

Spezifikation von Schnittstellen zwischen Solarsimulation und den Normen DIN V 18599 sowie DIN V 4701-10 zur Erstellung von Nachweisen im Rahmen der Energieeinsparverordnung – Definition eines offenen Standards (kurz: Solarsimu-EnEV)

Endfassung

Forschungsnehmer:

ECONSULT Lambrecht Jungmann Partnerschaft (Projektleitung)
Buchenweg 12, 72108 Rottenburg
Tel.: +49 (0)7457 919 33 | E-Mail: KL@solaroffice.de
Ansprechperson: Klaus Lambrecht, Uli Jungmann, Tobias Blau

Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT) Steinbeis Transferzentrum am ITW der
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 6856 3553 | E-Mail: drueck@swt-technologie.de
Ansprechperson: Dr. Harald Drück, Sven Kobelt

Sonnenhaus-Institut SHI e.V.
Ahornweg 13, 94227 Zwiesel
Tel.: +49 (0)9922 803785 | E-Mail: hilz@sonnenhaus-institut.de
Ansprechperson: Wolfgang Hilz

Förderkennzeichen: SWD-10.08.18.7-12.34

Laufzeit des Vorhabens: 09/2012 – 03/2015

Rottenburg/Stuttgart, den 30. Juni 2015

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Aktenzeichen: II 3-F20-11-1-139 / SWD-10.08.18.7-12.34)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor.

Der Autor bedankt sich für die Unterstützung dieser Arbeit.

*Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*

Projektpartner:

Hersteller Solarsimulationssoftware

GetSolar: Axel Horn, Dr. Lutz Blaich / Hottgenroth Software GmbH&Co KG, Köln

Polysun: Dr. Andreas Witzig, Lars Kunath / Vela Solaris AG, Winterthur

T*Sol: Dr. Gerhard Valentin, Bernd Gatzka / Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH, Berlin

Hersteller EnEV-Software

Herr Autenrieth/BKI

Herr Blaich/Hottgenroth

Herr Hege/ZUB

Herr Kern/Kern Ingenieurkonzepte

Herr Obermüller/LOP

Herr Rosendahl/Solar Computer

Herr Schöffel/Envisys

Herr Simon/Rowasoft

Hersteller Solarthermieranlagen

Helmut Jäger / Solvis

Hans Storck / Consolar

Andreas Wagner / Wagner Solar

Wissenschaftliche Begleitung

Prof. Andreas Wagner / Universität Karlsruhe KIT

Dirk Markfort / KfW

Begleitung BBSR

Andrea Vilz / BBSR

Hans-Peter Lawrenz / BBSR

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis.....	6
1 Einleitung	7
1.1 Berechnungen nach DIN V 4108-6 / 4701-10 und DIN V 18599.....	7
1.2 Die Simulationssoftware EnergyPlus.....	7
1.3 Implementierung Klimadatensatz TRY 4 (Potsdam)	8
1.4 Die Simulationssoftware TRNSYS	9
2 Definition des Benchmarktests für Solarsimulationsprogramme.....	11
2.1 Bestimmung des Beitrags der Solaranlage zur Deckung des Wärmebedarfs.....	11
2.2 Eingabe- und Ausgabegrößen der Solarsimulation.....	14
2.3 Akzeptanzkriterien für die Ergebnisse der Solarsimulation	15
3 Eingabegrößen für den Benchmarktest	16
3.1 Umgebungsbedingungen und Stoffgrößen	16
3.1.1 Wetterdatensatz	17
3.1.2 Berechnete Wetterdaten (informativ)	18
3.2 Beschreibung der Gebäude und der Nutzungsrandbedingungen	19
3.2.1 Einfamilienhaus	19
3.2.2 Mehrfamilienhaus	21
3.3 Beschreibung der Anlagentechnik.....	24
3.3.1 Parameter von Wärmeerzeuger und –speicher der Solaranlage	26
3.3.2 Parameter von Wärmeerzeuger und –speicher der Referenzanlage.....	30
3.3.3 Parameter der Wärmeverteilung für Solaranlage und Referenzanlage	32
4 Validierungsbeispiele	35
4.1 Einfamilienhaus (EFH)	36
4.1.1 Angepasste Parameter.....	37
4.1.2 Nutzwärmeabgabe der Referenzanlage.....	42
4.1.3 Ausgabegrößen der Solaranlage	45
4.2 Mehrfamilienhaus (MFH).....	55
4.2.1 Angepasste Parameter.....	56
4.2.2 Nutzwärmeabgabe der Referenzanlage.....	61
4.2.3 Ausgabegrößen der Solaranlage	64

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

5	Sensitivitätsanalyse der Simulationsergebnisse	76
5.1	Programmspezifische Anpassungen	76
5.1.1	Anpassung Getsolar (Version 11.2.4):	76
5.1.2	Anpassung Polysun (Version 7.1.8.19808):	76
5.1.3	Anpassung T*Sol Pro (Version 5.5 (R5)):	77
5.2	Akzeptanzkriterien für die Ergebnisse der Solarsimulation	78
5.2.1	Relative Abweichung Jahressumme $\delta_{sol,sim}$ Einfamilienhaus	79
5.2.2	Relative Abweichung Absolutwert $\delta_{sol,sim,abs}$ Einfamilienhaus	79
5.2.3	Relative Abweichung Jahressumme $\delta_{sol,sim}$ Mehrfamilienhaus	80
5.2.4	Relative Abweichung Absolutwert $\delta_{sol,sim,abs}$ Mehrfamilienhaus	80
6	Definition der Schnittstelle	81
6.1	Bestimmung des Beitrags der Solaranlage zur Deckung des Wärmebedarfs	81
6.2	Vorgehen bei Berechnungen nach DIN V 4701-10	81
6.2.1	Eingangsparameter für die Solarsimulation	84
6.2.2	Übergabeparameter von DIN V 4701-10 an die Solarsimulation	89
6.2.3	Übergabeparameter von der Solarsimulation an DIN V 4701-10	89
6.3	Vorgehen bei Berechnungen nach DIN V 18599	90
6.3.1	Eingangsparameter für die Solarsimulation	91
6.3.2	Übergabeparameter von DIN V 18599 an die Solarsimulation	97
6.3.3	Übergabeparameter von der Solarsimulation an DIN V 18599	97
6.4	Vorgehen in der Praxis der Nachweiserstellung	97
6.5	Implementierung der Schnittstelle	98
	Literaturverzeichnis	99
A	Bauteile der Gebäude	101
A.1	Einfamilienhaus im Energiestandard EnEV-Ref	101
A.2	Einfamilienhaus im Energiestandard KfW-EH 40	107
A.3	Mehrfamilienhaus im Energiestandard EnEV-Ref	113
A.4	Mehrfamilienhaus im Energiestandard KfW-EH 40	120
B	Berechnete Wetterdaten (informativ)	127
B.1	Größen aus dem Testreferenzjahr-Datensatz 2011	127
B.2	Berechnete effektive Himmelstemperatur	130
B.3	Berechnete Bestrahlung	131

*Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*

C	Berechnung zur Trinkwasser-Zapfung (informativ)	134
D	Wärmeverluste der gedämmten Rohrleitung im Solarkreis (informativ)	137
E	Ergänzende Informationen zu den verwendeten TRNSYS-Types (informativ)	139
	E.1 Gebäude.....	139
	E.2 Anlagentechnik.....	139
F	Datenübernahme Softwarehersteller	150
G	Detaillierter Ergebnisse Validierung	198

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Symbolverzeichnis

Im vorliegenden Dokument werden folgende Symbole und Indizes in Anlehnung an bzw. Ergänzung zu den Definitionen nach DIN V 18599-5:2007-02 und DIN V 4701-10:2003-08 verwendet.

Symbole

Symbol	Einheit	Erklärung
α	[-]	Deckungsanteil des solarthermischen Wärmeerzeugers
A	[m ²]	Fläche
δ	[-]	relative Abweichung der Ergebnisse der Solarsimulationssoftware
q	[kWh/m ²]	Wärmemenge pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche A_N nach EnEV
Q	[kWh]	Wärmemenge

Indizes

Index	Erklärung
abs	absolute Abweichung bezogen auf die Jahressumme
Benchmark	Benchmark-Ergebnis einer Ausgabegröße
h	Bedarf für Raumheizung (gilt ohne weiteren Index für ein Jahr)
m	Monatswert
N	Gebäudenutzfläche nach EnEV
outg	Erzeugernutzwärmeabgabe
ref	Wert aus der Simulation des Gebäudes mit einer Referenzanlage ohne solarthermischen Wärmeerzeuger
s	Nutzwärmeabgabe des Wärmespeichers
sim	Wert aus der Simulation
sol	durch solarthermischen Wärmeerzeuger erzielte Einsparung der Erzeugernutzwärmeabgabe gegenüber der Referenzanlage ohne solarthermischen Wärmeerzeuger
tw	Bedarf für Warmwasser
ohne Index h oder tw	Bedarf für Raumheizung und Warmwasser (ohne weiteren Index ist der Jahreswert gemeint)

1 Einleitung

Das Forschungsprojekt „Solarsimu-EnEV“ („Spezifikation von Schnittstellen zwischen Solarsimulation und den Normen DIN V 18599 sowie DIN V 4701-10 zur Erstellung von Nachweisen im Rahmen der Energieeinsparverordnung - Definition eines offenen Standards“) wird seit August 2012 von ECONSULT gemeinsam mit Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT) und dem Sonnenhaus Institut e. V. durchgeführt. Ziel des Projekts ist die Definition einer **Schnittstelle** zwischen den Simulationsprogrammen für solarthermischer Anlagen und den Berechnungsverfahren entsprechend der Normenreihe DIN V 18599:2007-02 [1, 2, 3] sowie der Norm DIN V 4701-10:2003-08 [4] zusammen mit DIN V 4108-6:2003-06 [5]. Die Schnittstelle soll für Nachweise im Rahmen der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009, [6]) Anwendung finden. Des Weiteren wird ein **Benchmarktest** entwickelt, an Hand dessen die Eignung der Solarsimulationsprogramme für die Simulation des dynamischen thermischen Verhaltens von Gebäuden mit unterschiedlichen solarthermischen Deckungsanteilen festgestellt werden soll. Zur Festlegung der Randbedingungen für Simulationen zum Benchmarktest wurde neben den obigen Normen auch die Norm DIN EN 12977-2 [7] herangezogen.

1.1 Berechnungen nach DIN V 4108-6 / 4701-10 und DIN V 18599

Die Berechnungen wurden im Monatsbilanzverfahren nach DIN V 4108-6 / 4701-10 und DIN V 18599 durchgeführt. Die Parametersätze der Eingangsgrößen flossen dann in die Modellbildung für die dynamische Gebäudesimulation ein.

1.2 Die Simulationssoftware EnergyPlus

EnergyPlus ist ein Programm zur Simulation thermischer Lasten und energetischen Analyse. Auf Grundlage der vom Nutzer erbrachten Beschreibung des Gebäudes hinsichtlich des Aufbaus, der Anlagentechnik etc. berechnet EnergyPlus die zum Einhalten der vorgegebenen Sollwerte benötigten Heiz- und Kühllasten, Bedingungen an ein HLK-System, den Energiebedarf sowie viele Simulationsdetails, die für die Überprüfung notwendig sind, dass die Simulation eine belastbare Aussage für das zu erwartende Gebäudeverhalten zulässt. Eine ausführliche Dokumentation findet sich unter http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm

Die Ergebnisse der Gebäudesimulationen mit EnergyPlus dienten zur Validierung der Ergebnisse der Gebäudesimulation mit TRNSYS.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

1.3 Implementierung Klimadatensatz TRY 4 (Potsdam)

TRY 4 (Potsdam)	EnergyPlus-Klimadatensatz
Bedeckungsgrad [Achtel]	umgerechnet von [Achtel] in [Zehntel], 9 (nicht bekannt) wird in 10 (volle Bedeckung) umgerechnet
Windrichtung in 10 m Höhe über Grund [°]	direkt verwendbar
Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Grund [m/s]	direkt verwendbar
Lufttemperatur in 2m Höhe über Grund [°C]	direkt verwendbar
Luftdruck in Stationshöhe [hPa]	umgerechnet von [hPA] in [PA]
Wasserdampfgehalt, Mischungsverhältnis [g/kg]	nicht verwendet
Relative Feuchte in 2 m Höhe über Grund [%]	direkt verwendbar
Wetterereignis der aktuellen Stunde	nicht übertragbar
Direkte Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene) [W/m ²] abwärts gerichtet: positiv	umgerechnet von Bestrahlungsstärke auf der horizontalen Ebene in Bestrahlungsstärke normal zur Strahlung
Diffuse Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene) [W/m ²] abwärts gerichtet: positiv	direkt verwendbar
Information, ob B und oder D Messwert/Rechenwert	nicht relevant
Bestrahlungsstärke d. atm. Wärmestrahlung (horiz. Ebene) [W/m ²] abwärts gerichtet: positiv	nicht verwendet
Bestrahlungsstärke d. terr. Wärmestrahlung [W/m ²] aufwärts gerichtet: negativ	nicht verwendet
Qualitätsbit für die langwelligen Strahlungsgrößen	nicht relevant
	Taupunkttemperatur berechnet aus Lufttemperatur in 2m Höhe über Grund und relative Feuchte in 2 m Höhe über Grund

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

1.4 Die Simulationssoftware TRNSYS

Von SWT wurden im Rahmen des Projekts folgende Arbeitspakete bearbeitet:

- Definition des Benchmarktests für Solarsimulationsprogramme
- Festlegung von Validierungsbeispielen
- Simulation der Gebäude mit TRNSYS
- Festlegung von Akzeptanzkriterien für die Ergebnisse der Solarsimulationsprogramme

Im Folgenden werden die Arbeitsinhalte der Arbeitspakete beschrieben und die dabei erzielten Ergebnisse vorgestellt. Im Rahmen des Benchmarktests werden ein Einfamilienhaus und ein Mehrfamilienhaus inkl. ihrer Wärmeversorgungsanlage simuliert. Durch ihre großen nach Süden orientierten Fensterflächen ist die Architektur der betrachteten Gebäude auf eine Nutzung der passiven solaren Gewinne ausgerichtet. Die passiven solaren Gewinne spielen daher eine vergleichsweise große Rolle für den Wärmebedarf der Gebäude. Dies kann simulationstechnisch nur mit einem geeigneten Gebäudemodell abgebildet werden. Der Benchmarktest kann insofern auch als „**Stresstest**“ verstanden werden, welcher die Solarsimulationsprogramme nicht nur im Hinblick auf die korrekte Simulation der Wärmeversorgungsanlage sondern auch auf die Berücksichtigung architektonischer Besonderheiten von Gebäuden mit hohen solarthermischen Deckungsanteilen prüft.

Alle den Validierungsbeispielen zu Grunde liegenden Simulationen wurden mit der Simulationsumgebung TRNSYS durchgeführt. Die Software „Transient Systems Simulation“, kurz TRNSYS, zu Deutsch „instationäre Systemsimulation“, wurde ursprünglich von der Universität Wisconsin¹, USA, entwickelt. Die mit FORTRAN programmierte Software eignet sich zur Simulation von dynamischen Systemen aller Art, typischerweise im Bereich der Energietechnik und Gebäudeenergetik. TRNSYS zeichnet sich durch einen modularen Aufbau aus. Das zu untersuchende System wird aus Einzelkomponenten aufgebaut, die untereinander logisch verknüpft werden. Die unterschiedlichen Systemkomponenten bzw. die entsprechenden Modelle (z. B. Sonnenkollektor, Wärmespeicher, Pumpen, usw.) sind in Bibliotheken hinterlegt und können einzeln in das Gesamtsystem integriert werden. Die einzelnen Komponenten werden auch als „Types“ bezeichnet. Die Konfiguration des Systems (inkl. aller Types und deren Verknüpfung) wird in einer Konfigurations-Datei abgespeichert (dem sog. TRNSYS-Deck), welche neben der Bearbeitung in Textform auch mit Hilfe einer graphischen Benutzeroberfläche verändert werden kann. Während der Simulation werden für jeden Zeitschritt alle Gleichungen der eingebundenen Modelle des Systems numerisch iterativ gelöst. Für alle Simulationen wurde eine **Zeitschrittweite von 0,025 h** verwendet. Die **Toleranz für Iterations- und Konvergenzfehler betrug jeweils 0,1 %**. Speziell für Wärmespeicher mit einer großen Kapazität ist davon auszugehen, dass diese die eingespeicherte solare Wärme über mehrere Monate nach Beginn der Heizperi-

¹ Siehe <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/index.html>

*Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*

ode abgeben können. Um sicherzustellen, dass dabei die Wahl der Anfangsbedingungen keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Simulationen hat, wurde für alle Simulationen eine **Vorlaufzeit von acht Monaten** gewählt. Die Simulationsdauer betrug also jeweils insgesamt 20 Monate von Mai (Stunde 2880) bis Dezember (Stunde 17520), von denen jedoch nur die Ergebnisse des zweiten, vollen Kalenderjahres von Januar (Stunde 8760) bis Dezember (Stunde 17520) bei der Auswertung berücksichtigt wurden.

2 Definition des Benchmarktests für Solarsimulationsprogramme

Um die grundsätzliche Eignung der Solarsimulationsprogramme hinsichtlich der dynamischen Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden mit hohen solarthermischen Deckungsanteilen und deren Heizungs- und Warmwasserbereitungssystemen sicher zu stellen, wird im Rahmen des Projekts „Solarsimu-EnEV“ ein sogenannter Benchmarktest definiert. Mit diesem Test können die Ergebnisse der Solarsimulationsprogramme (Ausgabegrößen) unter Vorgabe von einheitlichen Randbedingungen (Eingabegrößen, siehe Kapitel 3) für verschiedene Validierungsbeispiele auf ihre Richtigkeit geprüft werden. Den Kern der Benchmarktests bilden mehrere Validierungsbeispiele, welche Gebäude mit hohen solarthermischen Deckungsanteilen und deren Wärmeversorgungsanlage abbilden (siehe Kapitel 4). Unter einem Validierungsbeispiel sind dabei die Kombination aus Eingabegrößen für den Benchmarktest und den aus der Simulation resultierenden Ausgabegrößen zu verstehen.

2.1 Bestimmung des Beitrags der Solaranlage zur Deckung des Wärmebedarfs

Von entscheidender Bedeutung für die energetische Bewertung von Anlagen zur Heizung und Trinkwassererwärmung ist die Bestimmung des End- bzw. Primärenergiebedarfs dieser Anlagen nach DIN V 18599 [1, 2, 3] bzw. nach DIN V 4701-10 [4]. Der Endenergiebedarf berechnet sich dabei aus der von den Wärmeerzeugern zur Heizung und Trinkwassererwärmung bereitgestellten bzw. abgegebenen Wärmemenge. Für die Bewertung von Solaranlagen spielt des Weiteren die Aufteilung der gelieferten Wärmemenge auf Solaranlage und Zusatzwärmeerzeuger eine wichtige Rolle, da sich diese direkt auf den Primärenergiebedarf der Heizungs- und Warmwasserbereitungssysteme auswirkt. Ziel der Solarsimulationen muss es daher sein, den zur Heizung- und Trinkwassererwärmung nutzbaren Ertrag der Solaranlage bzw. den Deckungsanteil der Solaranlage möglichst normgerecht abzubilden. Da in den normativen Werten der zu liefernden Wärmemengen der Wärmeerzeuger je nach Rechenverfahren bereits unterschiedliche Annahmen zu Grunde liegen, können diese nicht direkt mit den Ergebnissen der Simulationen verglichen werden. Im Rahmen des Projekts „Solarsimu-EnEV“ wird daher der Ansatz vorgeschlagen, den Deckungsanteil durch den Vergleich zwischen den Ergebnissen der Simulation des Gebäudes mit einer Referenzanlage ohne solarthermischen Wärmeerzeuger und der Simulation des betrachteten Gebäudes mit Solaranlage zu bestimmen. Aus der Reduktion der vom konventionellen Wärmeerzeuger abgegebenen Wärmemenge durch die Solaranlage gegenüber der Referenzanlage ohne solarthermischen Wärmeerzeuger wird der Anteil der Solaranlage an der Wärmelieferung bestimmt. Für das gesamte Jahr bzw. jeden Monat kann somit der Ertrag der Solaranlage für Heizung und Trinkwasserbereitung $Q_{\text{sol,sim}}$ in kWh nach Gleichung (1) bzw. (3) sowie der entsprechende Deckungsanteil der Solaranlage $\alpha_{\text{sol,sim}}$ nach Gleichung (2) bzw. (4) ermittelt werden. In den Gleichungen sind $Q_{\text{outg,sim,ref}}$ in kWh die Wärmeabgabe des Heizkessels für den Referenzfall ohne Solaranlage und $Q_{\text{outg,sim}}$ in kWh die Wärme-

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

abgabe des Zusatzwärmeerzeugers unter Berücksichtigung der nutzbaren Wärmeabgabe der Solaranlage.

$$Q_{\text{sol,sim}} = Q_{\text{out,sim,ref}} - Q_{\text{out,sim}} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

$$\alpha_{\text{sol,sim}} = \frac{Q_{\text{sol,sim}}}{Q_{\text{out,sim,ref}}} \quad [-] \quad (2)$$

$$Q_{\text{sol,sim,m}} = Q_{\text{out,sim,ref,m}} - Q_{\text{out,sim,m}} \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

$$\alpha_{\text{sol,sim,m}} = \frac{Q_{\text{sol,sim,m}}}{Q_{\text{out,sim,ref,m}}} \quad [-] \quad (4)$$

Zur Berechnung der Aufteilung der nutzbaren Wärmeabgabe der Solaranlage auf Heizung und Trinkwasserbereitung für den Benchmarktest werden die Gleichungen (5) bis (8) verwendet. Darin sind $Q_{\text{h,sol,sim}}$ in kWh der nutzbare Ertrag der Solaranlage zur Heizung, $Q_{\text{tw,sol,sim}}$ in kWh der nutzbare Ertrag der Solaranlage zur Trinkwasserbereitung, $Q_{\text{h,s,sim,ref}}$ in kWh die vom Wärmespeicher abgegebene Wärmemenge an den Heizstrang der Referenzanlage und $Q_{\text{tw,s,sim,ref}}$ in kWh die vom Wärmespeicher abgegebene Wärmemenge an den Trinkwasserstrang der Referenzanlage.

$$Q_{\text{tw,sol,sim,m}} = \frac{Q_{\text{tw,s,sim,ref,m}}}{Q_{\text{tw,s,sim,ref,m}} + Q_{\text{h,s,sim,ref,m}}} \cdot Q_{\text{sol,sim,m}} \quad [\text{kWh}] \quad (5)$$

$$Q_{\text{tw,sol,sim}} = \sum Q_{\text{tw,sol,sim,m}} \quad [\text{kWh}] \quad (6)$$

$$Q_{\text{h,sol,sim,m}} = \frac{Q_{\text{h,s,sim,ref,m}}}{Q_{\text{tw,s,sim,ref,m}} + Q_{\text{h,s,sim,ref,m}}} \cdot Q_{\text{sol,sim,m}} \quad [\text{kWh}] \quad (7)$$

$$Q_{\text{h,sol,sim}} = \sum Q_{\text{h,sol,sim,m}} \quad [\text{kWh}] \quad (8)$$

Folglich ist die einheitliche Definition der Referenzanlage eine Grundvoraussetzung dafür, dass mit diesem Ansatz mit unterschiedlichen Simulationsprogrammen vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können. Im Projekt Solarsimu-EnEV wurden zwei Ansätze in Betracht gezogen, diese Referenzanlage zu definieren:

- 1) Die Referenzanlage entspricht in allen Eigenschaften der zu untersuchenden Solaranlage mit der einzigen Änderung, dass bei der Simulation der Referenzanlage die Solarkreis-pumpe ausgeschaltet bleibt und damit der Ertrag und die ggf. anfallenden Wärmeverluste des solarthermischen Wärmeerzeugers gleich Null werden.

*Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*

Vorteile dieses Ansatzes:

- Die Referenzanlage ist sehr einfach zu implementieren.

Nachteile dieses Ansatzes:

- Die Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers der Referenzanlage ist von der Konfiguration und Auslegung des Solarspeichers abhängig, wodurch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Anlagen ggf. nicht gegeben ist.
- Normative Vorgaben hinsichtlich der Referenzanlage werden nicht berücksichtigt.

2) Die Referenzanlage entspricht bis auf die folgenden Aspekte der zu untersuchenden Solaranlage:

- a) Der solarthermische Wärmeerzeuger entfällt.
- b) Der (die) bivalente(n) Wärmespeicher der Solaranlage wird (werden) durch einen monovalenten Speicher ersetzt. Falls der Zusatzwärmeerzeuger ein Heizungs-Puffervolumen erforderlich macht (z. B. im Fall von Biomassekesseln), werden je nach Hydraulik der Solaranlage ein monovalenter Kombispeicher oder zwei getrennte monovalente Pufferspeicher für Heizung und Trinkwasser für die Simulation der Referenzanlage eingesetzt. Ansonsten (falls kein Heizungs-Puffervolumen erforderlich ist), wird der Heizkreis direkt an den Wärmeerzeuger angebunden und ein monovalenter Trinkwarmwasserspeicher verwendet.
- c) Die Eigenschaften des Wärmeerzeugers (z. B. die Nennleistung) und der (des) Speicher(s) (z. B. das Nennvolumen) werden für die Referenzanlage soweit möglich an die normativen Vorgaben angepasst.

Vorteile dieses Ansatzes:

- Die Referenzanlage kann entsprechend normativer Vorgaben abgebildet werden.
- Ein vergleichbarer Ansatz wird bereits in der Norm DIN EN 12977-2 [7] verwendet.

Nachteile dieses Ansatzes:

- Die Implementierung der Referenzanlage ist aufwendiger, da für unterschiedliche Anlagenkonzepte der Solaranlage auch unterschiedliche Referenzanlagen berücksichtigt werden müssen.

Da das Ziel des Projekts Solarsimu-EnEV die normgerechte Abbildung des Deckungsanteils der Solaranlage ist und die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Ergebnisse sichergestellt werden soll, **wird im Rahmen des Projekts der zweite Ansatz verwendet**. Mit diesem Ansatz können Wärmespeicher und Zusatzwärmeerzeuger der Referenzanlage nach normativen Vorgaben, zum Beispiel hinsichtlich des Bereitschaftsvolumens für Trinkwarmwasser, definiert werden. Dieser Ansatz wurde auch für die in diesem Dokument vorgestellten Validierungsbeispiele verwendet.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

2.2 Eingabe- und Ausgabegrößen der Solarsimulation

Auf Grund der unterschiedlichen zu Grunde liegenden Annahmen für die Berechnungen nach den jeweiligen Normen und der dynamischen Simulation muss davon ausgegangen werden, dass die aus der Simulation ermittelten monatlichen oder jährlichen Wärmemengen nicht mit den nach Norm berechneten Werten übereinstimmen. Gleiches gilt auch für die Ergebnisse unterschiedlicher Simulationsprogramme. Im Rahmen des Projekts „Solarsimu-EnEV“ wird daher der Ansatz vorgeschlagen, die monatlichen bzw. jährlichen Werte der Wärmeabgabe des Wärmeerzeugers ohne Solaranlage als Eingabegröße in die Solarsimulationen vorzugeben. So kann zum einen die normgerechte bzw. einheitliche Ermittlung des Beitrags der Solaranlage zur Deckung des Wärmebedarfs erfolgen, wie im vorigen Abschnitt beschrieben. Zum anderen kann der Einfluss des dynamischen thermischen Verhaltens der Gebäude und deren Solaranlagen, welches der Hauptgrund für die Verwendung von Simulationsprogrammen ist, berücksichtigt werden.

Nachfolgende **Eingabegrößen** für die Solarsimulationsprogramme werden im Rahmen der Benchmarktests vorgegeben. Teilweise waren für die dynamische Simulation mit TRNSYS weitere Eingaben erforderlich, welche nicht zwingend als Eingabegrößen für den Benchmarktest vorzugeben sind. Wenn solche Größen innerhalb dieses Dokuments angegeben sind, so werden diese mit dem Begriff „**informativ**“ gekennzeichnet.

- Umgebungsbedingungen (s. Abschnitt 3.1)
- Parameter zur Beschreibung des Gebäudes und Randbedingungen für die Nutzung des Gebäudes (s. Abschnitt 3.2)
- Parameter zur Beschreibung der Anlagentechnik für Heizung und Trinkwassererwärmung für alle Validierungsbeispiele (s. Abschnitt 3.3) sowie für die jeweiligen Validierungsbeispiele angepasste Parameter (s. Kapitel 4)
- Jährliche bzw. monatliche Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für die Referenzanlage ohne solarthermischen Wärmeerzeuger (Ergebnisse der TRNSYS-Simulation, s. Kapitel 4)
- Jährliche bzw. monatliche Nutzwärmeabgabe des Wärmespeichers an den Trinkwasserstrang sowie an den Heizstrang für die Referenzanlage (Ergebnisse der TRNSYS-Simulation, s. Kapitel 4)

Die **Ausgabegrößen** für die Validierung umfassen jene Simulationsergebnisse, die zur Überprüfung der Rechengüte der Solarsimulationsprogramme an Hand der später definierten Validierungsbeispiele erforderlich sind. Diese nachfolgend aufgeführten Größen müssen entsprechend von den Solarsimulationsprogrammen in **monatlicher Auflösung** ausgegeben werden.

- Monatlicher nutzbarer Ertrag der Solaranlage nach Gl. (3)

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

- Monatlicher nutzbarer Ertrag der Solaranlage für die Trinkwassererwärmung nach Gl. (5) bzw. für die Heizung nach Gl. (7)
- Monatlicher Hilfsstrombedarf der Pumpe(n) des solarthermischen Wärmeerzeugers
- Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)

Die entsprechenden Ergebnisse der TRNSYS-Simulationen sind in Kapitel 4 zu den Validierungsbeispielen angegeben.

2.3 Akzeptanzkriterien für die Ergebnisse der Solarsimulation

Um zu prüfen, ob die Ergebnisse der Solarsimulationssoftware für die Validierungsbeispiele des Benchmarktests im geforderten Genauigkeitsbereich liegen, werden Akzeptanzkriterien festgelegt. Da die entscheidende Ausgabegröße für den Benchmarktest der monatlich bzw. jährlich nutzbare Ertrag der Solaranlage ist, wird diese Größe zur Quantifizierung der Abweichung der Ergebnisse der Solarsimulationssoftware herangezogen. In den nachfolgenden Gleichungen werden die Berechnung der Abweichung von Jahres- und Monatswerten sowie die zugehörigen Akzeptanzkriterien beschrieben.

- Relative Abweichung der Jahressumme des mit der Solarsimulationssoftware ermittelten nutzbaren Ertrags der Solaranlage gegenüber dem Benchmark-Ergebnis:

$$\delta_{\text{sol,sim}} = \frac{Q_{\text{sol,sim}} - Q_{\text{sol,sim,Benchmark}}}{Q_{\text{sol,sim,Benchmark}}} [-] \quad (9)$$

Erstes Akzeptanzkriterium:

$$-0,20 \leq \delta_{\text{sol,sim}} \leq 0,20 \quad (10)$$

- Summe der absoluten Abweichungen des mit der Solarsimulationssoftware ermittelten monatlich nutzbaren Ertrags der Solaranlage bezogen auf das Benchmark-Ergebnis der Jahressumme des nutzbaren Ertrags der Solaranlage:

$$\delta_{\text{sol,sim,abs}} = \frac{\sum_m |Q_{\text{sol,sim,m}} - Q_{\text{sol,sim,m,Benchmark}}|}{Q_{\text{sol,sim,Benchmark}}} [-] \quad (11)$$

Zweites Akzeptanzkriterium:

$$\delta_{\text{sol,sim,abs}} \leq 0,30 \quad (12)$$

3 Eingabegrößen für den Benchmarktest

Für den Benchmarktest werden ein marktübliches Einfamilienhaus (EFH) und ein Mehrfamilienhaus (MFH) in je zwei unterschiedlichen Gebäude-Energiestandards simuliert. Hinsichtlich der Gebäude-Energiestandards werden das EFH und das MFH jeweils in einer Ausführung als Referenzgebäude nach EnEV 2009 (nachfolgend mit der Abkürzung „EnEV-Ref“ bezeichnet) und einer Ausführung als KfW-Effizienzhaus 40 (nachfolgend mit der Abkürzung „KfW-EH 40“ bezeichnet) untersucht. In diesem Kapitel werden alle Eingabegrößen für die simulierten Gebäude beschrieben. Eine Übersicht dazu ist in nachfolgender Tabelle gegeben.

Tabelle 1: Übersicht der Abschnitte dieses Dokuments, in denen die Eingabe- und Ausgabegrößen für den Benchmarktest zu finden sind.

Eingabegrößen	EFH	MFH
Umgebungsbedingungen	3.1	
Beschreibung des Gebäudes und der Nutzungsrandbedingungen	3.2.1	3.2.2
Eigenschaften der opaken und transparenten Bauteile der Gebäudehülle*	EnEV-Ref: A.1 KfW-EH 40: A.2	EnEV-Ref: A.3 KfW-EH 40: A.4
Parameter der Solaranlagen	3.3.1	
Parameter der Referenzanlagen	3.3.2	
Parameter der Wärmeverteilung	0	
Angepasste Parameter für die Validierungsbeispiele	4.1.1	4.2.1
Nutzwärmeabgabe und Hilfsstrombedarf der Referenzanlagen	4.1.2	4.2.2
Ausgabegrößen der Solaranlagen	4.1.3	4.2.3

* inkl. Temperaturen des Erdreichs, Temperatur-Korrekturfaktoren sowie Faktoren für den Sonnenschutz für die jeweiligen Bauteile

3.1 Umgebungsbedingungen und Stoffgrößen

Die **Umgebungsbedingungen** beinhalten alle Annahmen, welche die Außeneinwirkungen auf das thermische Verhalten der Gebäude durch Umgebung und Wetter charakterisieren. Folgende Umgebungsbedingungen werden für die Simulation als konstant angenommen:

- Kaltwassertemperatur: 10,0 °C

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

- Reflexionsgrad der Erdoberfläche: 0,2 [-]
- Luftdruck: 1,013 bar

Folgende **Stoffgrößen** werden für die Simulation als konstant angenommen:

- Dichte von Wasser: 992,42 kg/m³ (nach DIN EN 12977-2 [7])
- Spez. Wärmekapazität von Wasser: 4,181 kJ/(kg K) (nach DIN EN 12977-2 [7])
- Wärmeleitfähigkeit von Wasser: 0,624 W/(m K)
- Produkt aus Dichte und spez. Wärmekapazität von Luft: 0,34 Wh/(m³ K) (nach DIN EN 18599-5 [1])

3.1.1 Wetterdatensatz

Die klimatischen Randbedingungen für die Simulation werden in Form eines Wetterdatensatzes vorgegeben. Für die Benchmarktests wird der frei verfügbare Wetterdatensatz „Testreferenzjahr-Datensatz 2011“ (TRY2010, Version 1.2) für den **Standort Potsdam (Klimaregion 4)**, mittleres Jahr ohne Stadteffekt entsprechend dem Referenzklimadatensatz für die EnEV 2013, aus dem Projekt „Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse“ des Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) verwendet². Aus diesem Datensatz werden die folgenden Größen mit einer Auflösung von einer Stunde interpoliert auf jeden Zeitschritt der Jahressimulation vorgegeben:

- Lufttemperatur in 2 m Höhe über Grund [°C]
- Relative Feuchte in 2 m Höhe über Grund [%]
- Direkte Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene) [W/m²]
- Diffuse Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene) [W/m²]
- Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Grund [m/s]

Als **Bezugszeit** für die Daten der direkten und diffusen Bestrahlungsstärke auf die horizontale Ebene aus dem TRY2010-Datensatz wurde die **wahre Ortszeit (WOZ)** bzw. die wahre Sonnenzeit verwendet. Im Handbuch zum „Testreferenzjahr-Datensatz 2011“ wird zwar angegeben, dass die Werte der Bestrahlungsstärken auf die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) interpoliert wurden, laut Aussage der Firma TRANSSOLAR ist dies aber nur für berechnete Werte erfolgt. Für die Klimaregion 4 liegen jedoch gemessene Werte der Wetterstation Potsdam vor, die offenbar auf WOZ bezogen sind. Dies bestätigt der in Tabelle 2 gezeigte Vergleich zwischen den Ergebnissen der Simulation und den entsprechenden Angaben aus der Norm für die Jahressummen

² Unter folgender Internet-Adresse zum Download erhältlich:

http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2008/Testreferenzjahre/01_start.html

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

der hemisphärischen Bestrahlung auf unterschiedliche Ebenen. Die simulierten Werte liegen in guter Übereinstimmung mit den normativen Angaben.

Tabelle 2: Vergleich zwischen Ergebnissen der Simulation und Angaben aus der Norm für die Jahressummen der hemisphärischen Bestrahlung auf unterschiedliche Ebenen. (informativ)

Orientierung*	[°]	0	0	90	90	180	180	270	270
Neigung	[°]	45	90	45	90	45	90	45	90
Simulation	[kWh/(m ² a)]	1.218	859	939	666	591	362	975	697
DIN V 18599 ³	[kWh/(m ² a)]	1.195	838	907	628	608	365	988	707
Rel. Abw.	[%]	1,9	2,5	3,5	6,0	-2,8	-0,8	-1,4	-1,5

* Orientierung: 0° = Süd, 90° = West, 180° = Nord, 270° = Ost

3.1.2 Berechnete Wetterdaten (informativ)

Ergänzend zu den Wetterdaten des „Testreferenzjahr-Datensatz 2011“ wurden die Werte für folgende Wetterdaten berechnet:

- Effektive Himmelstemperatur [°C]: Berechnung für jeden Zeitschritt der Simulation durch TRNSYS Type 69 „Effective Sky Temperature“⁴ auf Basis der Außentemperatur, der relativen Feuchte der Außenluft sowie der direkten und diffusen Bestrahlungsstärke auf die horizontale Ebene.
- Direkte und diffuse Bestrahlungsstärke auf unterschiedliche Ebenen [W/m²]: Berechnung für jeden Zeitschritt der Simulation durch TRNSYS Type 16 „Solar Radiation Processor“⁴ auf Basis der direkten und diffusen Bestrahlungsstärke auf die horizontale Ebene (wahre Sonnenzeit als Bezugszeit!). Es wurde das „Hay and Davies model“ verwendet.
- Bodentemperatur [°C]: Vorgabe der Temperatur des Erdreichs (s. Abschnitt 3.2)

Eine detaillierte Übersicht der berechneten Werte für Temperaturen und Strahlung ist in Anhang B (siehe S. 127) zu finden.

