

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philip Leistner

Leitfaden Minimalmessung für Einfamilienhäuser mit hohem Effizienzstandard

Erstellt im Rahmen des Begleitforschungsprojekts zur
Effizienzhaus Plus-Initiative des Bundesministeriums
für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
(BMWSB)

Durchgeführt im Auftrag des
Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung
(BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung (BBR)

Hans Erhorn
Almuth Schade
Michael Eberl
Herbert Sinnesbichler
Jessica Preuss
Heike Erhorn-Kluttig

Stuttgart, 20. Dezember 2022

Inhalt

1	Warum sollte ich den Energieverbrauch meines Einfamilienhauses mit hohem Effizienzstandard regelmäßig prüfen?	4
2	Wie ist der Energieverbrauch eines Gebäudes definiert?	5
3	Wie wird der Energieverbrauch im Gebäude gemessen?	8
3.1	Wärmemengenzähler	8
3.2	Elektrozähler	9
4	Wie überprüfe ich...?	9
4.1	...meinen Stromverbrauch?	11
4.2	...meinen Heizenergieverbrauch?	12
5	Wie überprüfe ich die Effizienz meiner Wärmepumpe?	15
5.1	Messung	17
5.2	Auswertung	18
5.3	Benchmarks/Vergleichswerte	18
5.4	Funktionskontrolle/Optimierung	19
6	Wie überprüfe ich meine Solarthermie-Anlage?	20
6.1	Messung	22
6.2	Auswertung	23
6.3	Benchmarks / Vergleichswerte	25
6.4	Funktionskontrolle / Optimierung	26
7	Wie überprüfe ich meine Photovoltaik-Anlage?	27
7.1	Messung	30
7.2	Auswertung	31
7.3	Benchmarks / Vergleichswerte	34
7.4	Funktionskontrolle / Optimierung	36
8	Welche weiteren Kontroll- und Optimierungsmöglichkeiten gibt es?	37
8.1	Unabhängige Beratung durch Verbraucherzentralen	37

8.2	Heizungsscheck nach DIN EN 15378	38
8.3	Betriebsüberwachung durch die Hausbesitzer	38
8.4	Hydraulischer Abgleich	40
8.5	Heizungspumpe	41
8.6	Trinkwarmwasserzirkulation	42
9	Verwendete Symbole	43
10	Literaturverzeichnis	44
A.1	Wirkungs- und Nutzungsgrad	50
A.2	Berechnung der Gebäudenutzfläche	51
A.3	Globalstrahlung in Deutschland	52
A.4	Bestimmung vom Umrechnungsfaktor f_{neig} mit dem Online-Berechnungstool T*SOL online	53
A.5	PV-Anlagenplanung (Ertragsprognose)	55
A.6	Heizkurve	56
A.7	Heizkörper entlüften	57

1 Warum sollte ich den Energieverbrauch meines Einfamilienhauses mit hohem Effizienzstandard regelmäßig prüfen?

Etwa 30 % des deutschen Endenergiebedarfs ist dem privaten Haushaltssektor zuzuschreiben. Davon macht die Raumwärme etwa 70 % aus [1]. Laut dem Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie waren 51 % der deutschen Heizungsanlagen im Jahr 2021 unzureichend effizient [3]. Dies ist einerseits auf veraltete Anlagen, aber auch auf den ineffizienten Betrieb von Anlagen zurückzuführen. Mit einer regelmäßigen Kontrolle des Energieverbrauchs können nicht nur der eigene Verbrauch, sondern auch die Effizienzen der Anlagentechnik geprüft werden. Bei Bedarf sollten Korrekturen oder Optimierungen durchgeführt werden, um Energieeinsparungen zu erzielen. Mit energetischen Einsparungen sind in der Regel auch finanzielle Einsparungen verknüpft.

Vielleicht denken Sie, dass Ihr Wohngebäude aufgrund seines hohen Effizienzstandards nur ein minimales energetisches Einsparpotenzial aufweist. Eine Auswertung der technischen Begleitforschung von Wohngebäuden im Effizienzhaus Plus-Standard zeigt jedoch, dass zum Teil bedeutende Energieeinsparungen bei Gebäuden mit hohem Effizienzstandard durch die Betriebsüberwachung erzielt werden können. Im Rahmen der Forschungsinitiative „Effizienzhaus Plus“ vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB, damals noch Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung – BMVBS) wurden 28 neugebaute Ein- bzw. Zweifamilienhäuser über zwei Jahre messtechnisch begleitet [2]. Die Wohnhäuser wurden so geplant, dass sie im Laufe eines Jahres mehr erneuerbare Energie lokal generieren als die Gebäude für den Betrieb und ihre Nutzung benötigen und damit den Effizienzhaus Plus-Standard erfüllen. Bei der überwiegenden Anzahl der Gebäude (18 von 28) war im zweiten Messjahr eine Reduzierung des Endenergieverbrauchs erkennbar, der auf Einregulierungen und Optimierungen der Anlagentechnik zurückzuführen war. Der Energieverbrauch des zweiten Monitoring-Jahres lag durchschnittlich 5 % unter dem des ersten Monitoring-Jahres. Zehn Gebäude wiesen sogar eine Energieeinsparung von über 10 % auf. Auch in Ihrem Wohngebäude sollte die eingebaute Gebäudetechnik auf Ihren individuellen Fall einreguliert werden, um einen effizienten Gebäudebetrieb zu sichern. Die Einregulierung und damit einhergehende Verbrauchsoptimierung wird im Normalbetrieb oft übergangen.

Da das Betriebsmonitoring der Effizienzhäuser Plus bereits bei der Planung der Gebäude feststand, wurden die entsprechenden Messeinrichtungen parallel zur Bauausführung installiert. Die Messdatenauswertung wurde zudem von Experten betreut. Als Gebäudenutzer können Sie, soweit eingebaut, auf bestehende Messmöglichkeiten und Zähler zurückgreifen. Gegebenenfalls müssen diese um einzelne zusätzliche Messpunkte ergänzt werden. Dieser Leitfaden soll Sie unterstützen, Ihren Energieverbrauch und die Energieeffizienz Ihrer Anlagentechnik durch möglichst einfache Messungen zu überprüfen. Die Vorgehensweise ist dabei in drei Schritte gegliedert:

- Prüfung der Verbrauchswerte,

- Vergleich mit Richtwerten und
- ggf. Durchführung einer Korrektur bzw. Optimierung.

In manchen Fällen sollte eine Überprüfung bzw. Korrektur nur durch Fachpersonal durchgeführt werden; dies ist entsprechend im Leitfaden gekennzeichnet. Dieser Leitfaden basiert auf dem Leitfaden „Handlungsempfehlung zur Betriebskontrolle: Einfachmonitoring von Einfamilienhäusern“ [4], ist jedoch auf Einfamilienhäuser mit hohem Effizienzstandard beschränkt. Technologien, die im Großteil der Effizienzhaus Plus-Wohngebäude [2] eingebaut sind, werden im vorliegenden Leitfaden näher erläutert. Das sind Wärmepumpen, Solarthermie-Anlagen und Photovoltaik-Anlagen. Informationen zu anderen Technologien wie Gasheizkessel können [4] entnommen werden.

2 Wie ist der Energieverbrauch eines Gebäudes definiert?

In Deutschland ist die Ermittlung des Energiebedarfs von Gebäuden beim Neubau oder der umfassenden Sanierung gesetzlich vorgeschrieben [5]. Der Energiebedarf wird dabei rechnerisch unter der Verwendung standardisierter Randbedingungen ermittelt. In der DIN V 18599 ist zum Beispiel eine standardisierte Berechnungsmethode zur Bestimmung des Gebäudeenergiebedarfs festgelegt. Im Unterschied zum berechneten Energiebedarf wird der Energieverbrauch aus realen Mess- oder Ablesedaten bei Nutzung des Gebäudes bestimmt. In der DIN V 18599 werden drei unterschiedliche Bilanzierungsrahmen für den Energiebedarf eines Gebäudes eingeführt: die Nutzenergie, die Endenergie und die Primärenergie. Die unterschiedlichen Bilanzierungsrahmen sind auch bei der Betrachtung des Energieverbrauchs hilfreich und werden deshalb folgend analog zur Norm erläutert [6].

- **Nutzenergie**
Energienmenge, die den Räumen eines Gebäudes zugeführt werden muss, um die festgelegten Raumluftzustände (Temperatur und Feuchte), den Trinkwarmwasserbedarf und die gewünschte Beleuchtungsqualität sicherzustellen. Es wird in Nutzwärme, Nutzkälte sowie Nutzenergie für Trinkwarmwasser, Beleuchtung und Befeuchtung unterschieden.
- **Endenergie**
Energienmenge, die der Anlagentechnik (Heizungsanlage, raumluftechnische Anlage, Warmwasserbereitungsanlage, Beleuchtungsanlage) zur Verfügung gestellt wird, um die festgelegte Rauminnentemperatur, die Erwärmung des Warmwassers und bei Nichtwohngebäuden auch die gewünschte Beleuchtungsqualität über das ganze Jahr sicherzustellen.
= Nutzenergie + Verluste der Anlagentechnik (z. B. Verteilungsverluste) + Hilfsenergie für die Anlagentechnik (z. B. Strom für Umwälzpumpen).
- **Primärenergie**
Energienmenge, die zusätzlich zum Energieinhalt des notwendigen

Brennstoffs und der Hilfsenergie für die Anlagentechnik auch die Energiemengen einbezieht, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe bzw. Stoffe entstehen.
 = Endenergie * Primärenergiefaktor (abhängig vom jeweiligen Energieträger).

Eine schematische Darstellung zu den Energieflüssen in einem Gebäude zeigt das folgende Bild 1.

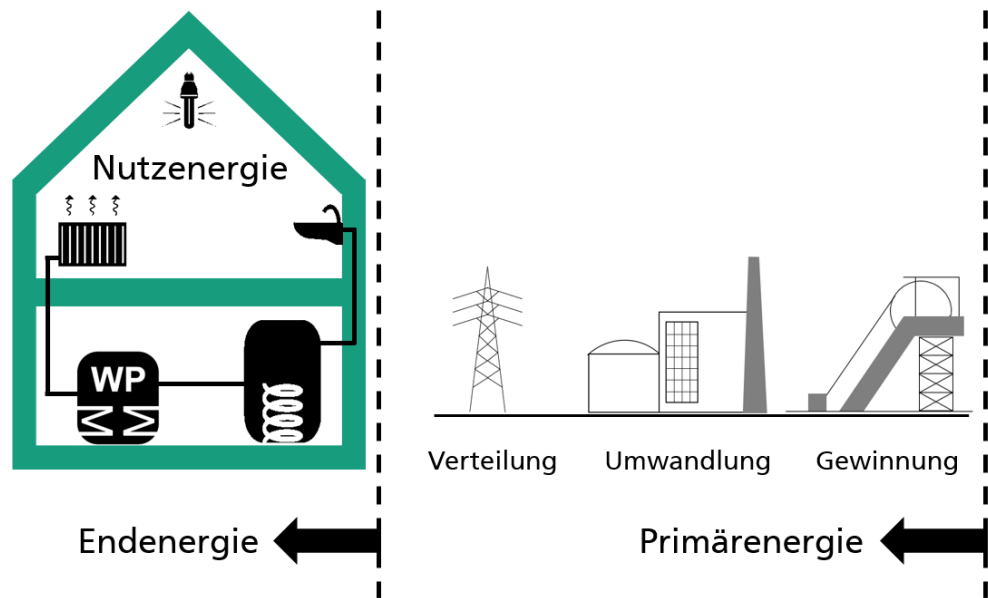


Bild 1:
 Darstellung der Nutzenergie, Endenergie und Primärenergie eines Wohngebäudes.

In dieser Handlungsempfehlung erfolgt die Bilanzierung auf Gebäudeebene anhand der Endenergie, die Primärenergie wird nicht mitbilanziert. Die Verfügbarkeit der Messdaten nimmt mit jeder Stufe von der Endenergie bis zur Nutzenergie ab.

Neben den unterschiedlichen Bilanzierungsrahmen gibt es auch unterschiedliche Energiedienstleistungen in Gebäuden. Nach DIN V 18599 wird die benötigte Energiemenge für Heizung, Trinkwarmwasser, Kühlung, Befeuchtung und Belüftung im berechneten Gesamtenergiebedarf eines Wohngebäudes berücksichtigt. Vielleicht ist Ihnen soeben aufgefallen, dass die Methode nach DIN V 18599 nicht alle Dienstleistungen umfasst, z. B. fehlt bei Wohngebäuden die Energiemenge für die Beleuchtung und den Nutzerstrom (Strom für Haushaltsgeräte wie Kühlschrank, etc.).

Bei der Bilanzierungsmethode nach Effizienzhaus Plus [7] wird z. B. auch die Energiemenge für den Nutzerstrom und die Beleuchtung bei Wohngebäuden mit einem Pauschalwert von 20 kWh/m²a berücksichtigt. Der tatsächliche Energieverbrauch für die Beleuchtung und den Nutzerstrom in Wohnhäusern hängt

allerdings stark vom einzelnen Fall und den damit verbundenen Nutzergewohnheiten, den vorhandenen elektrischen Geräten, etc. ab. Beim zweijährigen Monitoring der Effizienzhaus Plus-Wohngebäude betragen die Verbräuche des Gesamtnutzerstroms (Beleuchtung, Nutzerstrom und sonstiges) zwischen 7 und 45 kWh/m²_{beh.NGFA} [2]. Bei Mess- bzw. Ablesedaten können die unterschiedlichen Energiedienstleistungen oft nicht voneinander getrennt werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn eine detaillierte Betriebsüberwachung nicht bereits frühzeitig vor dem Einbau der Anlagentechnik geplant war und die entsprechende Sensorik nicht installiert wurde. Da das in den meisten Einfamilienhäusern der Fall ist, richtet sich dieser Leitfaden an der Einfachmessung des Energieverbrauchs aus.

Der Energieverbrauch eines Gebäudes hängt unter anderem von der vorherrschenden Außentemperatur ab. In einem „kalten“ Winter ist der Energieverbrauch höher als in einem „warmen“ Winter. Aus diesem Grund sollen für den Vergleich von Verbrauchswerten verschiedener Jahre oder den Vergleich mit berechneten Bedarfswerten nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) [5] die Verbrauchswerte korrigiert bzw. außentemperaturbereinigt werden. Die Außentemperaturbereinigung (auch „Witterungsbereinigung“ genannt) kann nach VDI 3807 [8] mithilfe des Gradtag-Verfahrens erfolgen. Dafür muss im ersten Schritt der Energieverbrauch in einen außentemperaturabhängigen (z. B. Heizenergieverbrauch) und außentemperaturunabhängigen Anteil (z. B. Energieverbrauch für Trinkwarmwasserbereitung oder Nutzerstrom) aufgeteilt werden. Der außentemperaturunabhängige Anteil kann in der Regel aus den Sommermonaten abgeleitet werden.

$$Q_b = Q_{VgH} \cdot \frac{G_m}{G} + Q_{VgP}$$

Q_b	außentemperaturbereinigter Energieverbrauch
Q_{VgH}	außentemperaturabhängiger Anteil des Verbrauchs
G_m	Gradtage in K*d/a des gemessenen Jahres bzw. Standorts
G	langjähriges Mittel der Jahresgradtage in K*d/a oder Jahresgradtage des Referenzklimas
Q_{VgP}	außentemperaturunabhängiger Anteil des Verbrauchs

Mit den Gradtagen können Heizenergieverbräuche unterschiedlicher Zeiträume und Orte miteinander verglichen bzw. bereinigt werden. Zum Vergleich von Verbräuchen desselben Orts, jedoch anderer Zeiträume, kann auf das langjährige Mittel des Orts bezogen werden. Zum Vergleich des Heizenergieverbrauchs von Gebäuden verschiedener Orte sollte auf das Referenzklima bezogen werden. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) bietet monatliche Gradtage für alle Stationen des DWD-Messnetzes kostenfrei zum Download an [9]. Das IWU (Institut Wohnen und Umwelt) stellt ein Excel-Rechentool zur Berechnung der Gradtag-

zahlen in Deutschland zur Verfügung [10]. Grundlage für dieses Tool sind ebenfalls Wetterdaten vom DWD. Neben dem gemessenen Energieverbrauch gibt es also auch einen außertemperaturbereinigten Energieverbrauch.

3 Wie wird der Energieverbrauch im Gebäude gemessen?

Für eine einfache Prüfung und Optimierung der Anlagentechnik liegt der Fokus dieser Handlungsempfehlung auf den Bereichen der Erzeugung und Speicherung. Dabei soll der Messaufwand auf möglichst bereits vorhandene und/oder wenige zusätzliche Messsensoren (Wärmemengen- und Elektrozähler) beschränkt werden. Zusätzlich erforderliche Zähler sollten z. B. parallel zum Neubau oder zur Sanierung mit eingebaut werden, da ein nachträglicher Einbau meist (kosten-)aufwändiger ist.

Sollten Sie sich noch in der Planungsphase Ihres Neubaus oder Ihrer Gebäudesanierung befinden, wird die Installation eines kleinen Monitoringsystems parallel zur Bauausführung empfohlen [7]. Als Minimalversion sollte die Effizienz des Wärmeerzeugers erfasst werden. Diese lässt sich aus dem Verhältnis der Wärmeabgabe des Erzeugers zur Energieaufnahme (Strom, Gas, Holz, etc.) berechnen. Damit sollte sowohl die Wärmeabgabe als auch die Energieaufnahme Ihres Wärmeerzeugers gemessen werden. Auch die Energieerträge der Solarthermie- bzw. Photovoltaik-Anlage sollten überwacht werden.

