtlinie 2009/28/EG und Beschluss 2013/114/EU [1]).

Mit dem zunehmenden Anteil an regenerativ erzeugtem Strom steigt die Diskrepanz zwischen Strombedarf und Stromerzeugung. Die Wärmepumpe kann einen wertvollen Beitrag zum Lastausgleich und zur Stabilisierung des Stromnetzes leisten. Bereits heute wird der Betrieb von Wärmepumpen durch Netzbetreiber lastabhängig ohne Komforteinbußen für den Nutzer unterbrochen, da die thermische Trägheit des Gebäudes und gegebenenfalls installierte Pufferspeicher den Temperaturabfall verlangsamen. Zukünftig kann die Wärmepumpe auch derart an eine unstete Stromlieferung angepasst werden, dass im Voraus Wärme produziert und gespeichert wird.

Diese VDI-Richtlinie beschreibt ein einfach zu handhabendes, aber genügend genaues Verfahren zur Berechnung der energetischen Effizienz, das alle technisch bedeutenden Einflussgrößen berücksichtigt.

Um den technischen Fortschritt besser abzubilden (z. B. andere Kältemittel, Verdichtertechnologien, oder Leistungsregelungen), wurden auf Basis der Ergebnisse der Feldmonitoringprojekte des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) wichtige Erkenntnisse aus der Praxis für die Berechnungen berücksichtigt. Die vielfältigen Eingriffe des Nutzers, z.B. gewählte Raumtemperatur, Lüftungsgewohnheiten und Reglereinstellungen, haben einen starken Einfluss auf die Betriebsbedingungen der Wärmepumpe. Dadurch kann die in der Praxis erreichte Jahresarbeitszahl deutlich von der berechneten abweichen.

Diese Richtlinie befasst sich mit Elektrowärmepumpen, insbesondere zur Versorgung von Wohngebäuden mit Wärme für Raumheizung und Trinkwassererwärmung, und gibt Hinweise zur Raumkühlung. Es werden hauptsächlich die am Markt anzutreffenden technischen Varianten behandelt.

Die Tabellenwerte der VDI 4650 Blatt 1 (2019-03) endeten bei einer Vorlauftemperatur von 55 °C.

Die vorhandene Wärmeverteilung und -übergabe kann in bestimmten Fällen nicht ohne zusätzlichen Aufwand für Auslegungs-Vorlauftemperaturen bis 55 °C genutzt werden.

Zahlreiche heute am Markt verfügbare Wärmepumpen können Vorlauftemperaturen von mindestens 60 °C für den Heizbetrieb bereitstellen. Diese Wär-

In the European Union, the use of heat pumps is considered to be an important element of the efforts to achieve the energy saving and greenhouse gas reduction targets. Therefore, heat pumps have been explicitly considered in the EU directives on energy from renewable sources (Directive 2009/28/EC and decision 2013/114/EU [1]).

With the increasing share of electricity from renewable sources, the mismatch between electricity demand and electricity generation is increasing. Heat pumps can make a valuable contribution to load balancing and to the stabilisation of the electrical grid. Already today, grid operators disconnect heat pumps if the load situation so requires, with no detriment to comfort for the users, as the drop in temperature is slowed down by the thermal inertia of the building and buffer tanks that may be installed. In the future, heat pumps can also be adapted to fluctuating electricity supply by producing heat in advance and storing it.

This VDI Standard describes an easy to use while sufficiently accurate procedure for a calculation of the energy efficiency, which considers all technically relevant influencing parameters.

In order to map the technical progress better (e.g., other refrigerants, compressor technologies, or output control), important findings from practice were considered for the calculations, based on the results of the field monitoring projects conducted by the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE). The many and diverse interventions by the user, such as room temperature chosen, airing habits and controller adjustments, strongly impact on the operating conditions of the heat pump. As a consequence, the seasonal performance factor achieved in practice may deviate significantly from the calculated seasonal coefficient of performance.

This standard deals with electric heat pumps, particularly those providing residential buildings with heat for space heating and domestic hot water heating, and provides some advice on space cooling. The standard deals mainly with technical variants that are commercially available.

The table values of VDI 4650 Part 1 (2019-03) end at a flow temperature of 55 °C.

In certain cases, the existing heat distribution and transfer cannot be used for design flow temperatures of up to 55 °C without additional effort.

Numerous heat pumps available on the market today can provide flow temperatures of at least 60 °C for heating operation. These heat generators are

meerzeuger werden zunehmend im Gebäudebestand eingesetzt.

Diesem Umstand trug die VDI-EE 4650 Blatt 1.1 (2023-06) mit den Tabellenwerten bis zu einer Vorlauftemperatur von 60 °C in Tabelle 2 bis Tabelle 16 Rechnung. Das Berechnungsverfahren mittels Standardwärmepumpe gemäß DIN V 18599 für das Gebäudeenergiegesetz endet in der aktuellen Überarbeitung bei 60 °C.

Diese vorliegende Ausgabe der Richtlinie VDI 4650 Blatt 1 führt die Ausgabe 2019, die Berichtigung Ausgabe 2020 und die VDI-EE 4650 Blatt 1.1 zusammen.

Für die Norm-Außentemperaturen in Tabelle 11 bis Tabelle 16 dieser Richtlinie wird auf DIN/TS 12831-1:2020-04 verwiesen.