³ Siehe DIN V 18599-10:2011-12 S. 89

⁴ Siehe TRNSYS 17 Documentation, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2009

3.2 Beschreibung der Gebäude und der Nutzungsrandbedingungen

In diesem Abschnitt ist eine Übersicht der Eigenschaften der simulierten Gebäude sowie der für die Simulation der Validierungsbeispiele verwendeten Nutzungsrandbedingungen gegeben. Die Eigenschaften aller opaken und transparenten Bauteile der Gebäudehülle wurden entsprechend der Angaben aus den jeweiligen EnEV-Berechnungsnachweisen festgelegt und sind in Anhang A (S. 101) aufgelistet. Darin sind auch verwendete Temperaturen des Erdreichs, Temperatur-Korrekturfaktoren sowie Faktoren für den Sonnenschutz für die jeweiligen Bauteile angegeben. Entsprechend der EnEV wurde für die Simulation das gesamte beheizte Volumen als eine thermische Zone modelliert. Das Luftvolumen wurde als das 0,76-fache des Bruttovolumens berechnet. Da im realen Gebäude Innendecken und –wände enthalten sind, die als Bauteile nicht in das Modell aufgenommen wurden, sind diese als zusätzliche thermische Kapazität der beheizten Zonen berücksichtigt. Für Luft wurde ein Produkt aus Dichte und spez. Wärmekapazität von 1,224 kJ/(m³ K) bezogen auf das Luftvolumen angenommen, für die Inneneinrichtung ein Wert von 17 kJ/(m³ K) bezogen auf das beheizte (Brutto-) Volumen. Zur Bestimmung der Transmissionswärmeverluste von Bauteilen, die zum Beispiel an eine unbeheizte Zone grenzen, welche nicht modelliert wurde, wird ein Temperatur-Korrekturfaktor F_x verwendet. Dazu wird die Temperatur $\vartheta_{\text{unbeheizt}}$ berechnet, welche den entsprechenden Wänden an Stelle der Außentemperatur aufgeprägt wurde. In nachfolgender Formel sind ϑ_{Zone} die Lufttemperatur der Zone in °C und ϑ_{Amb} die Außentemperatur in °C.

$$\vartheta_{\text{unbeheizt}} = \vartheta_{\text{Zone}} - F_x (\vartheta_{\text{Zone}} - \vartheta_{\text{Amb}}) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (13)$$

3.2.1 Einfamilienhaus

Als Beispiel für ein Einfamilienhaus (EFH) mit hohem solarthermischem Deckungsanteil wurde ein 1997 erbautes Gebäude am Standort Rottenburg, Baden-Württemberg ausgewählt. Ein 3D-Modell des Gebäudes ist in Abbildung 1 gezeigt. Die Eigenschaften des simulierten EFH sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Übersicht der Eigenschaften des simulierten EFH.

Gebäudetyp	Einfamilienhaus
beheiztes Volumen V_e [m³]	723,4
Gebäudenutzfläche A_N [m²]	231,5
Wohnfläche A_{Wfl} [m²]	184,6
Luftvolumen der beheizten Zone [m³]	549,8
Thermische Kapazität der beheizten Zone [kJ/K]	63.550,0

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Das Einfamilienhaus zeichnet sich durch eine große nach Süden orientierte und im Winkel von 75° geneigte Fensterfläche aus, durch welche signifikante passive solare Gewinne erzielt werden können.

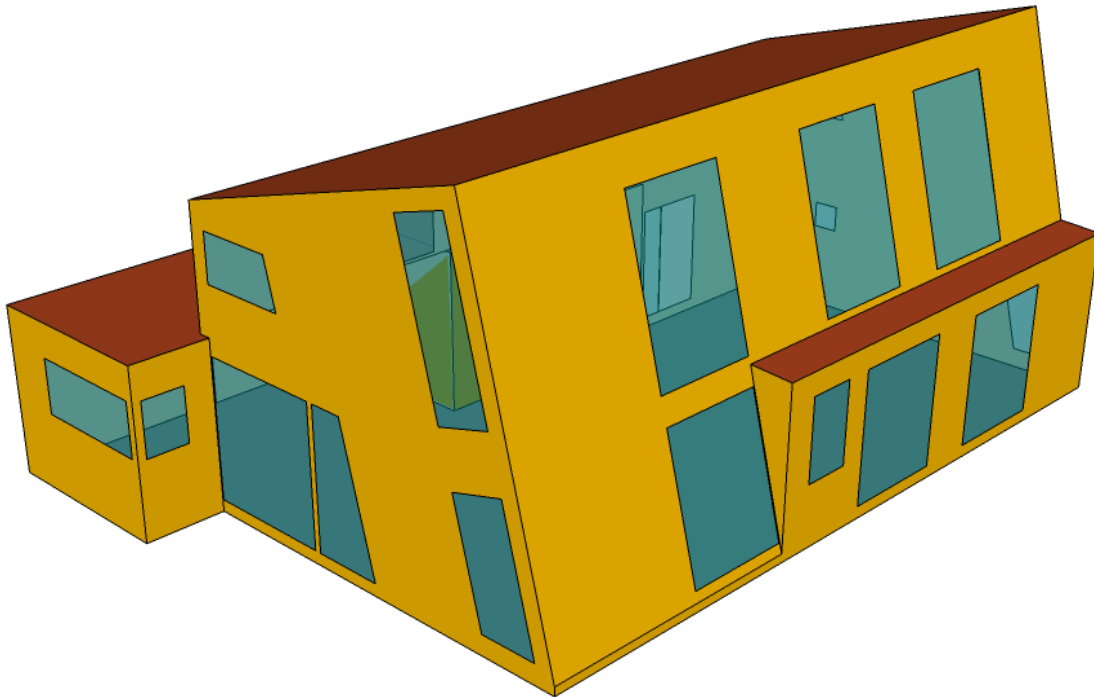


Abbildung 1: 3D-Ansicht des mit SketchUp modellierten EFH (informativ).

Die zu Grunde gelegten Nutzungs-Randbedingungen für den Benchmarktest unterscheiden sich, je nachdem ob ein Validierungsbeispiel in Anlehnung an die DIN V 18599 [1, 2, 3] oder an DIN V 4701-10 [4] bzw. DIN V 4108-6 [5] simuliert wurde. In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die entsprechenden Randbedingungen für die Simulation des Einfamilienhauses nach unterschiedlichen Normen dargestellt.

Da aus den normativen Vorgaben nach DIN V 18599 oder DIN V 4701-10 bzw. DIN V 4108-6 für die Trinkwassererwärmung nur der flächenspezifische jährliche Nutzwärmebedarf hervorgeht, wurde im Projekt Solarsimu-EnEV ein Bedarfsprofil für die Warmwasserbereitstellung gewählt, welches in Tabelle 5 dargestellt ist.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 4: Übersicht der für die Benchmarktests vorzugebenden Nutzungs-Randbedingungen für das EFH.

	DIN V 18599:2007-02	DIN V 4701-10:2003-08 bzw. DIN V 4108-6:2003-06
Auslegungstemperatur bzw. Raumsolltemperatur	20 °C	19 °C
Spezifische interne Wärmegewinne durch Personen, Geräte etc.	50 Wh/(m² d)	5 W/m²
Bezugsfläche für interne Wärmegewinne	184,6 m²	231,5 m²
Luftwechselrate durch Infiltration und Abluftanlage	0,55 1/h	0,55 1/h
Spezifischer Trinkwarmwasserbedarf	12 kWh/(m² a)	12,5 kWh/(m² a)
Bezugsfläche für Trinkwarmwasserbedarf	184,6 m²	231,5 m²
Tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe	13,3 h 06:21 Uhr bis 19:39 Uhr	13,5 h 06:15 Uhr bis 19:45 Uhr
Heizungsabschaltung	23:00 Uhr bis 6:00 Uhr	23:00 Uhr bis 6:00 Uhr

Tabelle 5: Für die Benchmarktests vorzugebendes Bedarfsprofil für die tägliche Warmwasserbereitstellung des EFH.

Uhrzeit zu Beginn der Zapfung	[hh:mm]	07:00	12:00	19:00
Anteil am Tagesbedarf	[%]	40	20	40
Volumenstrom für Zapfung	[l/h]	600	600	600

3.2.2 Mehrfamilienhaus

Als Beispiel für ein Mehrfamilienhaus (MFH) mit hohem solarthermischem Deckungsanteil wurde ein 2010 erbautes Gebäude am Standort Laufen, Bayern ausgewählt. Ein 3D-Modell des Gebäudes ist in Abbildung 2 gezeigt. Die Eigenschaften des simulierten MFH sind in Tabelle 6 aufgelistet. Das Mehrfamilienhaus weist einen hohen Fensterflächenanteil in der Südfassade auf, durch welchen signifikante passive solare Gewinne erzielt werden können.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

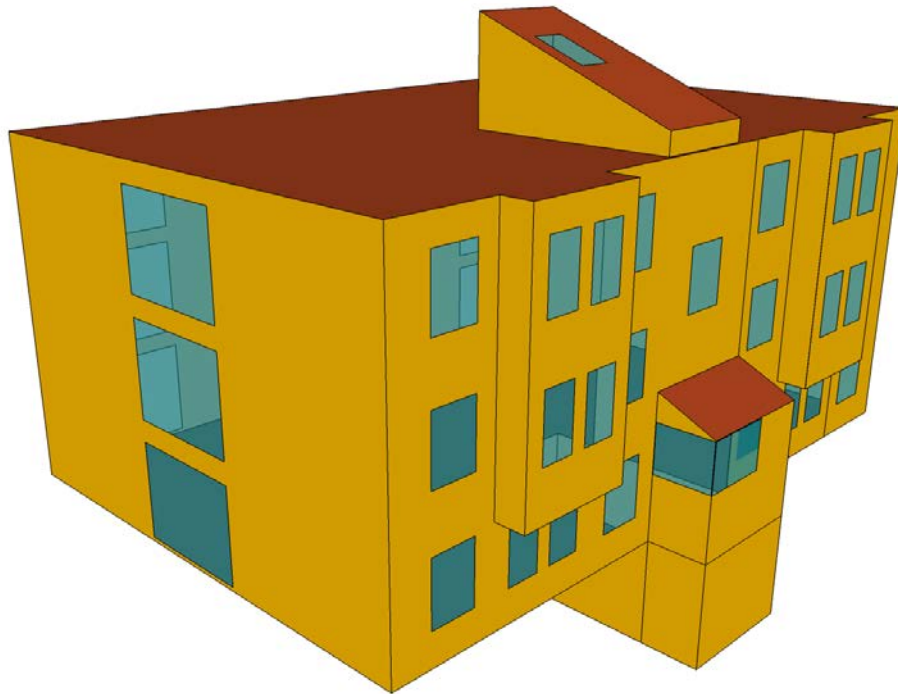


Abbildung 2: 3D-Ansicht des mit SketchUp modellierten MFH (informativ).

Tabelle 6: Übersicht der Eigenschaften des simulierten MFH.

Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus
beheiztes Volumen V_e [m³]	2.386,0
Gebäudenutzfläche A_N [m²]	697,2
Wohnfläche A_{Wfl} [m²]	580,0
Luftvolumen der beheizten Zone [m³]	1.813,3
Thermische Kapazität der beheizten Zone [kJ/K]	119.300,0

Die zu Grunde gelegten Nutzungs-Randbedingungen für den Benchmarktest unterscheiden sich, je nachdem ob ein Validierungsbeispiel in Anlehnung an die DIN V 18599 [1, 2, 3] oder an DIN V 4701-10 [4] bzw. DIN V 4108-6 [5] simuliert wurde. In der nachfolgenden Tabelle 7 sind die entsprechenden Randbedingungen für die Simulation des Mehrfamilienhauses nach unterschiedlichen Normen dargestellt.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 7: Übersicht der für die Benchmarktests vorzugebenden Nutzungs-Randbedingungen für das Mehrfamilienhaus.

	DIN V 18599:2007-02	DIN V 4701-10:2003-08 bzw. DIN V 4108-6:2003-06
Auslegungstemperatur bzw. Raumsolltemperatur	20 °C	19 °C
Spezifische interne Wärmegewinne durch Personen, Geräte etc.	100 Wh/(m² d)	5 W/m²
Bezugsfläche für interne Wärmegewinne	580,0 m²	697,2 m²
Luftwechselrate durch Infiltration und Abluftanlage	0,55 1/h	0,55 1/h
Spezifischer Trinkwarmwasserbedarf	16 kWh/(m² a)	12,5 kWh/(m² a)
Bezugsfläche für Trinkwarmwasserbedarf	580,0 m²	697,2 m²
Tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe	19,7 h 03:09 Uhr bis 22:51 Uhr	17,1 h 04:27 Uhr bis 21:33 Uhr
Heizungsabschaltung	23:00 Uhr bis 6:00 Uhr	23:00 Uhr bis 6:00 Uhr

Da aus den normativen Vorgaben nach DIN V 18599 oder DIN V 4701-10 bzw. DIN V 4108-6 für die Trinkwassererwärmung nur der flächenspezifische jährliche Nutzwärmebedarf hervorgeht, wurde im Projekt Solarsimu-EnEV ein Bedarfsprofil für die Warmwasserbereitstellung gewählt, welches in Tabelle 8 dargestellt ist. Für das Mehrfamilienhaus ist der Volumenstrom $V_{TW,MFH}$ der Zapfungen und damit die maximale Zapfleistung von der Gebäudenutzfläche A_N bzw. der Anzahl der Wohneinheiten des Gebäudes abhängig. Daher wird der Volumenstrom für das MFH nach Gleichung (14) bestimmt⁵.

$$\dot{V}_{TW,MFH} = 600 \cdot \text{RUNDEN} \left(\frac{A_N}{110 \text{ m}^2} \right) \cdot \left[0,02 + 0,92 \cdot \text{RUNDEN} \left(\frac{A_N}{110 \text{ m}^2} \right)^{-0,58} \right] \text{ [l/h]} \quad (14)$$

⁵ folgende Annahmen werden für die Berechnung des Zapf-Volumenstroms für MFH getroffen:

- pro Wohneinheit wird eine Gebäudenutzfläche nach EnEV von 110 m² angesetzt
- es wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor nach [Gaderer, M., Wärmeversorgung mit fester Biomasse bei kleiner Leistung, Dissertation, Lehrstuhl für Energiesysteme, TU München, 2007] berücksichtigt

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 8: Für die Benchmarktests vorzugebendes Bedarfsprofil für die tägliche Warmwasserbereitstellung des Mehrfamilienhauses.

Uhrzeit zu Beginn der Zapfung	[hh:mm]	07:00	12:00	19:00
Anteil am Tagesbedarf	[%]	40	20	40
Volumenstrom für Zapfung	[l/h]	1.244	1.244	1.244

3.3 Beschreibung der Anlagentechnik

In Anlehnung an die im realen Gebäude vorhandene Solaranlage wurde die Anlagentechnik in der Simulation abgebildet. Eine schematische Darstellung der simulierten **Solaranlage** ist in Abbildung 3 gezeigt. Es handelt sich um eine Solaranlage mit einem bivalenten Kombispeicher, an welchen der solarthermische Wärmeerzeuger über einen Sekundärkreis angebunden ist. Ein Pelletofen dient als Zusatzwärmeerzeuger. Über eine Rücklaufanhebung wird die Vorlauftemperatur des Ofens am Eintritt in den Speicher konstant gehalten. Die Erwärmung des Trinkwassers erfolgt über einen externen Wärmeübertrager mit geregelter Pumpe. Zur Verteilung der Heizwärme im Gebäude kommen Fußboden-Heizflächen zum Einsatz. Alle für die Simulation relevanten Parameter der Solaranlage sind in den nachfolgenden Abschnitten sowie in Kapitel 4 für die jeweiligen Validierungsbeispiele erläutert.

Wie bereits erläutert, wird zusätzlich zur Solaranlage eine Referenzanlage simuliert, an Hand derer der zur Trinkwassererwärmung und Heizung nutzbare Ertrag der Solaranlage bestimmt wird. Für die betrachtete Solaranlage wurde eine **Referenzanlage** mit einem Pelletofen als Wärmeerzeuger und einem monovalenten Kombispeicher verwendet. Eine schematische Darstellung der simulierten Referenzanlage ist in Abbildung 4 gezeigt. Alle für die Simulation relevanten Parameter der Referenzanlage sind in den nachfolgenden Abschnitten sowie in Kapitel 4 für die jeweiligen Validierungsbeispiele erläutert. In Kapitel 4 ist auch eine detaillierte schematische Darstellung der simulierten Wärmespeicher gezeigt (s. Abbildung 5, S. 41).

Die **Wärmeverluste der Anlagentechnik**, insbesondere des Wärmespeichers, können einen signifikanten Anteil am nutzbaren Ertrag der Solaranlage für die Beheizung des Gebäudes ausmachen. Daher werden diese auch in der dynamischen Simulation abgebildet. Dazu folgende Hinweise:

- zur Bestimmung der Wärmeverluste, die an die Umgebung abgegeben werden, wird die Außentemperatur herangezogen
- zur Bestimmung der Wärmeverluste, die als interne Gewinne der beheizten Zone angerechnet werden, wird die Lufttemperatur der Zone herangezogen
- die Angabe „Wärmeverluste vernachlässigt“ bedeutet, dass die jeweilige Komponente vereinfacht als verlustfrei angenommen wurde

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

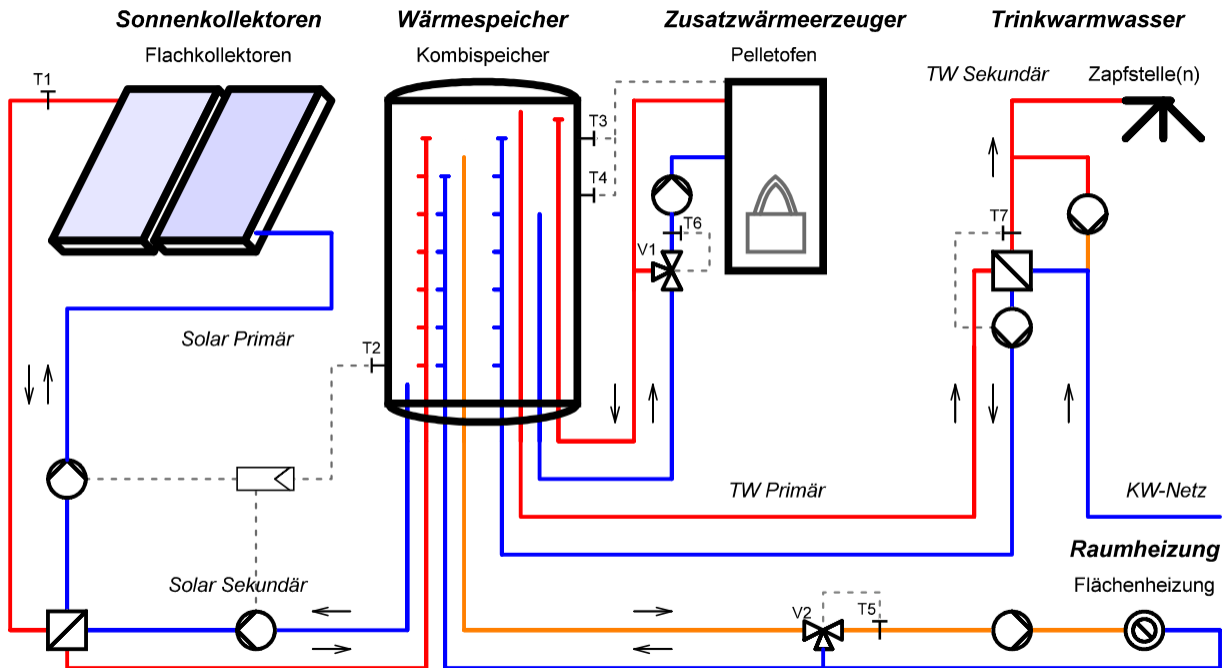


Abbildung 3: Schematische Darstellung der sim. Solaranlage (Quelle: SWT).

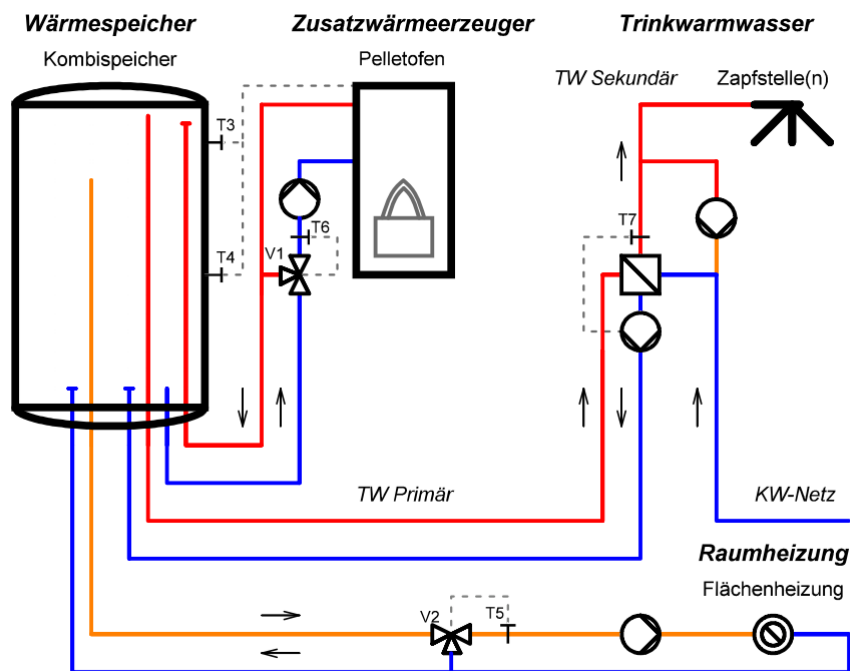


Abbildung 4: Schematische Darstellung der sim. Referenzanlage (Quelle: SWT).

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Für den Benchmarktest wird der Zusatzwärmeerzeuger vereinfacht als ideale Wärmequelle angenommen. In den Ergebnissen werden also weder bei den Solaranlagen noch bei den Referenzanlagen Wärmeverluste oder kapazitive Effekte des Zusatzwärmeerzeugers berücksichtigt. Weitere Informationen zur Behandlung der Wärmeverluste der jeweiligen Anlagenkomponente sind in den nachfolgenden Abschnitten zu finden.

Erläuterung zu den angegebenen Parametern:

- Als **Wärmeverlustrate** bzw. **Wärmeübertragungsvermögen** wird nachfolgend das Produkt aus dem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten k [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$] (häufig auch U-Wert genannt) und der Oberfläche A [m^2] des Speichers bzw. Behälters (ohne Dämmung) bzw. des Wärmeübertragers bezeichnet.

3.3.1 Parameter von Wärmeerzeuger und –speicher der Solaranlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für die Simulation des solarthermischen Wärmeerzeugers mit Wärmespeicher und Zusatzwärmeerzeuger verwendet wurden. Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf den jeweiligen Abschnitt in Kapitel 4 verwiesen.

3.3.1.1 Solarthermischer Wärmeerzeuger

THERMISCHE SONNENKOLLEKTOREN			
Bauart	Flachkollektor nach DIN V 18599-8 [2] (Baujahr nach 1998)		
Fläche und Ausrichtung (Neigung ggü. Horizontale; Orientierung: Süd: 0°, Ost: -90°, West: 90°)	Aperturfläche [m²]	Neigung [°]	Orientierung [°]
	s. Kapitel 4	EFH: 75 MFH: 60	EFH: 0,0 MFH: 8,5
Thermische Leistungskennwerte	EinheitWert Konversionsfaktor [-]0,77 Wärmeverlustkoeffizient 1. Ord. [W/m² K]3,50 Wärmeverlustkoeffizient 2. Ord. [W/m² K²]0,02 Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{dir} (50°) [-]0,90 Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{diff} [-]0,82 Effektive Wärmekapazität (bezogen auf Aperturfläche) [kJ/(m² K)]6,40		
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste an Umgebung		
SOLARKREIS PRIMÄR			
Fluid	Tyfocor LS		
Dichte [kg/m³]	1020,00		
Spez .Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	3,68		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Länge der Rohrleitung (VL + RL) [m]	EFH: 35 - davon 30 innerhalb der beh. Zone MFH: 55 - davon 45 innerhalb der beh. Zone
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	siehe Kapitel 4
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste der Leitung außerhalb der beh. Zone werden an Umgebung abgegeben; Wärmeverluste der Leitung innerhalb der beh. Zone werden als interne Wärmegewinne der Zone angerechnet
Regelung	konstanter Durchfluss; Hysterese für Ein- und Ausschalten der Solarkreispumpe: Temperaturdifferenz zwischen Kollektor-Temperaturfühler und Speicher-Temperaturfühler: $\Delta T_{\text{EIN}} = 6 \text{ K}$, $\Delta T_{\text{AUS}} = 4 \text{ K}$; Abschaltung der Solarkreispumpe, wenn eines der unten genannte Kriterien erfüllt wird
Abschaltkriterien für Solarkreis	1) Kollektor-Temperaturfühler am Austritt mit Hysterese: $T_{\text{AUS}} = 105^\circ\text{C}$; $T_{\text{EIN}} = 90^\circ\text{C}$ 2) Speicher-Temperaturfühler Anforderung Trinkwasser mit Hysterese: $T_{\text{AUS}} = 90^\circ\text{C}$; $T_{\text{EIN}} = 85^\circ\text{C}$ (Position s. Kapitel 4)
Temperaturfühler zur Regelung	Kollektor-Temperaturfühler am Kollektorausstritt; Speicher-Temperaturfühler zur Solarkreisregelung (Position s. Kapitel 4)
min. Durchfluss [kg/(h m²)]	-
Nenndurchfluss [kg/(h m²)] (bez. auf Aperturfläche für konstanten Durchfluss)	25,0
Leistung der Pumpe [W]	siehe Kapitel 4
Wärmeübertrager zu sek. Solarkreis	Plattenwärmeübertrager
Übertragungsvermögen [W/K]	siehe Kapitel 4
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt
SOLARKREIS SEKUNDÄR	
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher, Rücklauf Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Kapitel 4)
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Wasser 992,42 4,181
Länge der Rohrleitung (VL + RL) [m]	EFH: 5, davon 5 innerhalb der beh. Zone MFH: 10, davon 10 innerhalb der beh. Zone

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	siehe Kapitel 4
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmege- winne der beheizten Zone angerechnet
Regelung	Berechnung des Massenstroms aus dem Mas- senstrom des Primärkreises: $\dot{m}_{\text{sekundär}} = c_{p,\text{primär}} / c_{p,\text{sekundär}} \cdot \dot{m}_{\text{primär}} \text{ [kg/h]}$
min. Durchfluss [kg/h] (für „matched flow“)	s. o.
Nenndurchfluss [kg/h] (bzw. max. Durchfluss)	s. o.
Leistung der Pumpe [W]	siehe Kapitel 4
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt

3.3.1.2 Zusatzwärmeerzeuger

Bauart	Pelletofen
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone
Thermische Leistungskennwerte Nennwärmeleistung [kW] Wasserseitige Wärmeleistung [kW] Wirkungsgrad [%]	EFH: 19,0 MFH: 41,1 gleich der Nennwärmeleistung 100,0
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste und kapazitive Effekte vernach- lässigt
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher; Rücklauf: Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Kapitel 4)
Länge der Rohrleitung (VL + RL) [m]	10, davon 10 innerhalb der beh. Zone
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,000
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste vernachlässigt
Regelung	1) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Warmwasser: $T_{\text{EIN}} = 55 \text{ °C}$, $T_{\text{AUS}} = 65 \text{ °C}$ 2) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Heizung: $T_{\text{EIN}} = T_{h,VL}$ (angepasst an Heizkurve), $T_{\text{AUS}} = 65 \text{ °C}$

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Temperaturfühler zur Regelung	1) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Warmwasser (Position s. Kapitel 4) 2) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Heizung (Position s. Kapitel 4)
Mindestlaufzeit pro Start [s]	0
Temperatur VL und RL im Nennbetrieb [°C]	EFH: Vorlauf 65,0 / Rücklauf 55,0 MFH: Vorlauf 70,0 / Rücklauf 55,0 (konstant durch Rücklaufanhebung)
Nenndurchfluss [kg/h]	Massenstrom durch Pelletofen ergibt sich aus Nennwärmeleistung und Temperaturdifferenz zw. Vor- und Rücklauf im Nennbetrieb (s. o.) Massenstrom zum Speicher ergibt sich aus Rücklaufanhebung
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 20,0 MFH: 40,0
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt

3.3.1.3 Wärmespeicher

WARMWASSERSPEICHER	
Bauart	Bivalenter Warmwasserspeicher mit interner Schichtladeeinrichtung
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone
Höhe / Durchmesser (ohne Dämmung) [m]	siehe Kapitel 4
Nennvolumen [m³]	siehe Kapitel 4
Nennvolumen integrierter Trinkwassertank [m³] (falls vorhanden)	nicht vorhanden
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Wasser 992,42 4,181
Effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit des Speichers [W/(m K)]	0,624 (da keine Prüfergebnisse vorliegen, wird die Wärmeleitfähigkeit von Wasser angesetzt)
Mittlere Wärmeverlustrate des gesamten Speichers [W/K]	siehe Kapitel 4
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste werden als interne Wärmege- winne der beheizten Zone angerechnet

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

3.3.2 Parameter von Wärmeerzeuger und –speicher der Referenzanlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für Simulation des Wärmeerzeugers und der Wärmespeicher der Referenzanlage verwendet wurden. **Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf den jeweiligen Abschnitt in Kapitel 4 verwiesen.**

3.3.2.1 Wärmeerzeuger

Bauart	Pelletofen
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste und kapazitive Effekte vernachlässigt
Thermische Leistungskennwerte Nennwärmeleistung [kW] Wasserseitige Wärmeleistung [kW] Wirkungsgrad [%]	EFH: 19,0 MFH: 41,1 gleich der Nennwärmeleistung 100,0
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher; Rücklauf: Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Kapitel 4)
Länge der Rohrleitung (VL + RL) [m]	10, davon 10 innerhalb der beh. Zone
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,000
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste vernachlässigt
Regelung	1) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Warmwasser: $T_{\text{EIN}} = 55 \text{ °C}$, $T_{\text{AUS}} = 65 \text{ °C}$ 2) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Heizung: $T_{\text{EIN}} = 35 \text{ °C}$, $T_{\text{AUS}} = 65 \text{ °C}$
Temperaturfühler zur Regelung	1) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Warmwasser (Position s. Kapitel 4) 2) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Heizung (Position s. Kapitel 4)
Mindestlaufzeit pro Start [s]	0
Temperatur VL und RL im Nennbetrieb [°C]	Vorlauf 70,0 / Rücklauf 55,0 (konstant durch Rücklaufanhebung)

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Nenndurchfluss [kg/h]	Massenstrom durch Pelletofen ergibt sich aus Nennwärmeleistung und Temperaturdifferenz zw. Vor- und Rücklauf im Nennbetrieb (s. o.) Massenstrom zum Speicher ergibt sich aus Rücklaufanhebung
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 20,0 MFH: 40,0
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt

3.3.2.2 Wärmespeicher

WARMWASSERSPEICHER	
Bauart	Monovalenter Warmwasserspeicher
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone
Höhe / Durchmesser (ohne Dämmung) [m]	siehe Kapitel 4
Nennvolumen [m³]	siehe Kapitel 4
Nennvolumen integrierter Trinkwassertank [m³] (falls vorhanden)	nicht vorhanden
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Wasser 992,42 4,181
Effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit des Speichers [W/(m K)]	0,624 (da keine Prüfergebnisse vorliegen, wird die Wärmeleitfähigkeit von Wasser angesetzt)
Mittlere Wärmeverlustrate des gesamten Speichers [W/K]	siehe Kapitel 4
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste werden als interne Wärmege- winne der beheizten Zone angerechnet

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

3.3.3 Parameter der Wärmeverteilung für Solaranlage und Referenzanlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für die Simulation der Wärmeverteilung sowohl für die Referenzanlage als auch für die Solaranlage verwendet wurden. **Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf den jeweiligen Abschnitt in Kapitel 4 verwiesen.**

3.3.3.1 Heizung

HEIZKREIS	
Typ der Heizflächen	Fußbodenheizungssystem
Größe und Lage der Heizflächen	Heizrohre innerhalb des Estrichs in Bodenplatte/Kellerdecke und Zwischendecke(n) der Gebäude. Für die Simulation in TRNSYS wurde eine idealisierte Heizfläche angenommen: Nennleistung siehe Kapitel 4
Anbindung an Speicher	Vorlauf Austritt direkt aus Speicher, Rücklauf Eintritt direkt in Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Kapitel 4)
Länge der Rohrleitung (VL + RL) [m]	EFH: 178,0 - davon 178,0 in der beh. Zone MFH: 480,7 - davon 480,7 in der beh. Zone
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,255
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegegewinne der beheizten Zone angerechnet
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 114,7 MFH: 184,6
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt
REGELUNG	
Vorlauftemperatur-Regelung	Heizkurve: $T_{h,VL} = \frac{15 \cdot (20 - T_{amb})}{20 - (-14)} + 20$
Durchfluss-Regelung	Massenstromregelung mit PI-Regler abhängig von der Differenz zwischen aktueller Lufttemperatur und Raum-Solltemperatur
min. Durchfluss [kg/h]	siehe Kapitel 4
max. Durchfluss [kg/h] (Nennbetrieb)	siehe Kapitel 4
Temperaturdifferenz Vorlauf zu Rücklauf im Nennbetrieb [K]	7,0 (VL: 35,0 °C / RL: 28,0 °C)

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Temperaturfühler für Regelung	Temperaturfühler für Regelung der Vorlauf-temperatur im Heizkreis direkt nach Rücklauf-Beimischung
Raum-Solltemperatur [°C]	siehe Abschnitt 3.2
Nachtbetrieb	siehe Abschnitt 3.2

3.3.3.2 Trinkwasser

TRINKWARMWASSER	
Anbindung an Speicher	TW-Erwärmung über ext. Wärmeübertrager Primärkreis Vorlauf Austritt direkt aus Speicher, Rücklauf Eintritt direkt in Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Kapitel 4)
Länge der Rohrleitung Primärseite (VL + RL) [m]	keine Rohrleitung berücksichtigt
Länge der Rohrleitung Sekundärseite (VL) [m]	Strang- und Verteilerleitungen: EFH: 24,0 - davon 24,0 in der beh. Zone MFH: 46,1 - davon 46,1 in der beh. Zone Stichleitung: EFH: 11,6 - davon 11,6 in der beh. Zone MFH: 34,9 - davon 34,9 in der beh. Zone
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,20
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmege- winne der beheizten Zone angerechnet
Externer Wärmeübertrager (falls vorhanden)	Plattenwärmeübertrager
Übertragungsvermögen [W/K] (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	EFH: 7.000 MFH: 11.000 (ausgelegt für eine mittlere Temperaturdiffe- renz von 5 K)
Regelung Primärseite (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	Massenstromregelung mit PID-Regler
Trinkwarmwasser-Solltemperatur am Austritt der Stichleitung [°C]	50,0
Leistung der Pumpe [W] (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	EFH: 58,0 MFH: 85,0
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt
ZIRKULATION	
Regelung (Beschreibung der Regelung)	konstanter Massenstrom, Beginn der Laufzeit vor erster Zapfung, Ende der Laufzeit nach letzter Zapfung (siehe Abschnitt 3.2)

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Länge der Rohrleitung (RL) [m]	EFH: 24,0 - davon 24,0 in der beh. Zone MFH: 46,1 - davon 46,1 in der beh. Zone
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,20
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmege- winne der beheizten Zone angerechnet
Nenndurchfluss [l/h]	EFH: 120,0 MFH: 240,0
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 29,0 MFH: 33,0
Laufzeit der Pumpe [h/d]	siehe Abschnitt 3.2
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt

4 Validierungsbeispiele

Wie schon beschrieben, umfassen die Validierungsbeispiele ein Beispiel für ein Einfamilienhaus mit hohen passiven Solargewinnen (EFH) und ein Mehrfamilienhaus (MFH) in je zwei unterschiedlichen Gebäude-Energiestandards und mit unterschiedlich hohen solaren Deckungsanteilen. Die Gebäude werden jeweils in einer Ausführung als Referenzgebäude nach EnEV 2009 (nachfolgend mit der Abkürzung „EnEV-Ref“ bezeichnet) und einer Ausführung als KfW-Effizienzhaus 40 (nachfolgend mit der Abkürzung „KfW-EH 40“ bezeichnet) simuliert. In folgender Tabelle 9 sind die angestrebten solarthermischen Deckungsanteile der Validierungsbeispiele für die jeweiligen Gebäude-Energiestandards aufgeführt.