In dieser Handlungsempfehlung sind Einfamilienhäuser mit sogenannter „Smart-Home“-Ausstattung, deren Zweck unter anderem Transparenz und Effizienz des Energieverbrauchs ist, nicht separat aufgeführt. Die Messtechnik ist dort bereits eingebaut und die Daten können zeitgenau digital ausgelesen und meist sogar visualisiert werden. Im Folgenden wird die gängigste Messtechnik zur Erfassung von Verbrauchsdaten erläutert.

3.1 Wärmemengenzähler

Die Erfassung der Wärmemengen erfolgt über Wärmemengenzähler (WMZ). Diese sind teilweise bereits vorhanden (z. B. in der Solarstation einer thermischen Solaranlage) oder müssen nachträglich (bzw. bei Neubau zusätzlich) eingebaut werden. In Bild 2 sind beispielhaft Wärmemengenzähler dargestellt. Wärmemengenzähler bestehen aus einem Durchflusssensor sowie zwei Temperatursensoren. Beim Einbau ist darauf zu achten, dass sowohl Vor- und Rücklauftemperatursensor als auch der zugehörige Durchflusssensor im gemeinsamen hydraulischen Regelkreis angeordnet werden [11]. Der Durchflusssensor ist dabei immer in den Rücklauf einzubauen. Typische Einbauschemen und Hilfestellungen sind in [12] zu finden. Die Auflösung der WMZ sollte 1 kWh oder kleiner betragen.



Bild 2:
Zwei Beispiele von Wärmemengenzählern (Temperatursensoren nicht dargestellt).

3.2 Elektrozähler

In jedem Haushalt sind bereits Elektrozähler zur Erfassung des Gesamtstromverbrauchs eingebaut. Sie unterscheiden sich je nach Stromversorger und Alter des Gebäudes. Im Fall einer Photovoltaik-Anlage mit Einspeisung ins Netz gibt es einen zusätzlichen Elektrozähler für die Stromeinspeisung. Meist wird heute jedoch ein Zweirichtungszähler eingebaut. In Bild 3 sind beispielhaft Elektrozähler dargestellt. Die Auflösung der Elektrozähler sollte 0,1 kWh oder kleiner betragen.



Bild 3:
Elektrozähler (links Ferrariszähler, rechts: elektronischer Zähler).

4 Wie überprüfe ich...?

Im vorliegenden Leitfaden werden die Technologien einzeln betrachtet. Es wird dargelegt, wie jeweils die Wirkungs- und Nutzungsgrade (Definition siehe An-

hang A.1) sowie Energieverbräuche ermittelt werden sollten, die dann anschließend mit prognostizierten Werten und/oder Benchmark-Werten verglichen werden können. Die Überprüfung erfolgt meist durch eine monatliche oder jährliche Bilanzierung. Am Ende des Unterkapitels werden Hilfestellungen zur Funktionskontrolle bzw. Optimierung der entsprechenden Technologie in einer Tabelle aufgelistet. Dabei erfolgt für jede Hilfestellung eine Zuordnung, von wem diese durchgeführt werden kann:



kann von den Hausbesitzern selbst übernommen werden



muss durch eine Fachfirma ausgeführt werden

Bild 4 zeigt beispielhaft ein Einfamilienhaus mit einer Wärmepumpe und einer Photovoltaik-Anlage mit den erforderlichen Zählern. In dieser Handlungsempfehlung wird die Betriebskontrolle für die einzelnen Technologien (hier: Wärmepumpe und Photovoltaik-Anlage) in separaten Abschnitten beschrieben (hier: Abschnitt 5 und Abschnitt 7).

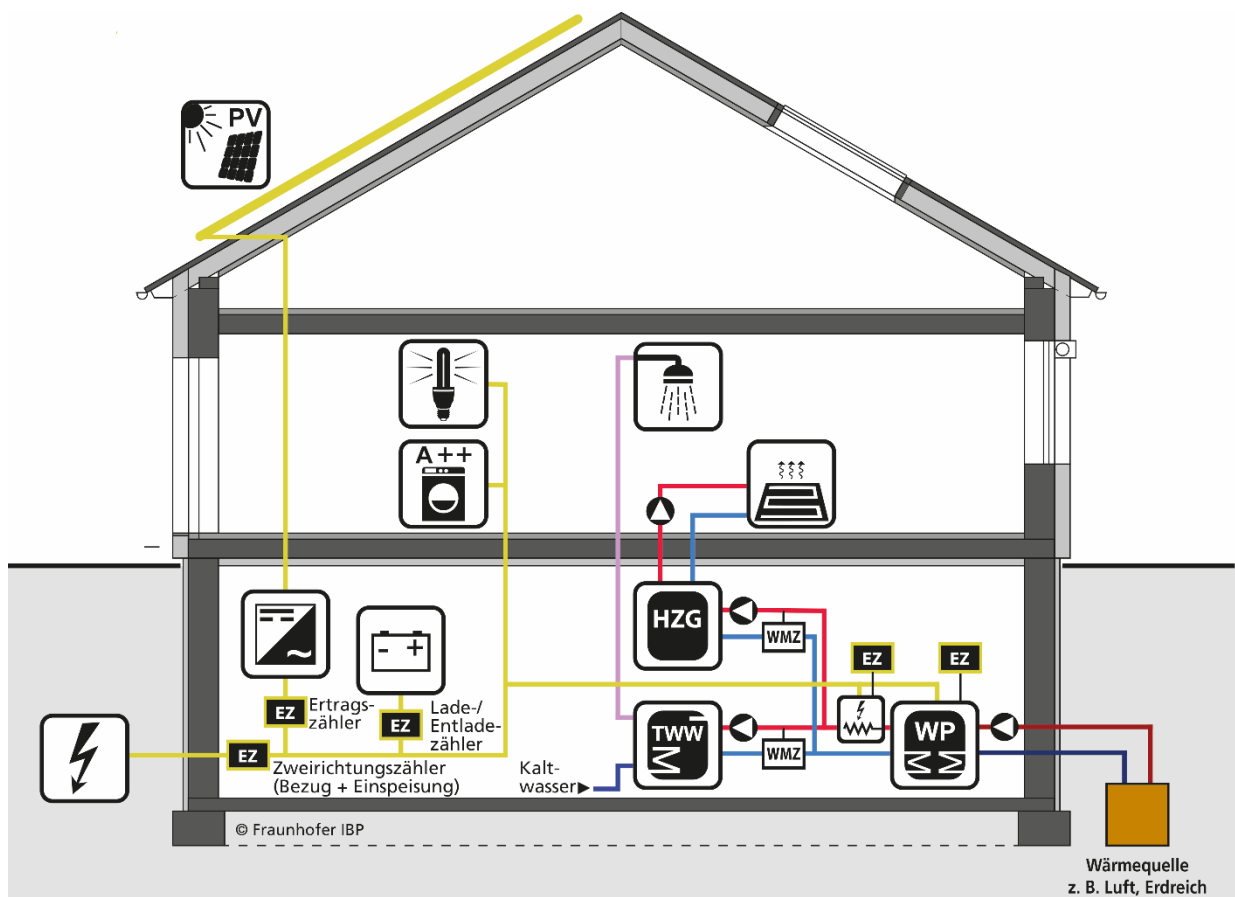


Bild 4:
Beispielhafte Darstellung eines Gebäudes mit einer Wärmepumpe und Photovoltaik-Anlage.

4.1 ...meinen Stromverbrauch?

Bei der Bewertung des Stromverbrauchs wird nur der Jahresverbrauch betrachtet. Dabei muss ggf. auch die PV-Anlage (siehe Abschnitt 7) mitberücksichtigt werden. Der Stromverbrauch für die Wärmepumpe sollte separat erfasst werden und nicht im allgemeinen Stromverbrauch enthalten sein. Obwohl Wärmepumpen zur Erzeugung von Wärme meist Strom verwenden, wird der Verbrauchsanteil der Wärmepumpe dem Wärme- bzw. Heizenergieverbrauch (siehe Abschnitt 4.2) zugerechnet.

4.1.1 Messung

Der Jahresstromverbrauch kann über die (jährliche) Ablesung des Stromzählers bzw. der jährlichen Stromrechnung bestimmt werden. Ist eine Photovoltaikanlage vorhanden, wird zur Ermittlung des jährlichen Gesamtstromverbrauchs noch der Eigenstromverbrauch aus der PV-Anlage addiert. Der Eigenstromverbrauch wird in der Regel nicht gemessen, sondern berechnet. Hierfür ist die Messung bzw. Ablesung des PV-Ertrags und des eingespeisten Stroms notwendig (siehe Tabelle 1). Ist der Stromverbrauch für die Wärmepumpe enthalten, sollte dieser Anteil abgezogen werden.

4.1.2 Auswertung

Für die Einschätzung des Stromverbrauchs werden Jahreswerte verwendet. Der Verbrauch kann gemäß Tabelle 1 ermittelt werden. Die entsprechenden Zähler sollten dafür am Jahresanfang (Ablesung 1) und am Jahresende (Ablesung 2) abgelesen werden.

Tabelle 1:
Stromverbrauch.

	Elektrozähler	Stromverbrauch
Strombezug aus dem Netz	Bezugszähler	= Ablesung 2 – Ablesung 1
Ertrag aus der PV-Anlage (falls PV-Anlage vorhanden)	Ertragszähler	= Ablesung 2 – Ablesung 1
Einspeisung ins Netz (falls PV-Anlage vorhanden)	Einspeisezähler	= Ablesung 2 – Ablesung 1
Gesamtstromverbrauch	-	= Bezug + Ertrag – Einspeisung

4.1.3 Benchmarks/Vergleichswerte

Bild 5 zeigt eine Zusammenstellung des typischen Stromverbrauchs für Einfamilien- oder Zweifamilienhäuser von Haushalten mit und ohne elektrische Trinkwarmwasserbereitung, abhängig von der Anzahl der im Haushalt lebenden Personen, kategorisiert von geringem bis sehr hohem Stromverbrauch.

Gebäudetyp	Warmwasser	Personen im Haushalt	Verbrauch in Kilowattstunden (kWh) pro Jahr						
			gering				sehr hoch		
			A	B	C	D	E	F	G
Haus	ohne Strom		bis 1.300	bis 1.600	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.200	bis 4.100	über 4.100
			bis 2.000	bis 2.400	bis 2.800	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.200	über 4.200
			bis 2.500	bis 3.000	bis 3.400	bis 3.700	bis 4.200	bis 5.000	über 5.000
			bis 2.700	bis 3.300	bis 3.700	bis 4.000	bis 4.700	bis 5.800	über 5.800
			bis 3.200	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.500	über 7.500
	mit Strom		bis 1.500	bis 1.900	bis 2.300	bis 2.900	bis 3.500	bis 5.000	über 5.000
			bis 2.400	bis 3.000	bis 3.400	bis 3.800	bis 4.500	bis 6.000	über 6.000
			bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.800	bis 5.600	bis 7.000	über 7.000
			bis 3.500	bis 4.000	bis 4.800	bis 5.500	bis 6.400	bis 8.000	über 8.000
			bis 4.000	bis 5.000	bis 6.000	bis 6.800	bis 8.000	bis 10.000	über 10.000

Bild 5:
Stromspiegel für das Abrechnungsjahr 2021 für Ein- und Zweifamilienhäuser in Deutschland (wird jährlich aktualisiert). Quelle: www.stromspiegel.de [13].

4.1.4 Optimierung

In Tabelle 2 sind einige Hilfestellungen zum Stromsparen aufgelistet. Weitere Maßnahmen und Erläuterungen sind in diversen kostenfrei verfügbaren Ratgebern wie z. B. [14], [15], [16] und [17] zu finden.

Tabelle 2:
Optimierung beim Stromverbrauch.

	Eigenleistung 	Fachfirma
Warmwasseranschluss für Wasch- und Spülmaschinen		X
Verwendung von Geräten der Effizienzklasse A	X	
Stand-by-Verluste vermeiden: Nicht benötigte Elektrogeräte vom Netz trennen!	X	
Bei elektrischer Warmwasserbereitung: Sparduschkopf und Durchflussbegrenzer	X	
Austausch von Leuchtmitteln in energieeffiziente Systeme (z. B. LED)	X	
Heizungspumpen (s. Abschnitt 8.5) und Lüftungsventilatoren prüfen	X	
Temperatureinstellung Kühlschrank prüfen	X	
Vergleich des Jahresstromverbrauchs mit dem der Vorjahre	X	

4.2 ...meinen Heizenergieverbrauch?

Bei der Bewertung des Heizenergieverbrauchs wird der flächenbezogene Jahresverbrauch betrachtet. Dieser besteht in der Regel aus dem Anteil für Raumwärme und dem Anteil für Warmwasserbereitung. Während der Anteil für

Raumwärme im Jahresverlauf schwankt und in den Wintermonaten am höchsten ist, ist der Warmwasserverbrauch eines Haushalts meist relativ ausgeglichen im Verlauf eines Jahres. Die Bezugsfläche entspricht der Gebäudenutzfläche eines Wohngebäudes. Die Berechnung der Gebäudenutzfläche und Ableitung aus der Wohnfläche wird in Anhang A.2 erläutert.

4.2.1 Messung

Im Normalfall kennt der Nutzer seinen jährlichen Heiz(end)energieverbrauch über die Jahresverbrauchsabrechnung seines Energieversorgungsunternehmens. Die Abrechnung beinhaltet in der Regel die Angabe der verbrauchten Kilowattstunden und ist nur dann verlässlich, wenn der Verbrauch am Zähler abgelesen wurde und nicht auf der Basis von Schätzungen berechnet wurde. Da die meisten Wärmepumpen mit Strom betrieben werden, kann der Endenergieverbrauch für Wärme von der Wärmepumpe beim Ablesen oder der Abrechnung des Wärmepumpenzählers bestimmt werden. Um den Heizenergieverbrauch einzuordnen bzw. um den Jahresheizenergieverbrauch verschiedener Jahre miteinander zu vergleichen, sollte eine Außentemperaturbereinigung, auch „Witterungsbereinigung“ genannt, durchgeführt werden (siehe Abschnitt 2).

4.2.2 Benchmarks/Vergleichswerte

Der „Heizspiegel für Deutschland“ bietet bundesweite Vergleichswerte für die Heizkosten und den Heizenergieverbrauch. In Bild 6 sind die Vergleichswerte für das Abrechnungsjahr 2021 in vier verschiedene Kategorien von „niedrig“ bis „zu hoch“ eingeteilt. Die Vergleichswerte sind für unterschiedliche Energieträger bzw. Heizsysteme gegeben. Hocheffiziente Wohnhäuser sollten auf jeden Fall in die grüne Kategorie „niedrig“ fallen. Die Vergleichskosten wurden vor dem deutlichen Preisanstieg im Jahr 2022 ermittelt. Eine weitere schnelle Möglichkeit, seinen Heizenergieverbrauch zu vergleichen, bietet der sogenannte Heizatlas [18].

Wohnfläche des Gebäudes in m ²	Energieträger/ Heizsystem	kWh Verbrauch in Kilowattstunden je m ² und Jahr				€ Kosten in Euro je m ² und Jahr				Das bedeuten die Kategorien: niedrig: Glückwunsch: Besser geht's kaum. mittel: Das Gebäude liegt im Durchschnitt. erhöht: Jedes zweite Haus verbraucht weniger. zu hoch: Achtung: 90 % aller Wohngebäude sind effizienter als Ihr Haus.
		niedrig	mittel	erhöht	zu hoch	niedrig	mittel	erhöht	zu hoch	
100 – 250	Erdgas	bis 96	bis 165	bis 254	ab 255	bis 8,30	bis 12,40	bis 17,50	ab 17,51	
	Heizöl	bis 107	bis 168	bis 251	ab 252	bis 7,60	bis 10,30	bis 13,70	ab 13,71	
	Fernwärme	bis 84	bis 141	bis 241	ab 242	bis 10,00	bis 14,80	bis 23,00	ab 23,01	
	Wärmepumpe	bis 28	bis 45	bis 100	ab 101	bis 8,60	bis 12,30	bis 24,00	ab 24,01	
	Holzpellets	bis 69	bis 138	bis 241	ab 242	bis 6,10	bis 9,20	bis 13,70	ab 13,71	
251 – 500	Erdgas	bis 93	bis 157	bis 243	ab 244	bis 7,80	bis 11,30	bis 16,00	ab 16,01	
	Heizöl	bis 104	bis 165	bis 248	ab 249	bis 7,10	bis 9,80	bis 13,30	ab 13,31	
	Fernwärme	bis 81	bis 135	bis 227	ab 228	bis 9,60	bis 14,10	bis 21,50	ab 21,51	
	Wärmepumpe	bis 27	bis 44	bis 98	ab 99	bis 8,10	bis 11,70	bis 23,00	ab 23,01	
	Holzpellets	bis 64	bis 129	bis 226	ab 227	bis 5,50	bis 8,40	bis 12,50	ab 12,51	

Bild 6: Heizspiegel für das Abrechnungsjahr 2021 für Ein- und Zweifamilienhäuser in Deutschland (wird jährlich aktualisiert). Quelle: www.heizspiegel.de [19].