## 1 Anwendungsbereich

Staatliche und andere Unterstützung gewährende Institutionen möchten Klarheit über die zu erwartenden umweltrelevanten Ergebnisse haben. Der Energieverbrauch ist selbstverständlich für den Nutzer, Interessenten und Betreiber von Wärmepumpenanlagen (WPA) ebenfalls von Interesse. Die Richtlinie liefert dementsprechend die Aussagen zur Effizienz ihrer Anlagen unter standardisierten Bedingungen. Zum Energieverbrauch ist keine Aussage möglich, denn dieser wird vom Gebäude, von der Witterung und vom Nutzer bestimmt. Ebenso können keine Aussagen zu den Heizkosten gemacht werden, zumal diese neben dem Verbrauch auch von den Energiepreisen abhängen.

Die energetische Effizienz der Wärmepumpentechnik hängt von einer ganzen Reihe von Faktoren ab, die insbesondere die Randbedingungen des Betriebs betreffen. Neben der Wärmequellentemperatur, der Heizungsvorlauftemperatur und deren Verläufen über die Heizperiode, sind auch die Energieverbräuche für die Hilfsantriebe der Wärmequellenanlagen und die Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf in der Heizungsanlage von Bedeutung.

Prüfstandsmessungen der Geräte können nur im Zusammenhang mit den Auslegungsparametern der gesamten Wärmepumpenanlage zutreffende Aussagen über den energetischen Nutzen bringen. Messungen von Anlagen geben zwar abgesehen von der Messunsicherheit reale Verbräuche wieder, aber nur für bereits in Betrieb befindliche Anlagen mit Ausführungen, die möglicherweise von der Planung abweichen und gegebenenfalls einen für die Wärmepumpe ungünstigen Betrieb durch die Nutzer. Größere Abweichungen sind schwer zu erklären und meist im Nachhinein nicht mehr zu verbessern. Deshalb sind leicht zu handhabende Daten für eine

increasingly being used in existing buildings.

VDI-EE 4650 Part 1.1 (2023-06) takes this into account with the table values up to a flow temperature of 60 °C in Table 2 to Table 16. The calculation method using a standard heat pump in accordance with DIN V 18599 for the Building Energy Act ends at 60 °C in the current revision.

This edition of the VDI 4650 Part 1 standard combines the 2019 edition, the 2020 edition and the VDI-EE 4650 Part 1.1.

Reference is made to DIN/TS 12831-1:2020-04 for the standard external temperatures in Table 11 to Table 16 of this standard.

## 1 Scope

Government institutions and other institutions granting assistance want to be clear on the environmentally relevant results that can be expected. Naturally, the energy consumption is also of interest to users, potential users and operators of heat pump systems. This standard provides them with information on the efficiency of their systems under standardized conditions. As the energy demand depends on the specific building, the weather and the user behaviour, no statements can be made in this regard. Likewise, it is not possible to make any statements about the heating costs because these depend not only on the consumption but also on the energy prices.

The energy efficiency of heat pumps is determined by quite a number of factors relating particularly to the boundary conditions of operation. In addition to the heat source temperature, the supply temperature of the heating system and the variations of these quantities during the heating season, the energy consumptions for the auxiliary drives of the heat source system and the difference between the supply and return temperatures of the heating system are also relevant.

Laboratory measurements of the appliances can only yield accurate information on the energetic benefit if they are related to the design parameters of the entire heat pump system. Measurements of systems yield actual consumptions despite measurement uncertainty, but these results only apply to existing systems which are already in operation with designs that may deviate from planning and perhaps the user's operation of heat pump that is disadvantageous for the system. Larger deviations are difficult to explain and, in most cases, cannot be improved subsequently. Easy-to-handle data for the correct assessment of the entire heat pump system,

richtige Beurteilung der gesamten Wärmepumpenanlage, also des Geräts und der dazugehörigen Peripherie, besonders wichtig, um allen an diesem Gewerk Tätigen entsprechende Hinweise zu geben.

Die auf Basis dieser Richtlinie berechneten Jahresarbeitszahlen sind in der Praxis realisierbare Ergebnisse von gut funktionierenden Anlagen. Die Richtlinie soll ausführliche Simulationsrechnungen nicht ersetzen, sie nimmt keine Zuordnung des Wärmeerzeugers zum Gebäude vor und kann daher nicht zur Dimensionierung dienen.

Wegen der bereits angesprochenen Problematik des unterschiedlichen und recht einflussreichen Nutzerverhaltens sind Vergleiche der berechneten Jahresarbeitszahlen mit gemessenen Werten nur unter Vorbehalt möglich.

Diese Richtlinie gilt für elektrisch angetriebene Wärmepumpenanlagen zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung in Wohngebäuden. Als Wärmequellen werden Grundwasser, Erdreich (Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren) und Luft betrachtet. Die bereitgestellte Wärme wird an eine Warmwasser-Zentralheizung oder an einen Warmwasserspeicher abgegeben.

that is of the appliance and the associated peripherals, is therefore particularly important to provide guidance to all those working in this trade.

The seasonal performance coefficients calculated on the basis of this standard reflect the performance that can realistically be achieved in practice with well-functioning systems. This standard is not meant to replace detailed simulation calculations; it does not correlate the heat generator with the building, and thus cannot serve as an instruction for dimensioning.

Due to the varying, and quite influential, user behaviour, being a significant problem as already mentioned above, a comparison of the calculated seasonal coefficient of performance with the measured values of the seasonal performance factor can only be made with reservations.

This standard applies to electrically driven heat pump systems for space heating and domestic hot water heating in residential buildings. Heat sources considered are groundwater, ground source (borehole heat exchangers and horizontal ground heat exchangers) and air. The heat is delivered to a water-based central heating system or to a hot water tank.