Tabelle 9: Angestrebte Deckungsanteile der Solaranlage für die betrachteten Gebäude-Energiestandards jeweils gegenüber der Referenzanlage ohne solarthermischen Wärmeerzeuger (mit * gekennzeichnete Angaben folgen).

EFH		MFH	
EnEV-Ref	KfW-EH 40	EnEV-Ref	KfW-EH 40
0 %	0 %	0 %	0 %
30 %	40 %	30 %	40 % - 50 %
40 %	50 %	40 %	50 % - 60 %
50 %	60 %	50 %	60 % - 70 %

Aus den zwei Gebäuden in je zwei Gebäude-Energiestandards mit vier unterschiedlichen Deckungsanteilen der Solaranlage ergeben sich 16 unterschiedliche Kombinationen, für welche die Simulationsergebnisse jeweils mit den normativen Randbedingungen nach DIN V 18599 [1, 2, 3] sowie nach DIN V 4701-10 [4] bzw. DIN V 4108-6 [5] ausgegeben werden. Daraus resultieren 32 Validierungsbeispiele bzw. 16 Validierungsbeispiele pro Gebäude. Die den Simulationen für alle Validierungsbeispiele zu Grunde gelegten Umgebungsbedingungen sind in Abschnitt 3.1 beschrieben, die Randbedingungen für die Gebäudenutzung in Abschnitt 3.2.

In diesem Kapitel werden ausschließlich jene Parameter aufgeführt, welche für die Solaranlage bzw. für die Referenzanlage des jeweiligen Validierungsbeispiels angepasst wurden. **Alle weiteren Vorgaben hinsichtlich der Anlagentechnik, die für alle Validierungsbeispiele gelten, können dem Abschnitt 3.3 des vorherigen Kapitels entnommen werden. Die Vorgaben zur Beschreibung des Gebäudes und seiner Bauteile sind in Abschnitt 3.2 bzw. im Anhang A (S. 101) zu finden.**

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

4.1 Einfamilienhaus (EFH)

In diesem Abschnitt werden die ergänzend zu Abschnitt 3.3 angepassten Parameter der simulierten Varianten der Anlagentechnik für das EFH im Energiestandard EnEV-Ref bzw. KfW-EH 40 mit Simulationsrandbedingungen nach DIN V 18599 bzw. DIN V 4701-10 beschrieben. Des Weiteren werden jeweils die zugehörige Nutzwärmeabgabe der Referenzanlage sowie die Ausgabegrößen der TRNSYS-Simulationen angegeben. Eine Übersicht aller für das EFH simulierten Varianten der Anlagentechnik ist in Tabelle 10 dargestellt. Eine Übersicht aller Tabellen, in denen die jeweiligen Eingabe- und Ausgabegrößen für die Validierungsbeispiele zu finden sind, ist in Tabelle 11 gegeben.

Tabelle 10: Übersicht der simulierten Varianten der Anlagentechnik für die Validierungsbeispiele des EFH mit dem jeweils erreichten Deckungsanteil (informativ).

Variante der Anlagentechnik	Energie-standard	Nutzungs-RB	Speicher-Nennvolumen	Kollektor-Aperturfläche	Deckungsanteil $\alpha_{sol,sim}$
[-]	[-]	[-]	[m³]	[m²]	[%]
Referenzanlage Ref1	EnEV-Ref	DIN 18599	1,14	0,0	0,00
Solaranlage ST2a	EnEV-Ref	DIN 18599	4,20	32,0	30,21
Solaranlage ST3a	EnEV-Ref	DIN 18599	7,20	56,0	39,62
Referenzanlage Ref2	EnEV-Ref	DIN 4701	1,22	0,0	0,00
Solaranlage ST1b	EnEV-Ref	DIN 4701	2,00	26,0	30,24
Solaranlage ST2b	EnEV-Ref	DIN 4701	4,20	48,0	39,76
Solaranlage ST3b	EnEV-Ref	DIN 4701	7,20	76,0	49,89
Referenzanlage Ref1	KfW-EH 40	DIN 18599	1,14	0,0	0,00
Solaranlage ST2c	KfW-EH 40	DIN 18599	4,20	36,0	40,02
Solaranlage ST3c	KfW-EH 40	DIN 18599	7,20	60,0	50,35
Referenzanlage Ref2	KfW-EH 40	DIN 4701	1,22	0,0	0,00
Solaranlage ST1d	KfW-EH 40	DIN 4701	2,00	22,0	40,46
Solaranlage ST2d	KfW-EH 40	DIN 4701	4,20	36,0	50,46
Solaranlage ST3d	KfW-EH 40	DIN 4701	7,20	58,0	60,12

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 11: Übersicht der Tabellen, in denen die Eingabe- und Ausgabegrößen für die Validierungsbeispiele des EFH zu finden sind.

Variante der Anlagentechnik	Angepasste Parameter Anlagentechnik* (ohne Solarkreis)	Angepasste Parameter Solarkreis	Nutzwärmeabgabe der Referenzanlage	Ausgabegrößen der Solaranlage
Referenzanlage Ref1	Tabelle 12	-	Tabelle 16	-
Solaranlage ST2a	Tabelle 13	Tabelle 14	Tabelle 16	Tabelle 20
Solaranlage ST3a				Tabelle 21
Referenzanlage Ref2	Tabelle 12	-	Tabelle 18	-
Solaranlage ST1b	Tabelle 13	Tabelle 14	Tabelle 18	Tabelle 22
Solaranlage ST2b				Tabelle 23
Solaranlage ST3b				Tabelle 24
Referenzanlage Ref1	Tabelle 12	-	Tabelle 17	-
Solaranlage ST2c	Tabelle 13	Tabelle 14	Tabelle 17	Tabelle 25
Solaranlage ST3c				Tabelle 26
Referenzanlage Ref2	Tabelle 12	-	Tabelle 19	-
Solaranlage ST1d	Tabelle 13	Tabelle 14	Tabelle 19	Tabelle 27
Solaranlage ST2d				Tabelle 28
Solaranlage ST3d				Tabelle 29

* Die angepassten Parameter der Wärmeverteilung für alle Validierungsbeispiele des EFH sind in Tabelle 15 zu finden.

4.1.1 Angepasste Parameter

4.1.1.1 Varianten der Referenzanlage

In Tabelle 12 sind die Parameter der simulierten Varianten der Referenzanlage für das EFH für die Nutzung nach DIN V 18599 bzw. DIN V 4701-10 gezeigt. Zur Verdeutlichung der darin enthaltenen Parameter ist der Wärmespeicher der Referenzanlage Ref2 in Abbildung 5 schematisch dargestellt.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 12: Angepasste Parameter der simulierten Varianten der Referenzanlage für das EFH.

	Referenzanlage Ref1 nach DIN V 18599	Referenzanlage Ref2 nach DIN V 4701-10
WÄRMESPEICHER		
Speicher-Nennvolumen [m³]	1,135	1,221
Speichervolumen Warmwasser [m³]	0,185	0,271
Verhältnis Höhe zu Durchmesser [-]	2,50	2,50
Höhe ohne Dämmung [m]	2,08	2,13
Durchmesser ohne Dämmung [m]	0,83	0,85
Mittlere Wärmeverlustrate [W/K]	5,39	5,59
RELATIVE HÖHE DER DIREKTEN ANSCHLÜSSE		
Wärmeerzeuger Vorlauf Eintritt [-]	0,95	0,95
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein
Wärmeerzeuger Rücklauf Austritt [-]	0,01	0,01
Warmwasser Rücklauf Eintritt [-]	0,01	0,01
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein
Warmwasser Vorlauf Austritt [-]	0,99	0,99
Raumheizung Rücklauf Eintritt [-]	0,01	0,01
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein
Raumheizung Vorlauf Austritt [-]	0,84	0,78
RELATIVE HÖHE DER TEMPERATURFÜHLER		
Wärmeerzeuger Anforderung Raumheizung [-]	0,42	0,39
Wärmeerzeuger Anforderung Trink- warmwasser [-]	0,92	0,89

4.1.1.2 Varianten der Solaranlage

Eine Übersicht der Parameter der simulierten Varianten der Solaranlage für das EFH mit unterschiedlichen Nennvolumina des Wärmespeichers ist in Tabelle 13 gegeben. Zur Verdeutlichung der darin enthaltenen Parameter ist der Wärmespeicher der Solaranlage ST2 in Abbildung 5 schematisch dargestellt. Um die gewünschten Deckungsanteile für die unterschiedlichen Gebäude-Energiestandards und Nutzungs-Randbedingungen zu erreichen, wurden ergänzend zu

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 13 die Kollektorfläche sowie einige Parameter des Solarkreises angepasst. Die entsprechenden Parameter sind in Tabelle 14 zu finden.

Tabelle 13: Angepasste Parameter der Varianten der Solaranlage für das EFH (Fortsetzung s. nächste Seite).

	Solaranlage ST1	Solaranlage ST2	Solaranlage ST3
WÄRMESPEICHER			
Speicher-Nennvolumen [m³]	2,00	4,20	7,20
Verhältnis Höhe zu Durchmesser [-]	2,50	2,50	2,50
Höhe ohne Dämmung [m]	2,52	3,22	3,86
Durchmesser ohne Dämmung [m]	1,01	1,29	1,54
Mittlere Wärmeverlustrate [W/K]	4,24	5,58	6,83
RELATIVE HÖHE DER DIREKTEN ANSCHLÜSSE			
Solarkreis Vorlauf Eintritt [-]	0,05 - 0,90	0,05 - 0,90	0,05 - 0,90
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja
Solarkreis Rücklauf Austritt [-]	0,05	0,05	0,05
Zusatzwärmeerzeuger Vorlauf Eintritt [-]	0,95	0,95	0,95
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein	nein
Zusatzwärmeerzeuger Rücklauf Austritt [-]	0,50	0,60	0,70
Warmwasser Rücklauf Eintritt [-]	0,30 - 0,99	0,30 - 0,99	0,30 - 0,99
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja
Warmwasser Vorlauf Austritt [-]	0,99	0,99	0,99
Raumheizung Rücklauf Eintritt [-]	0,05 - 0,80	0,05 - 0,87	0,05 - 0,90
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja
Raumheizung Vorlauf Austritt [-]	0,80	0,87	0,90
RELATIVE HÖHE DER TEMPERATURFÜHLER			
Solarkreisreglung [-]	0,10	0,10	0,10
Zusatzwärmeerzeuger Anforderung Raumheizung [-]	0,60	0,80	0,87
Zusatzwärmeerzeuger Anforderung Trinkwarmwasser [-]	0,90	0,93	0,96

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 14: Angepasste Parameter des Solarkreis für das EFH.

Energiestandard: EnEV-Ref Nutzungs-RB: DIN V 18599	Solaranlage ST2a	Solaranlage ST3a	
Aperturfläche des Kollektors [m²]	32,0	56,0	
Wärmeübertragungsrate des Solar- kreis-Wärmeübertragers [W/K]	5.480	8.840	
Längenspezifischer Wärmedurch- gangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228	
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	42,0	66,0	
Energiestandard: EnEV-Ref Nutzungs-RB: DIN V 4701-10	Solaranlage ST1b	Solaranlage ST2b	Solaranlage ST3b
Aperturfläche des Kollektors [m²]	26,0	48,0	76,0
Wärmeübertragungsrate des Solar- kreis-Wärmeübertragers [W/K]	4.640	7.720	11.640
Längenspezifischer Wärmedurch- gangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228	0,222
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	36,0	58,0	86,0
Energiestandard: KfW-EH 40 Nutzungs-RB: DIN V 18599	Solaranlage ST2c	Solaranlage ST3c	
Aperturfläche des Kollektors [m²]	36,0	60,0	
Wärmeübertragungsrate des Solar- kreis-Wärmeübertragers [W/K]	6.040	9.400	
Längenspezifischer Wärmedurch- gangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,228	0,222	
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	46,0	70,0	
Energiestandard: KfW-EH 40 Nutzungs-RB: DIN V 4701-10	Solaranlage ST1d	Solaranlage ST2d	Solaranlage ST3d
Aperturfläche des Kollektors [m²]	22,0	36,0	58,0
Wärmeübertragungsrate des Solar- kreis-Wärmeübertragers [W/K]	4.080	6.040	9.120
Längenspezifischer Wärmedurch- gangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228	0,222
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	32,0	46,0	68,0

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

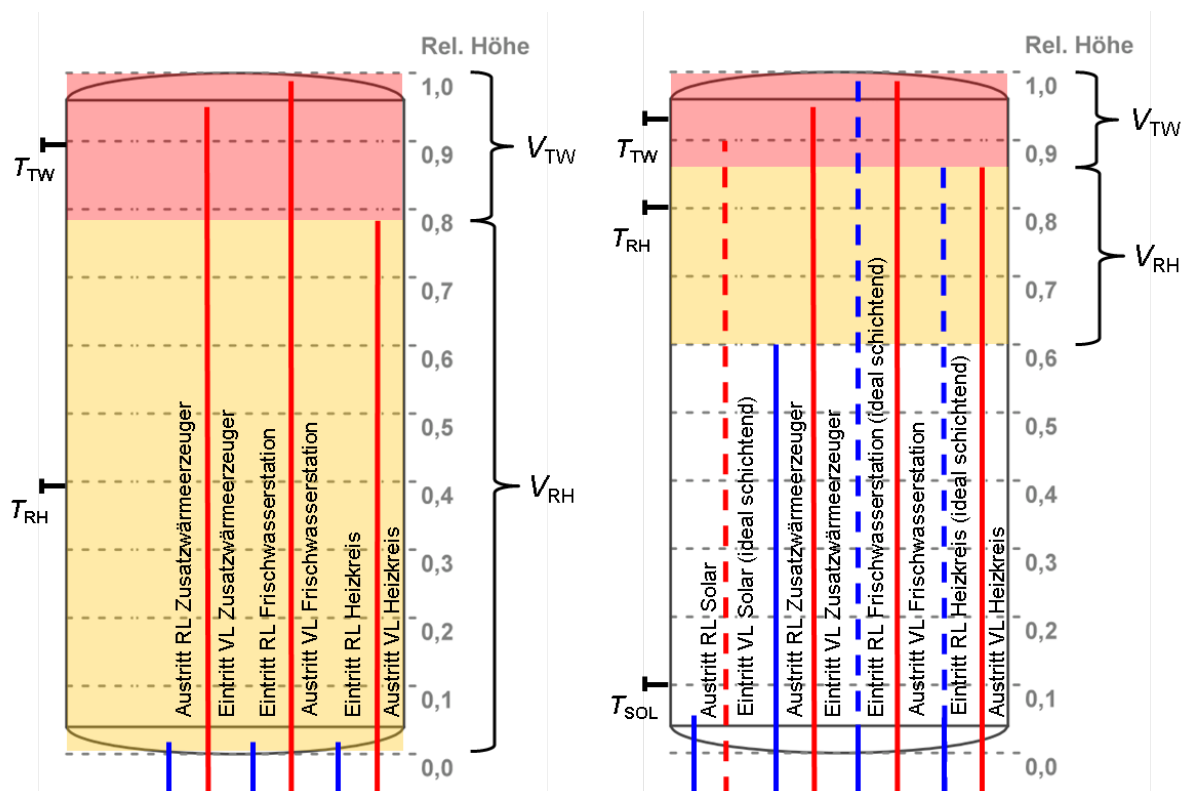


Abbildung 5: Schematische Darstellung der simulierten Wärmespeicher der Referenzanlage Ref2 (links) und der Solaranlage ST2 (rechts).

4.1.1.3 Wärmeverteilung

In Tabelle 15 sind die angepassten Parameter der Wärmeverteilung für beide untersuchten Gebäude-Energiestands des EFH aufgeführt.

Tabelle 15: Angepasste Parameter der Wärmeverteilung für das EFH.

Energiestandard	EnEV-Ref	KfW-EH 40
Nennleistung der Heizflächen [W]	15.856	10.825
min. Durchfluss [kg/h]	0	0
max. Durchfluss [kg/h] (Nennbetrieb)	1.950	1.332

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

4.1.2 Nutzwärmeabgabe der Referenzanlage

Die für den Benchmarktest vorzugebenden Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage des EFH sind in Tabelle 16, Tabelle 17, Tabelle 18 und Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 16: Vorzugebende Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage Ref1 für das EFH im Energiestandard EnEV-Ref nach DIN V 18599 – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

Monat	Nutzwärmeabgabe des Wärmezeugers an den Wärmespeicher $Q_{\text{outg,sim,ref}}$	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Trinkwasserstrang	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Heizstrang	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Wärmezeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	3.837	337	3.380	4,04
Feb	3.245	305	2.821	3,42
Mrz	2.267	336	1.810	2,39
Apr	815	319	410	0,86
Mai	443	323	25	0,47
Jun	409	310	5	0,43
Jul	407	317	0	0,43
Aug	409	318	0	0,43
Sep	435	315	30	0,46
Okt	1.254	334	777	1,32
Nov	3.052	326	2.617	3,21
Dez	4.171	338	3.683	4,39
Jahressumme	20.744	3.877	15.558	21,84

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 17: Vorzugebende Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage Ref1 für das EFH im Energiestandard KfW-EH 40 nach DIN V 18599 – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

Monat	Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers an den Wärmespeicher $Q_{\text{outg,sim,ref}}$	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Trinkwasserstrang	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Heizstrang	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Wärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	2.451	337	1.980	2,58
Feb	2.136	304	1.728	2,25
Mrz	1.307	334	856	1,38
Apr	524	315	113	0,55
Mai	421	319	4	0,44
Jun	399	307	0	0,42
Jul	404	314	0	0,43
Aug	404	316	0	0,43
Sep	405	309	4	0,43
Okt	608	331	156	0,64
Nov	2.001	326	1.558	2,11
Dez	2.741	337	2.282	2,89
Jahres-summe	13.802	3.848	8.681	14,53

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 18: Vorzugebende Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage Ref2 für das EFH im Energiestandard EnEV-Ref nach DIN V 4701-10 – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

	Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers an den Wärmespeicher $Q_{\text{outg,sim,ref}}$	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Trinkwasserstrang	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Heizstrang	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Wärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jahres-summe	16.682	4.571	10.742	17,56

Tabelle 19: Vorzugebende Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage Ref2 für das EFH im Energiestandard KfW-EH 40 nach DIN V 4701-10 – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

Monat	Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers an den Wärmespeicher $Q_{\text{outg,sim,ref}}$	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Trinkwasserstrang	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Heizstrang	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Wärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jahres-summe	10.807	4.514	4.976	11,38

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

4.1.3 Ausgabegrößen der Solaranlage

Die Ergebnisse der Simulationen mit TRNSYS für die Ausgabegrößen der simulierten Varianten der Solaranlage sind in Tabelle 20 bis Tabelle 24 für das EFH im EnEV-Ref Energiestandard und in Tabelle 25 bis Tabelle 29 für das EFH im KfW-EH 40 Energiestandard aufgeführt.

Tabelle 20: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST2a – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 30,21 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmerezeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	643	58	585	3,02	3,40
Feb	221	22	200	1,78	3,22
Mrz	887	139	748	3,99	1,47
Apr	641	280	361	4,72	0,18
Mai	443	412	32	3,56	0,00
Jun	409	403	6	4,34	0,00
Jul	407	407	0	3,24	0,00
Aug	409	409	0	3,91	0,00
Sep	435	397	37	2,99	0,00
Okt	1.090	328	762	3,79	0,17
Nov	377	42	335	1,92	2,85
Dez	305	26	279	1,29	4,11
Jahressumme	6.267	2.922	3.345	38,55	15,41

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 21: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST3a – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 39,62 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmerezeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	1.104	100	1.004	4,72	2,89
Feb	403	39	364	2,83	3,01
Mrz	1.215	190	1.025	5,47	1,11
Apr	815	356	458	5,39	0,00
Mai	443	412	32	3,75	0,00
Jun	409	403	6	5,04	0,00
Jul	407	407	0	3,62	0,00
Aug	409	409	0	4,47	0,00
Sep	435	397	37	3,14	0,00
Okt	1.254	377	877	4,17	0,00
Nov	812	90	722	2,86	2,37
Dez	512	43	469	2,04	3,87
Jahres-summe	8.218	3.223	4.994	47,50	13,26

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 22: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST1b – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 30,24 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmerezeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	480	65	416	2,47	2,87
Feb	156	23	134	1,42	2,64
Mrz	527	143	384	2,75	1,17
Apr	532	392	139	3,91	0,09
Mai	468	468	0	3,68	0,01
Jun	438	439	0	3,83	0,02
Jul	455	455	0	3,73	0,01
Aug	464	464	0	3,85	0,00
Sep	443	443	0	2,91	0,03
Okt	612	444	168	2,84	0,05
Nov	281	49	232	1,54	2,28
Dez	189	23	166	1,04	3,45
Jahres-summe	5.045	3.408	1.637	33,97	12,63

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 23: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST2b – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 39,76 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmerezeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	889	120	770	3,99	2,38
Feb	279	41	238	2,37	2,47
Mrz	822	224	599	4,03	0,82
Apr	619	457	162	4,45	0,00
Mai	481	481	0	3,91	0,00
Jun	457	457	0	4,81	0,00
Jul	461	461	0	3,76	0,00
Aug	464	464	0	4,12	0,00
Sep	468	468	0	3,10	0,00
Okt	662	480	181	3,22	0,00
Nov	641	112	529	2,36	1,85
Dez	389	48	341	1,71	3,21
Jahres-summe	6.633	3.812	2.821	41,84	10,74

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 24: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST3b – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,89 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmerezeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	1.319	177	1.141	5,78	1,91
Feb	533	78	456	3,59	2,18
Mrz	1.194	325	869	5,50	0,42
Apr	619	457	162	4,57	0,00
Mai	481	481	0	4,28	0,00
Jun	457	457	0	5,11	0,00
Jul	461	461	0	4,25	0,00
Aug	464	464	0	4,24	0,00
Sep	468	468	0	3,51	0,00
Okt	662	480	181	3,46	0,00
Nov	1.110	194	916	3,30	1,34
Dez	554	68	486	2,57	3,01
Jahres-summe	8.322	4.110	4.212	50,18	8,86

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 25: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST2c – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 40,02 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmerezeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	673	98	575	3,17	1,89
Feb	262	39	223	1,93	2,00
Mrz	634	178	456	3,37	0,72
Apr	524	386	138	3,68	0,00
Mai	421	415	5	3,62	0,00
Jun	399	399	0	4,34	0,00
Jul	404	404	0	3,30	0,00
Aug	404	404	0	3,86	0,00
Sep	405	400	5	2,95	0,00
Okt	608	414	195	2,83	0,00
Nov	491	85	406	1,83	1,61
Dez	297	38	258	1,38	2,60
Jahres-summe	5.523	3.261	2.262	36,26	8,82

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 26: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST3c – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 50,35 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmerezeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	1.065	155	910	4,68	1,46
Feb	438	65	372	2,92	1,80
Mrz	948	266	682	4,61	0,38
Apr	524	386	138	4,27	0,00
Mai	421	415	5	3,73	0,00
Jun	399	399	0	4,65	0,00
Jul	404	404	0	3,84	0,00
Aug	404	404	0	4,18	0,00
Sep	405	400	5	3,18	0,00
Okt	608	414	195	3,10	0,00
Nov	920	159	761	2,56	1,14
Dez	412	53	359	2,09	2,47
Jahres-summe	6.949	3.521	3.428	43,83	7,26

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 27: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST1d – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 40,46 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmerezeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	394	96	299	2,10	1,53
Feb	115	29	87	1,29	1,57
Mrz	405	218	187	2,25	0,49
Apr	441	435	6	3,38	0,04
Mai	450	450	0	3,57	0,02
Jun	423	423	0	3,85	0,03
Jul	427	427	0	3,40	0,02
Aug	446	446	0	3,71	0,00
Sep	409	409	0	2,70	0,05
Okt	443	441	3	2,46	0,05
Nov	251	84	167	1,25	1,15
Dez	168	35	133	0,91	2,08
Jahres-summe	4.374	3.492	882	30,87	7,02

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 28: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST2d – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 50,46 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	618	150	468	3,00	1,25
Feb	233	58	175	1,92	1,40
Mrz	598	322	276	2,92	0,27
Apr	482	475	7	3,95	0,00
Mai	469	469	0	3,67	0,00
Jun	447	447	0	4,38	0,00
Jul	442	442	0	3,58	0,00
Aug	446	446	0	4,09	0,00
Sep	456	455	0	3,02	0,00
Okt	491	488	3	2,91	0,00
Nov	503	168	335	1,63	0,85
Dez	269	56	213	1,35	1,93
Jahres-summe	5.453	3.976	1.477	36,42	5,70

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 29: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST3d – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 60,12 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	849	206	643	4,25	1,00
Feb	443	111	332	2,81	1,17
Mrz	747	402	345	3,97	0,11
Apr	482	475	7	4,06	0,00
Mai	469	469	0	4,11	0,00
Jun	447	447	0	4,87	0,00
Jul	442	442	0	3,93	0,00
Aug	446	446	0	4,10	0,00
Sep	456	455	0	3,29	0,00
Okt	491	488	3	3,26	0,00
Nov	722	241	481	1,65	0,61
Dez	503	105	398	2,02	1,67
Jahres-summe	6.497	4.287	2.210	42,34	4,56

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

4.2 Mehrfamilienhaus (MFH)

Eine Übersicht aller für das MFH simulierten Varianten der Anlagentechnik ist in Tabelle 30 dargestellt. Eine Übersicht aller Tabellen, in denen die jeweiligen Eingabe- und Ausgabegrößen für die Validierungsbeispiele zu finden sind, ist in Tabelle 31 gegeben.

Tabelle 30: Übersicht der simulierten Varianten der Anlagentechnik für die Validierungsbeispiele des MFH mit dem jeweils erreichten Deckungsanteil (informativ).

Variante der Anlagentechnik	Energiestandard	Nutzungs-RB	Speicher-Nennvolumen	Kollektor-Aperturfläche	Deckungsanteil $\alpha_{\text{sol,sim}}$
[-]	[-]	[-]	[m ³]	[m ²]	[%]
Referenzanlage Ref3	EnEV-Ref	DIN 18599	2,40	-	0,00
Solaranlage ST4a	EnEV-Ref	DIN 18599	7,20	55,0	30,28
Solaranlage ST5a	EnEV-Ref	DIN 18599	15,00	110,0	40,04
Solaranlage ST6a	EnEV-Ref	DIN 18599	25,00	180,0	49,58
Referenzanlage Ref4	EnEV-Ref	DIN 4701	2,64	-	0,00
Solaranlage ST4b	EnEV-Ref	DIN 4701	7,20	35,0	29,71
Solaranlage ST5b	EnEV-Ref	DIN 4701	15,00	80,0	39,68
Solaranlage ST6b	EnEV-Ref	DIN 4701	25,00	140,0	49,86
Referenzanlage Ref3	KfW-EH 40	DIN 18599	2,40	-	0,00
Solaranlage ST4c	KfW-EH 40	DIN 18599	7,20	60,0	39,39
Solaranlage ST5c	KfW-EH 40	DIN 18599	15,00	110,0	49,47
Solaranlage ST6c	KfW-EH 40	DIN 18599	25,00	170,0	59,89
Referenzanlage Ref4	KfW-EH 40	DIN 4701	2,64	-	0,00
Solaranlage ST4d	KfW-EH 40	DIN 4701	7,20	80,0	49,00
Solaranlage ST5d	KfW-EH 40	DIN 4701	15,00	140,0	60,75
Solaranlage ST6d	KfW-EH 40	DIN 4701	25,00	200,0	70,80

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 31: Übersicht der Tabellen, in denen die Eingabe- und Ausgabegrößen für die Validierungsbeispiele des MFH zu finden sind.

Variante der Anlagentechnik	Angepasste Parameter Anlagentechnik* (ohne Solarkreis)	Angepasste Parameter Solarkreis	Nutzwärmeabgabe der Referenzanlage	Ausgabegrößen der Solaranlage
Referenzanlage Ref3	Tabelle 32	-	Tabelle 36	-
Solaranlage ST4a	Tabelle 33	Tabelle 34	Tabelle 36	Tabelle 40
Solaranlage ST5a				Tabelle 41
Solaranlage ST6a				Tabelle 42
Referenzanlage Ref4	Tabelle 32	-	Tabelle 38	-
Solaranlage ST4b	Tabelle 33	Tabelle 34	Tabelle 38	Tabelle 43
Solaranlage ST5b				Tabelle 44
Solaranlage ST6b				Tabelle 45
Referenzanlage Ref3	Tabelle 32	-	Tabelle 37	-
Solaranlage ST4c	Tabelle 33	Tabelle 34	Tabelle 37	Tabelle 46
Solaranlage ST5c				Tabelle 47
Solaranlage ST6c				Tabelle 48
Referenzanlage Ref4	Tabelle 32	-	Tabelle 39	-
Solaranlage ST4d	Tabelle 33	Tabelle 34	Tabelle 39	Tabelle 49
Solaranlage ST5d				Tabelle 50
Solaranlage ST6d				Tabelle 51

* Die angepassten Parameter der Wärmeverteilung für alle Validierungsbeispiele des MFH sind in Tabelle 35 zu finden.

4.2.1 Angepasste Parameter

4.2.1.1 Varianten der Referenzanlage

In Tabelle 32 sind die Parameter der simulierten Varianten der Referenzanlage für das MFH für die Nutzung nach DIN V 18599 bzw. DIN V 4701-10 gezeigt.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 32: Angepasste Parameter der simulierten Varianten der Referenzanlage für das MFH.

	Referenzanlage Ref3 nach DIN V 18599	Referenzanlage Ref4 nach DIN V 4701-10
WÄRMESPEICHER		
Speicher-Nennvolumen [m³]	2,395	2,642
Speichervolumen Warmwasser [m³]	0,340	0,587
Verhältnis Höhe zu Durchmesser [-]	2,50	2,50
Höhe ohne Dämmung [m]	2,67	2,76
Durchmesser ohne Dämmung [m]	1,07	1,10
Mittlere Wärmeverlustrate [W/K]	7,83	8,22
RELATIVE HÖHE DER DIREKTEN ANSCHLÜSSE		
Wärmeerzeuger Vorlauf Eintritt [-]	0,95	0,95
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein
Wärmeerzeuger Rücklauf Austritt [-]	0,01	0,01
Warmwasser Rücklauf Eintritt [-]	0,01	0,01
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein
Warmwasser Vorlauf Austritt [-]	0,99	0,99
Raumheizung Rücklauf Eintritt [-]	0,01	0,01
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein
Raumheizung Vorlauf Austritt [-]	0,86	0,78
RELATIVE HÖHE DER TEMPERATURFÜHLER		
Wärmeerzeuger Anforderung Raumheizung [-]	0,43	0,39
Wärmeerzeuger Anforderung Trink- warmwasser [-]	0,93	0,89

4.2.1.2 Varianten der Solaranlage

Eine Übersicht der Parameter der simulierten Varianten der Solaranlage für das MFH mit unterschiedlichen Nennvolumina des Wärmespeichers ist in Tabelle 33 gegeben. Um die gewünschten Deckungsanteile für die unterschiedlichen Gebäude-Energiestandards und Nutzungs-Randbedingungen zu erreichen, wurden ergänzend zu Tabelle 33 die Kollektorfläche sowie

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

einige Parameter des Solarkreises angepasst. Die entsprechenden Parameter sind in Tabelle 34 zu finden.

Tabelle 33: Angepasste Parameter der Varianten der Solaranlage für das MFH (Fortsetzung s. nächste Seite).

	Solaranlage ST4	Solaranlage ST5	Solaranlage ST6
WÄRMESPEICHER			
Speicher-Nennvolumen [m³]	7,2	15,0	25,0
Verhältnis Höhe zu Durchmesser [-]	2,50	2,50	2,50
Höhe ohne Dämmung [m]	1,54	1,97	2,34
Durchmesser ohne Dämmung [m]	3,86	4,92	5,84
Mittlere Wärmeverlustrate [W/K]	6,83	9,04	11,00
RELATIVE HÖHE DER DIREKTEN ANSCHLÜSSE			
Solarkreis Vorlauf Eintritt [-]	0,02 - 0,90	0,02 - 0,90	0,02 - 0,92
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja
Solarkreis Rücklauf Austritt [-]	0,02	0,02	0,02
Zusatzwärmeerzeuger Vorlauf Eintritt [-]	0,96	0,98	0,98
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein	nein
Zusatzwärmeerzeuger Rücklauf Austritt [-]	0,63	0,72	0,80
Warmwasser Rücklauf Eintritt [-]	0,01 - 0,99	0,01 - 0,99	0,01 - 0,99
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja
Warmwasser Vorlauf Austritt [-]	0,99	0,99	0,99
Raumheizung Rücklauf Eintritt [-]	0,05 - 0,87	0,05 - 0,91	0,05 - 0,92
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja
Raumheizung Vorlauf Austritt [-]	0,87	0,91	0,92
RELATIVE HÖHE DER TEMPERATURFÜHLER			
Solarkreisreglung [-]	0,05	0,05	0,05
Zusatzwärmeerzeuger Anforderung Raumheizung [-]	0,71	0,80	0,85
Zusatzwärmeerzeuger Anforderung Trinkwarmwasser [-]	0,96	0,98	0,98

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 34: Angepasste Parameter des Solarkreis für das MFH mit dem Energie-
standard EnEV-Ref (Fortsetzung s. nächste Seite).

Energiestandard: EnEV-Ref Nutzungs-RB: DIN V 18599	Solaranlage ST4a	Solaranlage ST5a	Solaranlage ST6a
Aperturfläche des Kollektors [m²]	55,0	110,0	180,0
Wärmeübertragungsrate des Solar- kreis-Wärmeübertragers [W/K]	8.700	16.400	26.200
Längenspezifischer Wärmedurch- gangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,228	0,224	0,226
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	65,0	120,0	190,0
Energiestandard: EnEV-Ref Nutzungs-RB: DIN V 4701-10	Solaranlage ST4b	Solaranlage ST5b	Solaranlage ST6b
Aperturfläche des Kollektors [m²]	35,0	80,0	140,0
Wärmeübertragungsrate des Solar- kreis-Wärmeübertragers [W/K]	5.900	12.200	20.600
Längenspezifischer Wärmedurch- gangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,228	0,224	0,226
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	50,0	100,0	150,0
Energiestandard: KfW-EH 40 Nutzungs-RB: DIN V 18599	Solaranlage ST4c	Solaranlage ST5c	Solaranlage ST6c
Aperturfläche des Kollektors [m²]	60,0	110,0	170,0
Wärmeübertragungsrate des Solar- kreis-Wärmeübertragers [W/K]	9.400	16.400	24.800
Längenspezifischer Wärmedurch- gangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,222	0,224	0,226
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	70,0	120,0	180,0
Energiestandard: KfW-EH 40 Nutzungs-RB: DIN V 4701-10	Solaranlage ST4d	Solaranlage ST5d	Solaranlage ST6d
Aperturfläche des Kollektors [m²]	80,0	140,0	200,0
Wärmeübertragungsrate des Solar- kreis-Wärmeübertragers [W/K]	12.200	20.600	29.000
Längenspezifischer Wärmedurch- gangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,222	0,224	0,226
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	90,0	150,0	210,0

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

4.2.1.3 Wärmeverteilung

In Tabelle 35 sind die angepassten Parameter der Wärmeverteilung für beide untersuchten Gebäude-Energiestandards des MFH aufgeführt.

Tabelle 35: Angepasste Parameter der Wärmeverteilung für das MFH.

Energiestandard	EnEV-Ref	KfW-EH 40
Nennleistung der Heizflächen [W]	37.992	28.018
min. Durchfluss [kg/h]	0	0
max. Durchfluss [kg/h] (Nennbetrieb)	4665	3446

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

4.2.2 Nutzwärmeabgabe der Referenzanlage

Die für den Benchmarktest vorzugebenden Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage des MFH sind in Tabelle 36 bis Tabelle 39 aufgeführt.

Tabelle 36: Vorzugebende Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage Ref3 für das MFH im Energiestandard EnEV-Ref nach DIN V 18599 – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

Monat	Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers an den Wärmespeicher $Q_{\text{outg,sim,ref}}$	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Trinkwasserstrang	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Heizstrang	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Wärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	8.727	1.222	7.313	8,49
Feb	7.452	1.104	6.186	7,25
Mrz	5.395	1.221	3.991	5,25
Apr	2.228	1.172	926	2,17
Mai	1.299	1.178	0	1,26
Jun	1.235	1.130	0	1,20
Jul	1.241	1.143	0	1,21
Aug	1.247	1.146	0	1,21
Sep	1.250	1.139	1	1,22
Okt	2.380	1.211	1.006	2,32
Nov	6.848	1.183	5.453	6,67
Dez	9.190	1.222	7.806	8,94
Jahres-summe	48.492	14.070	32.683	47,19

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 37: Vorzugebende Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage Ref3 für das MFH im Energiestandard KfW-EH 40 nach DIN V 18599 – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

Monat	Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers an den Wärmespeicher $Q_{\text{outg,sim,ref}}$	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Trinkwasserstrang	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Heizstrang	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Wärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	5.835	1.222	4.414	5,68
Feb	5.123	1.103	3.835	4,99
Mrz	3.320	1.219	1.954	3,23
Apr	1.530	1.163	249	1,49
Mai	1.274	1.165	0	1,24
Jun	1.219	1.117	0	1,19
Jul	1.211	1.121	0	1,18
Aug	1.210	1.122	0	1,18
Sep	1.222	1.117	2	1,19
Okt	1.320	1.198	2	1,28
Nov	4.624	1.182	3.213	4,50
Dez	6.355	1.222	4.955	6,19
Jahres-summe	34.243	13.949	18.624	33,33

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 38: Vorzugebende Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage Ref4 für das MFH im Energiestandard EnEV-Ref nach DIN V 4701-10 – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

Monat	Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers an den Wärmespeicher $Q_{\text{outg,sim,ref}}$	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Trinkwasserstrang	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Heizstrang	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Wärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jahressumme	40.188	13.096	24.874	39,11

Tabelle 39: Vorzugebende Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage Ref4 für das MFH im Energiestandard KfW-EH 40 nach DIN V 4701-10 – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

Monat	Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers an den Wärmespeicher $Q_{\text{outg,sim,ref}}$	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Trinkwasserstrang	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Heizstrang	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Wärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jahressumme	27.613	12.938	12.512	26,87

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

4.2.3 Ausgabegrößen der Solaranlage

Die Ergebnisse der Simulationen mit TRNSYS für die Ausgabegrößen der simulierten Varianten der Solaranlage sind in Tabelle 41 bis Tabelle 45 für das MFH im EnEV-Ref Energiestandard und in Tabelle 47 bis Tabelle 51 für das MFH im KfW-EH 40 Energiestandard aufgeführt.