Im Rahmen der Technischen Begleitforschung zur Effizienzhaus Plus-Initiative hat das Fraunhofer IBP zahlreiche Wohngebäude im Effizienzhaus Plus-Standard querausgewertet [2]. Die Ein- bzw. Zweifamilienhäuser erfüllen einen hohen Effizienzstandard. Sie wurden so gebaut bzw. saniert, dass die jährliche End- und Primärenergiebilanz positiv ausfällt, d. h. die Wohngebäude produzieren jährlich mehr Energie als sie für den Gebäudebetrieb und den Nutzerstrom benötigen. Bild 7 zeigt den berechneten Heizenergiebedarf (nach DIN V 18599 für Heizung und TWW) sowie den gemessenen Heizenergieverbrauch während der zweijährigen Messperiode (Messjahr 1 und Messjahr 2). In allen dargestellten Ein- bzw. Zweifamilienhäusern wird zur Wärmeerzeugung für die Heizung und das Warmwasser eine Wärmepumpe eingesetzt. Der Mittelwert der Endenergieverbräuche beider Messjahre für Heizung und Warmwasser liegt bei 13,7 kWh pro Quadratmeter Nutzfläche. Die Hilfsenergie (z. B. für den Stromverbrauch für Pumpen) ist in den Werten nicht enthalten, sondern wird dem Stromverbrauch zugerechnet.

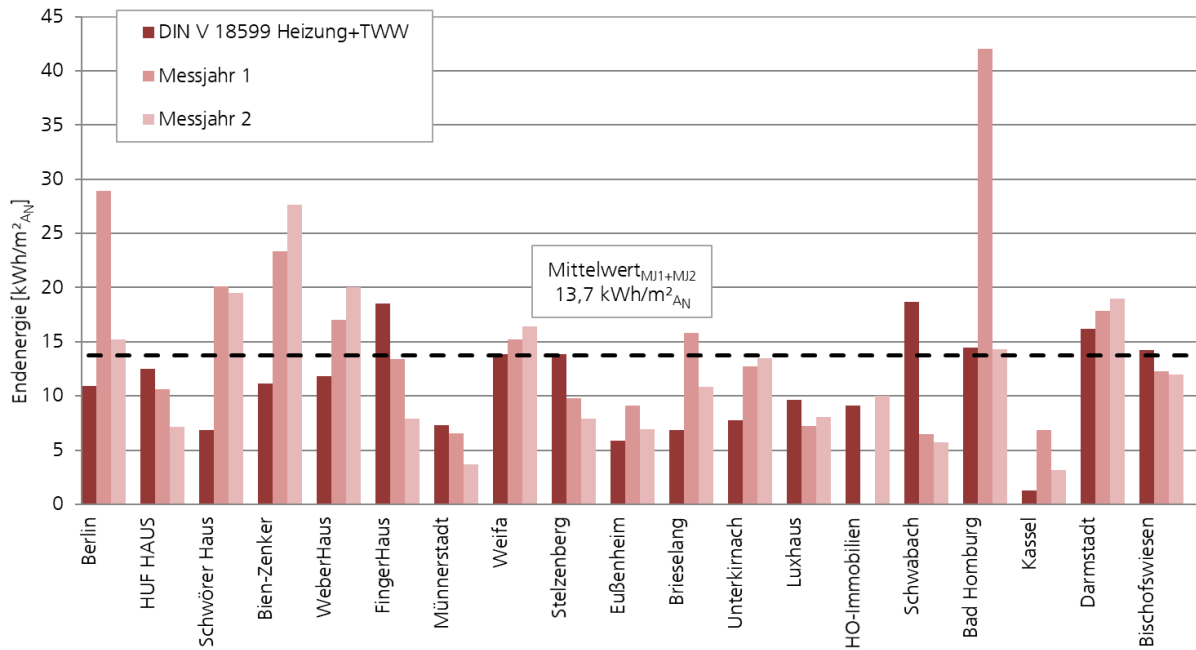


Bild 7:
Mittlerer Heizenergieverbrauch der Effizienzhaus Plus-Wohnhäuser mit Wärmepumpe [2].

5 Wie überprüfe ich die Effizienz meiner Wärmepumpe?

Wärmepumpen beziehen einen Großteil ihrer Energie zum Heizen aus der Umwelt. Um die kostenlose Umweltwärme nutzbar zu machen, d. h. auf das gewünschte Temperaturniveau der Heizung anzuheben, benötigen sie Strom. Meist werden im Wohnungsbau folgende erneuerbare Wärmequellen genutzt:

- Luft
- Erdreich / Grundwasser

Die Effizienz einer Wärmepumpe im realen Betrieb wird mit der gemessenen Jahresarbeitszahl (JAZ) beschrieben. Sie gibt das Verhältnis der im Jahr abgegebenen, nutzbaren Wärmemenge bezogen auf die eingesetzte elektrische Energie der Wärmepumpe an [20]:

$$\text{JAZ} = (\text{nutzbare Wärmemenge}) / (\text{eingesetzte elektrische Energie})$$

Die im praktischen Betrieb ermittelte Jahresarbeitszahl JAZ (englisch: Seasonal Performance Factor SPF [21]) unterscheidet sich von der Planungsgröße COP (COP = Coefficient of Performance nach DIN EN 14511 [22]) und der jahresbedingten Raumheizungs-Energieeffizienz (η_s -Wert bzw. ETAs-Wert). Der COP, auch Leistungszahl genannt, wird für die Auslegung von Wärmepumpen herangezogen. Der COP-Wert wird im Labor (Prüfstand) ausschließlich für das Wärmepumpenaggregat ermittelt und berücksichtigt damit kein Nutzerverhalten

und keine schwankenden Klimarandbedingungen. Der η_s -Wert ist eine maßgebliche Größe für BEG-Förderanträge für Wärmepumpen [24]. Der η_s -Wert gibt an, wieviel Primärenergie für eine Kilowattstunde erzeugte Wärme benötigt wird. Die gemessene Jahresarbeitszahl wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Bild 8 stellt die unterschiedlichen Einflussfaktoren nach [23] dar.

Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpen

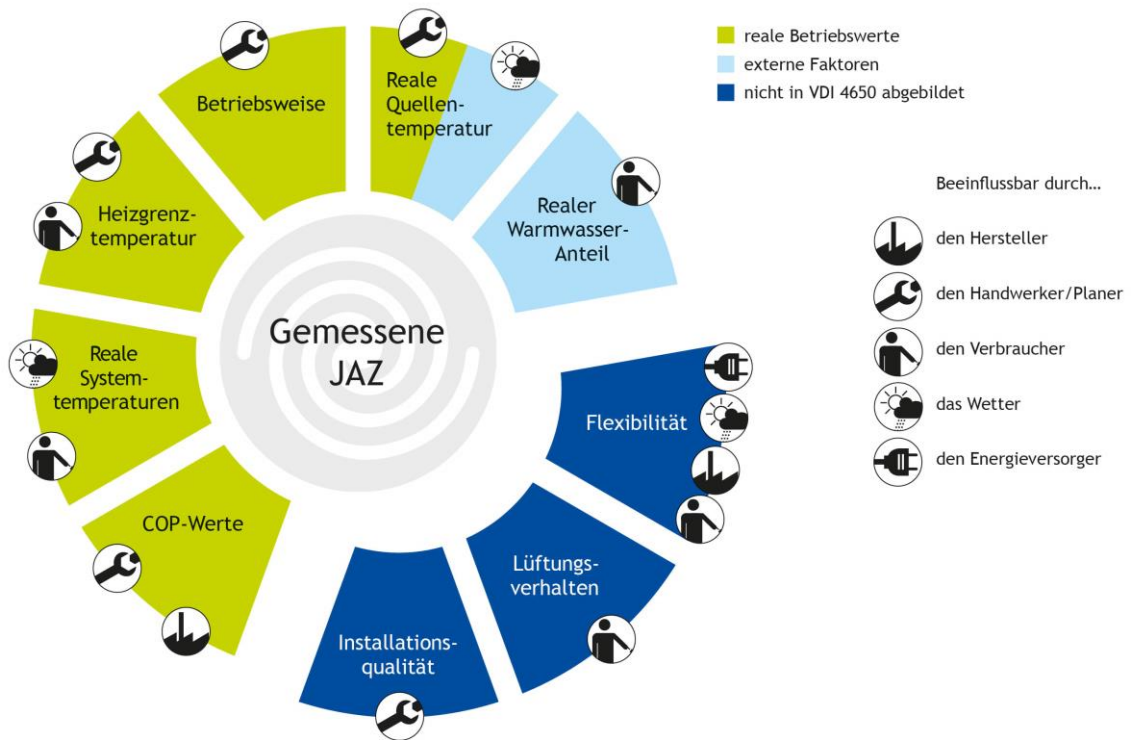


Bild 8:
Einflussfaktoren der gemessenen Jahresarbeitszahl einer Elektrowärmepumpe.
Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.

Bild 9 zeigt die drei Bilanzräume zur Bestimmung der Arbeitszahl von Wärmepumpen im Praxisbetrieb. Bilanzraum 1 berücksichtigt nur die Wärmepumpe selbst (z. B. für die Ermittlung des COPs). Bilanzraum 2 berücksichtigt die abgegebene Wärmemenge der Wärmepumpe einschließlich eines eventuell vorhandenen Heizstabes. Für Bilanzraum 3 wird die Nutzenergie am Ausgang der gebäudespezifischen Heizungs- und Warmwasserspeicher im Verhältnis zur Stromaufnahme der Wärmepumpe einschließlich aller Umwälz- und Ladepumpen sowie des Heizstabs betrachtet. Die auftretenden Speicherverluste sind im Bilanzraum 3 in der JAZ berücksichtigt.

Die meisten Wärmepumpenanlagen werden, insbesondere bei Luft-Wärmepumpen, durch einen elektrischen Heizstab unterstützt: Um an milden Tagen die Laufzeit zu verlängern und die Effizienz zu erhöhen, wird die Wärmepumpe absichtlich unterdimensioniert, wodurch bei kälteren Außentemperaturen ggf. durch den Heizstab zugeheizt werden muss.

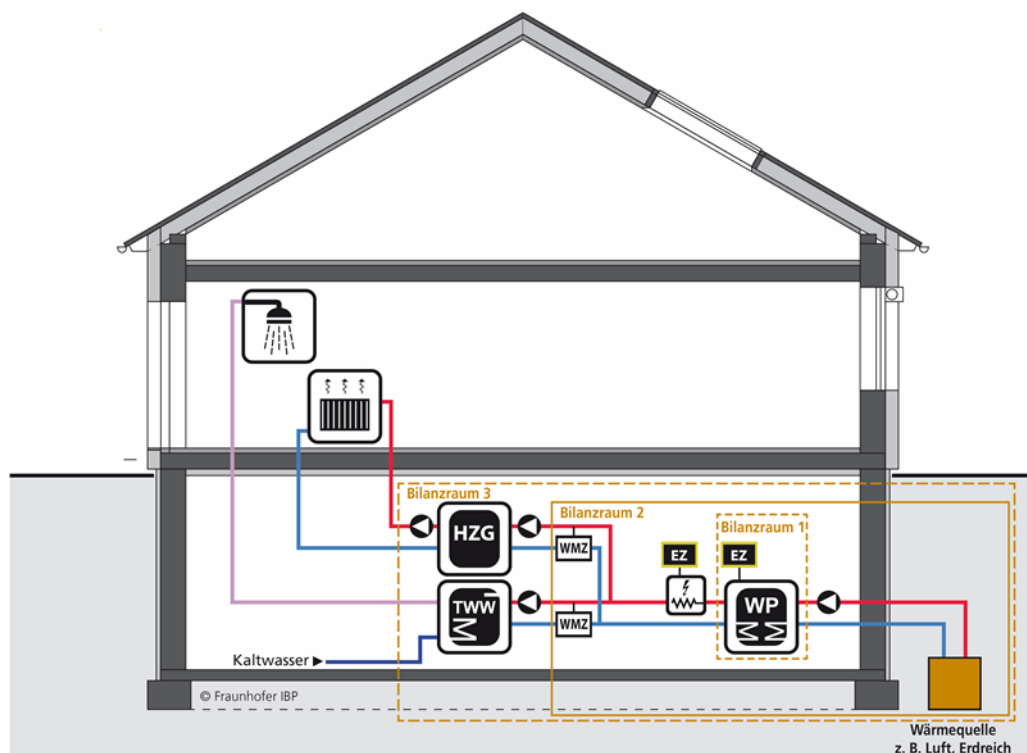


Bild 9:
Schematische Darstellung einer Wärmepumpe mit verschiedenen Bilanzräumen zur Bestimmung der gemessenen Arbeitszahl (JAZ) in der Praxis.

5.1 Messung

Zur Bestimmung der JAZ werden die Bewertungsgrößen nach Tabelle 3 benötigt. Die elektrischen Zähler und die Wärmemengenzähler sind bei den meisten Wärmepumpenanlagen vorhanden, da sie für viele Förderprogramme obligatorisch sind [24].

Tabelle 3:
Bewertungsgrößen zur Bestimmung der JAZ einer Wärmepumpe.

Bewertungsgröße	Einheit	Messung
Stromverbrauch Heizstab Stromverbrauch Kompressor Stromverbrauch Regelung Stromverbrauch Pumpe bzw. Ventilator vor der WP	[kWh/a]	Elektrozähler (evtl. ablesbar an der Wärmepumpe)
Wärmemenge Heizung und Trinkwarmwasser	[kWh/a]	Wärmemengenzähler (2 Stück) (evtl. Bestandteil der Wärmepumpe)

5.2 Auswertung

Die Ermittlung der JAZ hängt vom gewählten Bilanzraum ab. Für die Auswertung wird der Bilanzraum 2 (entspricht der Bilanzgrenze der Wärmepumpenanlage nach VDI 4650 [20]) empfohlen. Die Berechnung erfolgt gemäß Tabelle 4.

Tabelle 4:
Bestimmung der Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe.

Bewertungsgröße		Einheit	Messung bzw. Bestimmung
(1)	nutzbare Wärmemenge	[kWh/a]	Wärmemengenzähler (Bilanzraum 1 oder 2) je nach Heizstab
(2)	zugeführte elektrische Energie	[kWh/a]	= Stromverbrauch Pumpe + Heizstab + Kompressor + Regelung
(3)	JAZ (Bilanzraum 2)	[-]	= (1) / (2)

5.3 Benchmarks/Vergleichswerte

Die JAZ, ermittelt nach Tabelle 4 (Bilanzraum 2), kann nach Tabelle 5 eingeordnet werden. Neben Mittelwerten, die aus real gemessenen Gebäuden im Rahmen von Fraunhofer-Monitoringvorhaben ermittelt wurden, sind die Mindestwerte der ehemaligen BAFA-Förderung als Richtwerte aufgelistet. Die BAFA-Förderung wurde inzwischen von der BEG-Förderung abgelöst. Dabei wurden die JAZ-Mindestanforderungen durch Anforderungen an den η_s -Wert ersetzt (siehe ETA-Wert). Unabhängig davon bleibt die Ermittlung der Jahresarbeitszahl zur Bewertung der Anlageneffizienz im Betrieb wichtig. Die gemessenen und berechneten Werte weisen dabei Unterschiede auf, da die gemessene Jahresarbeitszahl stark von den realen Betriebsbedingungen beeinflusst wird (siehe Bild 8). Bei Betrachtung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Energiekosten ist auch die Effektivität der Wärmepumpenanlage entscheidend [25].

Tabelle 5:
 Mindestwerte der JAZ nach der ehemaligen BAFA-Förderung [26] sowie Mittelwerte JAZ aus real gemessenen Gebäuden [27], [28].

Wärmepumpe	Mindestwert JAZ ehemalige BAFA-Basisförderung*	Mindestwert JAZ ehemalige BAFA-Innovationsförderung**	Spektrum der Mittelwerte JAZ (Bilanzraum 2) Fraunhofer-Monitoringvorhaben
Sole/Wasser	3,8	4,5	3,2 – 4,0
Wasser/Wasser	3,8	4,5	3,2 – 4,0
Luft/Wasser	3,5	4,5	2,6 – 3,1
Luft/Luft	-	-	2,6 – 3,1



*für Wohngebäude (Bestand)

**mit Flächenheizung und Qualitätscheck

5.4 Funktionskontrolle/Optimierung

In Tabelle 6 sind Hilfestellungen für die Funktionskontrolle und Optimierung von Wärmepumpen aufgelistet.

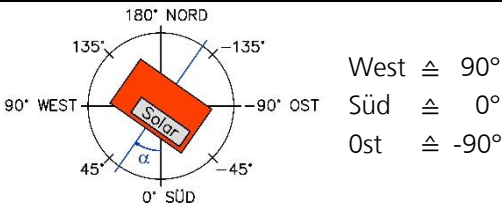
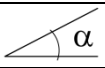
Tabelle 6:
Funktionskontrolle und Optimierung bei Wärmepumpen.

Anlagenteil		Konsequenz	Eigenleistung 	Fachfirma 
Gesamtanlage	heizungsrelevante Anlagenteile sind ganzjährig in Betrieb	höhere Stand-by-Verluste	Heizung im Sommer ausschalten	
	Fehler bei Planung und Ausführung (z. B. Dimensionierung, zu hohe Heizkreistemperaturen, etc.)	niedrigere JAZ		Ablauf nach [21]
Trinkwarmwasserbereitung	verhältnismäßig großer Anteil z. B. bei – sehr gutem Wärmeschutz und daraus resultierendem geringen Heizwärmeverbrauch – hohem Trinkwarmwasserbedarf	niedrigere JAZ	-	-
Heizstab	heizt zu viel	höherer Energieverbrauch		x
Sonstiges	hohe Innenraumtemperaturen		x	
	Wartung	Auffälligkeiten können möglichst früh erkannt und bei Bedarf behoben werden		jährlich [29] Checklisten [21], [30]
	Vergleich des Jahresverbrauchs mit dem der Vorjahre		s. Abschnitt 4.2	

6 Wie überprüfe ich meine Solarthermie-Anlage?

Thermische Solaranlagen können zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Bild 10 und Bild 11) oder als Wärmequelle einer Wärmepumpe eingesetzt werden. In diesem Kapitel wird beschrieben, wie Sie Solarthermie-Anlagen überprüfen können, die der Trinkwarmwassererwärmung oder Heizungsunterstützung dienen. Die Überprüfung Ihrer Wärmepumpen-Effizienz wurde bereits in Abschnitt 5 behandelt. Die wesentlichen Komponenten einer thermischen Solaranlage sind die Kollektoren, der Speicher sowie die Regelung (oft Teil einer Solarstation). In der Checkliste in Tabelle 7 werden die wesentlichen Komponenten und Eigenschaften von thermischen Solaranlagen zusammengestellt.

Tabelle 7:
Checkliste zur Datenaufnahme einer Solarthermie-Anlage.

		Vorhandene thermische Solaranlage
Kollektortyp	Flachkollektor Röhrenkollektor	
Montage	indach aufdach	
Speicher	Bivalenter Trinkwarmwasserspeicher Kombispeicher	
Ausrichtung [°]		○
Neigung [°]		○
Solarstation mit Wärmemengenzähler vorhanden?		ja / nein
Umwälzpumpe: einstufig, mehrstufig, geregelt, hocheffizient (modular?)		
Trinkwarmwassererwärmung		ja / nein
Heizungsunterstützung		ja / nein

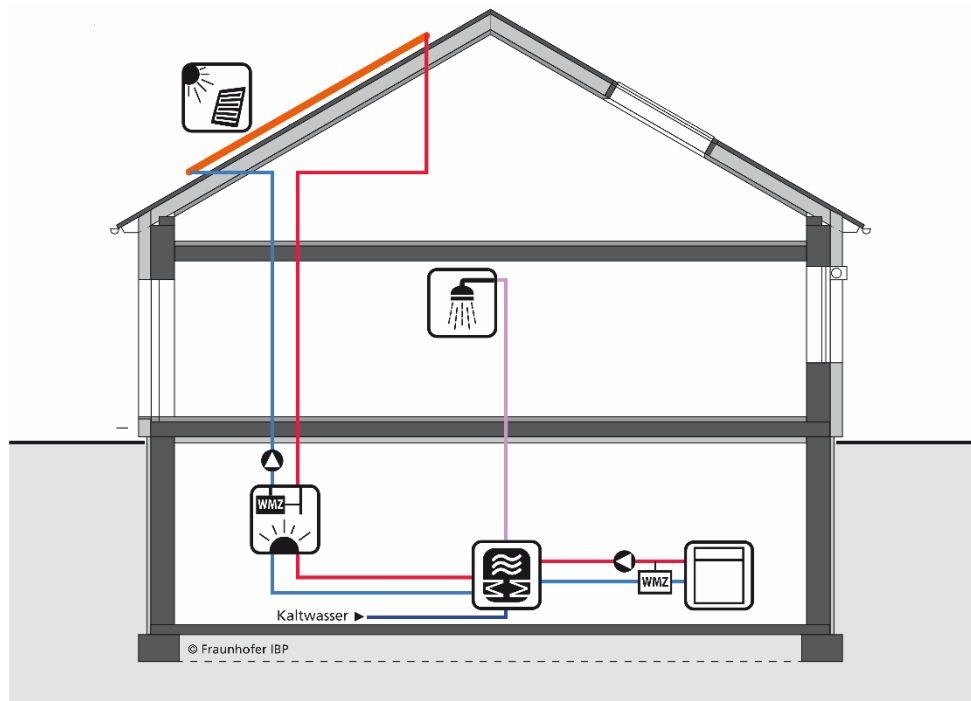


Bild 10:
Thermische Solaranlage mit bivalentem Speicher zur Trinkwassererwärmung.

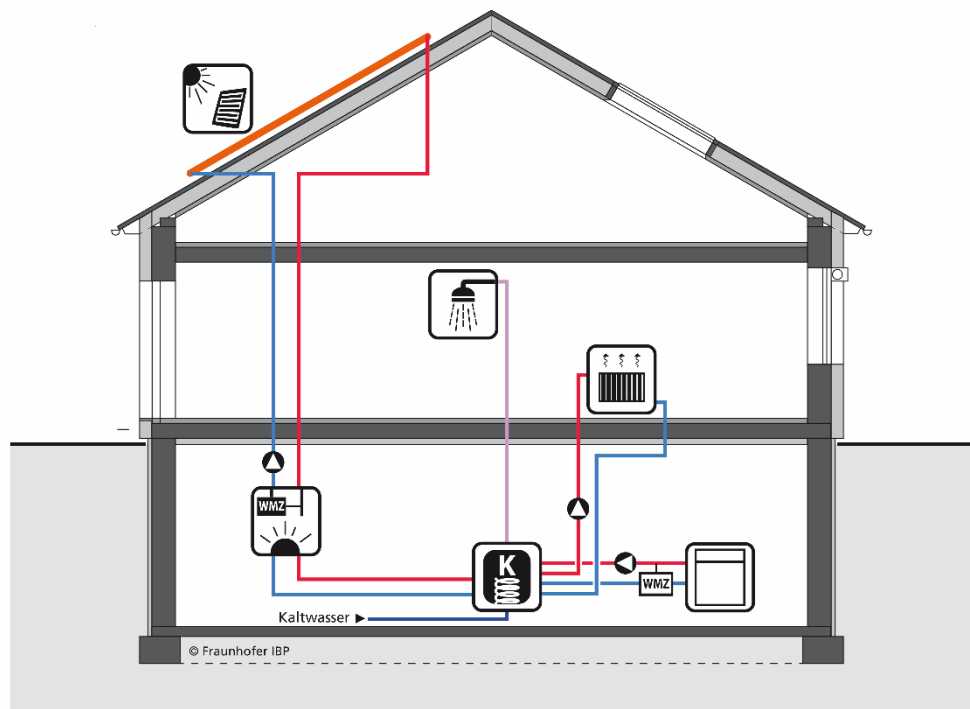


Bild 11:
Thermische Solaranlage mit Kombispeicher zur Trinkwassererwärmung und Unterstützung der Raumheizung.

Zur Prüfung Ihrer Solarthermie-Anlage zur Trinkwarmwassererwärmung oder Heizungsunterstützung werden drei Größen verwendet: der Solarertrag, der Systemnutzungsgrad und der solare Deckungsgrad. Der Solarertrag ist die Wärmemenge, die von der Solarthermie-Anlage erzeugt und zur Beladung des Speichers verwendet wird, also die Menge tatsächlich nutzbarer Wärmeenergie. Der Systemnutzungsgrad ist das Verhältnis zwischen der solaren Einstrahlung auf die Kollektorfläche und dem daraus gewonnenen Solarertrag. Der solare Deckungsgrad gibt den Anteil des Solarertrags zur Beladung des Speichers bezogen auf die Gesamtwärmemenge zur Beladung des Speichers an. Der solare Deckungsgrad hängt von unterschiedlichen Faktoren wie der Anlagengröße, Standort und Ausrichtung der Kollektoren, Speichergröße und dem Energieverbrauch bzw. Nutzerverhalten ab. In den folgenden Abschnitten wird erläutert, wie Sie diese Größen für Ihre Anlage bestimmen können. Zudem werden Vergleichswerte sowie Funktionskontrollen bzw. Optimierungsmöglichkeiten angegeben.

6.1 Messung

Zur Überprüfung der solarthermischen Anlage wird der Solarertrag (Tabelle 8) zur Beladung des Speichers während eines Jahres gemessen. Ist eine Solarstation vorhanden, kann dies meist dort abgelesen werden. Anderenfalls muss ein Wärmemengenzähler eingebaut werden (Bild 10 und Bild 11). Die empfohlene Messperiode beträgt ein Jahr. Zur Berechnung des Systemnutzungsgrads ist außerdem die Einstrahlung auf die (geneigte) Kollektorfläche notwendig. Da die-

ser Wert in der Regel nicht vor Ort gemessen wird, kann er aus der Globalstrahlung lokaler Wetterdaten und einem Umrechnungsfaktor abgeleitet werden (mehr dazu in Abschnitt 6.2). Zur Ermittlung des solaren Deckungsgrades muss zusätzlich zum Solarertrag der solarthermischen Anlage die von der Heizanlage bereitgestellte Wärmemenge für die Beladung des Speichers (bivalenter Trinkwarmwasserspeicher bzw. Kombispeicher) gemessen werden. Die Ermittlung des solaren Deckungsgrades erfolgt meist jährlich.

Tabelle 8:
Bewertungsgrößen zur Überprüfung der solarthermischen Anlage.

Bewertungsgröße	Einheit	Messtechnik / Bestimmung
Solarertrag (solare Wärmemenge zur Beladung des Speichers)	[kWh/a]	Wärmemengenzähler (evtl. bereits in Solarstation integriert)
Einstrahlung auf (geneigte) Kollektorfläche	[kWh/m ² a]	Globalstrahlung * Umrechnungs-Faktor f_{neig} (f_{neig} ist abhängig von Neigung und Ausrichtung)
Globalstrahlung (falls Einstrahlung auf geneigte Kollektorfläche nicht vorhanden)	[kWh/m ² a]	z. B. Globalstrahlungskarte Deutschland vom DWD (siehe Anhang A.3)
Umrechnungsfaktor f_{neig} (falls Einstrahlung auf geneigte Kollektorfläche nicht vorhanden)	[-]	Ermittlung über Tabellen oder Online-Tool (z. B. [31], siehe Anhang A.4)
Wärmemenge für Beladung Speicher (Wärmepumpe)	[kWh/a]	Wärmemengenzähler (Eingang Speicher)

6.2 Auswertung

6.2.1 Solarertrag

Der Wärmemengenzähler, welcher den Solarertrag misst, sollte zum Jahresbeginn und zum Jahresende abgelesen werden. Die Differenz bildet den Solarertrag über das gesamte Jahr ab.

6.2.2 Systemnutzungsgrad

Der Systemnutzungsgrad kann mithilfe des Solarertrags und der Einstrahlung auf die geneigte Kollektorfläche oder mithilfe des Solarertrags, der Globalstrahlung und einem Umrechnungsfaktor ermittelt werden. Der Faktor ist abhängig von Neigung und Ausrichtung der Module. Er kann mit Hilfe von Tabellen, Diagrammen oder mit einem Online-Tool (z. B. [31], siehe Anlage A.4) erfolgen. Die Ermittlung des Systemnutzungsgrads erfolgt nach Tabelle 9 bzw. Tabelle 10.

Tabelle 9:
Ermittlung der spezifischen Einstrahlung auf die geneigte Kollektorfläche.

Bewertungsgröße		Einheit	Messung bzw. Bestimmung
(1)	Umrechnungsfaktor f_{neig}	[-]	Siehe z. B. Anhang A.4
(2)	Globalstrahlung im Messjahr	[kWh/m ² a]	Siehe Tabelle 8
(3)	Spezifische Einstrahlung auf geneigte Kollektorfläche	[kWh/m ² a]	= (1) * (2)

Tabelle 10:
Ermittlung des Systemnutzungsgrades.

Bewertungsgröße		Einheit	Messung bzw. Bestimmung
(1)	Solarertrag (zur Beladung des Speichers)	[kWh/a]	Siehe Tabelle 8
(2)	Spezifische Einstrahlung auf geneigte Kollektorfläche	[kWh/m ² a]	Siehe Tabelle 9
(3)	Kollektorfläche	[m ²]	Siehe Tabelle 7
(4)	Gesamteinstrahlung auf geneigte Kollektorfläche	[kWh/a]	= (2) * (3)
(5)	Systemnutzungsgrad	[-]	= (1) / (4)

6.2.3 Solarer Deckungsgrad

Für eine thermische Solaranlage wird zur Ermittlung des solaren Deckungsgrades der Solarertrag (solare Wärmemenge zur Beladung des Speichers) mit der Gesamtwärmemenge zur Beladung des Speichers (Solarertrag + weitere Wärmequellen) verglichen (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11:
Ermittlung des solaren Deckungsgrades.

Bewertungsgröße		Einheit	Messung bzw. Bestimmung
(1)	Solarertrag	[kWh/a]	Siehe Tabelle 8
(2)	Wärmemenge zur Beladung des Wärmespeichers aus weiteren Wärmequellen	[kWh/a]	Siehe Tabelle 8
(3)	Gesamt-Wärmemenge zur Beladung des Speichers	[kWh/a]	= (1) + (2)
(4)	Solarer Deckungsgrad	[-]	= (1) / (3)

6.3 Benchmarks / Vergleichswerte

6.3.1 Solarertrag

Zur Überprüfung der Anlage wird der Solarertrag (solare Wärmemenge zur Beladung des Speichers) mit den Solarerträgen der Vorjahre verglichen (Tabelle 8). Ein direkter Vergleich ist nur möglich, wenn sich die Gewohnheiten bzgl. des Trinkwarmwasserverbrauchs nicht geändert haben. Alternativ können als Vergleich näherungsweise Tabellen oder Online-Tools (z. B. [31]) verwendet werden.

6.3.2 Systemnutzungsgrad

Der Systemnutzungsgrad gilt als wichtiger Vergleichswert für die Effizienz einer thermischen Solaranlage und dient somit vorrangig zur energetischen Bewertung der Solaranlage. Im Anwendungsbereich Trinkwarmwassererwärmung von Ein- und Zweifamilienhäusern sind Systemnutzungsgrade von 30 % bis 45 % vorzufinden, d. h. bei z. B. einer solaren Einstrahlung von 1.000 kWh/a pro Quadratmeter Kollektorfläche ergibt sich ein solarer Ertrag von 300 bis 450 kWh/a pro Quadratmeter Kollektorfläche.

6.3.3 Solarer Deckungsgrad

Thermische Solaranlagen sollen in den Sommermonaten den größten Teil der Trinkwarmwasserbereitung übernehmen. Der Systemnutzungsgrad und der solare Deckungsgrad verlaufen entgegengesetzt, d. h. hohe Systemnutzungsgrade führen zu geringeren solaren Deckungsgraden. Ein (zu) hoher Deckungsgrad sorgt im Sommer für große Wärmeüberschüsse, welche keiner Nutzung zugeführt werden können, was den Systemnutzungsgrad reduziert. Kleine Solarthermie-Anlagen haben oft einen sehr hohen Systemnutzungsgrad, da die gewonnene Energie meist vollständig abgenommen werden kann, dafür aber

einen vergleichsweise geringen solaren Deckungsgrad. Richtwerte für den solaren Deckungsgrad über das ganze Jahr sind in Tabelle 12 zusammengestellt.



Tabelle 12:
Richtwerte für den solaren Deckungsgrad [32], [33].

System		solarer Deckungsgrad
Trinkwarmwasserbereitung (TWW)	Flachkollektorfläche: 5 – 6 m ² für 4 Personen	50 % – 60 %
	TWW-Bedarf: 25 – 30 % des Gesamtwasserverbrauchs \cong ca. 40 l TWW pro Person und Tag (45 °C)	
	Trinkwasserspeicher: 300 – 400 l für 4 Personen	
Heizungsunterstützung	Kollektorfläche: 10 – 15 m ²	Altbau: 10 % – 20 %
	Pufferspeicher: 700 – 1.200 l	Energiesparhaus: 25 % – 40 %

6.4 Funktionskontrolle / Optimierung

In Tabelle 13 sind Hilfestellungen für die Funktionskontrolle und die Optimierung von thermischen Solaranlagen aufgelistet.

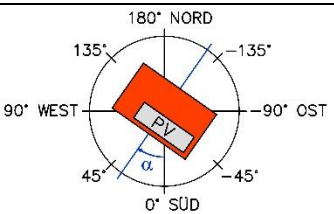

Tabelle 13:
Funktionskontrolle und Optimierung bei Solarthermie-Anlagen.

Anlagenteil		Konsequenz	Eigenleistung 	Fachfirma 
Module	keine optimale Ausrichtung / Neigung	geringerer Ertrag	-	-
	Verschattung		ggf. entfernen	
	Verschmutzung			Reinigung
Speicher	Anschlüsse auf falscher Höhe	schlechte Temperaturschichtung		x
	Dämmung (mangelhaft)	Verluste	x	x
	Größe passt nicht zur Kollektorfläche	schlechte Ausnutzung		x
Einstellung/ Regelung	Wärmemengenzähler fehlt	keine Kontrolle		x
	Nachheizzeiten nicht optimiert	höhere Verluste		x
	ggf. Warmwasserzirkulation nicht optimiert	höhere Verluste		s. Abschnitt 8.5
Pumpen	ungeregelt oder hocheffizient	s. Abschnitt 8.4	x	x
	Ein- und Ausschalt Differenz nicht optimiert	häufiges Takten		x
Sonstiges	Schwerkraftbremse funktioniert nicht	höhere Verluste		x
	Temperaturfühler (Funktion, Position)	geringerer Ertrag		x
	Luft im Kollektorkreis	geringer Ertrag bzw. Funktionsstörung		x
Wartung	Dokumentation nicht vollständig	erschwerter Fehlersuche	x	s. [33], [34]
Vergleich des Jahresertrags mit dem der Vorjahre			x	

7 Wie überprüfe ich meine Photovoltaik-Anlage?

Die Photovoltaik-Anlage (vgl. Tabelle 14) setzt sich zusammen aus den PV-Modulen, dem Wechselrichter, Zählern und ggf. einem Batteriespeicher (siehe Bild 12 und Bild 13).