Tabelle 40: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST4a – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 30,28 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmerezeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	1.082	155	927	4,74	7,44
Feb	478	72	406	3,00	6,79
Mrz	1.969	461	1.508	7,40	3,34
Apr	1.657	926	732	9,04	0,56
Mai	1.299	1.299	0	6,21	0,00
Jun	1.235	1.235	0	6,69	0,00
Jul	1.241	1.241	0	6,82	0,00
Aug	1.247	1.247	1	6,49	0,00
Sep	1.250	1.249	1	6,08	0,00
Okt	2.200	1.202	998	7,07	0,18
Nov	573	102	470	3,11	6,11
Dez	452	61	391	2,02	8,50
Jahres-summe	14.683	9.250	5.433	68,66	32,90

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 41: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST5a – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 40,04 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	2.193	314	1.879	8,77	6,36
Feb	813	123	690	5,48	6,46
Mrz	2.918	684	2.234	11,60	2,41
Apr	2.228	1.244	983	11,15	0,00
Mai	1.299	1.299	0	6,67	0,00
Jun	1.235	1.235	0	6,76	0,00
Jul	1.241	1.241	0	6,23	0,00
Aug	1.247	1.247	1	6,58	0,00
Sep	1.250	1.249	1	5,91	0,00
Okt	2.380	1.300	1.080	8,74	0,00
Nov	1.825	325	1.500	5,56	4,89
Dez	786	106	680	3,73	8,18
Jahres-summe	19.415	10.367	9.047	87,19	28,30

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 42: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST6a – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 49,58 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	3.436	492	2.944	13,81	5,15
Feb	1.248	189	1.059	8,67	6,04
Mrz	3.973	931	3.043	16,23	1,38
Apr	2.228	1.244	983	10,49	0,00
Mai	1.299	1.299	0	7,11	0,00
Jun	1.235	1.235	0	6,98	0,00
Jul	1.241	1.241	0	6,87	0,00
Aug	1.247	1.247	1	6,53	0,00
Sep	1.250	1.249	1	6,01	0,00
Okt	2.380	1.300	1.080	9,27	0,00
Nov	3.088	550	2.537	8,28	3,66
Dez	1.419	192	1.227	5,93	7,56
Jahres-summe	24.045	11.169	12.875	106,19	23,79

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 43: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST4b – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 29,71 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	788	127	661	3,38	6,38
Feb	271	46	225	2,18	5,80
Mrz	1.302	386	916	5,14	2,70
Apr	1.377	986	391	7,33	0,35
Mai	1.228	1.228	0	5,61	0,00
Jun	1.251	1.251	0	6,64	0,00
Jul	1.173	1.173	0	5,40	0,00
Aug	1.241	1.241	1	6,43	0,00
Sep	1.195	1.193	2	4,99	0,01
Okt	1.370	1.252	117	4,57	0,09
Nov	470	99	370	2,20	4,81
Dez	273	41	232	1,45	7,36
Jahres-summe	11.940	9.024	2.915	55,33	27,49

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 44: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST5b – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 39,68 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	1.665	269	1.396	6,70	5,53
Feb	546	93	453	4,33	5,53
Mrz	2.142	635	1.507	9,10	1,88
Apr	1.733	1.241	493	8,32	0,00
Mai	1.228	1.228	0	5,44	0,00
Jun	1.251	1.251	0	6,33	0,00
Jul	1.173	1.173	0	6,25	0,00
Aug	1.241	1.241	1	5,89	0,00
Sep	1.205	1.203	2	5,47	0,00
Okt	1.459	1.334	125	5,54	0,00
Nov	1.646	348	1.298	4,13	3,67
Dez	658	99	559	2,90	6,98
Jahres-summe	15.948	10.116	5.832	70,39	23,59

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 45: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST6b – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,86 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	2.869	463	2.406	11,03	4,36
Feb	1.004	171	833	7,16	5,09
Mrz	3.000	889	2.111	13,95	1,04
Apr	1.733	1.241	493	7,92	0,00
Mai	1.228	1.228	0	5,78	0,00
Jun	1.251	1.251	0	6,43	0,00
Jul	1.173	1.173	0	5,57	0,00
Aug	1.241	1.241	1	6,77	0,00
Sep	1.205	1.203	2	5,05	0,00
Okt	1.459	1.334	125	5,94	0,00
Nov	2.713	574	2.139	6,33	2,63
Dez	1.160	175	986	4,81	6,49
Jahres-summe	20.038	10.944	9.093	86,74	19,61

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 46: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST4c – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 39,39 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	1.177	255	922	5,05	4,53
Feb	441	98	342	3,13	4,56
Mrz	1.487	571	916	6,56	1,78
Apr	1.500	1.235	265	7,57	0,03
Mai	1.274	1.274	0	6,28	0,00
Jun	1.219	1.219	0	6,69	0,00
Jul	1.211	1.211	0	6,81	0,00
Aug	1.210	1.210	0	6,31	0,00
Sep	1.222	1.220	2	6,00	0,00
Okt	1.320	1.318	2	5,58	0,00
Nov	949	255	694	3,11	3,58
Dez	477	94	383	2,15	5,72
Jahres-summe	13.487	9.962	3.525	65,25	20,20

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 47: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST5c – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 49,47 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	2.038	442	1.596	8,66	3,70
Feb	852	190	662	5,47	4,16
Mrz	2.260	868	1.391	10,08	1,03
Apr	1.530	1.260	270	7,40	0,00
Mai	1.274	1.274	0	6,45	0,00
Jun	1.219	1.219	0	6,12	0,00
Jul	1.211	1.211	0	6,96	0,00
Aug	1.210	1.210	0	6,17	0,00
Sep	1.222	1.220	2	6,55	0,00
Okt	1.320	1.318	2	5,95	0,00
Nov	1.952	525	1.427	5,04	2,60
Dez	852	168	683	3,69	5,36
Jahres-summe	16.939	10.906	6.034	78,55	16,84

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 48: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST6c – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 59,89 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	2.934	636	2.298	12,71	2,82
Feb	1.330	297	1.033	8,19	3,69
Mrz	3.002	1.154	1.849	13,31	0,31
Apr	1.530	1.260	270	6,40	0,00
Mai	1.274	1.274	0	7,45	0,00
Jun	1.219	1.219	0	6,55	0,00
Jul	1.211	1.211	0	6,39	0,00
Aug	1.210	1.210	0	6,26	0,00
Sep	1.222	1.220	2	5,70	0,00
Okt	1.320	1.318	2	6,20	0,00
Nov	2.926	787	2.139	6,19	1,65
Dez	1.331	263	1.067	5,61	4,89
Jahres-summe	20.509	11.849	8.660	90,96	13,37

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 49: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST4d – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,00 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{\text{sol,sim}}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{\text{tw,sol,sim}}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{\text{h,sol,sim}}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	1.414	371	1.043	6,19	3,10
Feb	590	159	431	4,01	3,39
Mrz	1.494	786	708	6,94	0,83
Apr	1.279	1.279	0	6,32	0,00
Mai	1.245	1.245	0	6,30	0,00
Jun	1.183	1.183	0	6,24	0,00
Jul	1.199	1.199	0	6,11	0,00
Aug	1.134	1.134	0	5,86	0,00
Sep	1.163	1.161	3	5,85	0,00
Okt	1.321	1.320	2	5,59	0,00
Nov	997	398	599	3,49	1,94
Dez	511	119	392	2,72	4,45
Jahres-summe	13.530	10.353	3.177	65,61	13,71

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 50: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST5d – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 60,75 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{\text{sol,sim}}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{\text{tw,sol,sim}}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{\text{h,sol,sim}}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	2.230	585	1.645	10,13	2,31
Feb	1.144	307	836	6,73	2,85
Mrz	2.152	1.132	1.019	9,69	0,20
Apr	1.279	1.279	0	6,51	0,00
Mai	1.245	1.245	0	6,49	0,00
Jun	1.183	1.183	0	5,90	0,00
Jul	1.199	1.199	0	6,78	0,00
Aug	1.134	1.134	0	5,06	0,00
Sep	1.163	1.161	3	6,01	0,00
Okt	1.321	1.320	2	5,86	0,00
Nov	1.651	659	993	4,45	1,30
Dez	1.075	251	824	4,53	3,90
Jahres-summe	16.776	11.455	5.321	78,16	10,55

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 51: Ausgabegrößen für die Solaranlage ST6d – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS.

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 70,80 %					
Monat	Nutzbarer Ertrag der Solaranlage $Q_{\text{sol,sim}}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{\text{tw,sol,sim}}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{\text{h,sol,sim}}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Zusatzwärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan	2.891	759	2.132	14,15	1,66
Feb	1.751	471	1.280	9,41	2,25
Mrz	2.352	1.238	1.114	11,55	0,00
Apr	1.279	1.279	0	6,17	0,00
Mai	1.245	1.245	0	6,49	0,00
Jun	1.183	1.183	0	5,59	0,00
Jul	1.199	1.199	0	7,24	0,00
Aug	1.134	1.134	0	4,93	0,00
Sep	1.163	1.161	3	5,82	0,00
Okt	1.321	1.320	2	5,53	0,00
Nov	2.519	1.005	1.515	4,12	0,45
Dez	1.514	353	1.160	6,36	3,47
Jahres-summe	19.551	12.345	7.206	87,37	7,85

5 Sensitivitätsanalyse der Simulationsergebnisse

5.1 Programmspezifische Anpassungen

Die Datenein- und -ausgabe in den Solarsimulationsprogrammen ist in den jeweiligen Versionen noch nicht vollumfänglich konform zur EnEV-Schnittstelle, wie sie in diesem Projekt erarbeitet wurde. Die zur Anpassung notwendigen Workarounds werden nachfolgend beschrieben.

5.1.1 Anpassung Getsolar (Version 11.2.4):

Getsolar wird nicht in Zusammenhang der DIN V 18599 eingesetzt.

- 1) Solarertrag $Q_{\text{sol,sim}}$: Der Solarertrag wird im Programm ausgegeben.
- 2) Erforderliche Parameter zur Aufteilung des Solarertrags:

Die Ergebnisgröße „Solares Heizen“ entspricht dem nutzbaren Solarertrag zur Heizung $Q_{\text{h,sol,sim}}$. Der nutzbare Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{\text{tw,sol,sim}}$ ergibt sich aus der Differenz des Solarertrags $Q_{\text{sol,sim}}$ und der Ergebnisgröße „Solares Heizen“:

$$Q_{\text{tw,sol,sim}} = Q_{\text{sol,sim}} - Q_{\text{h,sol,sim}}$$

- 3) Hilfsenergiebedarf:

Der Hilfsenergiebedarf wird pauschal in kWh/m²a (Nutzfläche A_N) angegeben. Die Anpassung dieses Parameters erfolgte anhand untenstehender Formel.

$$\text{Hilfsenergiebedarf} = [(q_{\text{TW,g,HE,sol}} + q_{\text{H,g,HE,sol}}) \cdot A_N] / 12 \text{ Monate/Jahr}$$

5.1.2 Anpassung Polysun (Version 7.1.8.19808):

- 1) Konvergenz des Plug-Flow Algorithmus

Hierbei handelt es sich um einen „Workaround“, der die Numerik des Solvers beeinflusst. Die Softwarehersteller sind dabei, Polysun entsprechend zu verbessern, so dass sich der Benutzer in Zukunft nicht mehr mit der Konvergenzproblematik befassen muss.

In Polysun Version 7.1 kann es bei der Verwendung von Schichtlanzen und großen Schichtenspeichern zu Konvergenzproblemen mit sehr langsamem Simulationsfortschritt kommen. In diesen Fällen wird folgendes Verfahren angewendet:

Die in Abbildung 1 mit einem roten Pfeil markierte Rohrleitung wird so modifiziert, dass sie ein größeres Volumen aufweist als in Realität (Rohrdurchmesser und Rohrlänge werden künstlich vergrößert), gleichzeitig wird eine unendlich gute Dämmung angenommen, damit keine artifiziellen Wärmeverluste entstehen. Die Modifikation im Modell beeinflusst die Energiebilanzen nicht.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

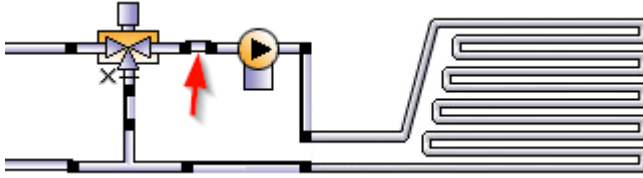


Abbildung 1: Zu bearbeitende Rohrleitung in Polysun Version 7.1

2) Solarertrag $Q_{sol,sim}$:

Errechnet sich aus der Differenz der Erzeugernutzwärmeabgaben der untersuchten Variante sowie des Referenzsystems. Der Energiefluss vom Wärmeerzeuger in den Speicher wird durch die Schichtlanze 2 beschrieben. Somit ergibt sich der Solarertrag zu:

$$Q_{sol,sim} = Q_{xfr2,ref} - Q_{xfr2,sim}$$

2) Erforderliche Parameter zur Aufteilung des Solarertrags:

Speichernutzwärmeabgabe des Referenzsystems an den Heizungsstrang:

Schichtlanze 3 $Q_{xfr,h,ref}$

Speichernutzwärmeabgabe des Referenzsystems an den Trinkwarmwasserstrang:

Schichtlanze 4 $Q_{xfr,tw,ref}$

3) Hilfsenergiebedarf:

Errechnet sich aus der Differenz der Pumpenleistung der untersuchten Variante sowie des Referenzsystems:

$$\text{Hilfsenergiebedarf} = E_{par,sim} - E_{par,ref}$$

4) Reglereinstellungen:

Der Pelletsbrenner wurde im Sommer abgeschaltet und während der Heizperiode mit einer Schaltuhr gesteuert.

5.1.3 Anpassung T*Sol Pro (Version 5.5 (R5)):

1) Solarertrag $Q_{sol,sim}$:

Der Solarertrag $Q_{sol,sim}$ wird bereits getrennt nach Heizung und Trinkwarmwasser ausgegeben. In der Schnittstelle wird jedoch ein einheitliches Verfahren zur Aufteilung des Solarertrags angewandt. Deshalb werden diese Werte wieder aufsummiert:

$$Q_{sol,sim} = Q_{h,sol,sim} + Q_{tw,sol,sim}$$

2) Erforderliche Parameter zur Aufteilung des Solarertrags:

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Speichernutzwärmeabgabe des Referenzsystems an den Heizungsstrang:

$$Q_{h,sol,sim} = T^*Sol \text{ Ergebnisgröße E-HK NT}$$

Speichernutzwärmeabgabe des Referenzsystems an den Trinkwarmwasserstrang:

$$Q_{tw,sol,sim} = T^*Sol \text{ Ergebnisgröße E-TWW} + T^*Sol \text{ Ergebnisgröße E-Zirk}$$

3) Hilfsenergiebedarf:

Der Hilfsenergiebedarf wird anhand eines Korrekturfaktors angepasst. T*Sol rechnet mit einem pauschalen Hilfsenergiebedarf von 10 W/m² Kollektorfläche. Der Korrekturfaktor ergibt sich aus dem Quotienten der Pumpenleistung pro m² Kollektorfläche aus dem Datenblatt des Validierungsbeispiels und der Pumpenleistung nach T*Sol.

5.2 Akzeptanzkriterien für die Ergebnisse der Solarsimulation

Nachfolgend sind die Simulationsergebnisse der in Kapitel 3 beschriebenen Gebäude und Anlagenkonfiguration hinsichtlich ihrer Abweichung zur Referenzsimulation dargestellt.

Die „Relative Abweichung Jahressumme“ $\delta_{sol,sim}$ beschreibt dabei die prozentuale Abweichung des Ist-Werts (Solarsimulation) zum Soll-Wert (Benchmark-Ergebnis). Bei dieser Betrachtung wird die Genauigkeit der Jahressumme des Solarertrags bewertet. Die Aufteilung auf Heizung und Trinkwarmwasser wird ebenso wenig bewertet wie die monatliche Aufteilung der Erträge.

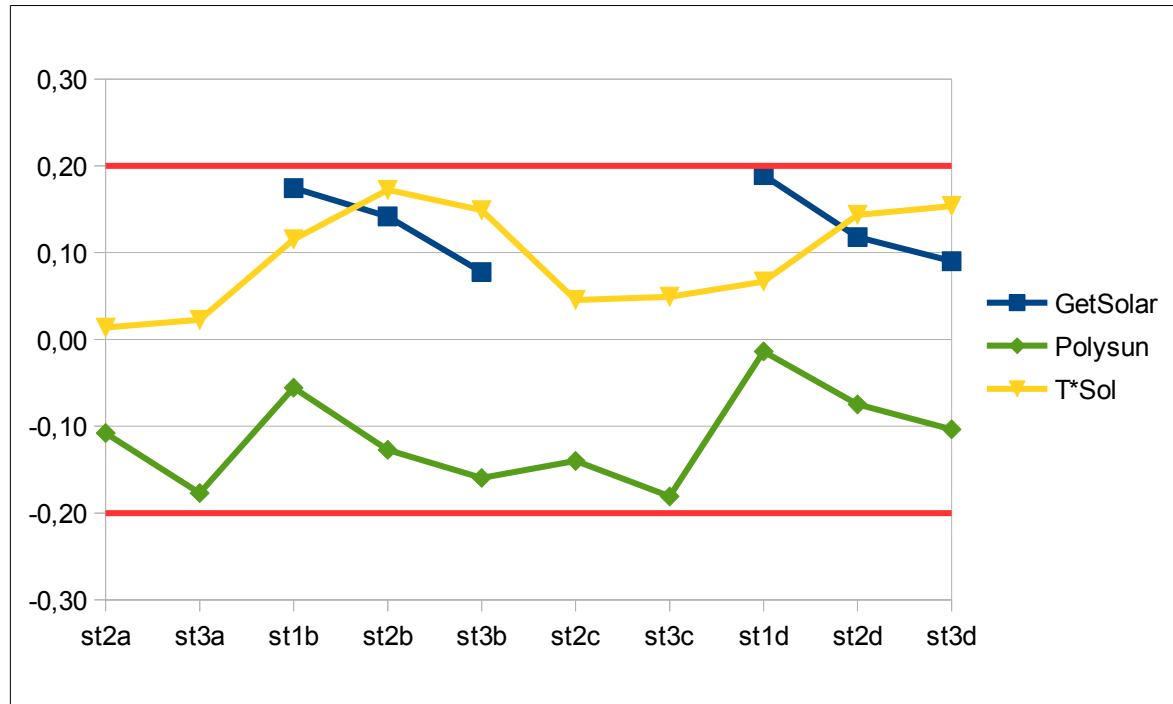
$$\delta_{sol,sim} = \frac{Q_{sol,sim} - Q_{sol,sim,Benchmark}}{Q_{sol,sim,Benchmark}} \quad [-] \quad (1)$$

Bei der Ergebnisgröße „Relative Abweichung Absolutwert“ $\delta_{sol,sim,abs}$ werden die monatlichen Abweichungen des Solarertrags als Absolutwerte aufsummiert und die prozentuale Abweichung zum Soll-Wert (Benchmark-Ergebnis) dargestellt. Dieses Kriterium bewertet die monatlichen Abweichungen der Solarerträge für Heizung und Warmwasser.

$$\delta_{sol,sim,abs} = \frac{\sum_m |Q_{sol,sim,m} - Q_{sol,sim,m,Benchmark}|}{Q_{sol,sim,Benchmark}} \quad [-] \quad (2)$$

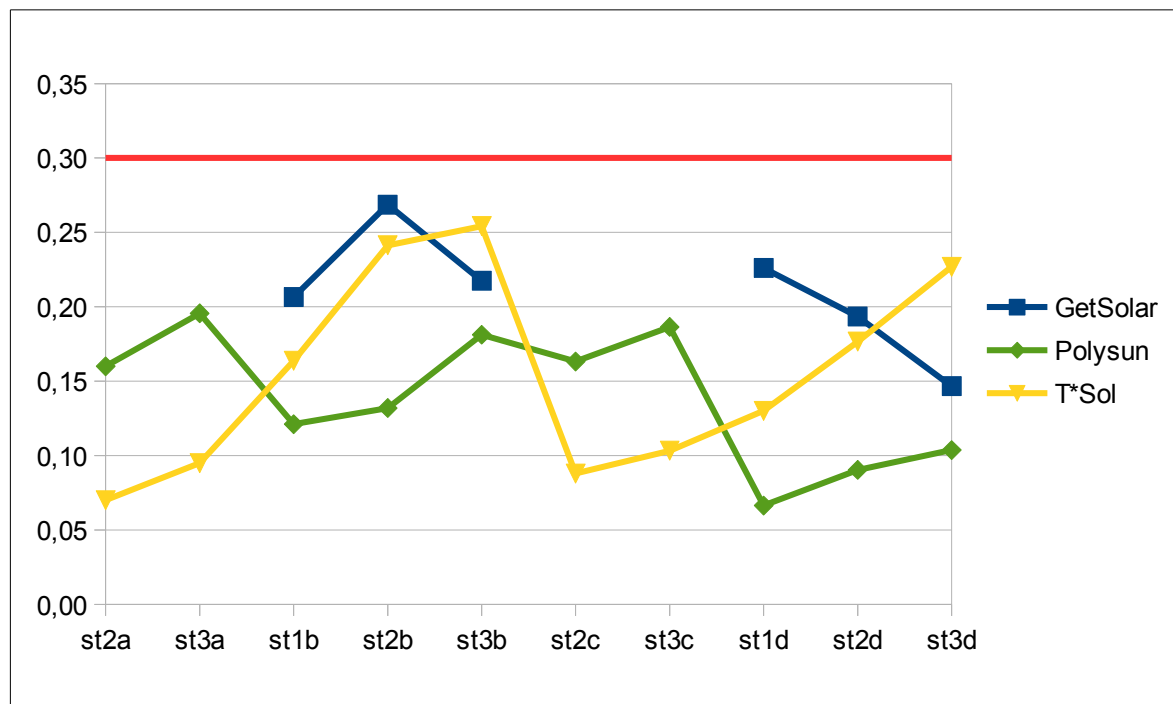
Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

5.2.1 Relative Abweichung Jahressumme $\delta_{\text{sol,sim}}$ Einfamilienhaus



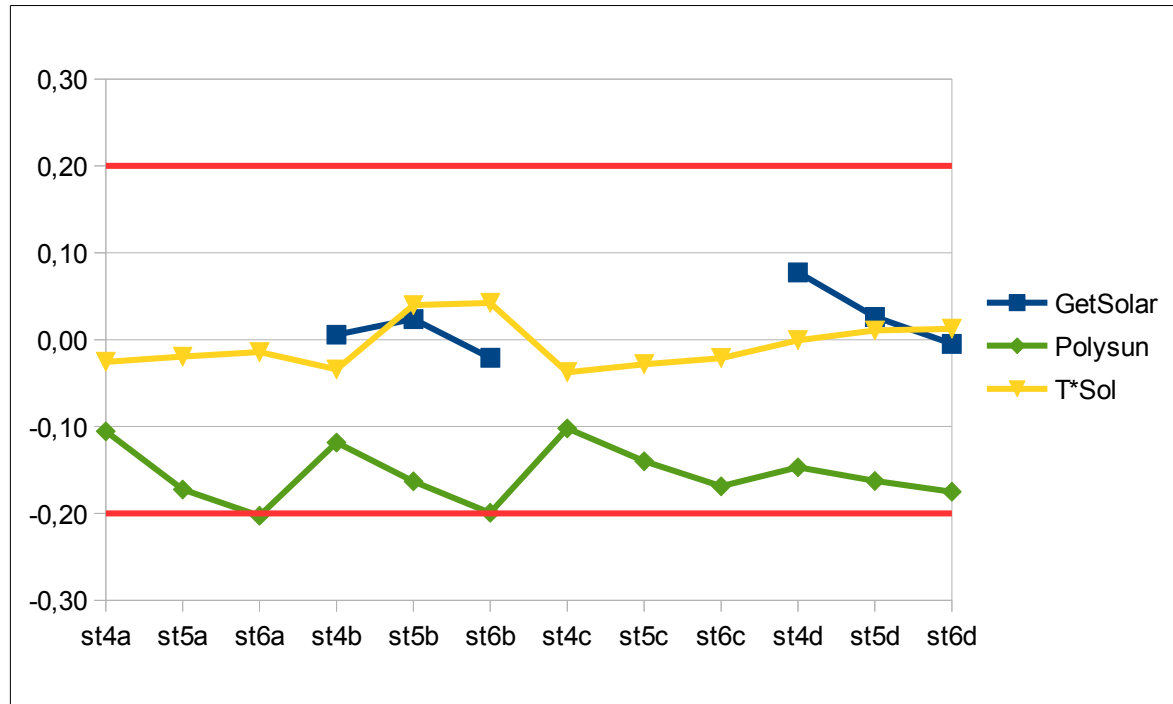
Beschreibungen der Validierungsbeispiele (st2a bis st3d) siehe Kapitel 4

5.2.2 Relative Abweichung Absolutwert $\delta_{\text{sol,sim,abs}}$ Einfamilienhaus



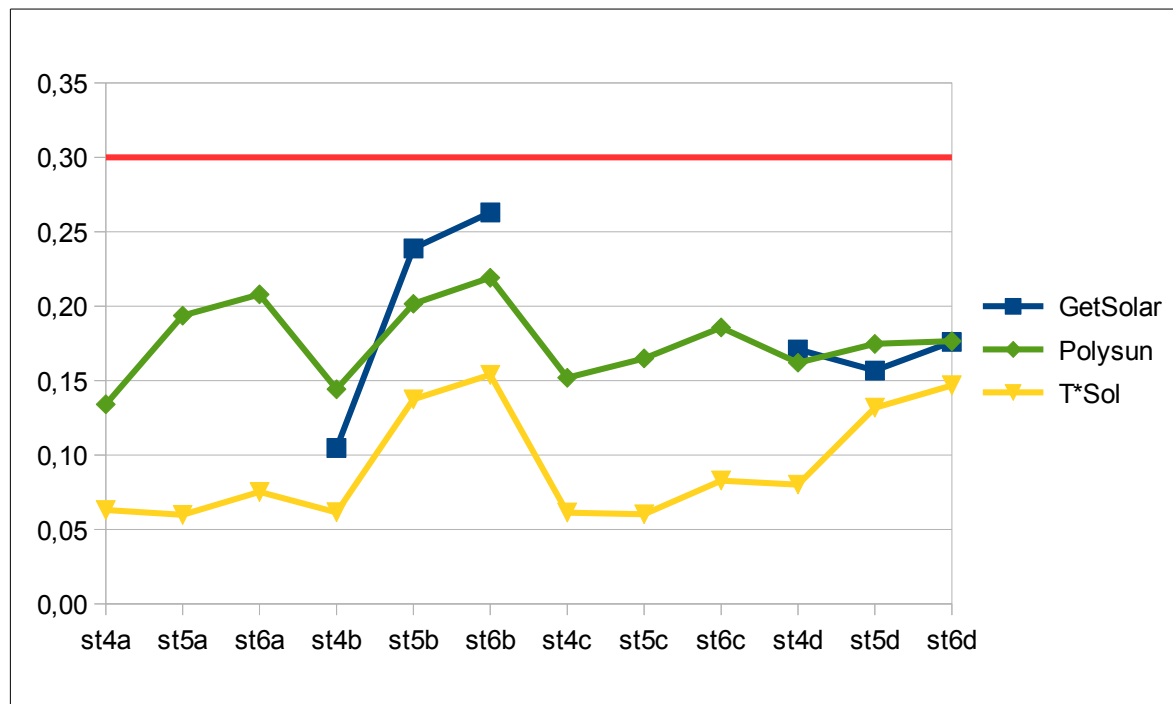
Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

5.2.3 Relative Abweichung Jahressumme $\delta_{\text{sol,sim}}$ Mehrfamilienhaus



Beschreibungen der Validierungsbeispiele (st3a bis st6d) siehe Kapitel 4

5.2.4 Relative Abweichung Absolutwert $\delta_{\text{sol,sim,abs}}$ Mehrfamilienhaus



6 Definition der Schnittstelle

6.1 Bestimmung des Beitrags der Solaranlage zur Deckung des Wärmebedarfs

Die energetische Bewertung von Anlagen zur Heizung und Trinkwassererwärmung ist erfolgt über die Bestimmung des End- bzw. Primärenergiebedarfs nach DIN V 18599:2011-12 und DIN V 4701-10:2003-08. Der Endenergiebedarf berechnet sich dabei aus der von den Wärmeerzeugern zur Heizung und Trinkwassererwärmung bereitgestellten bzw. abgegebenen Wärmemenge (Erzeugernutzwärmeabgabe) und den Verlusten des oder der Wärmeerzeuger. Für die Bewertung von Solaranlagen spielt die Aufteilung der gelieferten Wärmemenge auf Solaranlage und Zusatzwärmeerzeuger eine wichtige Rolle, da sich diese direkt auf den End- und Primärenergiebedarf der Heizungs- und Warmwasserbereitungssysteme auswirkt. Ziel der Solarsimulationen muss es daher sein, den zur Heizung- und Trinkwassererwärmung nutzbaren Ertrag der Solaranlage bzw. den Deckungsanteil der Solaranlage möglichst normgerecht abzubilden. Da in den normativen Werten der zu liefernden Wärmemengen der Wärmeerzeuger je nach Rechenverfahren bereits unterschiedliche Annahmen zu Grunde liegen, können diese nicht direkt mit den Ergebnissen der Simulationen verglichen werden. Im Rahmen des Projekts „Solarsimu-EnEV“ wird daher der Ansatz verfolgt, den Deckungsanteil durch den Vergleich zwischen den Ergebnissen einer Referenzsimulation des betrachteten Gebäudes ohne Solaranlage und einer Simulation des betrachteten Gebäudes mit Solaranlage zu bestimmen (anteilige Energieeinsparung). Aus der durch die Solaranlage gegenüber dem solaranlagefreien Referenzfall erzielten Reduktion der simulierten vom konventionellen Wärmeerzeuger abgegebenen Wärmemenge wird der Anteil der Solaranlage an der Wärmelieferung bestimmt. Somit kann der Ertrag der Solaranlage für Heizung und Trinkwasserbereitung $Q_{\text{sol,sim}}$ in kWh nach Gleichung (3) ermittelt werden bzw. der entsprechende Deckungsanteil der Solaranlage $\alpha_{\text{sol,sim}}$ nach Gleichung (4). In den Gleichungen sind $Q_{\text{outg,sim,ref}}$ in kWh die Wärmeabgabe des Heizkessels für den Referenzfall ohne Solaranlage und $Q_{\text{outg,sim}}$ in kWh die Wärmeabgabe des Zusatzwärmeerzeugers unter Berücksichtigung der nutzbaren Wärmeabgabe der Solaranlage.

$$Q_{\text{sol,sim}} = Q_{\text{outg,sim,ref}} - Q_{\text{outg,sim}} \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

$$\alpha_{\text{sol,sim}} = \frac{Q_{\text{sol,sim}}}{Q_{\text{outg,sim,ref}}} \quad [-] \quad (4)$$

6.2 Vorgehen bei Berechnungen nach DIN V 4701-10

Für die Aufteilung der nutzbaren Wärmeabgabe der Solaranlage auf Heizung und Trinkwasserbereitung werden die nachfolgenden Gleichungen (5) bis (9) verwendet. Darin sind $Q_{\text{h,sol,sim}}$ in kWh der nutzbare Ertrag der Solaranlage zur Heizung, $Q_{\text{tw,sol,sim}}$ in kWh der nutzbare Ertrag der Solaranlage zur Trinkwasserbereitung, $Q_{\text{h,s,sim,ref}}$ in kWh die vom Wärmespeicher

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

abgegebene Wärmemenge zur Heizung für den Referenzfall ohne Solaranlage und $Q_{tw,s,ref}$ in kWh die vom Wärmespeicher abgegebene Wärmemenge zur Trinkwassererwärmung für den Referenzfall ohne Solaranlage.

$$Q_{sol,sim} = Q_{tw,sol,sim} + Q_{h,sol,sim} \quad [\text{kWh}] \quad (5)$$

$$Q_{tw,sol,sim,m} = \frac{Q_{tw,s,ref,m}}{Q_{tw,s,ref,m} + Q_{h,s,ref,m}} \cdot Q_{sol,sim,m} \quad [\text{kWh}] \quad (6)$$

$$Q_{tw,sol,sim} = \sum Q_{tw,sol,sim,m} \quad [\text{kWh}] \quad (7)$$

$$Q_{h,sol,sim,m} = \frac{Q_{h,s,ref,m}}{Q_{tw,s,ref,m} + Q_{h,s,ref,m}} \cdot Q_{sol,sim,m} \quad [\text{kWh}] \quad (8)$$

$$Q_{h,sol,sim} = \sum Q_{h,sol,sim,m} \quad [\text{kWh}] \quad (9)$$

Für DIN V 4701-10:2003-08 ist es erforderlich, den Deckungsanteil der Solaranlage für Heizung $\alpha_{h,sol,sim}$ und Trinkwassererwärmung $\alpha_{tw,sol,sim}$ nach Gleichung (10) und (11) anzugeben.

$$\alpha_{tw,sol,sim} = \frac{Q_{tw,sol,sim}}{Q_{tw,out,sim,ref}} \quad [-] \quad (10)$$

$$\alpha_{h,sol,sim} = \frac{Q_{h,sol,sim}}{Q_{h,out,sim,ref}} \quad [-] \quad (11)$$

Diese Aufteilung ist ein Vorschlag und folgt dem Grundgedanken, dass in Monaten mit relativ hohem WW-Bedarf (Sommer) der Solarertrag stärker bis ganz dem WW, hingegen in den Heizmonaten der Solarertrag stärker (Erzeugernutzwärmeabgabe an Heizung relativ zur gesamten Erzeugerwärmeabgabe) der Heizung zugeordnet wird. Das Verhältnis wird aus den Ergebnissen der Simulation des Referenzgebäudes – d.h. ohne Solaranlage – gebildet. Diese Zuordnung hat keine Auswirkung auf die solaren Deckungsanteile insgesamt, jedoch auf die Aufteilung des Wärmeerzeugers für den nicht von der Solaranlage gedeckten Wärmebedarf auf WW und HZ. Da die Erzeugeraufwandszahl für H und WW unterschiedlich sein kann, hat die Aufteilung einen Einfluss auf das Gesamtergebnis.

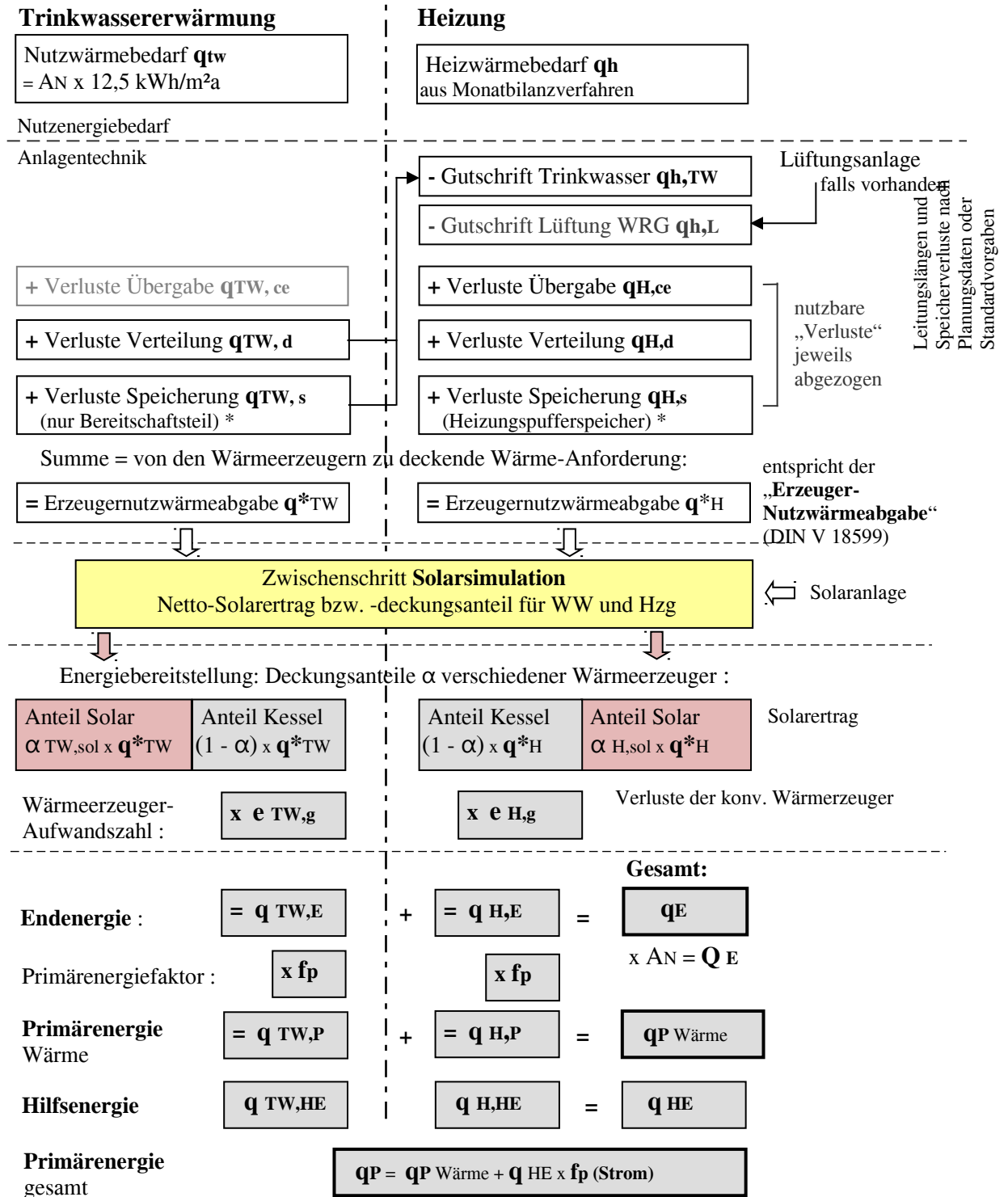
Übertragung der Simulationsergebnisse in die DIN V 4701-10:

$$\alpha_{TW,sol} = \alpha_{tw,sol,sim} \quad [-] \quad (12)$$

$$\alpha_{H,sol} = \alpha_{h,sol,sim} \quad [-] \quad (13)$$

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Berechnung des Primärenergiebedarfs nach DIN 4701-10



*Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*

6.2.1 Eingangsparmeter für die Solarsimulation

Folgend sind alle für den EnEV-Nachweis erforderlichen Eingangsparmeter für die Solarsimulation nach DIN V 4701-10 aufgelistet:

Gebäudeeigenschaften:

- Gebäudetyp
- beheiztes Volumen [m³]
- Gebäudenutzfläche A_N [m²]
- Luftvolumen der beheizten Zone [m³]
- Thermische Kapazität der beheizten Zone [kJ/K]
- Hüllflächen (U-Wert, Fläche, Orientierung)
- Fensterflächen (g-Wert, Fläche, Orientierung, Verschattung)

Wetterdatensatz

„Testreferenzjahr-Datensatz 2011“ (TRY2010, Version 1.2) für den Standort Potsdam
(Klimaregion 4)

Nutzungsrandbedingungen:

- Auslegungstemperatur bzw. Raumsolltemperatur [°C]
- Spezifische interne Wärmegewinne durch Personen, Geräte etc. [W/m²]
- Bezugsfläche für interne Wärmegewinne [m²]
- Luftwechselrate [1/h]
- Spezifischer Trinkwarmwasserbedarf [kWh/m²a]
- Bezugsfläche für Trinkwarmwasserbedarf [m²]
- Tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe [Zeitfenster]
- Heizungsabschaltung [Zeitfenster]

Bedarfsprofil der Warmwasserbereitstellung:

- Uhrzeit zu Beginn der Zapfung
- Anteil am Tagesbedarf
- Volumenstrom der Zapfung

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Solarthermischer Wärmeerzeuger:

- Bauart
- Fläche und Ausrichtung
- Thermische Leistungskennwerte
 - Konversionsfaktor
 - Wärmeverlustkoeffizient 1. Ordnung [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
 - Wärmeverlustkoeffizient 2. Ordnung [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}^2$]
 - Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{dir} (50°) [-]
 - Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{diff} [-]
 - Effektive Wärmekapazität (bezogen auf Aperturfläche) [$\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$]
- Behandlung der Wärmeverluste
- Solarkreis Primär
 - Fluid (Dichte, spez. Wärmekapazität)
 - Länge der Rohrleitung (VL und RL)
 - Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
 - Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
 - Regelung
 - Abschaltkriterium für Solarkreis
 - Temperaturfühler zur Regelung
 - min. Durchfluss [kg/hm^2]
 - Nenndurchfluss [kg/hm^2]
 - Leistung der Pumpe [W]
 - Wärmeüberträger zu sekundärem Solarkreis
 - Übertragungsvermögen [W/K]
 - Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeüberträger etc.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

- Solarkreis Sekundär
 - Anbindung an Speicher/Verbraucher
 - Fluid (Dichte, spez. Wärmekapazität)
 - Länge der Rohrleitung VL und RL [m]
 - Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
 - Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
 - Regelung
 - min. Durchfluss [kg/hm²]
 - Nenndurchfluss [kg/hm²]
 - Leistung der Pumpe [W]
 - Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.

Wärmeerzeuger:

- Bauart
- Aufstellort
- Thermische Leistungskennwerte
 - Nennwärmeleistung [kW]
 - Wasserseitige Wärmeleistung [kW]
 - Wirkungsgrad [%]
- Behandlung der Wärmeverluste
- Anbindung an Speicher/Verbraucher
- Länge der Rohrleitung VL und RL [m]
- Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
- Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
- Regelung
- Temperaturfühler zur Regelung

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

- Mindestlaufzeit pro Start [s]
- Temperatur VL und RL im Nennbetrieb [°C]
- Nenndurchfluss [kg/h]
- Leistung der Pumpe [W]
- Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.

Wärmespeicher:

- Bauart
- Aufstellort
- Höhe/Durchmesser (ohne Dämmung) [m]
- Nennvolumen [m³]
- Nennvolumen integrierter Trinkwassertank (falls vorhanden) [m³]
- Fluid (Dichte, spez. Wärmekapazität)
- Effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit des Speichers [W/mK]
- Mittlere Wärmeverlustrate des gesamten Speichers [W/K]
- Behandlung der Wärmeverluste
- Anschlusshöhen

Heizung:

- Typ der Heizflächen
- Größe und Lage der Heizflächen
- Anbindung an Speicher
- Länge der Rohrleitung VL und RL
- Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
- Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
- Leistung der Pumpe [W]
- Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.
- Vorlauftemperaturregelung

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

- Durchflussregelung
- min. Durchfluss [kg/h]
- max. Durchfluss (Nennbetrieb) [kg/h]
- Temperaturdifferenz Vorlauf zu Rücklauf im Nennbetrieb [K]
- Temperaturfühler für Regelung
- Raum-Solltemperatur [°C]
- Nachtbetrieb

Trinkwarmwasser:

- Anbindung an Speicher
- Länge der Rohrleitung Primärseite (VL und RL) [m]
- Länge der Rohrleitung Sekundärseite (VL) [m]
- Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
- Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
- Externer Wärmeüberträger (falls vorhanden)
- Übertragungsvermögen (falls externer Wärmeüberträger vorhanden) [W/K]
- Regelung Primärseite (falls externer Wärmeüberträger vorhanden)
- Trinkwarmwasser-Solltemperatur am Austritt der Stichleitung [°C]
- Leistung der Pumpe (falls externer Wärmeüberträger vorhanden) [W]
- Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeüberträger etc.

Zirkulation:

- Regelung
- Länge der Rohrleitung (RL) [m]
- Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
- Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
- Nenndurchfluss [l/h]
- Leistung der Pumpe [W]

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

- Laufzeit der Pumpe [h/d]
- Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeüberträger etc.

6.2.2 Übergabeparameter von DIN V 4701-10 an die Solarsimulation

- Erzeugernutzwärmeabgabe Q^*_{TW} und Q^*_H ohne Solaranlage (für das Referenzgebäude)

6.2.3 Übergabeparameter von der Solarsimulation an DIN V 4701-10

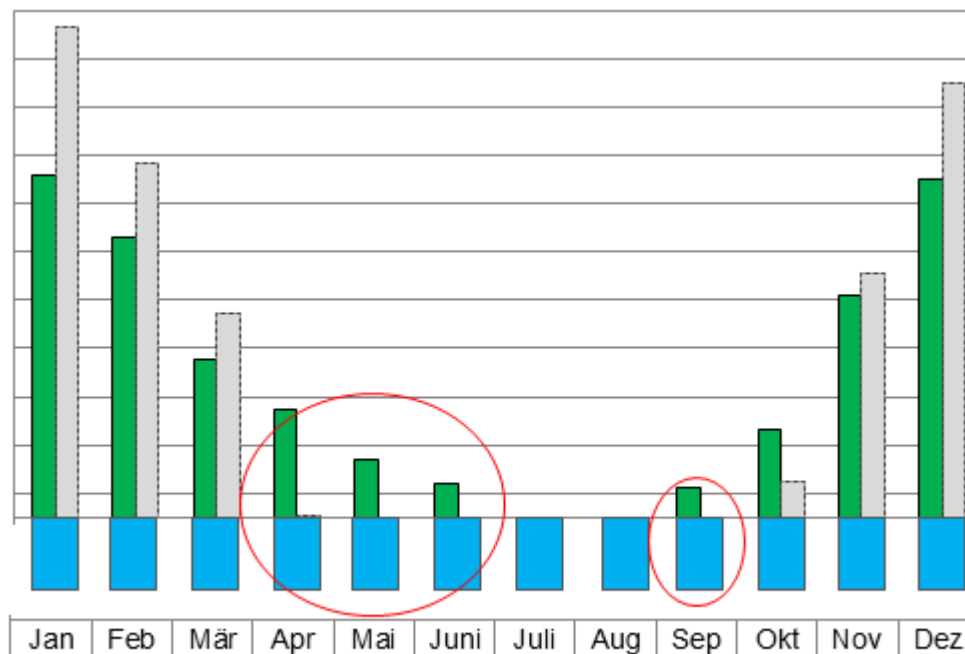
- 1) solarer Deckungsanteil $\alpha_{TW,sol}$ und $\alpha_{H,sol}$
- 2) Hilfsenergie der Solaranlage; Aufteilung anteilig nach dem Solarertrag für Heizung und Warmwasser

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

6.3 Vorgehen bei Berechnungen nach DIN V 18599

Im Gegensatz zu Berechnungen nach DIN V 4701-10, bei denen ein solarer Deckungsanteil für das gesamte Jahr einfließt, sind bei den Berechnungen nach DIN V 18599 die Solarerträge monatlich anzugeben. Dies ist insbesondere deshalb relevant, da die Effizienz des konventionellen Wärmeerzeugers monatlich unterschiedlich sein kann (z.B. Luft-Wasser-Wärmepumpe).

Die monatliche Verteilung des Energiebedarfs für die Heizung kann in der Simulation von der in der DIN V 18599 ermittelten abweichen (siehe Abbildung 2).



blau = WW-Energiebedarf (konstant) grau = HWB Normverfahren, grün = HWB Simulation.

Abbildung 2: Unterschiedlicher Verlauf der Erzeugernutzwärmeabgabe [kWh/Monat] im statischen und dynamischen Verfahren (Prinzipdarstellung)

Wenn nun in Monaten, in denen nach DIN V 18599 kein Heizwärmebedarf vorliegt, in der Simulation ein Solarertrag ermittelt wird, so könnte dieser Monatssolarertrag nicht in Berechnung nach DIN V 18599 einfließen. Deshalb sind die mittels Simulation ermittelten Jahressolarerträge für die Heizung anteilig den Monaten anzurechnen, in denen nach DIN V 18599 ein Wärmebedarf vorliegt (siehe Gleichung (16) und (18)).

Für die Aufteilung der nutzbaren Wärmeabgabe der Solaranlage auf Heizung und Trinkwasserbereitung werden die nachfolgenden Gleichungen (14) bis (21) verwendet. Darin sind $Q_{h,sol,sim}$ in kWh der nutzbare Ertrag der Solaranlage zur Heizung, $Q_{tw,sol,sim}$ in kWh der nutzbare Ertrag der Solaranlage zur Trinkwasserbereitung. Nach DIN V 18599 ermittelt: $Q_{h,s,ref}$

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

in kWh die vom Wärmespeicher abgegebene Wärmemenge zur Heizung für den Referenzfall ohne Solaranlage und $Q_{tw,s, sim, ref}$ in kWh die vom Wärmespeicher abgegebene Wärmemenge zur Trinkwassererwärmung für den Referenzfall ohne Solaranlage. Die Solarerträge sind als Monatswerte zu berechnen und auszugeben zur Verwendung in Berechnungen nach DIN V 18599.

$$Q_{sol, sim, m} = Q_{out, sim, ref, m} - Q_{out, sim, m} \quad [\text{kWh}] \quad (14)$$

$$\alpha_{sol, sim, m} = \frac{Q_{sol, sim, m}}{Q_{out, sim, ref, m}} \quad [-] \quad (15)$$

Da die Solarerträge monatlich ausgegeben werden müssen, sind die aus der Simulation ermittelten Jahressolarerträge so in Monatswerte aufzuteilen, dass nur in Monaten mit Heizwärmebedarf ein Solarertrag für die Heizung zugeordnet wird.

$$Q_{tw, sol, sim, m} = \frac{Q_{tw, s, sim, ref, m}}{Q_{tw, s, sim, ref, m} + Q_{h, s, sim, ref, m}} \cdot Q_{sol, sim, m} \quad [\text{kWh}] \quad (16)$$

$$Q_{tw, sol, sim} = \sum Q_{tw, sol, sim, m} \quad [\text{kWh}] \quad (17)$$

$$Q_{h, sol, sim, m} = \frac{Q_{h, s, sim, ref, m}}{Q_{tw, s, sim, ref, m} + Q_{h, s, sim, ref, m}} \cdot Q_{sol, sim, m} \quad [\text{kWh}] \quad (18)$$

$$Q_{h, sol, sim} = \sum Q_{h, sol, sim, m} \quad [\text{kWh}] \quad (19)$$

Umrechnung der Solarerträge aus der Simulation an die DIN V 18599 mit dem Faktor aus dem Verhältnis von Erzeugernutzwärmeabgabe nach DIN zu simulierter Erzeugernutzwärmeabgabe:

$$Q_{tw, sol, m} = \frac{Q_{tw, out, ref}}{Q_{tw, sim, ref}} \cdot Q_{tw, sol, sim, m} \quad [\text{kWh/m}] \quad (20)$$

$$Q_{h, sol, m} = \frac{Q_{h, out, ref}}{Q_{h, sim, ref}} \cdot Q_{h, sol, sim, m} \quad [\text{kWh/m}] \quad (21)$$

6.3.1 Eingangsparameter für die Solarsimulation

Folgend sind alle für den EnEV-Nachweis erforderlichen Eingangsparameter für die Solarsimulation nach DIN V 18599 aufgelistet:

*Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*

Gebäudeeigenschaften:

- Gebäudetyp
- beheiztes Volumen [m³]
- Gebäudenutzfläche [m²]
- Wohnfläche A_{wfl} / Nettogrundfläche [m²]
- Luftvolumen der beheizten Zone [m³]
- Thermische Kapazität der beheizten Zone [kJ/K]
- Hüllflächen (U-Wert, Fläche, Orientierung)
- Fensterflächen (g-Wert, Fläche, Orientierung, Verschattung)

Wetterdatensatz

„Testreferenzjahr-Datensatz 2011“ (TRY2010, Version 1.2) für den Standort Potsdam
(Klimaregion 4)

Nutzungsrandbedingungen:

- Auslegungstemperatur bzw. Raumsolltemperatur [°C]
- Spezifische interne Wärmegewinne durch Personen, Geräte etc. [W/m²]
- Bezugsfläche für interne Wärmegewinne [m²]
- Luftwechselrate durch Infiltration und Abluftanlage [1/h]
- Spezifischer Trinkwarmwasserbedarf [kWh/m²a]
- Bezugsfläche für Trinkwarmwasserbedarf [m²]
- Tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe [Zeitfenster]
- Heizungsabschaltung [Zeitfenster]

Bedarfsprofil der Warmwasserbereitstellung:

- Uhrzeit zu Beginn der Zapfung
- Anteil am Tagesbedarf
- Volumenstrom der Zapfung

Solarthermischer Wärmeerzeuger:

- Bauart
- Fläche und Ausrichtung

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

- Thermische Leistungskennwerte
 - Konversionsfaktor
 - Wärmeverlustkoeffizient 1. Ordnung [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
 - Wärmeverlustkoeffizient 2. Ordnung [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}^2$]
 - Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{dir} (50°) [-]
 - Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{diff} [-]
 - Effektive Wärmekapazität (bezogen auf Aperturfläche) [$\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$]
- Behandlung der Wärmeverluste
- Solarkreis Primär
 - Fluid (Dichte, spez. Wärmekapazität)
 - Länge der Rohrleitung (VL und RL)
 - Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
 - Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
 - Regelung
 - Abschaltkriterium für Solarkreis
 - Temperaturfühler zur Regelung
 - min. Durchfluss [kg/hm^2]
 - Nenndurchfluss [kg/hm^2]
 - Leistung der Pumpe [W]
 - Wärmeüberträger zu sekundärem Solarkreis
 - Übertragungsvermögen [W/K]
 - Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeüberträger etc.
- Solarkreis Sekundär
 - Anbindung an Speicher/Verbraucher
 - Fluid (Dichte, spez. Wärmekapazität)

*Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*

- Länge der Rohrleitung VL und RL [m]
- Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
- Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
- Regelung
- min. Durchfluss [kg/hm²]
- Nenndurchfluss [kg/hm²]
- Leistung der Pumpe [W]
- Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.

Wärmeerzeuger:

- Bauart
- Aufstellort
- Thermische Leistungskennwerte
 - Nennwärmeleistung [kW]
 - Wasserseitige Wärmeleistung [kW]
 - Wirkungsgrad [%]
- Behandlung der Wärmeverluste
- Anbindung an Speicher/Verbraucher
- Länge der Rohrleitung VL und RL [m]
- Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
- Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
- Regelung
- Temperaturfühler zur Regelung
- Mindestlaufzeit pro Start [s]
- Temperatur VL und RL im Nennbetrieb [°C]
- Nenndurchfluss [kg/h]

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

- Leistung der Pumpe [W]
- Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.

Wärmespeicher:

- Bauart
- Aufstellort
- Höhe/Durchmesser (ohne Dämmung) [m]
- Nennvolumen [m³]
- Nennvolumen integrierter Trinkwassertank (falls vorhanden) [m³]
- Fluid (Dichte, spez. Wärmekapazität)
- Effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit des Speichers [W/mK]
- Mittlere Wärmeverlustrate des gesamten Speichers [W/K]
- Behandlung der Wärmeverluste
- Anschlusshöhen

Heizung:

- Typ der Heizflächen
- Größe und Lage der Heizflächen
- Anbindung an Speicher
- Länge der Rohrleitung VL und RL
- Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
- Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
- Leistung der Pumpe [W]
- Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.
- Vorlauftemperaturregelung
- Durchflussregelung
- min. Durchfluss [kg/h]
- max. Durchfluss (Nennbetrieb) [kg/h]

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

- Temperaturdifferenz Vorlauf zu Rücklauf im Nennbetrieb [K]
- Temperaturfühler für Regelung
- Raum-Solltemperatur [°C]
- Nachtbetrieb

Trinkwarmwasser:

- Anbindung an Speicher
- Länge der Rohrleitung Primärseite (VL und RL) [m]
- Länge der Rohrleitung Sekundärseite (VL) [m]
- Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
- Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
- Externer Wärmeüberträger (falls vorhanden)
- Übertragungsvermögen (falls externer Wärmeüberträger vorhanden) [W/K]
- Regelung Primärseite (falls externer Wärmeüberträger vorhanden)
- Trinkwarmwasser-Solltemperatur am Austritt der Stichleitung [°C]
- Leistung der Pumpe (falls externer Wärmeüberträger vorhanden) [W]
- Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeüberträger etc.

Zirkulation:

- Regelung
- Länge der Rohrleitung (RL) [m]
- Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/mK]
- Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen
- Nenndurchfluss [l/h]
- Leistung der Pumpe [W]
- Laufzeit der Pumpe [h/d]
- Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeüberträger etc.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

6.3.2 Übergabeparameter von DIN V 18599 an die Solarsimulation

- Monatswerte der Erzeugernutzwärmeabgabe $Q_{\text{tw,outg,ref,m}}$ und $Q_{\text{h,outg,ref,m}}$ ohne Solaranlage (für das Referenzgebäude)

6.3.3 Übergabeparameter von der Solarsimulation an DIN V 18599

- 1) Monatswerte des Solarertrags $Q_{\text{tw,sol,sim,m}}$ und $Q_{\text{h,sol,sim,m}}$
- 2) Monatswerte der Hilfsenergie der Solaranlage; Aufteilung anteilig nach dem Solarertrag für Heizung und Warmwasser

6.4 Vorgehen in der Praxis der Nachweiserstellung

- Eingabe der Daten in EnEV-Software (ohne Solaranlage)
- Eingabe der Daten in Solarsimulationssoftware
- Übergabeparameter zur Simulationssoftware übertragen von:
 - DIN V 4701-10: Erzeugernutzwärmeabgabe Q_{TW}^* und Q_{H}^* ohne Solaranlage
 - DIN V 18599: Monatswerte der Erzeugernutzwärmeabgabe $Q_{\text{tw,outg,ref,m}}$ und $Q_{\text{h,outg,ref,m}}$ ohne Solaranlage
- Simulation mit Datenaufbereitung (SolarSimu-EnEV_Schnittstelle_20141107.xls)
- Übergabeparameter von Simulationssoftware übertragen nach:
 - DIN V 4701-10:
 - solarer Deckungsanteil $\alpha_{\text{TW,sol}}$ und $\alpha_{\text{H,sol}}$
 - Hilfsenergie der Solaranlage; Aufteilung anteilig nach dem Solarertrag für Heizung und Warmwasser
 - DIN V 18599:
 - Monatswerte des Solarertrags $Q_{\text{w,sol,m}}$ und $Q_{\text{h,sol,m}}$
 - Monatswerte der Hilfsenergie der Solaranlage; Aufteilung anteilig nach dem Solarertrag für Heizung und Warmwasser
- Erstellung des Nachweises

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

6.5 Implementierung der Schnittstelle

6.5.1 Anforderung an den Berechnungsvorgang

Die Dateneingabe muss über einen wohl definierten Pfad geschehen analog zum Benchmarktest:

1. alle notwendigen Parameter (d.h. alle Parameter, die auch im Benchmarktest verwendet wurden) müssen eingegeben werden (siehe Anlage F)
2. sicherstellen, dass die Eingangsdaten in Solarsimulation und DIN übereinstimmen
3. das im Benchmarktest ausgewählte Rechenverfahren mit den entsprechend hinterlegten und dokumentierten Randbedingungen kommt zur Anwendung
4. die Solarsimulations-Software muss validiert sein

6.5.2 Anforderung an die Dokumentation

1. Dokumentation der Ein- und Ausgabedaten: Ausgabe nicht-manipulierbarer definierter Datenblätter aus der Software (auch bei elektronischer Datenübergabe)
2. Angabe von Aussteller (wie im Energieausweis), Datum, Softwarename und Versionsnummer; desweiteren ist der genaue Internetpfad anzugeben, unter dem die Validierungsergebnisse aus dem Benchmarktest zu finden ist.
3. Prüfbarkeit

6.5.3 Validierungsprozess

Die Softwarehäuser veröffentlichen auf ihrer Internetseite die Ergebnisse des Benchmarktests mit folgenden Angaben:

1. Softwarename und Versionsnummer der getesteten Version
2. Ergebnisse des Benchmarktests in tabellarischer Form für alle Testfälle wie in Anlage G dargestellt (neu nur alle 3 Jahre oder bei wesentlichen Softwareänderungen)
3. Datenblätter wie in Anlage F dargestellt (neu nur alle 3 Jahre oder bei wesentlichen Softwareänderungen)
4. Erklärung des Softwarehersteller, dass die Software den im Forschungsprojekt "SolarSimu-EnEV" definierten Benchmarktest bestanden hat
5. Hinweis, dass die Ergebnisse für KfW- und EnEV-Nachweise verwendet werden dürfen

Literaturverzeichnis

- [1] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN V 18599-5:2011-12, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2011.
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN V 18599-8:2011-12, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2011.
- [3] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN V 18599-10:2011-12, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2011.
- [4] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN V 4701-10:2003-08 Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwarmwassererwärmung, Lüftung*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2003.
- [5] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN V 4108-6:2003-06, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2003.
- [6] *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV vom 24. Juli 2007, geändert durch Artikel 1 der Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009)*. Bundesgesetzblatt, 2009.
- [7] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN EN 12977-2:2012-06, Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Teil 2: Prüfverfahren für solar betriebene Warmwasserbereiter und Kombinationssysteme, Deutsche Fassung*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2011.
- [8] *Directive/Richtlinie 2009/125/EU Eco design: Energieeffizienzanforderungen in der Phase der Produktgestaltung – Regulations/Verordnungen 813/2013 und 814/2013 für Raumheizung, Warmwasser, Kombiheizgeräte, Speicher*. Amtsblatt der EU, 6 September 2013.
- [9] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): *VDI-Wärmeatlas – 11., bearbeitete und erweiterte Auflage*. DOI 10.1007/978-3-642-19981-3, Springer-Verlag, Berlin, 2013.

*Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*

- [10] *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV vom 24. Juli 2007, letzte Änderung vom 18. November 2013). Bundesgesetzblatt, 2013*

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

A Bauteile der Gebäude

A.1 Einfamilienhaus im Energiestandard EnEV-Ref

Hinweise zu den Angaben für die Bauteile:

- für alle Bauteile werden Wärmebrücken über einen Zuschlag auf den U-Wert des Bauteils ΔU_{WB} von 0,05 W/(m²K) berücksichtigt
- opake Bauteile mit Zone außen „unbeheizt“: der jeweilige Temperatur-Korrekturfaktor F_x zu Berechnung der äußeren Temperatur wird angegeben, s. a. Gl. (13)
- opake Bauteile mit Zone außen „Erdreich“: die monatliche virtuelle Temperatur des Erdreichs wurde nach DIN EN ISO 13370:2008-04 berechnet:

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Erdreich-Temp. [°C]	10,33	10,62	11,51	12,94	14,50	15,32	16,06	15,93	14,56	13,03	11,32	10,30

- transparente Bauteile mit Sonnenschutz „nach Lufttemperatur“: sobald die Lufttemperatur der Zone 24 °C übersteigt, wird ein Abminderungsfaktor für den Sonnenschutz von 0,3 für die jeweiligen Bauteile angesetzt

A.1.1 Übersicht der opaken Bauteile

Bauteil: AT gg unbeheizt

Bauteilaufbau: AT zu unbeheizt

U-Wert	1,80 W/m ² K	Ca	0,00 Wh/K
Ci	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ϵ	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,13 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	-	Zone außen	unbeheizt ($F_x = 0,5$)
Zone innen	Wohnbereich		
Flächen-Berechnung:			
Heizraum	4.02		4,02 m ²
Vorratsraum	1.78		1,78 m ²
Gesamtfläche			5,80 m ²

Bauteil: AT N

Bauteilaufbau: AT

U-Wert	1,80 W/m ² K	Ca	0,00 Wh/K
Ci	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ϵ	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,04 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	N	Zone außen	Außenluft
Zone innen	Wohnbereich		
Flächen-Berechnung:			
	2.3		2,30 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: AW Erd

Bauteilaufbau: AW Erd

U-Wert	0,35 W/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
C _i	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,00 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	-	Zone außen	Erdreich (s. o.)
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

Nord	1.44	1,44 m ²
Ost	1.71	1,71 m ²
Süd	1.44	1,44 m ²
West	1.71	1,71 m ²
Gesamtfläche		6,30 m ²

Bauteil: AW N

Bauteilaufbau: AW hinterlüftet

U-Wert	0,28 W/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
C _i	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,13 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	N	Zone außen	Außenluft
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

OG	31.43	31,43 m ²
EG	11.36	11,36 m ²
Küche	11.96	11,96 m ²
AT N	(Siehe opake Bauteile)	-2,30 m ²
FE AW N	(Siehe transparente Bauteile)	-6,04 m ²
Gesamtfläche		46,41 m ²

Bauteil: AW N Anbau gg unbeheizt

Bauteilaufbau: AW zu unbeheizt

U-Wert	0,35 W/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
C _i	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,13 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	-	Zone außen	unbeheizt (F _x = 0,5)
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

WC/Garderobe	7.33	7,33 m ²
Heizraum	8.81	8,81 m ²
Vorrat	8.76	8,76 m ²
AT gg unbeheizt	(Siehe opake Bauteile)	-5,80 m ²
Gesamtfläche		19,10 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: AW O

Bauteilaufbau: AW hinterlüftet

U-Wert	0,28 W/m ² K	Ca	0,00 Wh/K
Ci	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,13 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	O	Zone außen	Außenluft
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

OG	19.64	19,64 m ²
EG	24.33	24,33 m ²
Anbau	10.05	10,05 m ²
FE AW O	(Siehe transparente Bauteile)	-7,50 m ²
Gesamtfläche		46,52 m ²

Bauteil: AW S 75°

Bauteilaufbau: AW hinterlüftet

U-Wert	0,28 W/m ² K	Ca	0,00 Wh/K
Ci	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,13 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	75,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	S	Zone außen	Außenluft
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

OG 75°	55.36	55,36 m ²
EG 75°	15.51	15,51 m ²
FE AW S 75°	(Siehe transparente Bauteile)	-23,21 m ²
Gesamtfläche		47,66 m ²

Bauteil: AW S 90°

Bauteilaufbau: AW hinterlüftet

U-Wert	0,28 W/m ² K	Ca	0,00 Wh/K
Ci	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,13 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	S	Zone außen	Außenluft
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

Büro	26.5	26,50 m ²
EG 90° (Sockel)	2.27	2,27 m ²
Anbau	4.61	4,61 m ²
FE AW S 90°	(Siehe transparente Bauteile)	-11,83 m ²
Gesamtfläche		21,55 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: AW W

Bauteilaufbau: AW hinterlüftet

U-Wert	0,28 W/m ² K	Ca	0,00 Wh/K
Ci	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,13 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	W	Zone außen	Außenluft
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

OG	20.03	20,03 m ²
EG	22.07	22,07 m ²
Anbau	10.78	10,78 m ²
Büro	1.15	1,15 m ²
FE W	(Siehe transparente Bauteile)	-17,59 m ²
Gesamtfläche		36,44 m ²

Bauteil: BP

Bauteilaufbau: BP

U-Wert	0,35 W/m ² K	Ca	0,00 Wh/K
Ci	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,00 m ² K/W
R _{si}	0,17 m ² K/W	Neigung	180,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	-	Zone außen	Erreich (s. o.)
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

Wohnen	113.14+23.69+3.79	140,62 m ²
Heizraum	9.8	9,80 m ²
Gesamtfläche		150,42 m ²

Bauteil: DA

Bauteilaufbau: DA

U-Wert	0,20 W/m ² K	Ca	0,00 Wh/K
Ci	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,04 m ² K/W
R _{si}	0,10 m ² K/W	Neigung	0,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	horizontal	Zone außen	Außenluft
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

Hauptdach	88.14	88,14 m ²
WC/Garderobe	7.82	7,82 m ²
Heizraum	9.4	9,40 m ²
Vorrat/Küche	17.19+5.27	22,46 m ²
Büro	7.3	7,30 m ²
Gesamtfläche		135,12 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

A.1.2 Übersicht der transparenten Bauteile

Fenster: FE AW N

Fensteraufbau: FE

Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	1,30 W/(m ² K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s, Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Flächen-Berechnung:			
EG	1.09		1,09 m ²
OG	0.7		0,70 m ²
	2.68		2,68 m ²
	1.57		1,57 m ²
Gesamtfläche			6,04 m ²

Fenster: FE AW O

Fensteraufbau: FE

Orientierung	O	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	1,30 W/(m ² K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s, Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Flächen-Berechnung:			
EG	2.17+0.14		2,31 m ²
	0.25		0,25 m ²
Anbau	0.25		0,25 m ²
	0.25		0,25 m ²
OG	3.06		3,06 m ²
	0.1+1.28		1,38 m ²
Gesamtfläche			7,50 m ²

Fenster: FE AW S 90°

Fensteraufbau: FE

Orientierung	S	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	1,30 W/(m ² K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	nach Lufttemperatur (s. o.)
Verschattung $F_{s, Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Flächen-Berechnung:			
EG	1.35		1,35 m ²
	4.84		4,84 m ²
	4.84		4,84 m ²
Anbau	0.8		0,80 m ²
Gesamtfläche			11,83 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Fenster: FE AW S 75°

Fensteraufbau: FE

Orientierung	S	Neigung	75,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	1,30 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	nach Lufttemperatur (s. o.)
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Flächen-Berechnung:			
EG	5.06		5,06 m²
OG	6.05		6,05 m²
	6.05		6,05 m²
	6.05		6,05 m²
Gesamtfläche			23,21 m²

Fenster: FE W

Fensteraufbau: FE

Orientierung	W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	1,30 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Flächen-Berechnung:			
EG	6.05		6,05 m²
	1.59+0.86		2,45 m²
	2.17+0.14		2,31 m²
Anbau	2.34		2,34 m²
OG	1.28+0.1		1,38 m²
	3.06		3,06 m²
Gesamtfläche			17,59 m²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

A.2 Einfamilienhaus im Energiestandard KfW-EH 40

Hinweise zu den Angaben für die Bauteile:

- für alle Bauteile werden Wärmebrücken über einen Zuschlag auf den U-Wert des Bauteils ΔU_{WB} von 0,0275 W/(m²K) berücksichtigt
- opake Bauteile mit Zone außen „unbeheizt“: der jeweilige Temperatur-Korrekturfaktor F_x zu Berechnung der äußeren Temperatur wird angegeben, s. a. Gl. (13)
- opake Bauteile mit Zone außen „Erdreich“: die monatliche virtuelle Temperatur des Erdreichs wurde nach DIN EN ISO 13370:2008-04 berechnet:

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Erdreich-Temp. [°C]	10,33	10,62	11,51	12,94	14,50	15,32	16,06	15,93	14,56	13,03	11,32	10,30

- transparente Bauteile mit Sonnenschutz „nach Lufttemperatur“: sobald die Lufttemperatur der Zone 24 °C übersteigt, wird ein Abminderungsfaktor für den Sonnenschutz von 0,3 für die jeweiligen Bauteile angesetzt

A.2.1 Übersicht der opaken Bauteile

Bauteil: AT gg unbeheizt

Bauteilaufbau: AT zu unbeheizt

U-Wert	0,99 W/m ² K		
C_i	0,00 Wh/m ² K	C_a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R_{si}	0,13 m ² K/W	R_{se}	0,13 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	unbeheizt ($F_x = 0,5$)

Flächen-Berechnung:

Heizraum	4,02	4,02 m ²
Vorratsraum	1,78	1,78 m ²
Gesamtfläche		5,80 m ²

Bauteil: AT N

Bauteilaufbau: AT

U-Wert	0,99 W/m ² K		
C_i	0,00 Wh/m ² K	C_a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R_{si}	0,13 m ² K/W	R_{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

2.3

2,30 m²

Bauteil: AW Erd

Bauteilaufbau: AW Erd

U-Wert	0,19 W/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
C _i	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,00 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	-	Zone außen	Erreich (s. o.)
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

Nord	1.44	1,44 m ²
Ost	1.71	1,71 m ²
Süd	1.44	1,44 m ²
West	1.71	1,71 m ²
Gesamtfläche		6,30 m ²

Bauteil: AW N

Bauteilaufbau: AW hinterlüftet

U-Wert	0,15 W/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
C _i	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,13 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	N	Zone außen	Außenluft
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

OG	31.43	31,43 m ²
EG	11.36	11,36 m ²
Küche	11.96	11,96 m ²
AT N	(Siehe opake Bauteile)	-2,30 m ²
FE AW N	(Siehe transparente Bauteile)	-6,04 m ²
Gesamtfläche		46,41 m ²

Bauteil: AW N Anbau gg unbeheizt

Bauteilaufbau: AW zu unbeheizt

U-Wert	0,19 W/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
C _i	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,13 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	-	Zone außen	unbeheizt (F _x = 0,5)
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

WC/Garberobe	7.33	7,33 m ²
Heizraum	8.81	8,81 m ²
Vorrat	8.76	8,76 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

AT gg unbeheizt	(Siehe opake Bauteile)	-5,80 m ²
Gesamtfläche		19,10 m ²

Bauteil: AW O

Bauteilaufbau: AW hinterlüftet

U-Wert	0,15 W/m ² K		
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,13 m ² K/W
Orientierung	O	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

OG	19.64	19,64 m ²
EG	24.33	24,33 m ²
Anbau	10.05	10,05 m ²
FE AW O	(Siehe transparente Bauteile)	-7,50 m ²
Gesamtfläche		46,52 m ²

Bauteil: AW S 75°

Bauteilaufbau: AW hinterlüftet

U-Wert	0,15 W/m ² K		
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,13 m ² K/W
Orientierung	S	Neigung	75,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

OG 75°	55.36	55,36 m ²
EG 75°	15.51	15,51 m ²
FE AW S 75°	(Siehe transparente Bauteile)	-23,21 m ²
Gesamtfläche		47,66 m ²

Bauteil: AW S 90°

Bauteilaufbau: AW hinterlüftet

U-Wert	0,15 W/m ² K		
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,13 m ² K/W
Orientierung	S	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Büro	26.5	26,50 m ²
EG 90° (Sockel)	2.27	2,27 m ²
Anbau	4.61	4,61 m ²
FE AW S 90°	(Siehe transparente Bauteile)	-11,83 m ²
Gesamtfläche		21,55 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: AW W

Bauteilaufbau: AW hinterlüftet

U-Wert	0,15 W/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
C _i	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,13 m ² K/W
R _{si}	0,13 m ² K/W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	W	Zone außen	Außenluft
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

OG	20.03	20,03 m ²
EG	22.07	22,07 m ²
Anbau	10.78	10,78 m ²
Büro	1.15	1,15 m ²
FE W	(Siehe transparente Bauteile)	-17,59 m ²
Gesamtfläche		36,44 m ²