Tabelle 14:
Checkliste zur Datenaufnahme einer Photovoltaik-Anlage.

			vorhandene Anlage
Module	kristalline Module	monokristallines Silizium	
		polykristallines Silizium	
		zu Bändern gezogenes Silizium („Ribbon-Si“)	
	Dünnschicht- Technologie	amorphe und mikrokristalline Siliziumzellen	
		mikromorphe Siliziumzellen	
		Cadmiumtellurid (CdTe)-Zellen	
CI(G)S-Zellen mit den Elementen Kupfer, Indium, Gallium, Schwefel und Selen			
HIT-Hybridzellen	Kombination aus kristallinem und amorphem Silizium		
Nennleistung	[kW _p]		
Fläche	[m ²]		
Ausrichtung	[°]  <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 20px;"> <p>West ≙ 90°</p> <p>Süd ≙ 0°</p> <p>Ost ≙ -90°</p> </div>		
Neigung	[°] 		
Zähler	PV(-Ertrags)-Zähler	Menge des erzeugten Solarstroms	
	Bezugszähler	Menge des Stroms, der aus dem öffentlichen Netz bezogen wird	
	Einspeisezähler	Menge des Stroms, der ins öffentliche Netz eingespeist wird	
	Zweirichtungszähler Batterie	statt Bezugs- und Einspeisezähler Lade- und Entladezähler	
Batteriespeicher	Nutzbare Speicherkapazität [kWh]		

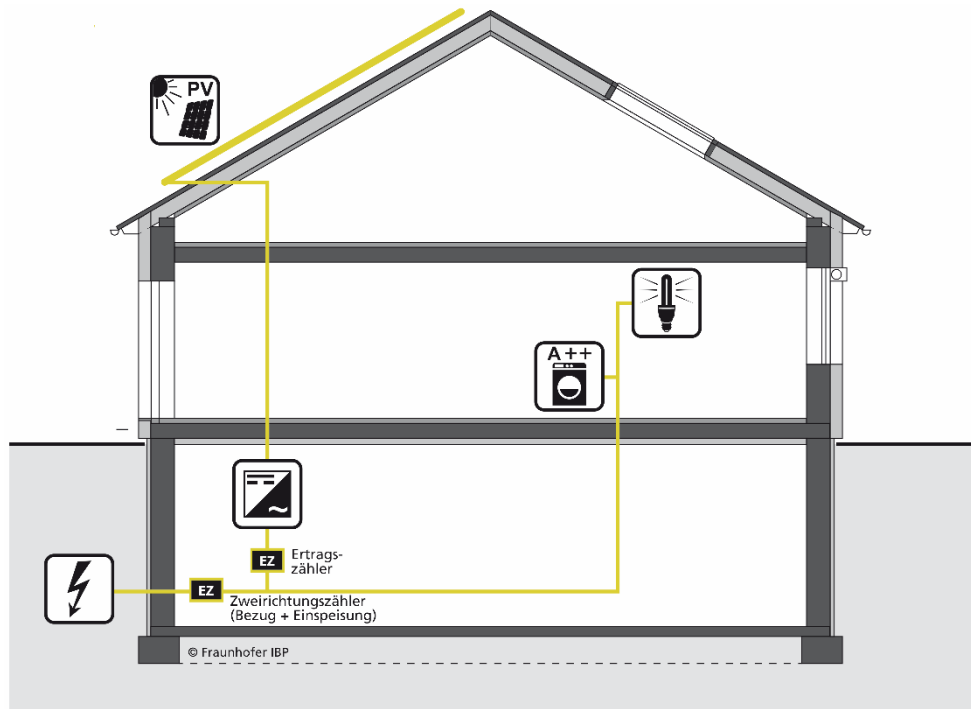


Bild 12:
PV-Anlage ohne Batteriespeicher.

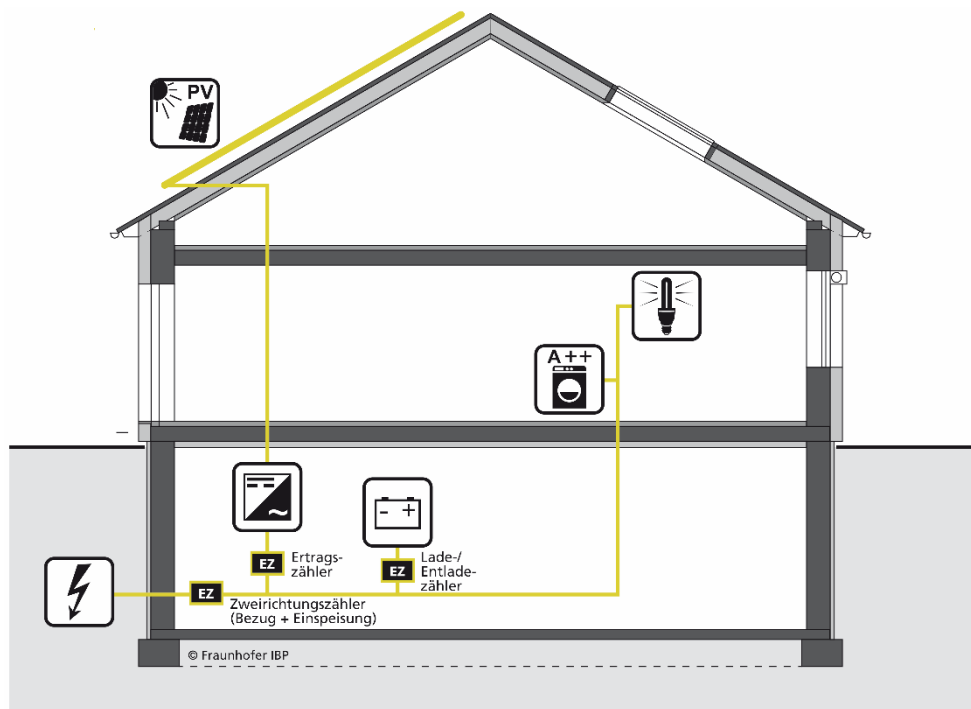


Bild 13:
PV-Anlage mit Batteriespeicher.

Eine Überprüfung der Photovoltaik-Anlage kann anhand des Solarstromertrags sowie des Eigenverbrauchs- bzw. Autarkiegrads erfolgen. Diese Größen (Definition, Messung, Auswertung und Vergleichswerte) werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

7.1 Messung

Die Überprüfung der PV-Anlage erfordert im Normalfall keine zusätzlichen Zähler. Die Messdaten können mithilfe der vorhandenen Zähler und den Wetterdaten (siehe Tabelle 15) ermittelt werden. Zur Einschätzung des gemessenen Stromertrags wird die während dem Auswertzeitraum vorhandene Globalstrahlung derjenigen aus der Berechnung der Ertragsprognose (Anlagenplanung) (siehe Anhang A.5) gegenübergestellt. Ist keine Ertragsprognose verfügbar, kann diese mit der DIN V 18599-9 [6] oder mit verschiedenen Online-Tools (z. B. [35], [36]) erstellt werden. Zur Ermittlung des Autarkiegrads ist der Gesamt-Stromverbrauch notwendig. Wenn ein Batteriespeicher vorhanden ist, sollten auch die Verluste (Laden minus Entladen) des Speichers überprüft werden.

Tabelle 15:
Bewertungsgrößen zur Überprüfung der PV-Anlage.

Bewertungsgröße	Einheit	Messtechnik/Bestimmung
Globalstrahlung der Ertragsprognose	[kWh/m ²]	Anlagenplanung (Ertragsprognose) (siehe Anhang A.5), alternativ über Strahlungskarten [37] (siehe z. B. Anhang A.3)
Globalstrahlung während Messperiode	[kWh/m ²]	monatliche bzw. jährliche Globalstrahlung z. B. über Strahlungskarten [37] (siehe z. B. Anhang A.3)
PV-Stromertrag der Prognose	[kWh]	Anlagenplanung (Ertragsprognose), alternativ: Online-Tool (siehe z. B. [35], [36])
PV-Stromertrag während Messperiode	[kWh]	PV-Ertragszähler
Stromeinspeisung	[kWh]	Einspeisezähler (des Energieversorgers)
Strombezug	[kWh]	Bezugszähler (des Energieversorgers)
Gesamt-Stromverbrauch	[kWh]	= Bezugszähler + PV-Ertragszähler – Einspeisezähler
Laden Batteriespeicher	[kWh]	Lade-/Entladezähler Batteriespeicher
Entladen Batteriespeicher	[kWh]	Lade-/Entladezähler Batteriespeicher

7.2 Auswertung

7.2.1 Solarstromertrag

Den gemessenen PV-Stromerträgen (Jahres- bzw. Monatswerte) werden die prognostizierten PV-Stromerträge (Jahres- bzw. Monatswerte) aus der Anlagenplanung (Ertragsprognose) gegenübergestellt. Die Ertragsprognose basiert auf einem mittleren Klimadatensatz (langjähriges Mittel) für den entsprechenden Standort (siehe Tabelle 15). Um die aktuellen Werte der Messperiode mit den Prognosewerten vergleichen zu können, müssen diese „witterungsbereinigt“ werden. Als Korrekturfaktor wird das Verhältnis der Globalstrahlung während der Messperiode zur prognostizierten, mittleren Globalstrahlung aus der Anlagenplanung (Ertragsprognose) herangezogen. Nun kann überprüft werden, ob die witterungsbereinigten PV-Erträge die prognostizierten PV-Erträge unterschritten, erfüllt oder sogar übertroffen haben (siehe Tabelle 18).

7.2.2 Eigenverbrauch und Autarkiegrad

Der Eigenverbrauch gibt an, wieviel des durch die PV-Anlage erzeugten Stroms im Gebäude selbst verbraucht wird. Er wird aus der Differenz zwischen dem PV-Ertragszähler und dem Einspeisezähler ins Netz gebildet (siehe Tabelle 16). Der Eigenverbrauchsanteil gibt das Verhältnis von Eigenverbrauch zum gesamten PV-Ertrag an. Zusätzlich kann der sogenannte Autarkiegrad bestimmt werden. Dieser gibt das Verhältnis des Eigenverbrauchs zum Gesamtstromverbrauch (Hausverbrauch) an. Ein hoher Eigenverbrauch kann z. B. dadurch generiert werden, dass Stromverbräuche durch intelligente Gebäudetechnik und Haushaltsgeräte in Zeiten mit hohem solarem Angebot verlagert werden. Durch den Einsatz eines Batteriespeichers kann überschüssiger PV-Strom, z. B. für die Nutzung während der Nachtstunden, zwischengespeichert werden. Hierdurch lassen sich der Eigenverbrauch sowie der Autarkiegrad erhöhen.

Tabelle 16:
Bestimmung von Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad.

Bewertungsgröße		Einheit	Messung bzw. Bestimmung
(1)	Eigenverbrauch	[kWh/a]	= PV-Ertrag – Stromeinspeisung
(2)	Eigenverbrauchsanteil	[-]	= (1) / PV-Ertrag
(3)	Autarkiegrad	[-]	= (1) / Gesamtstromertrag

7.2.3 Wirkungsgrad Batteriespeicher

Das Verhältnis zwischen Laden und Entladen des Batteriespeichers gibt den Wirkungsgrad des Batteriespeichers an (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17:
Bestimmung des Wirkungsgrades des Batteriespeichers.

Bewertungsgröße		Einheit	Messung bzw. Bestimmung
(1)	Laden Batteriespeicher	[kWh/a]	Tabelle 15
(2)	Entladen Batteriespeicher	[kWh/a]	Tabelle 15
(3)	Wirkungsgrad	[-]	= (2) / (1)

Tabelle 18:
Ertrag PV-Anlage im Vergleich zur Ertragsprognose.

Monat	(1) Globalstrahlung Messperiode [kWh/m ²]	(2) Globalstrahlung Ertragsprognose [kWh/m ²]	(3) Witterungsbereinigung [-]	(4) PV-Ertrag Messperiode [kWh]	(5) PV-Ertrag witterungsbereinigt [kWh]	(6) PV-Ertrag Prognose [kWh]	(7) Vergleich: Messung – Prognose [-]
	s. Tabelle 15	s. Tabelle 15	= (2) / (1)	s. Tabelle 15	= (3)*(4)	s. Tabelle 15	= (5)/(6) ≤ 1?
Januar							
Februar							
März							
April							
Mai							
Juni							
Juli							
August							
September							
Oktober							
November							
Dezember							
Summe							

7.3 Benchmarks / Vergleichswerte

7.3.1 Solarstromertrag

Zur Überprüfung der Anlage sollen die vorhandenen Erträge mit denen der Prognose verglichen werden. Die Prognose basiert auf langjährigen Mittelwerten der Globalstrahlung am entsprechenden Ort. Aus diesem Grund werden die gemessenen PV-Erträge witterungsbereinigt (siehe Tabelle 18) und anschließend mit den PV-Erträgen aus der Ertragsprognose verglichen.

7.3.2 Eigenverbrauch und Autarkiegrad

Der Eigenverbrauchsanteil ist stark abhängig von dem Ertrag Ihrer PV-Anlage und Ihrem Gesamt-Stromverbrauch sowie dem zeitlichen Verlauf bzw. der Gleichzeitigkeit der beiden Energieströme (dies kann durch Nutzerverhalten beeinflusst werden) und der zeitlichen Auflösung Ihrer Berechnung. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Randbedingungen sind allgemeine Vergleichswerte nicht möglich. Kleinere PV-Anlagen haben tendenziell größere Eigenverbrauchsanteile als große PV-Anlagen. Allgemein kann festgehalten werden, dass der Eigenverbrauchsanteil des Solarertrags von Haushalten stark jahreszeitenabhängig ist. Im Winter übersteigt meist der Stromverbrauch die zu dieser Zeit geringere PV-Erzeugung, damit ist der Eigenverbrauchsanteil hoch. Im Sommer ist die durchschnittliche PV-Erzeugung höher bei reduziertem Stromverbrauch, damit ist der Eigenverbrauchsanteil geringer. Der Autarkiegrad verhält sich gegensätzlich zur Eigenverbrauchsquote und ist damit im Sommer höher als im Winter. Mit dem Unabhängigkeitsrechner der HTW Berlin [38] können Anhaltswerte für den Eigenverbrauchsanteil und den Autarkiegrad in Abhängigkeit des Jahresstromverbrauchs, der Photovoltaikleistung und (falls vorhanden) der nutzbaren Speicherkapazität berechnet werden. Bild 14 zeigt beispielhaft eine Berechnung mit dem Unabhängigkeitsrechner.

Unabhängigkeitsrechner

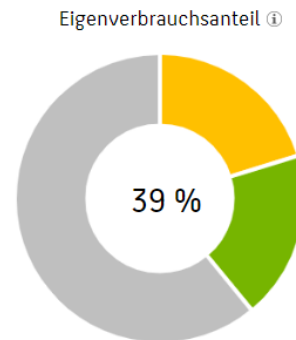
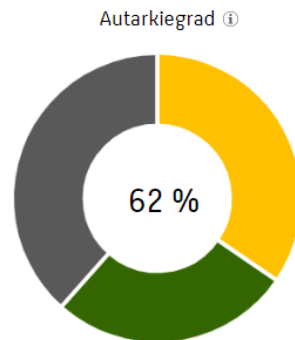
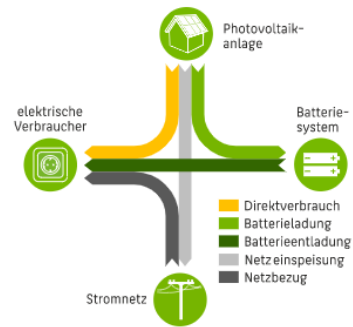
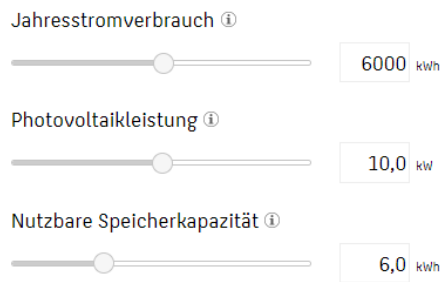
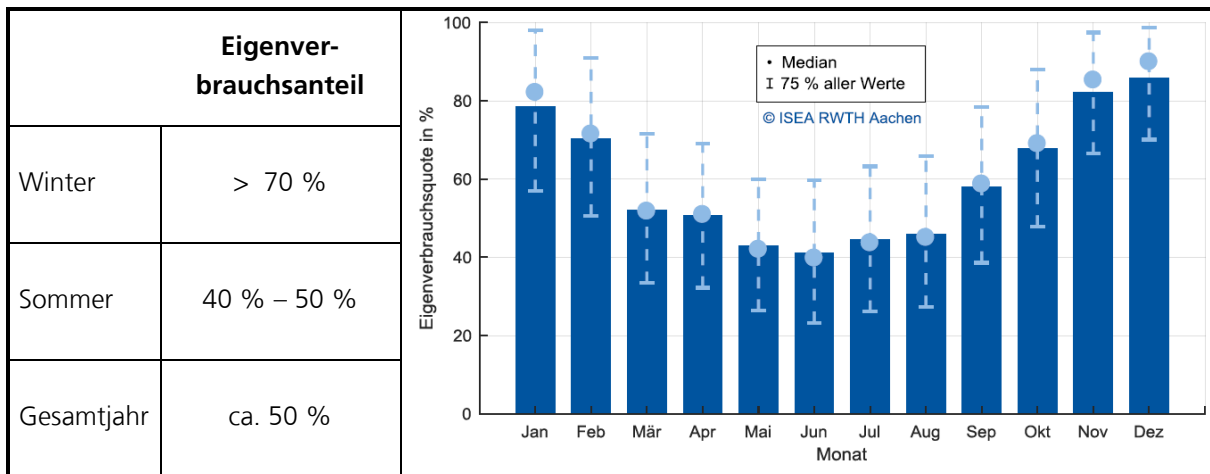


Bild 14: Unabhängigkeitsrechner zur Berechnung des Autarkiegrads der PV-Anlage. Quelle: HTW Berlin [38].