Bauteil: BP

Bauteilaufbau: BP

U-Wert	0,19 W/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
C _i	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,00 m ² K/W
R _{si}	0,17 m ² K/W	Neigung	180,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	-	Zone außen	Erreich (s. o.)
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

Wohnen	113.14+23.69+3.79	140,62 m ²
Heizraum	9.8	9,80 m ²
Gesamtfläche		150,42 m ²

Bauteil: DA

Bauteilaufbau: DA

U-Wert	0,11 W/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
C _i	0,00 Wh/m ² K	Abstrahlung ε	80,0 %
Absorption α	50,0 %	R _{se}	0,04 m ² K/W
R _{si}	0,10 m ² K/W	Neigung	0,0° gegen d. Horizontale
Orientierung	horizontal	Zone außen	Außenluft
Zone innen	Wohnbereich		

Flächen-Berechnung:

Hauptdach	88.14	88,14 m ²
WC/Garderobe	7.82	7,82 m ²
Heizraum	9.4	9,40 m ²
Vorrat/Küche	17.19+5.27	22,46 m ²
Büro	7.3	7,30 m ²
Gesamtfläche		135,12 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

A.2.2 Übersicht der transparenten Bauteile

Fenster: FE AW N

Fensteraufbau: FE

Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	0,71 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s, Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Flächen-Berechnung:			
EG	1.09		1,09 m²
OG	0.7		0,70 m²
	2.68		2,68 m²
	1.57		1,57 m²
Gesamtfläche			6,04 m²

Fenster: FE AW O

Fensteraufbau: FE

Orientierung	O	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	0,71 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s, Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Flächen-Berechnung:			
EG	2.17+0.14		2,31 m²
	0.25		0,25 m²
Anbau	0.25		0,25 m²
	0.25		0,25 m²
OG	3.06		3,06 m²
	0.1+1.28		1,38 m²
Gesamtfläche			7,50 m²

Fenster: FE AW S 75°

Fensteraufbau: FE

Orientierung	S	Neigung	75,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	0,71 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	nach Lufttemperatur (s. o.)
Verschattung $F_{s, Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Flächen-Berechnung:			
EG	5.06		5,06 m²
OG	6.05		6,05 m²
	6.05		6,05 m²
	6.05		6,05 m²
Gesamtfläche			23,21 m²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Fenster: FE AW S 90°

Fensteraufbau: FE

Orientierung	S	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	0,71 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_f	0,60	Sonnenschutz F_c	nach Lufttemperatur (s. o.)
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Flächen-Berechnung:			
EG	1.35		1,35 m²
	4.84		4,84 m²
	4.84		4,84 m²
Anbau	0.8		0,80 m²
Gesamtfläche			11,83 m²

Fenster: FE W

Fensteraufbau: FE

Orientierung	W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	0,71 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_f	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Flächen-Berechnung:			
EG	6.05		6,05 m²
	1.59+0.86		2,45 m²
	2.17+0.14		2,31 m²
Anbau	2.34		2,34 m²
OG	1.28+0.1		1,38 m²
	3.06		3,06 m²
Gesamtfläche			17,59 m²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

A.3 Mehrfamilienhaus im Energiestandard EnEV-Ref

Hinweise zu den Angaben für die Bauteile:

- für alle Bauteile werden Wärmebrücken über einen Zuschlag auf den U-Wert des Bauteils ΔU_{WB} von 0,05 W/(m²K) berücksichtigt
- opake Bauteile mit Zone außen „unbeheizt“, „Erdreich“ oder „Wohnbereich“: der jeweilige Temperatur-Korrekturfaktor F_x zu Berechnung der äußeren Temperatur wird angegeben, s. a. Gl. (13)
- transparente Bauteile mit Sonnenschutz „nach Lufttemperatur“: sobald die Lufttemperatur der Zone 24 °C übersteigt, wird ein Abminderungsfaktor für den Sonnenschutz von 0,3 für die jeweiligen Bauteile angesetzt

A.3.1 Übersicht der opaken Bauteile

Bauteil: AW Kellerabgang

Bauteilaufbau: AW 03 Außenwand Kellerabgang

U-Wert	0,35 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,00 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Erdreich ($F_x = 0,60$)
Fläche	18,5 m ²		

Bauteil: AW Nord

Bauteilaufbau: AW 01 Außenwand

U-Wert	0,28 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche		136,19 m ²
Eingangstüre	(Siehe opake Bauteile)	-4,57 m ²
AW Nord	(Siehe transparente Bauteile)	-33,43 m ²
Gesamtfläche		98,19 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: AW Nord Erker

Bauteilaufbau: AW 02 Außenwand Erker

U-Wert	0,28 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche		41,11 m ²
AW Nord Erker	(Siehe transparente Bauteile)	-11,59 m ²
Gesamtfläche		29,52 m ²

Bauteil: AW Ost

Bauteilaufbau: AW 01 Außenwand

U-Wert	0,28 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	O	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche		127,86 m ²
AW Ost	(Siehe transparente Bauteile)	-25,59 m ²
Gesamtfläche		102,27 m ²

Bauteil: AW Ost Erker

Bauteilaufbau: AW 02 Außenwand Erker

U-Wert	0,28 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	O	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Fläche	10,4 m ²
--------	---------------------

Bauteil: AW Süd

Bauteilaufbau: AW 01 Außenwand

U-Wert	0,28 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	S	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche		178,22 m ²
AW Süd	(Siehe transparente Bauteile)	-66,15 m ²
Gesamtfläche		112,07 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: AW West

Bauteilaufbau: AW 01 Außenwand

U-Wert	0,28 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche	5,46 m ²
AW West	(Siehe transparente Bauteile) -4,82 m ²
Gesamtfläche	0,64 m ²

Bauteil: AW West Erker

Bauteilaufbau: AW 02 Außenwand Erker

U-Wert	0,28 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Fläche 10,4 m²

Bauteil: AW Wohnungstrennwand

Bauteilaufbau: AW 04 Wohnungstrennwand

U-Wert	0,62 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,13 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Wohnbereich (F _x = 0,00)

Fläche 122,4 m²

Bauteil: Bodenplatte

Bauteilaufbau: BP 01 Keller Bodenplatte

U-Wert	0,35 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,17 m ² K/W	R _{se}	0,00 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Erdreich (F _x = 0,60)

Fläche 21,8 m²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: DA Dachaufgang

Bauteilaufbau: DA 02 Dach Dachaufgang

U-Wert	0,20 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,10 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	N	Neigung	24,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche		16,44 m ²
DA Dachaufgang	(Siehe transparente Bauteile)	-1,45 m ²
Gesamtfläche		14,99 m ²

Bauteil: DA Eingang

Bauteilaufbau: DA 01 Dach Eingang

U-Wert	0,20 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,10 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	N	Neigung	12,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Fläche	6,0 m ²
--------	--------------------

Bauteil: DE Decke gg. kalten Dachraum

Bauteilaufbau: DE 02 Decke gg. kalten Dachraum

U-Wert	0,20 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,10 m ² K/W	R _{se}	0,10 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	180,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	unbeheizt ($F_x = 0,80$)

Fläche	253,2 m ²
--------	----------------------

Bauteil: DE Erker unten

Bauteilaufbau: DE 01 Decke gg. Außenluft unten

U-Wert	0,28 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,17 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Fläche	5,0 m ²
--------	--------------------

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: Eingangstüre

Bauteilaufbau: AT Eingangstüre

U-Wert	1,80 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	4,6 m ²		

Bauteil: IW Dachaufgang

Bauteilaufbau: IW 01 Innenwand Dachaufgang

U-Wert	0,35 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,13 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	unbeheizt (F _x = 0,50)
Fläche	26,1 m ²		

Bauteil: IW Kellerabgang

Bauteilaufbau: IW 02 Kellerinnenwand gg. Unbeheizt

U-Wert	0,35 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,13 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	unbeheizt (F _x = 0,65)
Fläche	40,9 m ²		

Bauteil: Kellerdecke

Bauteilaufbau: KD 01 Kellerdecke

U-Wert	0,35 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,17 m ² K/W	R _{se}	0,17 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	unbeheizt (F _x = 0,65)
Fläche	247,1 m ²		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

A.3.2 Übersicht der transparenten Bauteile

Fenster: AW Nord

Fensteraufbau: Fenster Fassade

Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	1,30 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	33,43 m²		

Fenster: AW Nord Erker

Fensteraufbau: Fenster Fassade

Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	1,30 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	11,59 m²		

Fenster: AW Ost

Fensteraufbau: Fenster Fassade

Orientierung	O	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	1,30 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	25,59 m²		

Fenster: AW West

Fensteraufbau: Fenster Fassade

Orientierung	W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	1,30 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	4,82 m²		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Fenster: AW Süd

Fensteraufbau: Fenster Fassade

Orientierung	S	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	1,30 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	nach Lufttemperatur (s. o.)
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	66,15 m²		

Fenster: DA Dachaufgang

Fensteraufbau: Dachflächenfenster

Orientierung	N	Neigung	24,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	1,40 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	1,45 m²		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

A.4 Mehrfamilienhaus im Energiestandard KfW-EH 40

Hinweise zu den Angaben für die Bauteile:

- für alle Bauteile werden Wärmebrücken über einen Zuschlag auf den U-Wert des Bauteils ΔU_{WB} von 0,05 W/(m²K) berücksichtigt
- opake Bauteile mit Zone außen „unbeheizt“, „Erdreich“ oder „Wohnbereich“: der jeweilige Temperatur-Korrekturfaktor F_x zu Berechnung der äußeren Temperatur wird angegeben, s. a. Gl. (13)
- transparente Bauteile mit Sonnenschutz „nach Lufttemperatur“: sobald die Lufttemperatur der Zone 24 °C übersteigt, wird ein Abminderungsfaktor für den Sonnenschutz von 0,3 für die jeweiligen Bauteile angesetzt

A.4.1 Übersicht der opaken Bauteile

Bauteil: AW Kellerabgang

Bauteilaufbau: AW 03 Außenwand Kellerabgang

U-Wert	0,17 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,00 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Erdreich ($F_x = 0,60$)
Fläche	18,5 m ²		

Bauteil: DA Eingang

Bauteilaufbau: DA 01 Dach Eingang

U-Wert	0,10 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,10 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	N	Neigung	12,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	6,0 m ²		

Bauteil: DE Decke gg. kalten Dachraum

Bauteilaufbau: DE 02 Decke gg. kalten Dachraum

U-Wert	0,10 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,10 m ² K/W	R _{se}	0,10 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	180,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	unbeheizt ($F_x = 0,80$)
Fläche	253,2 m ²		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: DA Dachaufgang

Bauteilaufbau: DA 02 Dach Dachaufgang

U-Wert	0,10 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,10 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	N	Neigung	24,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche	16,44 m ²
DA Dachaufgang (Siehe transparente Bauteile)	-1,45 m ²
Gesamtfläche	14,99 m ²

Bauteil: DE Erker unten

Bauteilaufbau: DE 01 Decke gg Außenluft unten

U-Wert	0,14 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,17 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Fläche 5,0 m²

Bauteil: IW Dachaufgang

Bauteilaufbau: IW 01 Innenwand Dachaufgang

U-Wert	0,17 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,13 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	unbeheizt (F _x = 0,50)

Fläche 26,1 m²

Bauteil: Eingangstüre

Bauteilaufbau: AT Eingangstüre

U-Wert	0,87 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Fläche 4,6 m²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: Bodenplatte

Bauteilaufbau: BP 01 Keller Bodenplatte

U-Wert	0,17 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,17 m ² K/W	R _{se}	0,00 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Erdreich (F _x = 0,60)
Fläche	21,8 m ²		

Bauteil: IW Kellerabgang

Bauteilaufbau: IW 02 Kellerinnenwand gg. Unbeheizt

U-Wert	0,17 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,13 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	unbeheizt (F _x = 0,65)
Fläche	40,9 m ²		

Bauteil: AW Wohnungstrennwand

Bauteilaufbau: AW 04 Wohnungstrennwand

U-Wert	0,62 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,13 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Wohnbereich (F _x = 0,00)
Fläche	122,4 m ²		

Bauteil: AW West

Bauteilaufbau: AW 01 Außenwand

U-Wert	0,14 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche		5,46 m ²
AW West	(Siehe transparente Bauteile)	-4,82 m ²
Gesamtfläche		0,64 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: AW Nord

Bauteilaufbau: AW 01 Außenwand

U-Wert	0,14 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche		136,19 m ²
Eingangstüre	(Siehe opake Bauteile)	-4,57 m ²
AW Nord	(Siehe transparente Bauteile)	-33,43 m ²
Gesamtfläche		98,19 m ²

Bauteil: AW Nord Erker

Bauteilaufbau: AW 02 Außenwand Erker

U-Wert	0,14 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche		41,11 m ²
AW Nord Erker	(Siehe transparente Bauteile)	-11,59 m ²
Gesamtfläche		29,52 m ²

Bauteil: AW West Erker

Bauteilaufbau: AW 02 Außenwand Erker

U-Wert	0,14 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Fläche 10,4 m²

Bauteil: AW Ost

Bauteilaufbau: AW 01 Außenwand

U-Wert	0,14 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	O	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche		127,86 m ²
AW Ost	(Siehe transparente Bauteile)	-25,59 m ²
Gesamtfläche		102,27 m ²

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Bauteil: AW Süd

Bauteilaufbau: AW 01 Außenwand

U-Wert	0,14 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	S	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Flächen-Berechnung:

Brutto-Fläche		178,22 m ²
AW Süd	(Siehe transparente Bauteile)	-66,15 m ²
Gesamtfläche		112,07 m ²

Bauteil: AW Ost Erker

Bauteilaufbau: AW 02 Außenwand Erker

U-Wert	0,14 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,13 m ² K/W	R _{se}	0,04 m ² K/W
Orientierung	O	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft

Fläche	10,4 m ²
--------	---------------------

Bauteil: Kellerdecke

Bauteilaufbau: KD 01 Kellerdecke

U-Wert	0,17 W/m ² K	Verschattungsfaktor	0,90
C _i	0,00 Wh/m ² K	C _a	0,00 Wh/K
Absorption α	50,0 %	Abstrahlung ε	80,0 %
R _{si}	0,17 m ² K/W	R _{se}	0,17 m ² K/W
Orientierung	-	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	unbeheizt ($F_x = 0,65$)

Fläche	247,1 m ²
--------	----------------------

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

A.4.2 Übersicht der transparenten Bauteile

Fenster: AW Nord

Fensteraufbau: Fenster Fassade

Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	0,63 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	33,43 m²		

Fenster: AW Nord Erker

Fensteraufbau: Fenster Fassade

Orientierung	N	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	0,63 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	11,59 m²		

Fenster: AW Ost

Fensteraufbau: Fenster Fassade

Orientierung	O	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	0,63 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	25,59 m²		

Fenster: AW West

Fensteraufbau: Fenster Fassade

Orientierung	W	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	0,63 W/(m²K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	4,82 m²		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Fenster: AW Süd

Fensteraufbau: Fenster Fassade

Orientierung	S	Neigung	90,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	0,63 W/(m ² K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	nach Lufttemperatur (s. o.)
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	66,15 m ²		

Fenster: DA Dachaufgang

Fensteraufbau: Dachflächenfenster

Orientierung	N	Neigung	24,0° gegen d. Horizontale
Rahmenanteil	30,0 %		
U_g	keine Angabe	U_w	0,66 W/(m ² K)
Energiedurchlassgrad g_r	0,60	Sonnenschutz F_c	kein Sonnenschutz
Verschattung $F_{s,Winter}$	0,90		
Abminderungsfaktor F_v	1,00		
Zone innen	Wohnbereich	Zone außen	Außenluft
Fläche	1,45 m ²		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

B Berechnete Wetterdaten (informativ)

B.1 Größen aus dem Testreferenzjahr-Datensatz 2011

Tabelle 52: Monatliche Mittelwerte verschiedener Größen bestimmt aus dem Wetterdatensatz „Testreferenzjahr-Datensatz 2011“

Monat	Außentemperatur	Relative Feuchte der Außenluft	Windgeschwindigkeit	Direkte Bestrahlungsstärke auf horizontale Ebene	Diffuse Bestrahlungsstärke auf horizontale Ebene
	[°C]	[%]	[m/s]	[W/m²]	[W/m²]
Jan	1,0	88,8	4,5	10,6	18,3
Feb	1,9	89,0	4,3	11,7	32,5
Mrz	4,7	76,0	4,8	44,6	52,5
Apr	9,2	65,5	4,0	103,9	85,9
Mai	14,1	70,2	3,6	114,0	107,6
Jun	16,7	73,2	3,6	143,4	98,7
Jul	19,0	71,8	3,8	96,1	114,2
Aug	18,6	77,2	3,3	94,8	85,6
Sep	14,3	82,4	4,2	59,9	68,0
Okt	9,5	82,8	4,7	36,4	41,0
Nov	4,1	88,7	4,2	7,3	23,5
Dez	0,9	91,6	3,4	4,1	13,0

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 53: Monatliche Minimalwerte verschiedener Größen bestimmt aus dem Wetterdatensatz „Testreferenzjahr-Datensatz 2011“

Monat	Außentemperatur	Relative Feuchte der Außenluft	Windgeschwindigkeit	Direkte Bestrahlungsstärke auf horizontale Ebene	Diffuse Bestrahlungsstärke auf horizontale Ebene
	[°C]	[%]	[m/s]	[W/m²]	[W/m²]
Jan	-13,4	51,0	0,0	0,0	0,0
Feb	-8,8	45,0	0,0	0,0	0,0
Mrz	-5,5	15,0	0,0	0,0	0,0
Apr	-3,0	19,0	0,0	0,0	0,0
Mai	1,4	23,0	0,0	0,0	0,0
Jun	6,0	23,0	0,0	0,0	0,0
Jul	9,6	24,0	0,0	0,0	0,0
Aug	9,3	28,0	0,0	0,0	0,0
Sep	4,6	43,0	0,0	0,0	0,0
Okt	-0,9	45,0	0,0	0,0	0,0
Nov	-5,5	55,0	0,0	0,0	0,0
Dez	-10,3	63,0	0,0	0,0	0,0

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 54: Monatliche Maximalwerte verschiedener Größen bestimmt aus dem Wetterdatensatz „Testreferenzjahr-Datensatz 2011“

Monat	Außentemperatur	Relative Feuchte der Außenluft	Windgeschwindigkeit	Direkte Bestrahlungsstärke auf horizontale Ebene	Diffuse Bestrahlungsstärke auf horizontale Ebene
	[°C]	[%]	[m/s]	[W/m²]	[W/m²]
Jan	14,4	100,0	15,0	203,0	192,0
Feb	17,6	100,0	11,0	417,0	272,0
Mrz	18,8	100,0	14,0	589,0	347,0
Apr	22,1	100,0	11,0	703,0	439,0
Mai	29,6	100,0	9,0	758,0	458,0
Jun	27,5	100,0	10,0	803,0	517,0
Jul	33,7	100,0	10,0	769,0	478,0
Aug	35,4	100,0	10,0	636,0	442,0
Sep	28,0	100,0	10,0	572,0	422,0
Okt	23,5	100,0	11,0	433,0	250,0
Nov	13,5	100,0	10,0	275,0	217,0
Dez	13,4	100,0	11,0	183,0	133,0

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

B.2 Berechnete effektive Himmelstemperatur

Tabelle 55: Monatliche Werte der berechneten effektiven Himmelstemperatur

Monat	Mittelwerte	Minimalwerte	Maximalwerte
	[°C]	[°C]	[°C]
Jan	-8,9	-39,4	10,7
Feb	-3,5	-22,1	12,9
Mrz	-4,1	-29,7	13,8
Apr	-0,9	-26,1	15,2
Mai	6,1	-18,9	23,9
Jun	8,1	-8,8	23,2
Jul	12,4	-4,4	26,3
Aug	11,5	-4,2	27,7
Sep	7,1	-15,3	20,8
Okt	2,4	-20,5	16,3
Nov	-1,1	-22,5	10,4
Dez	-6,1	-24,1	8,9

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

B.3 Berechnete Bestrahlung

Tabelle 56: Monatliche Mittelwerte der hemisphärischen Bestrahlungsstärke auf unterschiedliche Ebenen.

Orientierung* [°]	0	0	90	90	180	180	270	270
Neigung [°]	45	90	45	90	45	90	45	90
	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]
Jan	61,3	64,1	26,8	20,7	14,4	10,8	29,1	22,8
Feb	59,1	50,8	39,9	28,9	26,9	19,4	40,6	29,3
Mrz	127,9	102,3	91,0	68,2	40,6	31,7	89,3	66,9
Apr	216,7	148,3	164,6	119,1	83,5	54,4	176,5	127,7
Mai	221,4	134,0	190,2	131,3	131,6	72,5	196,3	136,8
Jun	224,8	123,8	208,5	144,5	160,3	83,0	213,2	147,4
Jul	195,9	114,1	181,2	127,0	144,7	80,6	189,5	134,6
Aug	195,0	127,8	159,3	111,6	91,2	55,2	157,4	109,9
Sep	162,5	125,8	113,8	81,0	52,8	40,7	115,4	82,9
Okt	122,6	110,5	63,2	44,9	31,1	24,6	77,8	58,8
Nov	45,4	41,6	27,3	19,7	19,5	14,0	29,9	22,3
Dez	30,6	30,8	16,3	12,2	10,8	7,8	16,0	12,0

* Orientierung: 0° = Süd, 90° = West, 180° = Nord, 270° = Ost

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 57: Monatliche Maximalwerte der hemisphärischen Bestrahlungsstärke auf unterschiedliche Ebenen.

Orientierung* [°]	0	0	90	90	180	180	270	270
Neigung [°]	45	90	45	90	45	90	45	90
	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]
Jan	816,6	919,9	423,1	507,0	141,3	105,9	428,0	457,9
Feb	1075,1	1026,2	567,3	564,5	230,6	161,2	639,8	635,4
Mrz	1065,7	890,8	834,0	853,1	298,1	205,9	827,5	825,3
Apr	1082,2	828,0	953,0	867,9	377,0	253,6	948,5	872,9
Mai	1064,2	713,2	940,8	856,1	422,4	316,7	970,4	874,0
Jun	1017,3	599,5	1021,1	869,0	480,2	627,4	992,4	842,3
Jul	1001,9	636,6	974,1	844,8	457,8	535,2	973,7	839,0
Aug	998,2	741,8	851,3	770,0	376,3	253,9	931,0	799,8
Sep	1034,2	850,4	797,0	730,4	331,0	239,6	775,1	771,6
Okt	954,3	897,8	682,2	736,3	206,8	146,9	702,3	679,3
Nov	831,1	844,9	447,2	447,7	161,4	117,1	471,8	502,4
Dez	747,4	850,6	339,9	337,0	120,1	81,8	354,7	359,7

* Orientierung: 0° = Süd, 90° = West, 180° = Nord, 270° = Ost

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

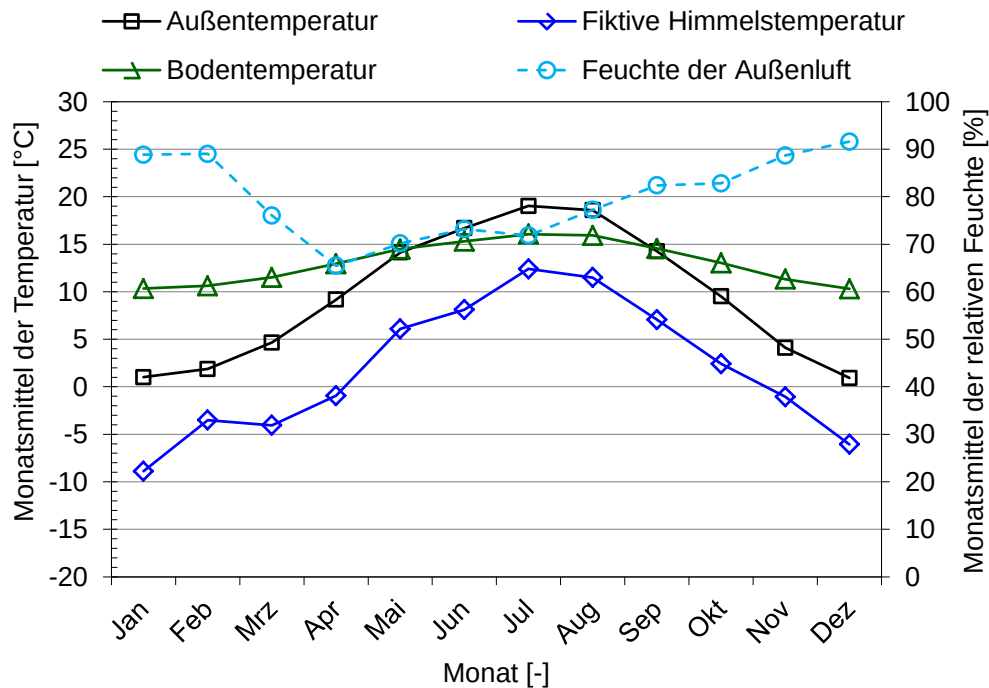


Abbildung 6: Monatsmittel verschiedener Temperaturen und der relativen Feuchte (Quelle: SWT)

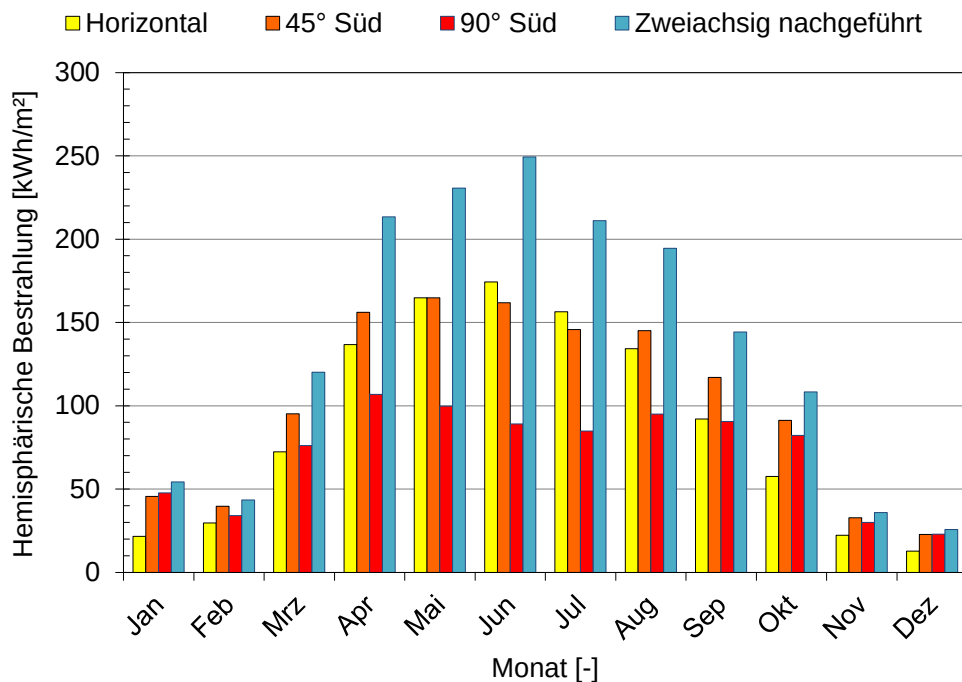


Abbildung 7: Monatssummen der hemisphärischen Bestrahlung auf unterschiedlichen Ebenen (Quelle: SWT)

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

C Berechnung zur Trinkwasser-Zapfung (informativ)

Für die Simulation mit TRNSYS wurde aus dem Bedarfsprofil für die Warmwasserbereitstellung der Massenstrom und die Zapfdauer für jede Trinkwasser-Zapfung berechnet. In Tabelle 58 und Tabelle 59 sind die berechneten Werte für die Zapfungen im Einfamilienhaus sowie in Tabelle 60 und Tabelle 61 für das Mehrfamilienhaus nach DIN V 18599 und DIN V 4701-10 gezeigt. Um die vorgegebene Nutzwärmeabgabe der Zapfungen unter Berücksichtigung der Stichleitung zu erreichen, wurde der jeweilige Massenstrom bzw. die Zapfdauer so angepasst, dass die Jahressummen der Nutzenergieabgabe an der Zapfstelle um maximal 1 % vom Vorgabewert abweichen. Da in der Simulation der Temperaturfühler zur Regelung der Vorlauftemperatur des Trinkwassers wie auch in der realen Anlage am Eingang zur Verteilerleitung des Trinkwasserstrangs lag, wurde die Soll-Vorlauftemperatur für alle Simulationen so angepasst, dass Zapftemperatur am Austritt der Stichleitung nach deren Spülung den vorgegebenen Wert aus der jeweiligen Norm erreichte.

Tabelle 58: Berechnete Massenströme und Dauer für die simulierten Trinkwasser-Zapfungen im EFH nach DIN V 18599.

Beginn der Zapfung	[h]	7,00	12,00	19,00
Anteil am Tagesbedarf	[-]	0,40	0,20	0,40
Nutzwärmebedarf für die Zapfung	[kWh]	2,43	1,21	2,43
Soll-Massenstrom	[kg/h]	595,45	595,45	595,45
Dauer der Zapfung an der Zapfstelle	[min]	5,27	2,63	5,27
Zeitschritte der Zapfung (1,5 min pro Zeitschritt)	[-]	4,00	2,00	4,00
Massenstrom (SIM)	[kg/h]	522,57	522,57	522,57
Zapfdauer Zapfstelle (SIM)	[min]	6,00	3,00	6,00
Zapfdauer inkl. Spülung der Stichleitung (SIM)	[min]	6,42	3,42	6,42
Massenstrom inkl. Spülung der Stichleitung (SIM)	[kg/h]	558,73	594,90	558,73
Ende der Zapfung (SIM)	[h]	7,100	12,050	19,100

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 59: Berechnete Massenströme und Dauer für die simulierten Trinkwasser-Zapfungen im EFH nach DIN V 4701-10.

Beginn der Zapfung	[h]	7,00	12,00	19,00
Anteil am Tagesbedarf	[-]	0,40	0,20	0,40
Nutzwärmebedarf für die Zapfung	[kWh]	3,17	1,59	3,17
Soll-Massenstrom	[kg/h]	595,45	595,45	595,45
Dauer der Zapfung an der Zapfstelle	[min]	6,88	3,44	6,88
Zeitschritte der Zapfung (1,5 min pro Zeitschritt)	[-]	5,00	2,00	5,00
Massenstrom (SIM)	[kg/h]	546,11	682,64	546,11
Zapfdauer Zapfstelle (SIM)	[min]	7,50	3,00	7,50
Zapfdauer inkl. Spülung der Stichleitung (SIM)	[min]	7,90	3,32	7,90
Massenstrom inkl. Spülung der Stichleitung (SIM)	[kg/h]	575,04	754,97	575,04
Ende der Zapfung (SIM)	[h]	7,125	12,050	19,125

Tabelle 60: Berechnete Massenströme und Dauer für die simulierten Trinkwasser-Zapfungen im MFH nach DIN V 18599.

Beginn der Zapfung	[h]	7,00	12,00	19,00
Anteil am Tagesbedarf	[-]	0,40	0,20	0,40
Nutzwärmebedarf für die Zapfung	[kWh]	10,17	5,08	10,17
Soll-Massenstrom	[kg/h]	1.190,90	1.190,90	1.190,90
Dauer der Zapfung an der Zapfstelle	[min]	11,03	5,51	11,03
Zeitschritte der Zapfung (1,5 min pro Zeitschritt)	[-]	8,00	4,00	8,00
Massenstrom (SIM)	[kg/h]	1.094,58	1.094,58	1.094,58
Zapfdauer Zapfstelle (SIM)	[min]	12,00	6,00	12,00
Zapfdauer inkl. Spülung der Stichleitung (SIM)	[min]	12,00	6,00	12,00
Massenstrom inkl. Spülung der Stichleitung (SIM)	[kg/h]	1.179,84	1.179,84	1.179,84
Ende der Zapfung (SIM)	[h]	7,200	12,100	19,200

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 61: Berechnete Massenströme und Dauer für die simulierten Trinkwasser-Zapfungen im MFH nach DIN V 4701-10.

Beginn der Zapfung	[h]	7,00	12,00	19,00
Anteil am Tagesbedarf	[-]	0,40	0,20	0,40
Nutzwärmebedarf für die Zapfung	[kWh]	9,55	4,78	9,55
Soll-Massenstrom	[kg/h]	1.190,90	1190,90	1.190,90
Dauer der Zapfung an der Zapfstelle	[min]	10,36	5,18	10,36
Zeitschritte der Zapfung (1,5 min pro Zeitschritt)	[-]	7,00	4,00	7,00
Massenstrom (SIM)	[kg/h]	1.174,79	1027,94	1.174,79
Zapfdauer Zapfstelle (SIM)	[min]	10,50	6,00	10,50
Zapfdauer inkl. Spülung der Stichleitung (SIM)	[min]	10,50	6,00	10,50
Massenstrom inkl. Spülung der Stichleitung (SIM)	[kg/h]	1.272,52	1.113,45	1.272,52
Ende der Zapfung (SIM)	[h]	7,175	12,100	19,175

D Wärmeverluste der gedämmten Rohrleitung im Solarkreis (informativ)

Zur Berechnung der Wärmeverluste der gedämmten Rohrleitung im Solarkreis wird in Anlehnung an [9] ein vereinfachter Ansatz verwendet, bei dem der Wärmeübergang an der Innenseite des Rohres sowie die Wärmeleitung durch das Rohr selbst vernachlässigt werden. So lässt sich nach Gleichung (15) in Abhängigkeit der Wärmeleitung der Dämmung und dem Wärmeübergang an der Außenseite der gedämmten Rohrleitung ein längenspezifischer Verlustwärmestrom beschreiben. In der Gleichung sind $\dot{Q}$ in [W] der Verlustwärmestrom, l in [m] die Länge der Rohrleitung, ϑ_i in [°C] die Temperatur des Fluides bzw. des Rohres, ϑ_{amb} in [°C] die Temperatur der Umgebungsluft, λ in [W/(m K)] die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung, d_i in [m] der Außendurchmesser des Rohres, d_a in [m] der Durchmesser der gedämmten Rohrleitung und α_a in [W/(m² K)] der Wärmeübergangskoeffizient an der Außenseite der gedämmten Rohrleitung.

$$\frac{\dot{Q}}{l} = \frac{\pi \cdot (\vartheta_i - \vartheta_{amb})}{1 / (2 \cdot \lambda) \cdot \ln(d_a / d_i) + 1 / (\alpha_a \cdot d_a)} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}} \right] \quad (15)$$

Nach [9] lässt sich der Wärmeübergangskoeffizient α_a an der Außenseite der gedämmten Rohrleitung für ruhende Umgebungsluft nach folgender Gleichung (16) näherungsweise beschreiben. ϑ_a in [°C] ist die Temperatur an der Außenseite der gedämmten Rohrleitung und ϑ_{amb} in [°C] die Temperatur der Umgebungsluft.

$$\alpha_a = 8,00 + 0,04 \cdot (\vartheta_a - \vartheta_{amb}) \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \right] \quad (16)$$

Die Temperatur an der Außenseite der Dämmung muss während der Berechnung iterativ bestimmt werden. Für die Berechnungen wurde ein Jahresmittelwert der Temperaturdifferenz zwischen Fluid im Solarkreis und der Umgebungsluft von 25 K angenommen. Dividiert man den iterativ ermittelten längenspezifischen Verlustwärmestrom durch diese Temperaturdifferenz, so ergibt sich ein längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient in [W/(m K)] (Begrifflichkeit nach DIN V 18599 und DIN V 4701-10) bzw. eine längenspezifische Wärmeverlustrate. In Tabelle 62 sind die so berechneten Werte für Rohrleitungen nach DIN EN 12977-2 (siehe [7] Tabelle A.2) dargestellt. Die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung beträgt in allen Fällen 0,04 W/(m K).

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 62: Berechnete Wärmedurchgangskoeffizienten der Rohrleitung im Solar-
kreis für Maße von Rohr und Dämmung in Anlehnung an
DIN EN 12977-2.

Volumenstrom im Solarkreislauf	Rohraußendurch- messer	Dicke der Wärme- dämmung	Längenspezifischer Wärmedurchgangs- koeffizient
[l/h]	[m]	[m]	[W/(m K)]
< 90	0,010	0,020	0,139
90 bis 140	0,012	0,020	0,152
140 bis 235	0,015	0,020	0,170
235 bis 405	0,018	0,020	0,188
405 bis 565	0,022	0,020	0,210
565 bis 880	0,028	0,030	0,200
880 bis 1445	0,035	0,030	0,228
1445 bis 2200	0,042	0,039	0,222
2200 bis 3700	0,054	0,051	0,224
3700 bis 5300	0,064	0,061	0,226

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

E Ergänzende Informationen zu den verwendeten TRNSYS-Types (informativ)

Nachfolgend werden die wichtigsten Types, welche für die TRNSYS-Simulationen verwendet wurden, sowie deren Parameter aufgelistet. Alle Parameter gelten für das Validierungsbeispiel „**Solaranlage ST2a**“ (EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 30,21 %). Alle Parameter sind in den für die jeweiligen Types standardmäßig vorgegebenen Einheiten angegeben. Das Dezimaltrennzeichen für die in diesem Abschnitt angegebenen Zahlenwerte ist der Punkt.