Die zeitliche Verschiebung von Stromerzeugung durch PV und Stromverbrauch des Haushalts kann teilweise durch einen Batteriespeicher ausgeglichen werden. Die RWTH Aachen führte eine wissenschaftliche Evaluierung zu Haushalten und kleinen Gewerben mit PV-Speichern durch [39]. Tabelle 19 zeigt die durchschnittliche Eigenverbrauchsquote von Haushalten und Gewerben mit PV-Speichern des Speichermonitorings. Hier gilt jedoch der Hinweis, dass auch mit Batteriespeicher der Eigenverbrauchsanteil je nach Größe des Speichers, Größe der PV-Anlage und Höhe des Gesamt-Stromverbrauchs stark variieren kann.

Tabelle 19:
Arithmetisches Mittel der monatlichen Eigenverbrauchsquote von Haushalten mit PV-Speicher (Jahr 2017). Bildquelle: ISEA RWTH Aachen [39].



7.3.3 Wirkungsgrad Batteriespeicher

Die folgende Tabelle 20 zeigt typische Wirkungsgrade für das Laden und Entladen von Batteriespeichern.



Tabelle 20:
Wirkungsgrad Entladen-Laden inklusive Batterieumrichter [38].

Batterietyp	Wirkungsgrad Entladen-Laden
Blei-Säure-Batterien	70 % – 75 %
Lithium-Ionen-Batterien	80 % – 85 %

7.4 Funktionskontrolle / Optimierung

In Tabelle 21 sind Hilfestellungen für die Funktionskontrolle und die Optimierung von Photovoltaik-Anlagen aufgelistet.

Tabelle 21:
Funktionskontrolle und Optimierung bei Photovoltaik-Anlagen.

Anlagenteil		Konsequenz	Eigenleistung 	Fachfirma 
Module	Winkel / Ausrichtung nicht optimal	Leistungsminderung	-	-
	(teilweise) Verschattung		ggf. entfernen	-
	Verschmutzung		-	Reinigung
	Alterung		-	-
	defekte Module	wirken als Verbraucher, Feuchtigkeit kann eindringen	-	Thermografie
	Anschlussfehler		-	Dokumentation
Wechselrichter	Aufstellraum zu heiß	schlechterer Wirkungsgrad	x	x
	Nennleistung zu klein		-	x
	Leistungsregelverhalten		-	x
Speicher	Aufstellraum zu kalt	schlechterer Wirkungsgrad	x	x
Wartung			-	jährlich
Vergleich des Jahresertrags mit dem der Vorjahre			x	-

8 Welche weiteren Kontroll- und Optimierungsmöglichkeiten gibt es?

Wenn Sie das Thema tiefergehend interessiert, finden Sie hier eine Auswahl an weiteren Kontroll- und Optimierungsmöglichkeiten.

8.1 Unabhängige Beratung durch Verbraucherzentralen

Eine unabhängige Energieberatung sowie Online-Veranstaltungen rund um das Thema Energie bieten die Verbraucherzentralen [40]. Die Energieberatung der Verbraucherzentralen wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Es werden unter anderem folgende Themen angeboten:

- Strom- und Wärmeverbrauch
- Heizkostenabrechnung
- Heizungs- und Regelungstechnik

- Erneuerbare Energien
- Förderprogramme

Ein weiterer Service, den Energieverbrauch zu überwachen und dadurch Energie zu sparen, bietet die gemeinnützige Beratungsgesellschaft co2online mit dem Energiesparkonto [41]. Das Konto bietet die Möglichkeit, die Verbrauchsdaten zu vergleichen, sowie Tipps, um Energie einzusparen.



8.2 Heizungscheck nach DIN EN 15378

Eine Möglichkeit, um Heizungsanlagen bezüglich Energieeffizienz und Modernisierungsbedarf überprüfen zu lassen, bietet der Heizungscheck nach DIN EN 15378 [42]. Dabei begutachtet ein Fachbetrieb die einzelnen Anlagenkomponenten (Wärmeerzeuger, Umwälzpumpe, Verteilungsleitungen, Heizflächen, Regelung, etc.) und bewertet sie bezüglich ihrer energetischen Qualität. Das Informationsblatt Heizungs-Check 2.0 [43] gibt einen kurzen Überblick zur Heizungsüberprüfung nach DIN EN 15378.

8.3 Betriebsüberwachung durch die Hausbesitzer


Grundsätzlich sind für einen energieeffizienten Gebäudebetrieb vor allem Kenntnisse über richtiges Heizen und Lüften wichtig (siehe z. B. [44], [45]). Außerdem muss eine Heizanlage, nach einer optimalen Auslegung und Montage, für gute Betriebsergebnisse im laufenden Betrieb regelmäßig überprüft, gewartet und ggf. neu eingestellt werden. In Tabelle 22 sind die Punkte genannt, auf die die Hausbesitzer achten sollten, um eine möglichst hohe Energieausnutzung zu erzielen.

Tabelle 22:
Wichtige Faktoren für eine hohe Energieausnutzung.

Faktor	  Kontrolle durch die Hausbesitzer und Ausführung durch eine Fachfirma
Wärmepumpenlaufzeiten	Schaltdifferenz zwischen Ein- und Ausschalten: möglichst lange Laufzeiten
Warmwasserzirkulation (s. Abschnitt 8.6)	falls notwendig: Regelung optimal einstellen (Laufzeit kurz halten) ggf. Zeitschaltuhr nachrüsten
Heizungspumpe (s. Abschnitt 8.5)	mehrstufig einstellbar: möglichst kleine Stufe: je besser der hydraulische Abgleich, desto niedriger kann die Stufe gewählt werden nicht einstellbar: Pumpe austauschen
Wasserdruck im Heizsystem	regelmäßig prüfen (fällt der Druck unter den Sollwert, kann Wasserverlust oder eine defektes Druckausgleichsgefäß die Ursache sein)
Heizungsregelung	passende Einstellung muss im Betrieb gefunden werden (Heizungsbauer macht bei der Inbetriebnahme nur eine Voreinstellung) bei außentemperaturabhängiger Vorlauftemperaturregelung Zeiträume und Soll-Temperaturen für normalen und abgesenkten Heizbetrieb definieren passende Heizkurve einstellen (s. Tabelle 23) (so flach wie möglich)
Hinweis: Die eingestellte „Nachttemperatur“ hat nichts mit der tatsächlichen nächtlichen Raumtemperatur zu tun, sondern sie beeinflusst die Vorlauftemperatur. Sie muss daher solange reduziert werden bis die gewünschte Raumtemperatur in der Nacht erreicht wird. Aus energetischer Sicht ist im wärmegeprägten Gebäude die Nachtabschaltung am günstigsten, da dann während dieser Abschaltung kein Pumpenstrom verbraucht wird.	
Wärmeübergabe	Heizkörper regelmäßig entlüften (s. Anlage A.7)

Die wichtigste Größe für die Heizungsregelung ist die Vorlauftemperatur (Heizwassertemperatur) [46]. Die gewählte Heizkurve gibt vor, welche Vorlauftemperatur aufgrund der gemessenen Außentemperatur eingestellt wird: bei kalten Außentemperaturen muss eine wärmere Vorlauftemperatur gewählt werden als bei milder Witterung. Dabei soll die Heizkurve (siehe Anlage A.6), die durch Steigung und Parallelverschiebung definiert ist, so niedrig wie möglich eingestellt werden, aber mindestens so, dass es in allen Räumen ausreichend warm wird. In der folgenden Tabelle 23 sind Hinweise zum Einstellen der Heizkurve zusammengestellt.


Tabelle 23:
Hinweise zum Einstellen der Heizkurve [48].

Raumtemperatur in der kalten Jahreszeit	Raumtemperatur in der Übergangszeit	Veränderung der Heizkurve (Fachfirma) Siehe Anlage A.6	
zu niedrig	✓	Steigung vergrößern	
✓	zu niedrig	Steigung verkleinern; Parallelverschiebung vergrößern	
zu hoch	✓	Steigung verkleinern	
✓	zu hoch	Steigung vergrößern; Parallelverschiebung verkleinern	

8.4 Hydraulischer Abgleich

Durch den hydraulischen Abgleich wird die Heizung hydraulisch optimal eingestellt, indem der Druckabfall in allen Strängen annähernd gleich gehalten wird. Hierdurch wird sichergestellt, dass alle Wärmeübertragerflächen (z. B. Heizkörper oder Fußbodenheizung) gleichmäßig warm werden und die Pumpenleistung reduziert wird. Der hydraulische Abgleich ist eine effektive Maßnahme, den Heizenergieverbrauch zu senken (siehe Tabelle 24). Detaillierte Information zum hydraulischen Abgleich können Sie im Fachleitfaden hydraulischer Abgleich in Heizungsanlagen nachlesen [49].

Tabelle 24:
Hydraulischer Abgleich nach [51].

Indizien	Wärmeübertragerflächen sind schlecht zu regeln Geräusche an den Heizkörpern einzelne Übertragerflächen werden heiß, andere bleiben lauwarm, obwohl sie voll aufgedreht sind
Voraussetzungen	voreinstellbare Thermostatventile oder eine Rücklaufverschraubung (Bauteil zum Absperren des Wärmeübertragers am kühleren Rohranschluss, meist mit Abdeckkappe) ansonsten voreinstellbare Thermostatventile einbauen
Ziel	jeden Wärmeübertrager mit dem richtigen Druck und folglich mit der richtigen Wassermenge zu versorgen
Wie	Heizlast für jeden Raum berechnen Vergleich mit der Heizleistung der vorhandenen Wärmeübertrager* Berücksichtigung der Entfernung des Heizkörpers zur Heizungspumpe bzw. der benötigten Heizleistung der Flächenheizung Einstellwerte für jeden Wärmeübertrager berechnen
Wer	Handwerker, die in einer Unternehmererklärung schriftlich festhalten, dass die Nachweispflicht zur Bestätigung des hydraulischen Abgleichs erfüllt wird. Die fachmännische Durchführung und Bestätigung des hydraulischen Abgleichs sind Voraussetzung, um staatliche Fördergelder zu beantragen [50]. 

*die Ermittlung der Wärmeleistung einer bestehenden Fußbodenheizung ist oft mit einem hohen Aufwand verbunden [52]. Weitere Details zum hydraulischen Abgleich bei Fußbodenheizungen sowie Rechenhilfen sind unter [53] und [54] zu finden.

8.5 Heizungspumpe

Bei Einfamilienhäusern kann der Stromverbrauch der Heizungspumpe (siehe Bild 15) fünf bis zehn Prozent der Stromrechnung ausmachen [55]. Das heißt Pumpen bieten ein hohes Einsparpotential. Tipps für den Heizungspumpentausch [55]:

- Art Ihrer Heizungspumpe: unregelt → Pumpenaustausch lohnt sich immer (*).
- Pumpe defekt o. ä. → Hocheffizienzpumpe (Energieeffizienzindex $EEL \leq 0,2$ [56]).
- Pumpeneinbau durch Fachbetrieb.
- richtige Dimensionierung (Druckverlustberechnung).
- evtl. Pumpe eine Stufe runterdrehen.
- staatliche Förderung, wenn gleichzeitig Wärmeverteilung im Haus optimiert wird.
- Förderung durch Stromversorger (Komplettangebot mit längerfristigen Stromlieferverträgen kritisch prüfen).
- bei Neuanschaffung einer Heizungsanlage ist die Heizungspumpe oft integriert → prüfen, ob effiziente Pumpe eingebaut ist (bei Austausch der Pumpe → Garantiezeit prüfen, ggf. kann die Garantie der Heizungsanlage verloren gehen).

(*) Wie erkennt man unregelmäßige Pumpen?

Bei unregelmäßigen Pumpen steht bei der Leistungsaufnahme ein fester Wert, z. B. P1: 80 W bzw. bei mehrstufigen Pumpen gibt es einen Drehknopf (z. B. Stufe 1 – 3). Im Gegensatz dazu haben elektronisch geregelte Pumpen einen Leistungsbereich z. B. 25 – 60 W, sie laufen nicht permanent und passen ihre Leistung an die Druckverhältnisse an.

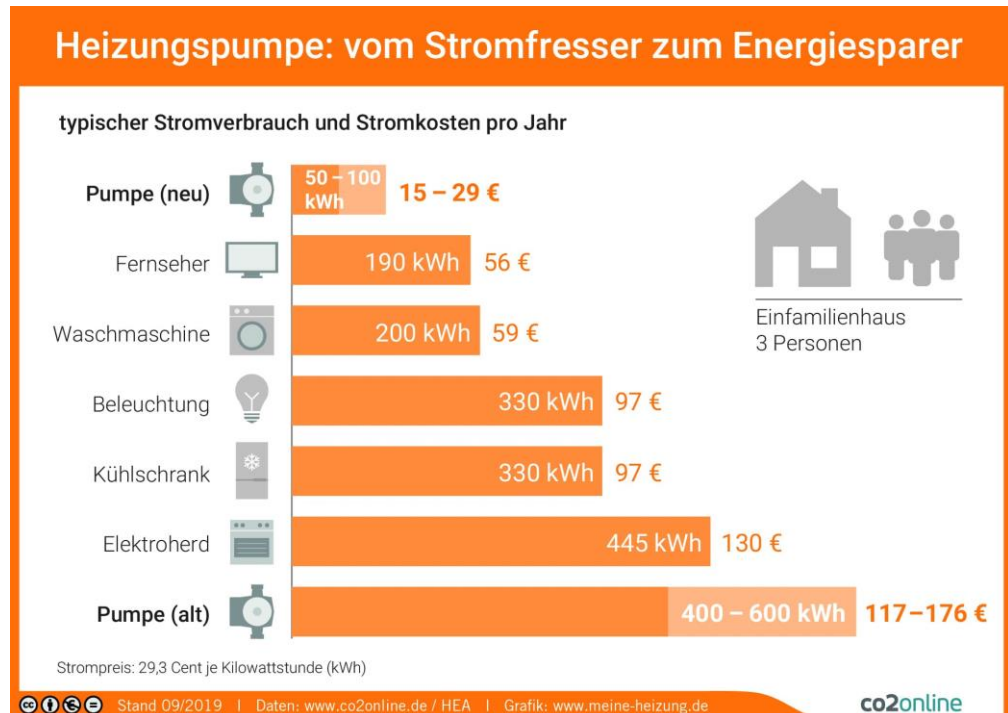


Bild 15:
Stromverbrauch von unregelmäßigen und hocheffizienten Pumpen in einem Einfamilienhaus nach [51]. Quelle: www.co2online.de.























8.6 Trinkwarmwasserzirkulation

Bei der zentralen Warmwasserbereitung kommt teilweise eine Zirkulation zum Einsatz. Sie soll verhindern, dass das erwärmte Wasser in den Rohrleitungen auskühlt. Eine Zirkulation erhöht einerseits den Komfort, so dass die gewünschte Warmwassertemperatur kurz nach dem Öffnen des Wasserhahns zur Verfügung steht, andererseits soll hiermit die Bildung von Legionellen [57] sehr gering gehalten werden. Für Ein- und Zweifamilienhäuser (Kleinanlagen mit einem Leitungsinhalt ≤ 3 Liter und einem Warmwasserspeicher ≤ 400 Liter) ist keine Zirkulation vorgeschrieben. Manchmal werden dort allerdings aus Komfortgründen Zirkulationsleitungen eingebaut, obwohl keine Notwendigkeit aus technischen oder hygienischen Gründen besteht [58].

Eine Zirkulationspumpe verbraucht Strom und verursacht außerdem zusätzliche Wärmeverluste im Leitungsnetz. In einem Einfamilienhaus kann diese Pumpe

und damit die Zirkulation in der Regel stillgelegt und das Leitungsnetz umgerüstet werden. Zur Reduzierung des Risikos einer Legionellenkontamination [59] ist darauf zu achten, dass dabei keine toten Stichleitungen entstehen [60]. Zur Energieeinsparung kann die Schaltung der Zirkulationspumpe mit einer Zeitschaltuhr auf die wesentlichen Bedarfszeiten programmiert werden. Dies ist eine Alternative ohne großen Komfortverlust.

9 Verwendete Symbole

	Trinkwarmwasserspeicher		Solarthermie
	Kombispeicher		Solarstation
	Bivalenter Speicher		Photovoltaik
	Pufferspeicher Heizung		Wechselrichter
	Warmwasser		Pumpe
	Heizkörper		Wärmemengenzähler
	Fußbodenheizung		Elektrozähler
	Heizungsanlage		Beleuchtung
	Wärmepumpe		Haushaltsgeräte
	Elektr. Heizstab		Batterie
			Stromnetz
	Überprüfung/Korrektur durch die Hausbesitzer		
	Überprüfung/Korrektur durch eine Fachfirma		

10 Literaturverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt: Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraeger-sektoren#allgemeine-entwicklung-und-einflussfaktoren>. Stand Oktober 2022.
- [2] Erhorn, H.; Bergmann, A.; Erhorn-Kluttig, H.: Effizienzhaus Plus-Begleitforschung und Querauswertung von Modellvorhaben (Phase 3), Abschlussbericht Teil 1: Wohngebäude. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart, September 2020. Verfügbar unter: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2015/ehp-begleitforschung/bericht-teil-1.html>. Stand Oktober 2022.
- [3] Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie: Effizienzstruktur Heizungsanlagenbestand 2021. Verfügbar unter: https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressegrafiken/Diagramm_Effizienzstruktur_2021_DE.pdf. Stand Oktober 2022.
- [4] Erhorn, H.; Schade, A.; Eberl, M.; Sinnesbichler, H.; Erhorn-Kluttig, H.: Handlungsempfehlung zur Betriebskontrolle: Einfachmonitoring von Einfamilienhäusern. Wissenschaftliche Begleitforschung_ENERGIEWENDEBAUEN, RWTH Aachen University, Juni 2020. Verfügbar unter: https://www.energiewendebauen.de/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/ewb-publications/C4DFF264AEF93729E0537E695E86E5E2/live/document/Leitfaden_Einfachmonitoring.pdf. Stand Oktober 2022.
- [5] Deutscher Bundestag: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) vom 8. August 2020. Bundesgesetzblatt I, Seite 1728 ff. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/GEG.pdf>. Stand Oktober 2022.
- [6] Beuth Verlag GmbH: DIN V 18599:2018-09 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.
- [7] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) und Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Herausgeber): Wege zum Effizienzhaus Plus. Grundlagen und Beispiele für energieerzeugende Gebäude. 6. aktualisierte Auflage, Berlin (November 2018), Online-Artikelnummer »BMI 18003«. Verfügbar unter: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmi/verschiedene-themen/2018/effizienzhaus-plus.html>. Stand Oktober 2022.
- [8] Beuth Verlag GmbH: VDI 3807 Blatt 1: Verbrauchskennwerte für Gebäude; Grundlagen. Düsseldorf, Juni 2013.
- [9] Deutscher Wetterdienst: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/derived_germany/techn/monthly/heating_degreedays/hdd_3807/. Stand Oktober 2022.
- [10] Institut Wohnen und Umwelt IWU: https://www.iwu.de/nachricht/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=292&cHash=a295d1987306c0dbadec7d829e3ba48. Stand Oktober 2022.
- [11] Beuth Verlag GmbH: DIN EN 1434-6:2015 +A1:2019 Thermische Energiemessgeräte – Teil 6: Einbau, Inbetriebnahme, Überwachung und Wartung.

- [12] Woschick, R.: Minol Praxisratgeber zum Einbau von Wärme- und Kältezählern. Minol Messtechnik W. Lehmann GmbH & Co. KG, 4. Auflage, September 2017. Online verfügbar unter: <https://www.minol.de/praxisratgeber.html>. Stand Oktober 2022.
- [13] co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH: Stromverbrauch vergleichen: mit dem Stromspiegel oder StromCheck. Verfügbar unter: <https://www.stromspiegel.de/stromverbrauch-verstehen/stromspiegel-stromverbrauch-vergleichen/>. Stand Oktober 2022.
- [14] Umweltbundesamt: Energiesparen im Haushalt – Wie Sie einfach und ohne Komfortverlust Ihren Energieverbrauch senken und Geld sparen können. August 2013. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/energiesparen-im-haushalt>. Stand Oktober 2022.
- [15] Umweltbundesamt: Ratgeber: Das Energie-Sparschwein – Informationen zum Wärmeschutz und zur Heizenergieeinsparung für Eigenheimbesitzer und Bauherren. August 2013. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ratgeber-energie-sparschwein>. Stand Oktober 2022.
- [16] Deutsche Energie-Agentur GmbH dena: Strom sparen im Haushalt – Anleitung für Verbraucher. Juli 2015. Verfügbar unter: <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/broschuere-strom-sparen-im-haushalt-anleitung-fuer-verbraucher/>. Stand Oktober 2022.
- [17] Umweltbundesamt: Stromsparen – Schlüssel für eine umweltschonende kostengünstige Energiewende. September 2015. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/stromsparen-schlüssel-fuer-eine-umweltschonende>. Stand Oktober 2022.
- [18] co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH: Heizatlas. Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/service/energiesparchecks/heizatlas/>. Stand Oktober 2022.
- [19] co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH: Heizspiegel. September 2022. Verfügbar unter: <https://www.heizspiegel.de/fileadmin/hs/heizspiegel/heizspiegel-2022/heizspiegel-2022.pdf>. Stand Oktober 2022.
- [20] Beuth Verlag GmbH: VDI 4650 Blatt 1: Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen – Elektrowärmepumpen zur Raumheizung und Trinkwarmwassererwärmung. Düsseldorf, März 2019.
- [21] Beuth Verlag GmbH: VDI 4645 Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern – Planung, Errichtung, Betrieb. Düsseldorf, März 2018.
- [22] Beuth Verlag GmbH: DIN EN 14511-1:2018-05: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen für die Raumbeheizung und -kühlung und Prozess-Kühler mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Teil 1: Begriffe.
- [23] Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.: Ratgeber Modernisieren mit Wärmepumpe. August 2022. Verfügbar unter: https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/BWP_KUNDENRATGEBER_2022_WEB.pdf. Stand Oktober 2022.

- [24] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Bundesförderung für effiziente Gebäude – Liste der technischen FAQ – Einzelmaßnahme. Version 4.0 , August 2022. Verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_liste_technische_faq.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Stand Oktober 2022.
- [25] Sperr, A.: Die Jahresarbeitszahl ist nicht immer entscheidend. Dezember 2019. Verfügbar unter: <https://www.ikz.de/detail/news/detail/die-jahresarbeitszahl-ist-nicht-immer-entscheidend/>. Stand Oktober 2022.
- [26] Bundesverband Wärmepumpe e.V.: Wärmepumpen Förderratgeber. Oktober 2017. Verfügbar unter: https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/07_Publikationen/Publikationen/BWP_Foerderratgeber_10-2017_WEB.pdf. Stand Oktober 2022.
- [27] Günther, D.; Miara, M.; Langner, R.; Helmling, S.; Wapler, J.: „WP Monitor“ – Feldmessung von Wärmepumpenanlagen. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, Juli 2014. Verfügbar unter: https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-monitor-plus/download/endbericht_wp_monitor.pdf. Stand Oktober 2022.
- [28] Bergmann, A.; Erhorn, H.: Energieeffizienz elektrisch angetriebener Wärmepumpen, Praxisergebnisse aus dem Monitoring. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. IBP-Mitteilung 549: Neue Forschungsergebnisse, kurz gefasst. 2017.
- [29] Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie BDH: Informationsblatt Nr. 14: Jährliche Inspektion und Wartung von Heizungsanlagen. März 2017. Verfügbar unter: https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_14_Jaehrliche_Inspektion_und_Wartung_von_Heizungsanlagen_2017.pdf. Stand Oktober 2022.
- [30] Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie BDH: Informationsblatt Nr. 62: Inspektion, Wartung und Optimierung von Heizungsanlagen mit Wärmepumpe. März 2019. Verfügbar unter: https://digital-library.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/ISH2019/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_62_Maerz_2019_Inspektion_Wartung_Optimierung_Waermepumpe.pdf. Stand Oktober 2022.
- [31] Valentin Software GmbH: T*SOL online. Verfügbar unter: <https://online.tsol.de/>. Stand Oktober 2022.
- [32] Verbraucherzentrale NRW e.V.: Solarthermie – Solarwärme für Warmwasser und Heizung. Verfügbar unter: www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/solarthermie-solarwaerme-fuer-warmwasser-und-heizung-5568. Stand Oktober 2018.
- [33] Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. BDH: Informationsblatt Nr. 17: Thermische Solaranlagen Teil 3: Fehlersuche. März 2011. Verfügbar unter: https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/ISH2019/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_17_03_Maerz_2011_Thermische_Solaranlagen_Teil_3_-_Fehlersuche.pdf. Stand Oktober 2022.
- [34] Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. BDH: Informationsblatt Nr. 44: Thermische Solaranlagen – Dokumentation von Übergabe und In-

- spektion. Verfügbar unter: https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/ISH2019/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_44_Maerz_2019_Thermische_Solaranlagen_Soku-mentation_Uebergabe_Inspektion.pdf. Stand Oktober 2022.
- [35] European Commission: PVGIS Interactive Tool. Verfügbar unter: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/. Stand Oktober 2022.
- [36] Solarthemen Media GmbH: Solarserver. Verfügbar unter: <https://www.solarserver.de/pv-anlage-online-berechnen/>. Stand Oktober 2022.
- [37] Deutscher Wetterdienst: Monats- und Jahreskarten der Global-, Diffus- und Direktstrahlung. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/strahlungskarten_sum.html?nn=510076. Stand Oktober 2022.
- [38] Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin: Unabhängigkeitsrechner. Verfügbar unter: <https://solar.htw-berlin.de/rechner/unabhaengigkeitsrechner/>. Stand Oktober 2022.
- [39] Figgenger, J.; Haberschusz, D.; Kairies, K.; Wessels, O.; Tepe, B.; Sauer, D.: Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0 – Jahresbericht 2018. Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe, RWTH Aachen. 2018. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/326507444_Wissenschaftliches_Mess-und_Evaluierungsprogramm_Solarstromspeicher_20_Jahresbericht_2018. Stand November 2022.
- [40] Verbraucherzentrale Bundesverband e.V.: Energieberatung. Verfügbar unter: <https://verbraucherzentrale-energieberatung.de/>. Stand November 2022.
- [41] co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH: Energiesparkonto. Verfügbar unter: <https://www.energiesparkonto.de/>.
- [42] Beuth Verlag GmbH: DIN EN 15378-1:2017 Energetische Bewertung von Gebäuden – Heizungsanlagen und Trinkwarmwassererwärmung in Gebäuden – Teil 1: Inspektion von Kesseln, Heizungsanlagen und Trinkwassererwärmung.
- [43] VdZ – Forum für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik e.V.: Der Heizungs-Check 2.0. Januar 2017. Verfügbar unter: https://files.vdzev.de/pdfs/heizungscheck-2-0/Info2_Heizungs_Check2.0.pdf. Stand November 2022.
- [44] Deutsche Energie-Agentur GmbH dena: Machen Sie dicht: Energiesparen in Gebäuden. 6. Auflage, Mai 2017. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2018/2086_Machen_Sie_dicht.pdf. Stand November 2022.
- [45] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV): Richtiges Lüften und Heizen. Verfügbar unter: <https://www.bmuv.de/themen/gesundheit-chemikalien/gesundheit/innenraumluft/richtiges-lueften-und-heizen>. Stand November 2022.
- [46] Wolff, D.; Jagnow, K.: DELTA-Q. Verfügbar unter: <https://www.delta-q.de/>. Stand November 2018.
- [47] FH Braunschweig: Qualifikation zum/r Energieberater/in TGA: Überblick Heizungsregelung. Mai 2009.

- [48] Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung: Niedertemperatur- und Brennwertkessel – Wissenswertes über moderne Zentralheizungsanlagen. Mai 2005. Verfügbar unter: http://www.fm-energieberatung.de/mediapool/eigene_dokumente/IWU_Brennwertkessel%20espi12.pdf. Stand November 2022.
- [49] VdZ – Forum für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik e.V.: Hydraulischer Abgleich in Heizungsanlagen. 1. Auflage, Februar 2021. Verfügbar unter: https://files.vdzev.de/pdfs/hydraulischer-abgleich-heizungsanlagen/Hydraulischer_Abgleich_Heizungsanlagen.pdf. Stand November 2022.
- [50] VdZ – Forum für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik e.V.: Nachweisformulare zur Bestätigung des hydraulischen Abgleichs für Fachhandwerker und Sachverständige. Verfügbar unter: <https://www.vdzev.de/service/formulare-hydraulischer-abgleich/>. Stand Oktober 2022.
- [51] co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH: Hydraulischer Abgleich: Alle Infos zur Heizungsoptimierung. Stand März 2020. Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/energie-sparen/heizenergie-sparen/hydraulischer-abgleich/>. Stand Februar 2020.
- [52] Scheithauer, B.: Die Heizfläche / Fußbodenheizung. Verfügbar unter: <https://www.hydraulischer-abgleich.de/systembetrachtung/heizflaeche-fussbodenheizung/>. Stand Oktober 2022.
- [53] Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e.V. BVF: Hydraulischer Abgleich. Online Verfügbar unter: <https://www.flaechenheizung.de/hydraulischer-abgleich/>. Stand Oktober 2022.
- [54] Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e.V. BVF: Überschlüssiger hydraulischer Abgleich bestehender Fußbodenheizungskreise. Oktober 2019. Verfügbar unter: <https://www.flaechenheizung.de/downloads/>. Stand Oktober 2022.
- [55] Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz e.V.: Energieverbrauch von Heizungspumpen. März 2014.
- [56] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA: Bundesförderung für effiziente Gebäude – Infoblatt zu den förderfähigen Maßnahmen und Leistungen. Version 6.0, September 2022. Verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_infoblatt_foerderfaehige_kosten.pdf?__blob=publicationFile&v=25. Stand November 2022.
- [57] co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH: Legionellen im Trinkwasser – darauf sollten Sie achten. Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/energie-sparen/heizenergie-sparen/warmwasser/legionellen-im-trinkwasser/>. Stand Oktober 2022.
- [58] Umweltbundesamt: Stellungnahme des UBA: Energiesparen bei der Warmwasserbereitung – Vereinbarkeit von Energieeinsparung und Hygieneanforderungen an Trinkwasser. September 2011. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/warmwasserbereitung_energiesparen_stellungnahme_uba.pdf. Stand Oktober 2022.
- [59] Bürschgens, A.: Legionellen in Trinkwasser-Installationen – Gefährdungsanalyse und Sanierung. Beuth Verlag. September 2018.

- [60] co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH: Wasser sparen: Die 10 besten Tipps. Verfügbar unter: <https://www.co2online.de/energie-sparen/heizenergie-sparen/warmwasser/wasser-sparen-die-10-besten-tipps/>. Stand Oktober 2022.
- [61] VdZ – Forum für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik e.V.: Was messen Wirkungsgrad und Nutzungsgrad? Verfügbar unter: <https://intelligent-heizen.info/lexikon-heizung/wirkungsgrad-nutzungsgrad/>.
- [62] Bundesministerium der Justiz und Bundesamt für Justiz: Verordnung zur Berechnung der Wohnfläche (Wohnflächenverordnung – WoFlV). Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/woflv/BJNR234610003.html>.

A.1 Wirkungs- und Nutzungsgrad

Die folgende Tabelle 25 zeigt den Unterschied zwischen Wirkungs- und Nutzungsgrad [61].

Tabelle 25:
Unterschied zwischen Wirkungsgrad und Nutzungsgrad.

Wirkungsgrad	Nutzungsgrad
<ul style="list-style-type: none">• Verhältnis zwischen Aufwand (zugeführte Energie) und dem daraus gewonnenen Nutzen (z. B. Wärme).• je höher der Wert desto effizienter.	
<ul style="list-style-type: none">• wird nur in einem (optimalen) Betriebspunkt gemessen.• Höher als Nutzungsgrad.• Hilfreich beim Vergleich verschiedener Anlagen.	<ul style="list-style-type: none">• Über einen längeren Zeitraum, in dem die Anlage tatsächlich genutzt wird.• Niedriger als Wirkungsgrad.• Wird individuell nach Gegebenheiten des Hauses und dem Nutzerverhalten bestimmt.

A.2 Berechnung der Gebäudenutzfläche

Nach GEG § 25 (10) gilt folgende Definition der Gebäudenutzfläche nach DIN V 18599-1:2018-09. Für Wohngebäude mit einer mittleren Geschosshöhe von $h_G < 2,5$ m sowie $h_G > 3,0$ m gilt Gleichung (2), sonst Gleichung (1):

$$A_N = 0,32 \frac{1}{m} \cdot V_e \quad (1)$$

$$A_N = \left(\frac{1}{h_G} - 0,04 \frac{1}{m} \right) \cdot V_e \quad (2)$$

A_N Gebäudenutzfläche des Wohngebäudes

V_e externes Volumen (Bruttovolumen) des Gebäudes

h_G Geschosshöhe (Oberkante Rohdecke zu Oberkante Rohdecke)

Da die Wohnfläche in der Regel genau ausgemessen wird, können zur Berechnung der Nettogrundfläche auch allgemeine Annäherungswerte verwendet werden. Nach DIN V 18599-1:2018-09 gilt für die Umrechnung der Wohnfläche zur Nettogrundfläche des Gebäudes Folgendes.