E.1 Gebäude

GEBÄUDE	
Type-Info	type 56 Multi-Zone Building
Logical unit for building description file (.bui)	564
Star network calculation switch	0
Weighting factor for operative temperature	0.50

E.2 Anlagentechnik

E.2.1 Solarthermischer Wärmeerzeuger

SONNENKOLLEKTOR	
Type-Info	type 132 (non-standard) CEN QDT (Quasi Dynamic Collector Test) Model (ähnlich zu type 832 des Instituts für Solartechnik, Rapperswil)
Area	32.0
eta0	0.77
Kdiff	0.82
k1	3.50
k2	0.02
Uw	0
Ur	0
Ceff	6400.0
bw	0
Cp	3.68

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Beta	75.00
CMode	1
WF	0
RF	0
Omode	1
b0	0.10
ROHRLEITUNG PRIMÄRKREIS	
Type-Info	type 31 Pipe/Duct
Inside diameter	0.026
Pipe length	35.0
Loss coefficient	8.814
Fluid density	1020.00
Fluid specific heat	3.68
Initial fluid temperature	10.0
WÄRMEÜBERTRAGER	
Type-Info	type 5b Counter Flow Heat Exchanger: Counter Flow
Counter flow mode	2
Specific heat of source side fluid	3.68
Specific heat of load side fluid	4.181
ROHRLEITUNGEN SEKUNDÄRKREIS	
Type-Info	type 31 Pipe/Duct
Inside diameter	0.026
Pipe length	5.0
Loss coefficient	8.814
Fluid density	992.42
Fluid specific heat	4.181
Initial fluid temperature	10.0
HYSTERESE-REGLER	
Type-Info	type 2b ON/OFF Differential Controller
No. of oscillations	5
High limit cut-out	999.0

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

E.2.2 Zusatzwärmeerzeuger

WÄRMEERZEUGER	
Type-Info	type 6 Auxiliary Heater
Maximum heating rate	68400.0
Specific heat of fluid	4.181
Overall loss coefficient for heater during operation	0.00
Efficiency of auxiliary heater	1.0
HYSTERESE-REGLER	
Type-Info	type 2b ON/OFF Differential Controller
No. of oscillations	5
High limit cut-out	999.0

E.2.3 Wärmespeicher

WARMWASSERSPEICHER	
Type-Info	type 340 (non-standard) Multiport Storage Model
storage height	3.221
storage volume	4.20
specific heat capacity of the fluid in the store	4.181
density of the fluid in the store	992.42
effective vertical thermal conductivity in the store	2.245
not used	0
initial temperature of the whole store	30.0
heat loss capacity rate through bottom of the store	0
heat loss capacity rate through the top of the store	0
dz1 if dz1>0: relative length of the first zone with (UA) _{s,a1} if dz1<0 and (P8,9,12,...16)=0 : (UA) _{s,a1} is used for the whole store	-1.00
(UA) _{s,a1} heat loss capacity rate of the store through the first zone (dz1) of the store mantle	20.084
dz2 relative length of second zone with (UA) _{s,a2}	0.00
(UA) _{s,a2} heat loss capacity rate of the store through the first zone (dz2) of the store mantle	0.00
dz3 relative length of second zone with (UA) _{s,a3}	0.00

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

WARMWASSERSPEICHER (FORTS.)	
(UA) _{s,a3} heat loss capacity rate of the store through the first zone (dz3) of the store mantle	0.00
(UA) _{s,a4} heat loss capacity rate from the store through the zone of the store-mantle with the relative length $dz4=1-dz1-dz2-dz3$	0.00
rel. height of inlet position from doubleport -1	0.30
rel. height of outlet position from doubleport-1	0.99
additional parameter of double port (not used)-1	0
csdl=1 for stratified charging with doubleport-1	1
rel. height of inlet position from doubleport -2	0.95
rel. height of outlet position from doubleport-2	0.60
additional parameter of double port (not used)-2	0
csdl=1 for stratified charging with doubleport-2	0
rel. height of inlet position from doubleport -3	-1
rel. height of outlet position from doubleport-3	-1
additional parameter of double port (not used)-3	0
csdl=1 for stratified charging with doubleport-3	0
rel. height of inlet position from doubleport -4	0.90
rel. height of outlet position from doubleport-4	0.05
additional parameter of double port (not used)-4	0
csdl=1 for stratified charging with doubleport-4	1
rel. height of inlet position from doubleport -5	-1
rel. height of outlet position from doubleport-5	-1
additional parameter of double port (not used)-5	0
csdl=1 for stratified charging with doubleport-5	0
rel. height of inlet position from doubleport -6	-1
rel. height of outlet position from doubleport-6	-1
additional parameter of double port (not used)-6	0
csdl=1 for stratified charging with doubleport-6	0
rel. height of inlet position from doubleport -7	0.05
rel. height of outlet position from doubleport-7	0.87
additional parameter of double port (not used)-7	0
csdl=1 for stratified charging with doubleport-7	1
rel. height of inlet position from doubleport -8	-1
rel. height of outlet position from doubleport-8	-1

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

WARMWASSERSPEICHER (FORTS.)	
additional parameter of double port (not used)-8	0
csdl=1 for stratified charging with doubleport-8	0
rel. height of inlet position from doubleport -9	-1
rel. height of outlet position from doubleport-9	-1
additional parameter of double port (not used)-9	0
csdl=1 for stratified charging with doubleport-9	0
rel. height of inlet position from doubleport -10	-1
rel. height of outlet position from doubleport-10	-1
additional parameter of double port (not used)-10	0
csdl=1 for stratified charging with doubleport-10	0
rel. position of temperature sensor-1	0.10
rel. position of temperature sensor-2	0.25
rel. position of temperature sensor-3	0.50
rel. position of temperature sensor-4	0.80
rel. position of temperature sensor-5	0.93
HMOD auxiliary heater mode 0,,,none (the P38-P43 not used) 1,,,Paux variable 2,,,Paux const	0
HTOP heater install mode if =1 the auxiliary heater is installed from the top, else installed from the side	0
abs. length of auxiliary heater (only if HTOP=1)	0
rel. position where aux. heater is installed (Only if HTOP not equal 1)	0.75
rel. position fo temperature controller for aux. heater	0.80
set temperature of the controller for aux. heater(only if HMOD=2)	50.00
dead band temperature difference of the controller (only if HMOD=2)	5
rel. inlet position of the heat exchanger(0...1)-1	-1.00
rel. outlet position of the heat exchanger(0...1)-1	-1.00
volume of heat exchanger-1	0.005
spec.heat capacity of the fluid in the heat exchanger-1	4.181
density of the fluid in the heatexchanger-1	992.42
(UA)h,s heat transfere capacity rate from the heat exchange to the store-1	0.00

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

WARMWASSERSPEICHER (FORTS.)	
1. parameter for the calculation of (UA)h,s-1	0.00
2. parameter for the calculation of (UA)h,s-1	0.00
3. parameter for the calculation of (UA)h,s-1	0.00
(UA)hl,a heat loss capacity rate from the heat exchanger to ambient-1	0
sch1 stratified charging with heat exchanger if sch1=1 sch1=2-1	0
factor of secondary mass flow rate (only if sch1=2)-1	0
fractor for temperature dependency of (UA)h,s-1	0
rel. inlet position of the heat exchanger(0...1)-2	-1.00
rel. outlet position of the heat exchanger(0...1)-2	-1.00
volume of heat exchanger-2	0.005
spec.heat capacity of the fluid in the heat exchanger-2	4.181
density of the fluid in the heatexchanger-2	992.42
(UA)h,s heat transfere capacity rate from the heat exchange to the store-2	0.00
1. parameter for the calculation of (UA)h,s-2	0.00
2. parameter for the calculation of (UA)h,s-2	0.00
3. parameter for the calculation of (UA)h,s-2	0.00
(UA)hl,a heat loss capacity rate from the heat exchanger to ambient-2	0
sch1 stratified charging with heat exchanger if sch1=1 sch1=2-2	0
factor of secondary mass flow rate (only if sch1=2)-2	0
fractor for temperature dependency of (UA)h,s-2	0
rel. inlet position of the heat exchanger(0...1)-3	-1
rel. outlet position of the heat exchanger(0...1)-3	-1
volume of heat exchanger-3	0.005
spec.heat capacity of the fluid in the heat exchanger-3	4.18
density of the fluid in the heatexchanger-3	992.42
(UA)h,s heat transfere capacity rate from the heat exchange to the store-3	0
1. parameter for the calculation of (UA)h,s-3	0

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

WARMWASSERSPEICHER (FORTS.)	
2. parameter for the calculation of (UA) _{h,s-3}	0
3. parameter for the calculation of (UA) _{h,s-3}	0
(UA) _{hl,a} heat loss capacity rate from the heat exchanger to ambient-3	0
sch1 stratified charging with heat exchanger if sch1=1 sch1=2-3	0
factor of secondary mass flow rate (only if sch1=2)-3	0
fractor for temperature dependency of (UA) _{h,s-3}	0
rel. inlet position of the heat exchanger(0...1)-4	-1
rel. outlet position of the heat exchanger(0...1)-4	-1
volume of heat exchanger-4	0.005
spec.heat capacity of the fluid in the heat exchanger-4	4.18
density of the fluid in the heatexchanger-4	992.42
(UA) _{h,s} heat transfere capacity rate from the heat exchange to the store-4	0
1. parameter for the calculation of (UA) _{h,s-4}	0
2. parameter for the calculation of (UA) _{h,s-4}	0
3. parameter for the calculation of (UA) _{h,s-4}	0
(UA) _{hl,a} heat loss capacity rate from the heat exchanger to ambient-4	0
sch1 stratified charging with heat exchanger if sch1=1 sch1=2-4	0
factor of secondary mass flow rate (only if sch1=2)-4	0
fractor for temperature dependency of (UA) _{h,s-4}	0
accuracy for calculating the temperatures	0.001
accuracz of temperature-dependence of (UA)* _{hx,s}	10.00
precision for the mixing process in the store	10.00
flag, if the temperature-dependence timestep control is used (1=yes)	0
number of nodes for the store (N _{max} <200)	161.0
emulation of former versions (number of version) latest: 'ver=0' or 'ver=-7', fitting mode if 'ver' is negative	0

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

E.2.4 Raumheizung

FLÄCHENHEIZUNG	
Type-Info	type 362 (non-standard) Dynamic radiator model with pipes
length of supply pipe 1	0
length of exhaust pipe 2	0
pipe piameter	0.02
horizontal or vertical pipe	0
emissivity of outer surface	0.93
specific heat of fluid	4.181
maximum mass flow rate	1968.47
radiative fraction of total power at nominal conditions (DT=60)	0.00
nominal power of radiator (DT=60)	360241.98
Radiator exponent (convection + radiation)	1.10
radiator thermal capacitance (metal + fluid)	26950.0
initial radiator temperature	20
PID-REGLER	
Type-Info	type 320 (non-standard) PID-controller as thermostatic valve
Temperature width of PID-band	3.0
Proportional gain in PID-band	1.0
Integral gain in PID-band	0.06
Differential gain in PID-band	0
Proportional gain in P-band	0.8
Saturation mode-2,-1 -1,+1	0
Minimum value of controller action in saturation mode	0
ROHRLEITUNG HEIZKREIS	
Type-Info	type 31 Pipe/Duct
Inside diameter	0.020
Pipe length	178.0
Loss coefficient	14.609
Fluid density	992.42
Fluid specific heat	4.181

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Initial fluid temperature	10.0
MISCHER HEIZKREIS-VORLAUF	
Type-Info	type 11b Tempering Valve
Tempering valve mode	4
Nb. of oscillations allowed	1

E.2.5 Warmwasser

WÄRMEÜBERTRAGER	
Type-Info	type 5b Counter Flow Heat Exchanger: Counter Flow
Counter flow mode	2
Specific heat of source side fluid	3.68
Specific heat of load side fluid	4.181
REGLER PRIMÄRSEITE	
Type-Info	type 22 Iterative feedback controller
mode	0
Maximum number of oscillations	0
ROHRLEITUNGEN VERTEILERLEITUNG	
Type-Info	type 31 Pipe/Duct
Inside diameter	0.020
Pipe length	48.0
Loss coefficient	11.458
Fluid density	992.42
Fluid specific heat	4.181
Initial fluid temperature	10.0
ROHRLEITUNGEN STICHELLEITUNG	
Type-Info	type 31 Pipe/Duct
Inside diameter	0.020
Pipe length	11.6
Loss coefficient	11.458
Fluid density	992.42

*Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*

Fluid specific heat	4.181
Initial fluid temperature	10.0

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

F Datenübernahme Softwarehersteller

Die Übernahme einzelner Parameter aus der Gebäudebeschreibung ist folgend aufgeführt. Wird bei einem Parameter mit „Ja“ geantwortet so ist dieser Parameter in genau der dargestellten Form in der Solarsimulation verwandt worden. Wird die Abfrage mit „Nein“ beantwortet, so ist in der Spalte „Anmerkung“ die Verwendung des aufgeführten Parameters erläutert.

F.1 Datenübernahme GetSolar

Tabelle 1: Übersicht der Eigenschaften des simulierten EFH

Gebäudetyp	Einfamilienhaus	Ja	Nein	Anmerkung
beheiztes Volumen V_e [m³]	723,4		X	Wird über Gebäudenutzfläche berücksichtigt
Gebäudenutzfläche A_N [m²]	231,5	X		
Wohnfläche A_{Wfl} [m²]	184,6		X	Nicht berücksichtigt
Luftvolumen der beheizten Zone [m³]	549,8		X	Nicht berücksichtigt
Thermische Kapazität der beheizten Zone [kJ/K]	63.550,0		X	Nicht berücksichtigt

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 2: Übersicht der für die Benchmarktests vorzugebenden Nutzungs-Randbedingungen für das Einfamilienhaus nach DIN V 4701-10:2003-08 bzw. DIN V 4108-6:2003-06

	DIN V 4701-10:2003-08 bzw. DIN V 4108-6: 2003-06	Ja	Nein	Anmerkung
Auslegungstemperatur bzw. Raumsolltemperatur	19 °C	X		
Spezifische interne Wärmegewinne durch Personen, Geräte etc.	5 W/m ²	X		
Bezugsfläche für interne Wärmegewinne	231,5 m ²	X		
Luftwechselrate durch Infiltration und Abluftanlage	0,55 1/h		X	Wird nicht berücksichtigt
Spezifischer Trinkwarmwasserbedarf	12,5 kWh/(m ² a)	X		
Bezugsfläche für Trinkwarmwasserbedarf	231,5 m ²	X		
Tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe	13,5 h 06:15 Uhr bis 19:45 Uhr	X		parametrierbar
Heizungsabschaltung	23:00 Uhr bis 6:00 Uhr		X	Läuft mit reduzierter Leistung durch

Tabelle 3: Für die Benchmarktests vorzugebendes Bedarfsprofil für die tägliche Warmwasserbereitstellung des Mehrfamilienhauses.

Uhrzeit zu Beginn der Zapfung	[hh:mm]	07:00	12:00	19:00
Anteil am Tagesbedarf	[%]	40	20	40
Volumenstrom für Zapfung	[l/h]	600	600	600
Ja		X	X	X
Nein				
Anmerkung		Feinverteilung auf die einzelnen Zeitschritte der Stunde nach eigenem Verfahren		

F.1.1 Parameter von Wärmeerzeuger und –speicher der Solaranlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für die Simulation des solarthermischen Wärmeerzeugers mit Wärmespeicher und Zusatzwärmeerzeuger verwendet

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

wurden. Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf den jeweiligen Abschnitt in Kapitel 4 verwiesen.

F.1.1.1 Solarthermischer Wärmeerzeuger

THERMISCHE SONNENKOLLEKTOREN		Ja	Nein	Anmerkung
Bauart	Flachkollektor nach DIN V 18599-8 [2] (Baujahr nach 1998)	X		
Fläche und Ausrichtung (Neigung ggü. Horizontale; Orientierung: Süd: 0°, Ost: -90°, West: 90°)	Aperturfläche [m²]			
	s. Tabelle 4 ff. EFH: 75 MFH: 60 EFH: 0,0 MFH: 8,5	X		
Thermische Leistungskennwerte	<i>Einheit</i>			
	<i>Wert</i>			
	Konversionsfaktor	X		
	Wärmeverlustkoeffizient 1. Ord.	X		
	Wärmeverlustkoeffizient 2. Ord.	X		
	Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{dir} (50°)	X		
	Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{diff}		X	IAM für transversale Einstrahlung wäre parametrierbar
	Effektive Wärmekapazität (bezogen auf Aperturfläche)	X		
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste werden an Umgebung abgegeben	X		
SOLARKREIS PRIMÄR		Ja	Nein	Anmerkung
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Tyfocor LS 1020,00 3,68	X		parametrierbar
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	EFH: 35 - davon 30 innerhalb der beh. Zone MFH: 55 - davon 45 innerhalb der beh. Zone	X		Parametrierbar nach Vor- und Rücklauf
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	siehe Tabelle 4 ff.	X		
Behandlung der	Wärmeverluste der Leitung außerhalb der beh. Zone	X	X	Wärmeverluste

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Wärmeverluste der Rohrleitung	werden an Umgebung abgegeben; Wärmeverluste der Leitung innerhalb der beh. Zone werden als interne Wärmegewinne der Zone angerechnet			innerhalb werden <i>nicht</i> angerechnet
Regelung	konstanter Durchfluss; Hysterese für Ein- und Ausschalten der Solarkreispumpe: Temperaturdifferenz zwischen Kollektor-Temperaturfühler und Speicher-Temperaturfühler: $\Delta T_{\text{EIN}} = 6 \text{ K}$, $\Delta T_{\text{AUS}} = 4 \text{ K}$; Abschaltung der Solarkreispumpe, wenn eines der unten genannte Kriterien erfüllt wird	X		
Abschaltkriterien für Solarkreis	1) Kollektor-Temperaturfühler am Austritt mit Hysterese: $T_{\text{AUS}} = 105^\circ\text{C}$; $T_{\text{EIN}} = 90^\circ\text{C}$ 2) Speicher-Temperaturfühler Anforderung Trinkwasser mit Hysterese: $T_{\text{AUS}} = 90^\circ\text{C}$; $T_{\text{EIN}} = 85^\circ\text{C}$ (Position s. Tabelle 4 ff.)		X	Die hier vorgesehene Begrenzung der Kollektortemperatur ist praxisfern. Interessant wäre eher die Auswirkung eines Kollektorkühlbetriebs mit $T_{\text{ein}} = 120^\circ\text{C}$ und $T_{\text{aus}} = 110^\circ\text{C}$ Speicher-maximaltemp. ist parametrierbar, hat aber keine Hystere
		X		
Temperaturfühler zur Regelung	Kollektor-Temperaturfühler am Kollektorausstritt; Speicher-Temperaturfühler zur Solarkreisregelung (Position s. Tabelle 4 ff.)	X		
min. Durchfluss [kg/(h m²)]	-		X	Fixer Volumenstrom
Nennndurchfluss [kg/(h m²)] (bez. auf Aperturfläche für konstanten Durchfluss)	25,0	X		Parametrierbar in l/(m²h)
Leistung der Pumpe [W]	siehe Tabelle 4 ff.		X	Ab Mitte 2015 sind Hocheffizienzpumpen vorgeschrieben, der Stromverbrauch ist dann praktisch vernachlässigbar
Wärmeübertrager zu sek. Solarkreis	Plattenwärmeübertrager	X		
Übertragungsvermögen [W/K]	siehe Tabelle 4 ff.		X	130 W/K pro Quadratmeter Apertur
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	X		
SOLARKREIS SEKUNDÄR		Ja	Nein	Anmerkung
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher, Rücklauf Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 4 ff.)	X		
Fluid Dichte [kg/m³]	Wasser 992,42	X		Dichte und Wärmekap.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	4,181			dynamisch nach Temperatur
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	EFH: 5, davon 5 innerhalb der beh. Zone MFH: 10, davon 10 innerhalb der beh. Zone		X	Wird mit 0 m Länge gerechnet
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	siehe Tabelle 4 ff.		X	Entfällt (s.o.)
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet		X	Entfällt (s.o.)
Regelung	Berechnung des Massenstroms aus dem Massenstrom des Primärkreises: $\dot{m}_{\text{sekundär}} = c_{p,\text{primär}} / c_{p,\text{sekundär}} \cdot \dot{m}_{\text{primär}} \text{ [kg/h]}$	X		
min. Durchfluss [kg/h] (für „matched flow“)	s. o.		X	Nicht erforderlich, weil in direkter Abhängigkeit vom Durchfluss im Primärkreis
Nenndurchfluss [kg/h] (bzw. max. Durchfluss)	s. o.		X	Nicht erforderlich, weil in direkter Abhängigkeit vom Durchfluss im Primärkreis
Leistung der Pumpe [W]	siehe Tabelle 4 ff.		X	Pauschalwerte nach Norm
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt		X	Wenn auch mit 0 Watt angesetzt

F.1.1.2 Zusatzwärmeerzeuger

Bauart	Pelletofen	Ja	Nein	Anmerkung
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone	X		
Thermische Leistungskennwerte				
Nennwärmeleistung [kW]	EFH: 19,0 MFH: 41,1	X		parametrierbar
Wasserseitige Wärmeleistung [kW]	gleich der Nennwärmeleistung		X	Nennwärmeleistung abzgl. Wärmeverluste
Wirkungsgrad [%]	100,0	X		parametrierbar
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste und kapazitive Effekte vernachlässigt		X	Minimaler Wert 0,2 W/K
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher; Rücklauf: Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 4 ff.)	X		Höhe der Anschlüsse am Speicher sind fix, Rücklauf auf 30% der Speicherhöhe
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	10, davon 10 innerhalb der beh. Zone		X	vernachlässigt

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,000		X	vernachlässigt
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste vernachlässigt	X		
Regelung	1) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Warmwasser: $T_{\text{EIN}} = 55\text{ °C}$, $T_{\text{AUS}} = 65\text{ °C}$ 2) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Heizung: $T_{\text{EIN}} = T_{\text{h,VL}}$ (angepasst an Heizkurve), $T_{\text{AUS}} = 65\text{ °C}$			Ein bei T Kessel > T Soll
Temperaturfühler zur Regelung	1) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Warmwasser (Position s. Tabelle 4 ff.) 2) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Heizung (Position s. Tabelle 4 ff.)	X		
Mindestlaufzeit pro Start [s]	0	X		parametrierbar
Temperatur VL und RL im Nennbetrieb [°C]	EFH: Vorlauf 65,0 / Rücklauf 55,0 MFH: Vorlauf 70,0 / Rücklauf 55,0 (konstant durch Rücklaufanhebung)		X	Ein bei T Kessel > T Soll Rücklauftemp. ergibt sich aus Rücklauf vom Speicher
Nenndurchfluss [kg/h]	Massenstrom durch Pelletofen ergibt sich aus Nennwärmeleistung und Temperaturdifferenz zw. Vor- und Rücklauf im Nennbetrieb (s. o.) Massenstrom zum Speicher ergibt sich aus Rücklaufanhebung	X		
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 20,0 MFH: 40,0		X	
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	X		

F.1.1.3 Wärmespeicher

WARMWASSERSPEICHER		Ja	Nein	Anmerkung
Bauart	Bivalenter Warmwasserspeicher mit interner Schichtladeeinrichtung	X		Ich gehe davon aus, dass hier der Heizwasserpufferspeicher gemeint ist
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone	X		
Höhe / Durchmesser (ohne Dämmung) [m]	siehe Tabelle 4 ff.			Siehe Kapitel 4
Nennvolumen [m³]	siehe Tabelle 4 ff.			Siehe Kapitel 4
Nennvolumen integrierter Trinkwassertank [m³] (falls vorhanden)	nicht vorhanden			
Fluid	Wasser			Siehe Kapitel 4

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	992,42 4,181			
Effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit des Speichers [W/(m K)]	0,624 (da keine Prüfergebnisse vorliegen, wird die Wärmeleitfähigkeit von Wasser angesetzt)			Die Wärmeleitfähigkeit im Wasser wird vernachlässigt, stattdessen wird mit der Wärmeleitfähigkeit der Stahl-Hülle gerechnet
Mittlere Wärmeverlustrate des gesamten Speichers [W/K]	siehe Tabelle 4 ff. <i>Anmerkung: es wäre hilfreich, wenn im Rahmen dieses Projekts noch geklärt wird, wie der Abgleich zwischen den physikalischen Parametern des Speicherwärmeverlusts und den Norm-Parametern q_{Bs}, $q_{TW,s}$ und q_{s} (Heizung) laufen sollte.</i>			Siehe Kapitel 4 siehe auch Anmerkung links
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet	X		Die aktuelle Heizlast wird um die Wärmeverluste des Speicher reduziert

F.1.2 Parameter von Wärmeerzeuger und –speicher der Referenzanlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für Simulation des Wärmeerzeugers und der Wärmespeicher der Referenzanlage verwendet wurden. **Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf Tabelle 4 ff. verwiesen.**

F.1.2.1 Wärmeerzeuger

Anmerkung: Alle Angaben wie beim Zusatzwärmeerzeuger

		Ja	Nein	Anmerkung
Bauart	Pelletofen	X		
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone			
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste und kapazitive Effekte vernachlässigt	X		parametrierbar
Thermische Leistungskennwerte			X	Nennwärmeleistung abzgl. Wärmeverluste parametrierbar
Nennwärmeleistung [kW]	EFH: 19,0 MFH: 41,1	X		
Wasserseitige Wärmeleistung [kW]	gleich der Nennwärmeleistung		X	Minimaler Wert 0,2 W/K
Wirkungsgrad [%]	100,0	X		
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher; Rücklauf: Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 4 ff.)		X	

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	10, davon 10 innerhalb der beh. Zone		X	vernachlässigt
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,000		X	vernachlässigt
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste vernachlässigt			Ein bei T Kessel > T Soll
Regelung	1) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Warmwasser: $T_{\text{EIN}} = 55\text{ °C}$, $T_{\text{AUS}} = 65\text{ °C}$ 2) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Heizung: $T_{\text{EIN}} = 35\text{ °C}$, $T_{\text{AUS}} = 65\text{ °C}$	X		
Temperaturfühler zur Regelung	1) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Warmwasser (Position s. Tabelle 4 ff.) 2) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Heizung (Position s. Tabelle 4 ff.)	X		parametrierbar
Mindestlaufzeit pro Start [s]	0		X	Ein bei T Kessel > T Soll Rücklauftemp. ergibt sich aus Rücklauf vom Speicher
Temperatur VL und RL im Nennbetrieb [°C]	Vorlauf 70,0 / Rücklauf 55,0 (konstant durch Rücklaufanhebung)	X		
Nenndurchfluss [kg/h]	Massenstrom durch Pelletofen ergibt sich aus Nennwärmeleistung und Temperaturdifferenz zw. Vor- und Rücklauf im Nennbetrieb (s. o.) Massenstrom zum Speicher ergibt sich aus Rücklaufanhebung		X	
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 20,0 MFH: 40,0	X		
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt			

F.1.2.2 Wärmespeicher

Anmerkung: Ein einfacher monovalenter Warmwasserspeicher wird in der Referenzsimulation nicht verwendet, daher keine Angaben dazu.

WARMWASSERSPEICHER		Ja	Nein	Anmerkung
Bauart	Monovalenter Warmwasserspeicher		X	siehe Anmerkung oberhalb Tabelle
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone			
Höhe / Durchmesser (ohne Dämmung) [m]	siehe Tabelle 4 ff.			
Nennvolumen [m³]	siehe Tabelle 4 ff.			
Nennvolumen integrierter Trinkwassertank [m³] (falls vorhanden)	nicht vorhanden			

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Wasser 992,42 4,181			
Effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit des Speichers [W/(m K)]	0,624 (da keine Prüfergebnisse vorliegen, wird die Wärmeleitfähigkeit von Wasser angesetzt)			
Mittlere Wärmeverlustrate des gesamten Speichers [W/K]	siehe Tabelle 4 ff.			
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet			

F.1.3 Parameter der Wärmeverteilung für Solaranlage und Referenzanlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für die Simulation der Wärmeverteilung sowohl für die Referenzanlage als auch für die Solaranlage verwendet wurden. **Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf den jeweiligen Abschnitt in Kapitel 4 verwiesen.**

F.1.3.1 Heizung

HEIZKREIS		Ja	Nein	Anmerkung
Typ der Heizflächen	Fußbodenheizungssystem	X		
Größe und Lage der Heizflächen	Heizrohre innerhalb des Estrichs in Bodenplatte/Kellerdecke und Zwischendecke(n) der Gebäude. Für die Simulation in TRNSYS wurde eine idealisierte Heizfläche angenommen: Nennleistung siehe Tabelle 4 ff.	X		
Anbindung an Speicher	Vorlauf Austritt direkt aus Speicher, Rücklauf Eintritt direkt in Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 4 ff.)	X		
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	EFH: 178,0 - davon 178,0 in der beh. Zone MFH: 480,7 - davon 480,7 in der beh. Zone		X	Rohrleitungen werden als Teil der wirksamen Heizfläche betrachtet
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,255		X	
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet	X		Die Wärmeverluste werden erst gar nicht berechnet
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 114,7 MFH: 184,6		X	Hat keinen Einfluss auf den Solarertrag

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt			
REGELUNG		Ja	Nein	Anmerkung
Vorlauftemperatur-Regelung	$T_{h,VL} = \frac{15 \cdot (20 - T_{amb})}{20 - (-14)} + 20$			
	Anmerkung: Heizkurve nach diesen Formeln: Vorlauftemperatur = (- Ausnutzungsgrad * Lastfaktor / (Exp(Lastfaktor*LN(1-Ausnutzungsgrad) * (Lastfaktor ^ (-1/Heizkörperkoeffizient) - 1)) * ΔTgr100 + Raumtemperatur mit Lastfaktor = Heizlast / Nennwert der Heizlast Ausnutzungsgrad = (Nenn-Vorlauftemperatur – Nenn-Rücklauftemperatur) / (Nenn-Vorlauftemperatur – Raumtemperatur) ΔTgr100 = (Nenn-Vorlauftemperatur – Raumtemperatur) nach: „Die Warmwasserheizung“, Verlag Oldenbourg, 1988			Siehe links
Durchfluss-Regelung	Massenstromregelung mit PI-Regler abhängig von der Differenz zwischen aktueller Lufttemperatur und Raum-Solltemperatur		X	Massenstrom nach Spreizung und Leistung
min. Durchfluss [kg/h]	siehe Tabelle 4 ff.		X	s.o.
max. Durchfluss [kg/h] (Nennbetrieb)	siehe Tabelle 4 ff.		X	s.o.
Temperaturdifferenz Vorlauf zu Rücklauf im Nennbetrieb [K]	7,0 (VL: 35,0 °C / RL: 28,0 °C)		X	s.o.
Temperaturfühler für Regelung	Temperaturfühler für Regelung der Vorlauftemperatur im Heizkreis direkt nach Rücklauf-Beimischung		X	s.o.
Raum-Solltemperatur [°C]	siehe Kapitel F.1		X	s.o.
Nachtbetrieb	siehe Kapitel F.1		X	s.o.

F.1.3.2 Trinkwasser

TRINKWARMWASSER		Ja	Nein	Anmerkung
Anbindung an Speicher	TW-Erwärmung über ext. Wärmeübertrager Primärkreis Vorlauf Austritt direkt aus Speicher, Rücklauf Eintritt direkt in Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 4 ff.)	X		
Länge der Rohrleitung Primärseite (VL u. RL) [m]	keine Rohrleitung berücksichtigt	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Länge der Rohrleitung Sekundärseite (VL) [m]	Strang- und Verteilerleitungen: EFH: 24,0 - davon 24,0 in der beh. Zone MFH: 46,1 - davon 46,1 in der beh. Zone Stichleitung: EFH: 11,6 - davon 11,6 in der beh. Zone MFH: 34,9 - davon 34,9 in der beh. Zone		X	Nur für Berechnung der Zirkulationsverluste relevant
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,20		X	
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet	X		parametrierbar
Externer Wärmeübertrager (falls vorhanden)	Plattenwärmeübertrager	X		
Übertragungsvermögen [W/K] (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	EFH: 7.000 MFH: 11.000 (ausgelegt für eine mittlere Temperaturdifferenz von 5 K)		X	Dynamisch nach Temperaturen und Leistung auf Basis von Kennlinien der Übertragungsleistung in Abhängigkeit von Teillast und Vorlauftemperatur
Regelung Primärseite (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	Massenstromregelung mit PID-Regler		X	Unmittelbar nach Temperaturen und erforderlicher Leistung
Trinkwarmwasser-Solltemperatur am Austritt der Stichleitung [°C]	50,0	X		parametrierbar
Leistung der Pumpe [W] (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	EFH: 58,0 MFH: 85,0		X	Hat keinen Einfluss auf den Solarertrag
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	X		
ZIRKULATION		Ja	Nein	Anmerkung
Regelung (Beschreibung der Regelung)	konstanter Massenstrom, Beginn der Laufzeit vor erster Zapfung, Ende der Laufzeit nach letzter Zapfung (siehe Kapitel F.1)	X		Laufzeit kann viertelstundenweise parametrierbar werden
Länge der Rohrleitung (RL) [m]	EFH: 24,0 - davon 24,0 in der beh. Zone MFH: 46,1 - davon 46,1 in der beh. Zone		X	Länge wird bezogen auf die Gesamtlänge der TWW-Leitungen
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,20		X	Angabe in Watt pro lfm Rohr – das Temperaturniveau steht fest
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet	X		
Nenndurchfluss [l/h]	EFH: 120,0 MFH: 240,0	X		Parametrierbar in Liter/min

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Leistung der Pumpe [W]	EFH: 29,0 MFH: 33,0		X	
Laufzeit der Pumpe [h/d]	siehe Kapitel F.1	X		Siehe oben
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 4: Angepasste Parameter der simulierten Varianten der Referenzanlage für das EFH

	Referenzanlage Ref1 nach DIN V 18599	Referenzanlage Ref2 nach DIN V 4701-10			
WÄRMESPEICHER			Ja	Nein	Anmerkung
Speicher-Nennvolumen [m³]	1,135	1,221		X	
Speichervolumen Warmwasser [m³]	0,185	0,271		X	
Verhältnis Höhe zu Durchmesser [-]	2,50	2,50		X	Siehe H/D
Höhe ohne Dämmung [m]	2,08	2,13		X	2546 / 2089 / 3581 mm
Durchmesser ohne Dämmung [m]	0,83	0,85		X	1000 / 1600 / 1600 mm
Mittlere Wärmeverlustrate [W/K]	5,39	5,59		X	Wird dynamisch und schichtweise aus Parametrierung der Wärmedämmung berechnet
RELATIVE HÖHE DER DIREKTEN ANSCHLÜSSE			Ja	Nein	Anmerkung
Wärmeerzeuger Vorlauf Eintritt [-]	0,95	0,95		X	
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein		X	
Wärmeerzeuger Rücklauf Austritt [-]	0,01	0,01		X	
Warmwasser Rücklauf Eintritt [-]	0,01	0,01		X	
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein		X	
Warmwasser Vorlauf Austritt [-]	0,99	0,99		X	
Raumheizung Rücklauf Eintritt [-]	0,01	0,01		X	
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein		X	
Raumheizung Vorlauf Austritt [-]	0,84	0,78		X	
RELATIVE HÖHE DER TEMPERATURFÜHLER			Ja	Nein	Anmerkung
Wärmeerzeuger Anforderung Raumheizung [-]	0,42	0,39		X	
Wärmeerzeuger Anforderung Trinkwarmwasser [-]	0,92	0,89		X	

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 5: Angepasste Parameter der Varianten der Solaranlage für das EFH

	Solaranlage ST1	Solaranlage ST2	Solaranlage ST3			
WÄRMESPEICHER				Ja	Nein	Anmerkung
Speicher-Nennvolumen [m³]	2,00	4,20	7,20	X		parametrierbar
Verhältnis Höhe zu Durchmesser [-]	2,50	2,50	2,50		X	Siehe H/D
Höhe ohne Dämmung [m]	2,52	3,22	3,86		X	2546 / 2089 / 3581 mm
Durchmesser ohne Dämmung [m]	1,01	1,29	1,54		X	1000 / 1600 / 1600 mm
Mittlere Wärmeverlustrate [W/K]	4,24	5,58	6,83		X	Wird dynamisch und schichtweise aus Parametrierung der Wärmedämmung berechnet
RELATIVE HÖHE DER DIREKTEN ANSCHLÜSSE				Ja	Nein	Anmerkung
Solarkreis Vorlauf Eintritt [-]	0,05 - 0,90	0,05 - 0,90	0,05 - 0,90		X	Standardparametrierung: 0,1 .. 0,8
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja	X		
Solarkreis Rücklauf Austritt [-]	0,05	0,05	0,05		X	Standard-parametrierung: 0,0
Zusatzwärmeerzeuger Vorlauf Eintritt [-]	0,95	0,95	0,95		X	Fix: 0,9
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein	nein	X		
Zusatzwärmeerzeuger Rücklauf Austritt [-]	0,50	0,60	0,70		X	Fix: 0,3
Warmwasser Rücklauf Eintritt [-]	0,30 - 0,99	0,30 - 0,99	0,30 - 0,99		X	Fix: 0,05
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja		X	
Warmwasser Vorlauf Austritt [-]	0,99	0,99	0,99	X		
Raumheizung Rücklauf Eintritt [-]	0,05 - 0,80	0,05 - 0,87	0,05 - 0,90		X	Fix: 0,3
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja		X	
Raumheizung Vorlauf Austritt [-]	0,80	0,87	0,90		X	Fix: 0,7

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

RELATIVE HÖHE DER TEMPERATURFÜHLER				Ja	Nein	Anmerkung
Solarkreisreglung [-]	0,10	0,10	0,10		X	Fix: 0,05
Zusatzwärmeerzeuger Anforderung Raumheizung [-]	0,60	0,80	0,87		X	Fix: 0,6
Zusatzwärmeerzeuger Anforderung Trinkwarmwasser [-]	0,90	0,93	0,96		X	Fix: 0,85

Tabelle 6: Angepasste Parameter des Solarkreis für das EFH

Energiestandard: EnEV-Ref Nutzungs-RB: DIN V 18599	Solaranlage ST2a	Solaranlage ST3a		Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	32,0	56,0		X		parametrierbar
Wärmeübertragungsrate des Solarkreis- Wärmeübertragers [W/K]	5.480	8.840			X	130 W/K pro Quadratmeter Kollektorfläche
Längenspezifischer Wärmedurchgangs- koeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228			X	Wird aus Standardwerten üblicher Isolierstoffe bei 100 % Dämmstärke berechnet
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	42,0	66,0			X	Wird nicht berechnet
Energiestandard: EnEV-Ref Nutzungs-RB: DIN V 4701-10	Solaranlage ST1b	Solaranlage ST2b	Solaranlage ST3b	Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	26,0	48,0	76,0	X		parametrierbar
Wärmeübertragungsrate des Solarkreis- Wärmeübertragers [W/K]	4.640	7.720	11.640		X	s.o.
Längenspezifischer Wärmedurchgangs- koeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228	0,222		X	s.o.
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	36,0	58,0	86,0		X	s.o.
Energiestandard: KfW-EH 40 Nutzungs-RB: DIN V 18599	Solaranlage ST2c	Solaranlage ST3c		Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	36,0	60,0		X		parametrierbar
Wärmeübertragungsrate des Solarkreis- Wärmeübertragers [W/K]	6.040	9.400			X	s.o.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,228	0,222			X	s.o.
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	46,0	70,0			X	s.o.
Energiestandard: KfW-EH 40 Nutzungs-RB: DIN V 4701-10	Solaranlage ST1d	Solaranlage ST2d	Solaranlage ST3d	Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	22,0	36,0	58,0	X		parametrierbar
Wärmeübertragungs-rate des Solarkreis-Wärmeübertragers [W/K]	4.080	6.040	9.120		X	s.o.
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228	0,222		X	s.o.
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	32,0	46,0	68,0		X	s.o.