Für Einfamilienhäuser mit beheiztem Keller gilt Gleichung (3), für Einfamilienhäuser ohne beheizten Keller Gleichung (4):

$$A_N = 1,35 \cdot A_{Wohn} \quad (3)$$

$$A_N = 1,2 \cdot A_{Wohn} \quad (4)$$

A_N Gebäudenutzfläche des Wohngebäudes

A_{Wohn} Wohnfläche nach Wohnflächenverordnung [62]

A.3 Globalstrahlung in Deutschland

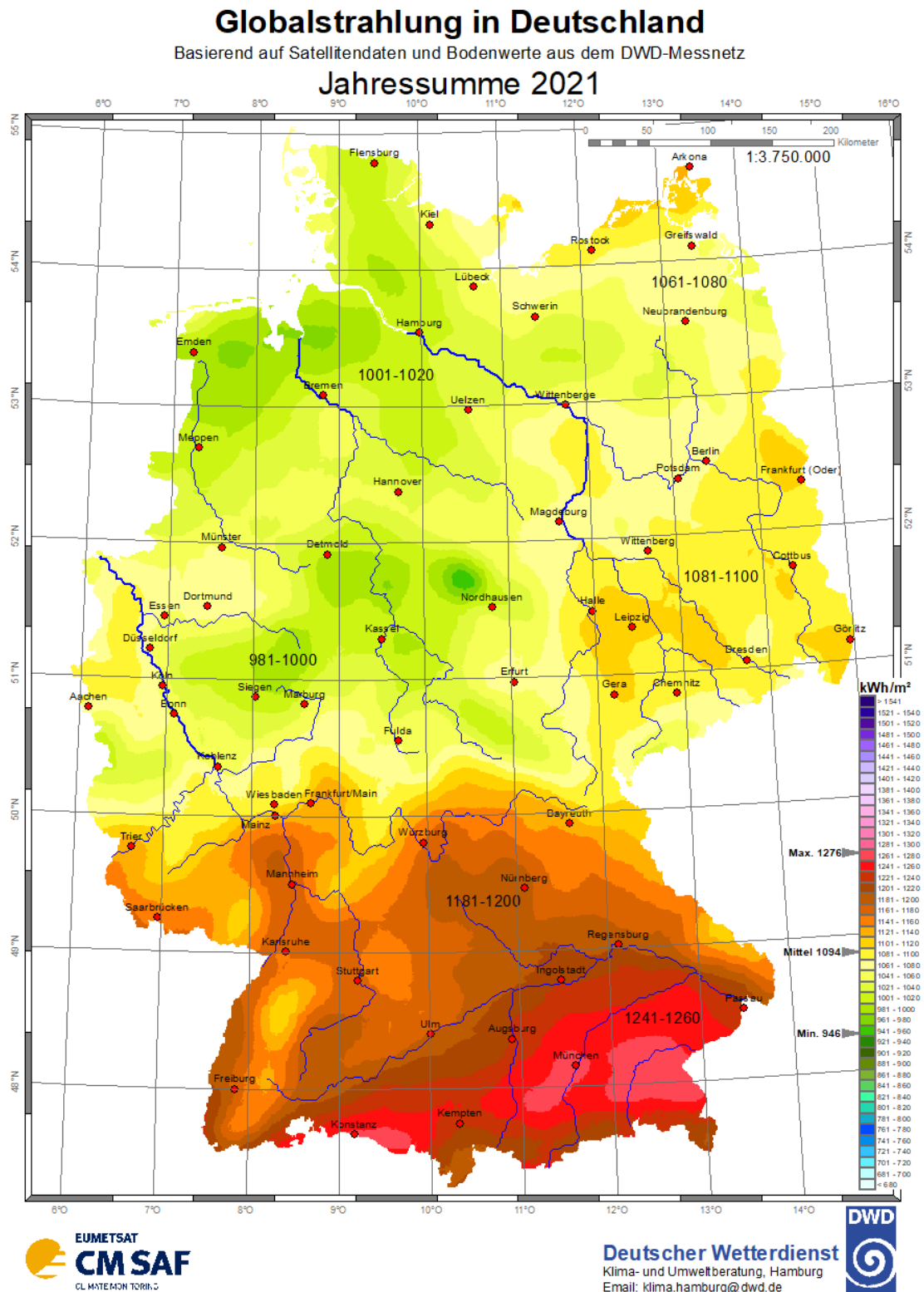


Bild 16:
Monats- und Jahreskarten der Global-, Diffus- und Direktstrahlung.
Quelle: Deutscher Wetterdienst [37].

A.4 Bestimmung vom Umrechnungsfaktor f_{neig} mit dem Online-Berechnungstool T*SOL online

1. Schritt: Berechnung der Einstrahlung auf einen geneigten Kollektor (Eingabe 1 und Ergebnis 1). Eingaben nach Tabelle 26 in das Online-Berechnungstool T*SOL eingeben [31].

Tabelle 26:

Eingabe 1 – Eingabehilfestellung zur Berechnung der Einstrahlung auf einen geneigten Kollektor.

Eingabebereich	Eingabe 1
Standort	Adresse wie vorhanden eingeben.
Anlagenauswahl	Beliebige Anlage auswählen.
Bedarfe	Beliebige Eingabe aller Eingabefelder.
Kollektorfeld	Beliebige Eingabe bei Bauart, Hersteller, Produkt und Anzahl. Neigung und Ausrichtung wie vorhanden eingeben.
Kessel	Beliebige Eingabe aller Eingabefelder.
Speicher	Beliebige Eingabe aller Eingabefelder.

Nachdem die Eingabe 1 gemacht wurde, auf „Starte Simulation“ klicken. Es erscheinen die Ergebnisse der Berechnung im Browser. Zur Ermittlung des Umrechnungsfaktors ist nur die Einstrahlung auf die geneigte Solaranlage entscheidend (Ergebnis 1, siehe Bild 17 gelb markierter Wert).

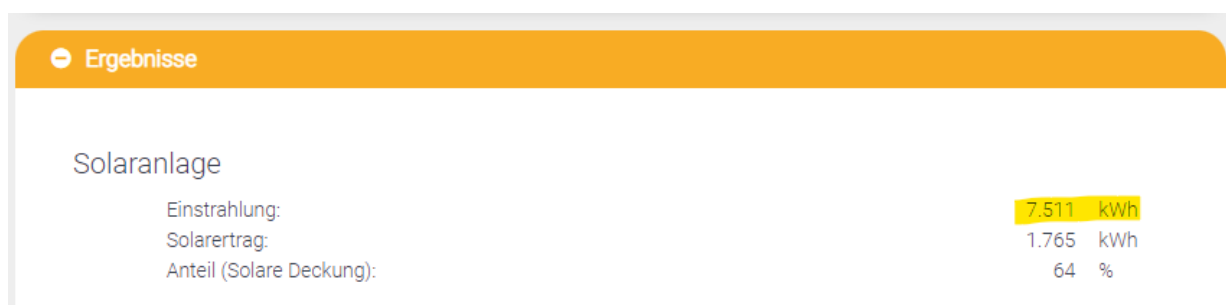


Bild 17:

Ergebnis 1 – Ergebnisanzeige des T*SOL-online-Berechnungstool.

Quelle: T*SOL online, Valentin Software GmbH.

2. Schritt: Berechnung der Einstrahlung auf einen horizontalen Kollektor (Eingabe 2 und Ergebnis 2). Durch „Zurück und Bearbeiten“ gelangen Sie zur Eingabeseite zurück. Nun die Eingaben nach Tabelle 27 anpassen. Es sollte nur die Neigung des Kollektors auf 0 ° gesetzt werden, der Eingabewert der Ausrichtung ist nicht entscheidend.

Tabelle 27:
Eingabe 2 – Eingabehilfestellung zur Berechnung der Einstrahlung auf horizontalen Kollektor.

Eingabebereich	Eingabe 2
Standort	Wie Eingabe 1.
Anlagenauswahl	Wie Eingabe 1.
Bedarfe	Wie Eingabe 1.
Kollektorfeld	Wie Eingabe 1 für Bauart, Hersteller, Produkt und Anzahl. Neigung auf 0 °. Der Wert für die Ausrichtung kann einfach belassen werden (ist nicht entscheidend).
Kessel	Wie Eingabe 1.
Speicher	Wie Eingabe 1.

Nachdem die Eingabe 2 gemacht wurde erneut auf „Starte Simulation“ klicken. Zur Ermittlung des Korrekturfaktors ist nur die Einstrahlung auf die horizontale Solaranlage entscheidend (Ergebnis 2, siehe Bild 18 gelb markierter Wert).

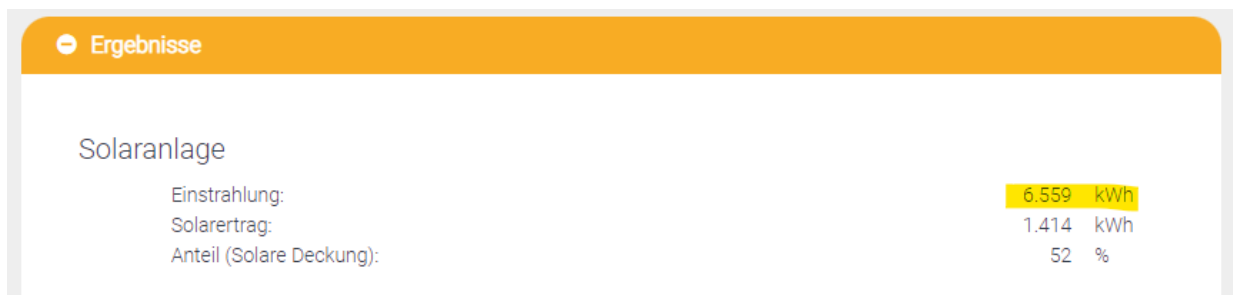


Bild 18:
Ergebnis 2 – Ergebnisanzeige des T*SOL-Online-Berechnungstool.
Quelle: T*SOL online, Valentin Software GmbH.

3. Schritt: Bestimmung von f_{neig} nach folgender Formel:

$$f_{\text{neig}} = \frac{\text{Einstrahlung auf geneigten Kollektor (Ergebnis 1)}}{\text{Einstrahlung auf horizontalen Kollektor (Ergebnis 2)}}$$

Beispiel:

$$f_{\text{neig}} = \frac{7.511 \text{ kWh (Ergebnis 1)}}{6.559 \text{ kWh (Ergebnis 2)}} = 1,145$$

Hinweis: Je nach Ausrichtung und Neigung der Solarthermie-Anlage liegt der Umrechnungsfaktor über bzw. unter 1.

A.5 PV-Anlagenplanung (Ertragsprognose)

Für die Finanzierung einer Photovoltaik-Anlage ist eine Anlagenplanung bzw. eine Ertragsprognose obligatorisch. Diese kann entweder für das Gesamtjahr (siehe Bild 19) oder auch in detaillierter Form monatsweise erfolgen.

PV-Anlage

Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern

Klimadaten	Berlin, DEU (1981 - 2010)
Quelle der Werte	DWD
PV-Generatorleistung	5,4 kWp
PV-Generatorfläche	29,5 m ²
Anzahl PV-Module	18
Anzahl Wechselrichter	1

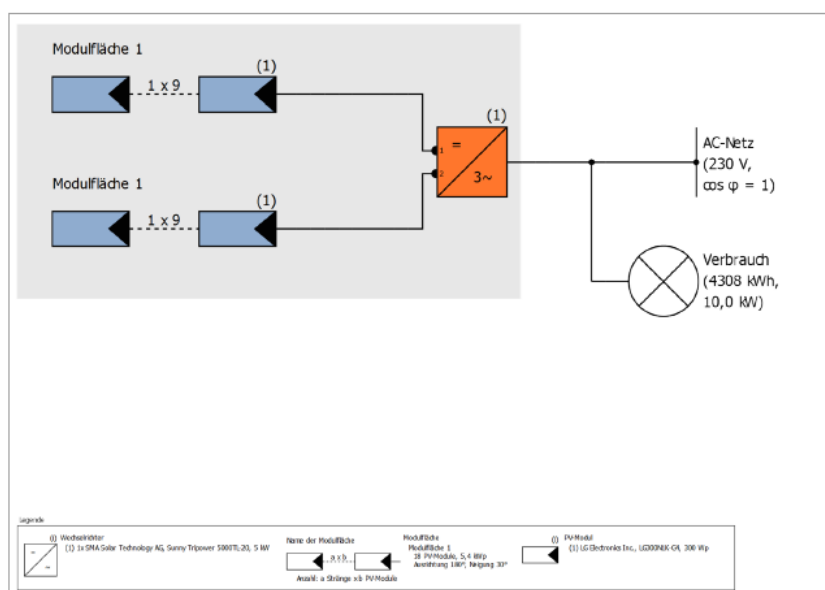


Abbildung: Schaltschema

Ertragsprognose

Ertragsprognose	
PV-Generatorleistung	5,40 kWp
Spez. Jahresertrag	1.037,04 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	88,30 %
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	
Eigenverbrauch	1.259 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	4.364 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	22,1 %
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	3.360 kg/Jahr
Autarkiegrad	29,1 %

Bild 19:

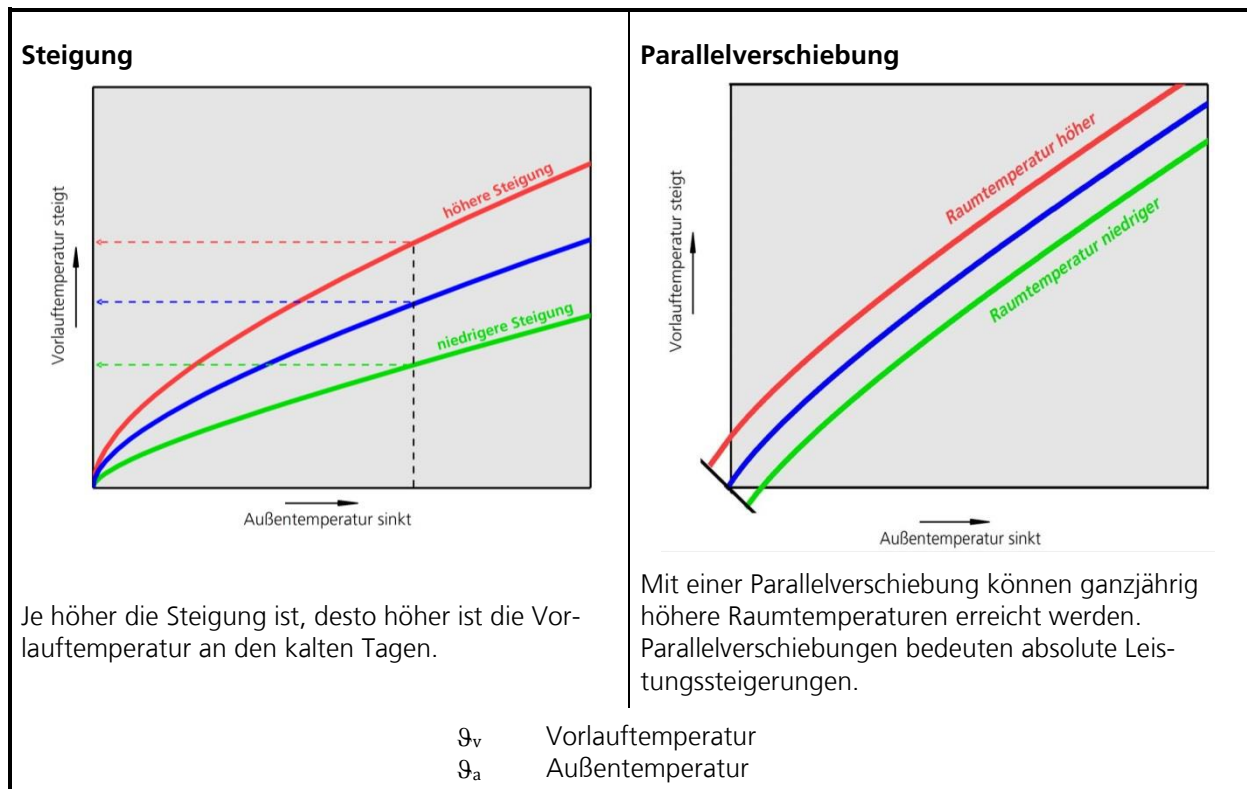
Beispiel für eine PV-Anlagenplanung.

Quelle: PV*SOL premium, Valentin Software GmbH.

A.6 Heizkurve

In [47] ist ausgeführt: Mit der Heizkurve werden den Außentemperaturen (die typischerweise mit einem Temperaturfühler an der Nord- oder Nordwest-Fassade ohne Sonneneinwirkung gemessen werden) bestimmte Sollwerte der Heizwasservorlauftemperatur zugeordnet. Dabei gibt es zwei wichtige Einflussgrößen auf die Vorlauftemperaturen: Steigung und Parallelverschiebung (Tabelle 28).

Tabelle 28:
Einstellmöglichkeiten bei der Heizkurve.



A.7 Heizkörper entlüften

In Tabelle 29 ist eine Anleitung zum Entlüften von Heizkörpern zusammengestellt.

Tabelle 29:
Entlüftung von Heizkörpern.

Wann	<ul style="list-style-type: none"> • vor Beginn der Heizperiode • Heizung macht ungewöhnliche Geräusche • Heizung wird nicht richtig warm
Werkzeug	<ul style="list-style-type: none"> • Auffangbehälter • Tuch • Entlüftungsschlüssel, Schraubenzieher, Zange o. ä. (je nach Gegebenheiten)
Wie	<ul style="list-style-type: none"> • wenn möglich: Umwälzpumpe abschalten • ca. 1 Stunde warten • Thermostat auf höchste Stufe stellen • Auffangbehälter unter Ventil stellen und Tuch um Ventil wickeln • Ventil langsam mit Entlüftungsschlüssel öffnen bis es zu Zischen beginnt ACHTUNG: entweichende Luft kann heiß sein! • wenn das Zischen leiser wird, beginnt Wasser auszutreten ACHTUNG: Wasser ist meist schmutzig! → Heizkörper ist entlüftet: Entlüftungsventil wieder schließen • Umwälzpumpe wieder anschalten • Wasserdruck überprüfen und ggf. Wasser nachfüllen
<p>Anmerkung: In gemieteten Objekten sollte der Eigentümer informiert werden.</p>	