Tabelle 7: Angepasste Parameter der Wärmeverteilung für das EFH

Energiestandard	EnEV-Ref	KfW-EH 40	Ja	Nein	Anmerkung
Nennleistung der Heizflächen [W]	15.856	10.825		X	Siehe Angaben zur Berechnung der Heizungsvorlauftemperatur
min. Durchfluss [kg/h]	0	0		X	
max. Durchfluss [kg/h] (Nennbetrieb)	1.950	1.332		X	

Tabelle 8: Vorzugebende Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage Ref2 für das EFH im Energiestandard EnEV-Ref nach DIN V 4701-10 – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS

	Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers an den Wärmespeicher $Q_{outg,sim,ref}$	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Trinkwasserstrang	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Heizstrang	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Wärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jahres-summe	16.682	4.571	10.742	17,56
Ja				
Nein	X	X	X	X
Anmerkung				

*Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*

Anmerkung: Die Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers ergibt sich aus den Angaben zu den normbezogenen Werten

Trinkwarmwasser:

q_{TW}

$q_{TW,d}$

$q_{TW,s}$

Heizung:

$q_{h,TW}$

$q_{c,e}$

q_d

Summe aus q_h , $q_{h,TW}$ etc.

Bei entsprechender Parametrierung lässt sich die vorgegebene Summe einstellen, wobei die Verteilung Einfluss auf das Ergebnis hat.

F.1.4 GetSolar Bauteile der Gebäude

GetSolar verwendet lediglich transparente Bauteile. Die Eingabe erfolgt in m² Netto-Fensterfläche, Ausrichtung, Neigung und g-Wert der Verglasung. Die Brutto-Fensterfläche wurde um den angegebenen Rahmenanteil von 30% reduziert.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

F.2 Datenübernahme Polysun

Tabelle 9: Übersicht der Eigenschaften des simulierten EFH

Gebäudetyp	Einfamilienhaus	Ja	Nein	Anmerkung
beheiztes Volumen V_e [m³]	723,4		X	nicht berücksichtigt
Gebäudenutzfläche A_N [m²]	231,5		X	nicht berücksichtigt
Wohnfläche A_{Wfl} [m²]	184,6	X		Energiebezugsfläche EBF = Gebäudelänge * Gebäudebreite
Luftvolumen der beheizten Zone [m³]	549,8	X		= EBF * Stockwerkshöhe
Thermische Kapazität der beheizten Zone [kJ/K]	63.550,0	X		Wärmekapazität des Gebäudes in kJ/K/m²

Tabelle 10: Übersicht der für die Benchmarktests vorzugebenden Nutzungs-
Randbedingungen für das Einfamilienhaus

	DIN V 18599:2007-02	Ja	Nein	Anmerkung
Auslegungstemperatur bzw. Raumsolltemperatur	20 °C	X		Soll-Raumtemperatur für Tag und Nacht separat
Spezifische interne Wärmegewinne durch Personen, Geräte etc.	50 Wh/(m² d)	X		Interne Wärmequellen in W/m2
Bezugsfläche für interne Wärmegewinne	184,6 m²		X	Bezugsfläche = EBF
Luftwechselrate durch Infiltration und Abluftanlage	0,55 1/h	X		
Spezifischer Trinkwarmwasserbedarf	12 kWh/(m² a)		X	Angabe in l/Tag
Bezugsfläche für Trinkwarmwasserbedarf	184,6 m²		X	
Tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe	13,3 h 06:21 Uhr bis 19:39 Uhr	(X)	X	Nachbildung der Zirkulation ist möglich aber relativ aufwändig. Einfachere Möglichkeit wird angeboten durch eine pauschale Angabe der Zirkulationsverluste in % relativ zum Warmwasserverbrauch
Heizungsabschaltung	23:00 Uhr bis 6:00 Uhr	X		Eingabe in der Heizsteuerung

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 11: Übersicht der für die Benchmarktests vorzugebenden Nutzungs-
Randbedingungen für das Einfamilienhaus

	DIN V 4701-10:2003-08 bzw. DIN V 4108-6: 2003-06	Ja	Nein	Anmerkung
Auslegungstemperatur bzw. Raumsolltemperatur	19 °C	X		
Spezifische interne Wärmegewinne durch Personen, Geräte etc.	5 W/m ²	X		
Bezugsfläche für interne Wärmegewinne	231,5 m ²		X	Bezugsfläche = EBF
Luftwechselrate durch Infiltration und Abluftanlage	0,55 1/h	X		
Spezifischer Trinkwarm- wasserbedarf	12,5 kWh/(m ² a)		X	Angabe in l/Tag
Bezugsfläche für Trinkwarm- wasserbedarf	231,5 m ²		X	
Tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe	13,5 h 06:15 Uhr bis 19:45 Uhr	(X)	X	Nachbildung der Zirkulation ist möglich aber relativ aufwändig. Einfachere Möglichkeit wird angeboten durch eine pauschale Angabe der Zirkulationsverluste in % relativ zum Warmwasserverbrauch
Heizungsabschaltung	23:00 Uhr bis 6:00 Uhr	X		Eingabe in der Heizsteuerung

Tabelle 12: Für die Benchmarktests vorzugebendes Bedarfsprofil für die tägliche
Warmwasserbereitstellung des Mehrfamilienhauses

Uhrzeit zu Beginn der Zapfung	[hh:mm]	07:00	12:00	19:00
Anteil am Tagesbedarf	[%]	40	20	40
Volumenstrom für Zapfung	[l/h]	600	600	600
Ja		X	X	X
Nein				
Anmerkung		Im Standardkatalog für das Tagesprofil angeboten: „BDH/BSW Zapfprofil“		

F.2.1 Parameter von Wärmeerzeuger und –speicher der Solaranlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für die Simulation des solarthermischen Wärmeerzeugers mit Wärmespeicher und Zusatzwärmeerzeuger verwendet wurden. Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf den jeweiligen Abschnitt in Kapitel 4 verwiesen.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

F.2.1.1 Solarthermischer Wärmeerzeuger

THERMISCHE SONNENKOLLEKTOREN		Ja	Nein	Anmerkung
Bauart	Flachkollektor nach DIN V 18599-8 [2] (Baujahr nach 1998)	X		
Fläche und Ausrichtung (Neigung ggü. Horizontale; Orientierung: Süd: 0°, Ost: -90°, West: 90°)	Aperturfläche [m²]			
	s. Tabelle 13 ff.	X		
Thermische Leistungskennwerte	Neigung [°]			
	EFH: 75 MFH: 60			
	Orientierung [°]			
	EFH: 0,0 MFH: 8,5			
	Einheit			
	Wert			
	Konversionsfaktor	X		Im Standard Katalog angeboten: alle Solar Keymark Kollektoren
	Wärmeverlustkoeffizient 1. Ord.	X		
	Wärmeverlustkoeffizient 2. Ord.	X		
	Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{dir} (50°)	X		
	Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{diff}	X		
	Effektive Wärmekapazität (bezogen auf Aperturfläche)	X		
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste werden an Umgebung abgegeben	X		
SOLARKREIS PRIMÄR		Ja	Nein	Anmerkung
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Tyfocon LS 1020,00 3,68	X		Im Standard Katalog
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	EFH: 35 - davon 30 innerhalb der beh. Zone MFH: 55 - davon 45 innerhalb der beh. Zone	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	siehe Tabelle 13 ff.	X		
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste der Leitung außerhalb der beh. Zone werden an Umgebung abgegeben; Wärmeverluste der Leitung innerhalb der beh. Zone werden als interne Wärmegewinne der Zone angerechnet	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Regelung	konstanter Durchfluss; Hysteresis für Ein- und Ausschalten der Solarkreispumpe: Temperaturdifferenz zwischen Kollektor-Temperaturfühler und Speicher-Temperaturfühler: $\Delta T_{\text{EIN}} = 6 \text{ K}$, $\Delta T_{\text{AUS}} = 4 \text{ K}$; Abschaltung der Solarkreispumpe, wenn eines der unten genannte Kriterien erfüllt wird	X		In der Pumpen- steuerung „Solarkreis-lauf“
Abschaltkriterien für Solarkreis	3) Kollektor-Temperaturfühler am Austritt mit Hysteresis: $T_{\text{AUS}} = 105^\circ\text{C}$; $T_{\text{EIN}} = 90^\circ\text{C}$	X		
	4) Speicher-Temperaturfühler Anforderung Trinkwasser mit Hysteresis: $T_{\text{AUS}} = 90^\circ\text{C}$; $T_{\text{EIN}} = 85^\circ\text{C}$ (Position s. Tabelle 13 ff.)	X		
Temperaturfühler zur Regelung	Kollektor-Temperaturfühler am Kollektorausstritt; Speicher-Temperaturfühler zur Solarkreisregelung (Position s. Tabelle 13 ff.)			?
min. Durchfluss [kg/(h m²)]	-	X		
Neindurchfluss [kg/(h m²)] (bez. auf Aperturfläche für konstanten Durchfluss)	25,0	X		
Leistung der Pumpe [W]	siehe Tabelle 13 ff.	X		
Wärmeübertrager zu sek. Solarkreis	Plattenwärmeübertrager	X		
Übertragungsvermögen [W/K]	siehe Tabelle 13 ff.	X		
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt		X	
SOLARKREIS SEKUNDÄR		Ja	Nein	Anmerkung
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher, Rücklauf Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 13 ff.)	X		
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Wasser 992,42 4,181	X		
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	EFH: 5, davon 5 innerhalb der beh. Zone MFH: 10, davon 10 innerhalb der beh. Zone	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	siehe Tabelle 13 ff.	X		
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet	X		
Regelung	Berechnung des Massenstroms aus dem Massenstrom des Primärkreises: $\dot{m}_{\text{sekundär}} = c_{p,\text{primär}} / c_{p,\text{sekundär}} \cdot \dot{m}_{\text{primär}} \text{ [kg/h]}$	X		
min. Durchfluss [kg/h] (für „matched flow“)	s. o.	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Nenndurchfluss [kg/h] (bzw. max. Durchfluss)	s. o.	X		
Leistung der Pumpe [W]	siehe Tabelle 13 ff.	(X)		Pumpenleistungen können ausgerechnet werden. Für Benchmark Vorschlag „Pumpe Eco“ zu verwenden
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	X		In Polysun berücksichtigt (sind aber vernachlässigbar klein)

F.2.1.2 Zusatzwärmeerzeuger

Bauart	Pelletofen	Ja	Nein	Anmerkung
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone	X		
Thermische Leistungskennwerte				
Nennwärmeleistung [kW]	EFH: 19,0 MFH: 41,1	X		
Wasserseitige Wärmeleistung [kW]	gleich der Nennwärmeleistung	X		
Wirkungsgrad [%]	100,0	X		
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste und kapazitive Effekte vernachlässigt	(X)		In Polysun berücksichtigt. Vorteil: es muss nicht unterschieden werden zwischen „Sommerwirkungsgrad“ und „Winterwirkungsgrad“
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher; Rücklauf: Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 13 ff.)	X		
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	10, davon 10 innerhalb der beh. Zone	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,000		X	
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste vernachlässigt	(X)		In Polysun berücksichtigt. Sind aber relativ klein.
Regelung	3) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Warmwasser: $T_{\text{EIN}} = 55\text{ °C}$, $T_{\text{AUS}} = 65\text{ °C}$ 4) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Heizung: $T_{\text{EIN}} = T_{\text{h,VL}}$ (angepasst an Heizkurve), $T_{\text{AUS}} = 65\text{ °C}$	X		
Temperaturfühler zur Regelung	3) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

	Warmwasser (Position s. Tabelle 13 ff.) 4) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Heizung (Position s. Tabelle 13 ff.)			
Mindestlaufzeit pro Start [s]	0	X		
Temperatur VL und RL im Nennbetrieb [°C]	EFH: Vorlauf 65,0 / Rücklauf 55,0 MFH: Vorlauf 70,0 / Rücklauf 55,0 (konstant durch Rücklaufanhebung)	X		
Nenndurchfluss [kg/h]	Massenstrom durch Pelletofen ergibt sich aus Nennwärmeleistung und Temperaturdifferenz zw. Vor- und Rücklauf im Nennbetrieb (s. o.) Massenstrom zum Speicher ergibt sich aus Rücklaufanhebung	X		
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 20,0 MFH: 40,0	(X)	X	Wäre möglich bei Verwendung der Druckverlustberechnung. Vorschlag, dies nicht zu verwenden für den Benchmark
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	(X)		In Polysun berücksichtigt. Sind aber relativ klein.

F.2.1.3 Wärmespeicher

WARMWASSERSPEICHER		Ja	Nein	Anmerkung
Bauart	Bivalenter Warmwasserspeicher mit interner Schichtladeeinrichtung	X		
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone	X		
Höhe / Durchmesser (ohne Dämmung) [m]	siehe Tabelle 13 ff.	X		
Nennvolumen [m³]	siehe Tabelle 13 ff.	X		
Nennvolumen integrierter Trinkwassertank [m³] (falls vorhanden)	nicht vorhanden	X		
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Wasser 992,42 4,181	X		
Effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit des Speichers [W/(m K)]	0,624 (da keine Prüfergebnisse vorliegen, wird die Wärmeleitfähigkeit von Wasser angesetzt)	X		
Mittlere Wärmeverlustrate des gesamten Speichers [W/K]	siehe Tabelle 13 ff.	X		
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

F.2.2 Parameter von Wärmeerzeuger und –speicher der Referenzanlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für Simulation des Wärmeerzeugers und der Wärmespeicher der Referenzanlage verwendet wurden. **Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf den jeweiligen Abschnitt in Kapitel 4 verwiesen.**

F.2.2.1 Wärmeerzeuger

		Ja	Nein	Anmerkung
Bauart	Pelletofen	X		
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone	X		
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste und kapazitive Effekte vernachlässigt	(X)		Siehe oben
Thermische Leistungskennwerte				
Nennwärmeleistung [kW]	EFH: 19,0 MFH: 41,1	X		
Wasserseitige Wärmeleistung [kW]	gleich der Nennwärmeleistung	X		
Wirkungsgrad [%]	100,0	X		
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher; Rücklauf: Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 13 ff.)	X		
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	10, davon 10 innerhalb der beh. Zone	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,000	X		
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste vernachlässigt	X		
Regelung	3) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Warmwasser: $T_{\text{EIN}} = 55\text{ °C}$, $T_{\text{AUS}} = 65\text{ °C}$ 4) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Heizung: $T_{\text{EIN}} = 35\text{ °C}$, $T_{\text{AUS}} = 65\text{ °C}$	X		
Temperaturfühler zur Regelung	3) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Warmwasser (Position s. Tabelle 13 ff.) 4) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Heizung (Position s. Tabelle 13 ff.)	X		
Mindestlaufzeit pro Start [s]	0	X		
Temperatur VL und RL im Nennbetrieb [°C]	Vorlauf 70,0 / Rücklauf 55,0 (konstant durch Rücklaufanhebung)	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Nenndurchfluss [kg/h]	Massenstrom durch Pelletofen ergibt sich aus Nennwärmeleistung und Temperaturdifferenz zw. Vor- und Rücklauf im Nennbetrieb (s. o.) Massenstrom zum Speicher ergibt sich aus Rücklaufanhebung	X		
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 20,0 MFH: 40,0	(X)		Siehe oben
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	(X)		Siehe oben

F.2.2.2 Wärmespeicher

WARMWASSERSPEICHER		Ja	Nein	Anmerkung
Bauart	Monovalenter Warmwasserspeicher	X		
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone	X		
Höhe / Durchmesser (ohne Dämmung) [m]	siehe Tabelle 13 ff.	X		
Nennvolumen [m³]	siehe Tabelle 13 ff.	X		
Nennvolumen integrierter Trinkwassertank [m³] (falls vorhanden)	nicht vorhanden	X		
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Wasser 992,42 4,181	X		
Effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit des Speichers [W/(m K)]	0,624 (da keine Prüfergebnisse vorliegen, wird die Wärmeleitfähigkeit von Wasser angesetzt)	X		
Mittlere Wärmeverlustrate des gesamten Speichers [W/K]	siehe Tabelle 13 ff.	X		
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet	X		

F.2.3 Parameter der Wärmeverteilung für Solaranlage und Referenzanlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für die Simulation der Wärmeverteilung sowohl für die Referenzanlage als auch für die Solaranlage verwendet wurden. **Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf den jeweiligen Abschnitt in Kapitel 4 verwiesen.**

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

F.2.3.1 Heizung

HEIZKREIS		Ja	Nein	Anmerkung
Typ der Heizflächen	Fußbodenheizungssystem	X		
Größe und Lage der Heizflächen	Heizrohre innerhalb des Estrichs in Bodenplatte/Kellerdecke und Zwischendecke(n) der Gebäude. Für die Simulation in TRNSYS wurde eine idealisierte Heizfläche angenommen: Nennleistung siehe Tabelle 13 ff.	(X)		In Polysun ebenfalls idealisierte Heizfläche
Anbindung an Speicher	Vorlauf Austritt direkt aus Speicher, Rücklauf Eintritt direkt in Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 13 ff.)	X		
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	EFH: 178,0 - davon 178,0 in der beh. Zone MFH: 480,7 - davon 480,7 in der beh. Zone	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,255	(X)		
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet	X		
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 114,7 MFH: 184,6	X		
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	(X)		Siehe oben
REGELUNG		Ja	Nein	Anmerkung
Vorlauftemperatur-Regelung	$T_{h,VL} = \frac{15 \cdot (20 - T_{amb})}{20 - (-14)} + 20$	(X)		In Polysun mit vereinfachter Heizkurve mit Heizkreisaktivierung bei 16°C, siehe Benutzerhandbuch Kapitel „Steuerung Heizkreislauf“
Durchfluss-Regelung	Massenstromregelung mit PI-Regler abhängig von der Differenz zwischen aktueller Lufttemperatur und Raum-Solltemperatur	(X)		Durchfluss wird dem Fluidloop eingeprägt
min. Durchfluss [kg/h]	siehe Tabelle 13 ff.	X		
max. Durchfluss [kg/h] (Nennbetrieb)	siehe Tabelle 13 ff.	X		
Temperaturdifferenz Vorlauf zu Rücklauf im Nennbetrieb [K]	7,0 (VL: 35,0 °C / RL: 28,0 °C)	X		
Temperaturfühler für Regelung	Temperaturfühler für Regelung der Vorlauftemperatur im Heizkreis direkt nach Rücklauf-Beimischung	X		
Raum-Solltemperatur [°C]	siehe Kapitel F.2	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Nachtbetrieb	siehe Kapitel F.2	X		
--------------	-------------------	---	--	--

F.2.3.2 Trinkwasser

TRINKWARMWASSER		Ja	Nein	Anmerkung
Anbindung an Speicher	TW-Erwärmung über ext. Wärmeübertrager Primärkreis Vorlauf Austritt direkt aus Speicher, Rücklauf Eintritt direkt in Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 13 ff.)	X		
Länge der Rohrleitung Primärseite (VL u. RL) [m]	keine Rohrleitung berücksichtigt	(X)		Rohrlängen Default 1 m
Länge der Rohrleitung Sekundärseite (VL) [m]	Strang- und Verteilerleitungen: EFH: 24,0 - davon 24,0 in der beh. Zone MFH: 46,1 - davon 46,1 in der beh. Zone Stichleitung: EFH: 11,6 - davon 11,6 in der beh. Zone MFH: 34,9 - davon 34,9 in der beh. Zone	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgang- skoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,20	(X)		Siehe oben
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegevinne der beheizten Zone angerechnet	X		
Externer Wärmeübertrager (falls vorhanden)	Plattenwärmeübertrager	X		
Übertragungsvermögen [W/K] (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	EFH: 7.000 MFH: 11.000 (ausgelegt für eine mittlere Temperaturdifferenz von 5 K)	X		
Regelung Primärseite (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	Massenstromregelung mit PID-Regler	(X)		Eingeprägt, siehe oben
Trinkwarmwasser- Solltemperatur am Austritt der Stichleitung [°C]	50,0	X		
Leistung der Pumpe [W] (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	EFH: 58,0 MFH: 85,0	X		
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	(X)		Siehe oben
ZIRKULATION		Ja	Nein	Anmerkung
Regelung (Beschreibung der Regelung)	konstanter Massenstrom, Beginn der Laufzeit vor erster Zapfung, Ende der Laufzeit nach letzter Zapfung (siehe Kapitel F.2)	(X)	X	Könnte nachgebildet werden, ist aber nicht zwingend nötig
Länge der Rohrleitung (RL) [m]	EFH: 24,0 - davon 24,0 in der beh. Zone MFH: 46,1 - davon 46,1 in der beh. Zone	(X)	X	
Längenspezifischer	0,20	(X)	X	

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Wärmedurchgangs- koeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]				
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet	(X)	X	
Nennndurchfluss [l/h]	EFH: 120,0 MFH: 240,0	(X)	X	
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 29,0 MFH: 33,0	(X)	X	
Laufzeit der Pumpe [h/d]	siehe Kapitel F.2	(X)	X	
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	(X)	X	

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 13: Angepasste Parameter der simulierten Varianten der Referenzanlage für das EFH

	Referenzanlage Ref1 nach DIN V 18599	Referenzanlage Ref2 nach DIN V 4701-10			
WÄRMESPEICHER			Ja	Nein	Anmerkung
Speicher-Nennvolumen [m³]	1,135	1,221	X		
Speichervolumen Warmwasser [m³]	0,185	0,271	X		
Verhältnis Höhe zu Durchmesser [-]	2,50	2,50	X		
Höhe ohne Dämmung [m]	2,08	2,13	X		
Durchmesser ohne Dämmung [m]	0,83	0,85	X		
Mittlere Wärmeverlustrate [W/K]	5,39	5,59	(X)		In Polysun wird Dämmmaterial und Dämmstärke angegeben
RELATIVE HÖHE DER DIREKTEN ANSCHLÜSSE			Ja	Nein	Anmerkung
Wärmeerzeuger Vorlauf Eintritt [-]	0,95	0,95	X		
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein	(X)		Empfohlen „ideal schichtend“; man könnte in der Speicherdefinition auch „Durchflussberuhigung“ ungleich 100% wählen, dann wäre es nicht mehr ideal schichtend (abhängig von der Einströmgeschwindigkeit)
Wärmeerzeuger Rücklauf Austritt [-]	0,01	0,01	X		
Warmwasser Rücklauf Eintritt [-]	0,01	0,01	X		
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein	X		
Warmwasser Vorlauf Austritt [-]	0,99	0,99	X		
Raumheizung Rücklauf Eintritt [-]	0,01	0,01	X		
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein	X		
Raumheizung Vorlauf Austritt [-]	0,84	0,78	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

RELATIVE HÖHE DER TEMPERATURFÜHLER			Ja	Nein	Anmerkung
Wärmeerzeuger Anforderung Raumheizung [-]	0,42	0,39	X		
Wärmeerzeuger Anforderung Trinkwarmwasser [-]	0,92	0,89	X		

Tabelle 14: Angepasste Parameter der Varianten der Solaranlage für das EFH

	Solaranlage ST1	Solaranlage ST2	Solaranlage ST3			
WÄRMESPEICHER				Ja	Nein	Anmerkung
Speicher-Nennvolumen [m³]	2,00	4,20	7,20	X		
Verhältnis Höhe zu Durchmesser [-]	2,50	2,50	2,50	X		
Höhe ohne Dämmung [m]	2,52	3,22	3,86	X		
Durchmesser ohne Dämmung [m]	1,01	1,29	1,54	X		
Mittlere Wärmeverlustrate [W/K]	4,24	5,58	6,83	(X)		Siehe oben
RELATIVE HÖHE DER DIREKTEN ANSCHLÜSSE				Ja	Nein	Anmerkung
Solarkreis Vorlauf Eintritt [-]	0,05 - 0,90	0,05 - 0,90	0,05 - 0,90	X		
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja	X		
Solarkreis Rücklauf Austritt [-]	0,05	0,05	0,05	X		
Zusatzwärmeerzeuger Vorlauf Eintritt [-]	0,95	0,95	0,95	X		
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein	nein	X		
Zusatzwärmeerzeuger Rücklauf Austritt [-]	0,50	0,60	0,70	X		
Warmwasser Rücklauf Eintritt [-]	0,30 - 0,99	0,30 - 0,99	0,30 - 0,99	X		
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja	X		
Warmwasser Vorlauf Austritt [-]	0,99	0,99	0,99	X		
Raumheizung Rücklauf Eintritt [-]	0,05 - 0,80	0,05 - 0,87	0,05 - 0,90	X		
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja	X		
Raumheizung Vorlauf Austritt [-]	0,80	0,87	0,90	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

RELATIVE HÖHE DER TEMPERATURFÜHLER				Ja	Nein	Anmerkung
Solarkreisreglung [-]	0,10	0,10	0,10	X		
Zusatzwärmeerzeuger Anforderung Raumheizung [-]	0,60	0,80	0,87	X		
Zusatzwärmeerzeuger Anforderung Trinkwarmwasser [-]	0,90	0,93	0,96	X		

Tabelle 15: Angepasste Parameter des Solarkreis für das EFH

Energiestandard: EnEV-Ref Nutzungs-RB: DIN V 18599	Solaranlage ST2a	Solaranlage ST3a		Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	32,0	56,0		X		
Wärmeübertragungsrate des Solarkreis- Wärmeübertragers [W/K]	5.480	8.840		X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangs- koeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228		(X)		Siehe oben
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	42,0	66,0		(X)		Siehe oben
Energiestandard: EnEV-Ref Nutzungs-RB: DIN V 4701-10	Solaranlage ST1b	Solaranlage ST2b	Solaranlage ST3b	Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	26,0	48,0	76,0	X		
Wärmeübertragungsrate des Solarkreis- Wärmeübertragers [W/K]	4.640	7.720	11.640	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangs- koeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228	0,222	(X)		Siehe oben
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	36,0	58,0	86,0	X		
Energiestandard: KfW-EH 40 Nutzungs-RB: DIN V 18599	Solaranlage ST2c	Solaranlage ST3c		Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	36,0	60,0		X		
Wärmeübertragungsrate des Solarkreis- Wärmeübertragers [W/K]	6.040	9.400		X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangs- koeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,228	0,222		X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	46,0	70,0		X		
Energiestandard: KfW-EH 40 Nutzungs-RB: DIN V 4701-10	Solaranlage ST1d	Solaranlage ST2d	Solaranlage ST3d	Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	22,0	36,0	58,0	X		
Wärmeübertragungs-rate des Solarkreis- Wärmeübertragers [W/K]	4.080	6.040	9.120	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangs- koeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228	0,222	X		
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	32,0	46,0	68,0	X		

Tabelle 16: Angepasste Parameter der Wärmeverteilung für das EFH

Energiestandard	EnEV-Ref	KfW-EH 40	Ja	Nein	Anmerkung
Nennleistung der Heizflächen [W]	15.856	10.825	(X)		Wird automatisch gewählt (Option „Anzahl Heizelemente automatisch“)
min. Durchfluss [kg/h]	0	0	X		
max. Durchfluss [kg/h] (Nennbetrieb)	1.950	1.332	X		

Tabelle 17: Vorzugebende Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage Ref2 für das EFH im Energiestandard EnEV-Ref nach DIN V 4701-10 – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS

	Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers an den Wärmespeicher $Q_{\text{outg,sim,ref}}$	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Trinkwasserstrang	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Heizstrang	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Wärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jahres- summe	16.682	4.571	10.742	17,56
Ja	X	X	X	X
Nein				
Anmerkung				

F.2.4 Polysun Bauteile der Gebäude

In Polysun wird die Gebäudehülle in einem vereinfachten Modell angesetzt. Es wird das Fenster/Wand-Verhältnis getrennt nach den vier Himmelsrichtungen angegeben.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

F.3 Datenübernahme T*Sol

Tabelle 18: Übersicht der Eigenschaften des simulierten EFH

Gebäudetyp	Einfamilienhaus	Ja	Nein	Anmerkung
beheiztes Volumen V_e [m³]	723,4		X	Nicht benötigt
Gebäudenutzfläche A_N [m²]	231,5	X		DIN 4701
Wohnfläche A_{Wfl} [m²]	184,6	X		
Luftvolumen der beheizten Zone [m³]	549,8		X	Nicht benötigt
Thermische Kapazität der beheizten Zone [kJ/K]	63.550,0		X	Leichte, mittlere oder schwere Bauweise ableiten

Tabelle 19: Übersicht der für die Benchmarktests vorzugebenden Nutzungs-Randbedingungen für das Einfamilienhaus

	DIN V 18599:2007-02	Ja	Nein	Anmerkung
Auslegungstemperatur bzw. Raumsolltemperatur	20 °C	X		
Spezifische interne Wärmegewinne durch Personen, Geräte etc.	50 Wh/(m² d)		X	50 Wh auf 17 h verteilt ergibt 2,94 W/m² als Eingabewert
Bezugsfläche für interne Wärmegewinne	184,6 m²	X		
Luftwechselrate durch Infiltration und Abluftanlage	0,55 1/h		X	Nicht benötigt
Spezifischer Trinkwarmwasserbedarf	12 kWh/(m² a)		X	Über Bezugsfläche Tagesbedarf ermitteln und aus Delta durchschnittlichen Tagesverbrauch Warmwasser ermitteln.
Bezugsfläche für Trinkwarmwasserbedarf	184,6 m²	X		
Tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe	13,3 h 06:21 Uhr bis 19:39 Uhr	X		
Heizungsabschaltung	23:00 Uhr bis 6:00 Uhr	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 20: Übersicht der für die Benchmarktests vorzugebenden Nutzungs-
Randbedingungen für das Einfamilienhaus

	DIN V 4701-10:2003-08 bzw. DIN V 4108-6: 2003-06	Ja	Nein	Anmerkung
Auslegungstemperatur bzw. Raumsolltemperatur	19 °C	X		
Spezifische interne Wärmegewinne durch Personen, Geräte etc.	5 W/m ²		X	*24 h / 17 h ergibt 7 W/m ² als Eingabewert
Bezugsfläche für interne Wärmegewinne	231,5 m ²	X		
Luftwechselrate durch Infiltration und Abluftanlage	0,55 1/h		X	Nicht benötigt
Spezifischer Trinkwarm- wasserbedarf	12,5 kWh/(m ² a)		X	Über Bezugsfläche Tagesbedarf ermitteln und aus Delta durchschnittlichen Tagesverbrauch Warmwasser ermitteln.
Bezugsfläche für Trinkwarm- wasserbedarf	231,5 m ²	X		
Tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe	13,5 h 06:15 Uhr bis 19:45 Uhr	X		
Heizungsabschaltung	23:00 Uhr bis 6:00 Uhr	X		

Tabelle 21: Für die Benchmarktests vorzugebendes Bedarfsprofil für die tägliche
Warmwasserbereitstellung des Mehrfamilienhauses

Uhrzeit zu Beginn der Zapfung	[hh:mm]	07:00	12:00	19:00
Anteil am Tagesbedarf	[%]	40	20	40
Volumenstrom für Zapfung	[l/h]	600	600	600
Ja		X	X	X
Nein				
Anmerkung				

F.3.1 Parameter von Wärmeerzeuger und –speicher der Solaranlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für die Simulation des solarthermischen Wärmeerzeugers mit Wärmespeicher und Zusatzwärmeerzeuger verwendet wurden. Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf den jeweiligen Abschnitt in Kapitel 4 verwiesen.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

F.3.1.1 Solarthermischer Wärmeerzeuger

THERMISCHE SONNENKOLLEKTOREN		Ja	Nein	Anmerkung
Bauart	Flachkollektor nach DIN V 18599-8 [2] (Baujahr nach 1998)	X		
Fläche und Ausrichtung (Neigung ggü. Horizontale; Orientierung: Süd: 0°, Ost: -90°, West: 90°)	Aperturfläche [m²]	X		
	s. Tabelle 22 ff. EFH: 75 MFH: 60 Orientierung [°] EFH: 0,0 MFH: 8,5	X		
Thermische Leistungskennwerte	<i>Einheit</i> <i>Wert</i>			
Konversionsfaktor	[-] 0,77	X		
Wärmeverlustkoeffizient 1. Ord.	[W/m² K] 3,50	X		
Wärmeverlustkoeffizient 2. Ord.	[W/m² K²] 0,02	X		
Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{dir} (50°)	[-] 0,90	X		
Einstrahlwinkelkorrekturfaktor K_{diff}	[-] 0,82	X		
Effektive Wärmekapazität (bezogen auf Aperturfläche)	[kJ/(m² K)] 6,40	X		
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste werden an Umgebung abgegeben	X		
SOLARKREIS PRIMÄR		Ja	Nein	Anmerkung
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Tyfocon LS 1020,00 3,68		X	Eingabe Prozentwert für Wasser-Glykolgemisch! Dichte wird ausgerechnet =>33,78% Eingabe
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	EFH: 35 - davon 30 innerhalb der beh. Zone MFH: 55 - davon 45 innerhalb der beh. Zone	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	siehe Tabelle 22 ff.	X		
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste der Leitung außerhalb der beh. Zone werden an Umgebung abgegeben; Wärmeverluste der Leitung innerhalb der beh. Zone werden als interne Wärmegewinne der Zone angerechnet	X	X	Anrechnung noch nicht implementiert

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Regelung	konstanter Durchfluss; Hysteresis für Ein- und Ausschalten der Solarkreispumpe: Temperaturdifferenz zwischen Kollektor-Temperaturfühler und Speicher-Temperaturfühler: $\Delta T_{\text{EIN}} = 6 \text{ K}$, $\Delta T_{\text{AUS}} = 4 \text{ K}$; Abschaltung der Solarkreispumpe, wenn eines der unten genannte Kriterien erfüllt wird	X		
Abschaltkriterien für Solarkreis	5) Kollektor-Temperaturfühler am Austritt mit Hysteresis: $T_{\text{AUS}} = 105^\circ\text{C}$; $T_{\text{EIN}} = 90^\circ\text{C}$	X		Mittelwert 85°C ohne Hysteresis
	6) Speicher-Temperaturfühler Anforderung Trinkwasser mit Hysteresis: $T_{\text{AUS}} = 90^\circ\text{C}$; $T_{\text{EIN}} = 85^\circ\text{C}$ (Position s. Tabelle 22 ff.)	X		
Temperaturfühler zur Regelung	Kollektor-Temperaturfühler am Kollektorausstritt; Speicher-Temperaturfühler zur Solarkreisregelung (Position s. Tabelle 22 ff.)			
min. Durchfluss [kg/(h m²)]	-	X		
Nenndurchfluss [kg/(h m²)] (bez. auf Aperturfläche für konstanten Durchfluss)	25,0	X		
Leistung der Pumpe [W]	siehe Tabelle 22 ff.			
Wärmeübertrager zu sek. Solarkreis	Plattenwärmeübertrager	X		
Übertragungsvermögen [W/K]	siehe Tabelle 22 ff.	X		
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt		X	
SOLARKREIS SEKUNDÄR		Ja	Nein	Anmerkung
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher, Rücklauf Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 22 ff.)	X		
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Wasser 992,42 4,181	X		
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	EFH: 5, davon 5 innerhalb der beh. Zone MFH: 10, davon 10 innerhalb der beh. Zone	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	siehe Tabelle 22 ff.		X	In Wärmeleitzahl umgerechnet
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet		X	Noch nicht implementiert
Regelung	Berechnung des Massenstroms aus dem Massenstrom des Primärkreises: $\dot{m}_{\text{sekundär}} = c_{p,\text{primär}} / c_{p,\text{sekundär}} \cdot \dot{m}_{\text{primär}} \text{ [kg/h]}$	X		
min. Durchfluss [kg/h] (für „matched flow“)	s. o.	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Nenndurchfluss [kg/h] (bzw. max. Durchfluss)	s. o.	X		
Leistung der Pumpe [W]	siehe Tabelle 22 ff.	X		
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	X		

F.3.1.2 Zusatzwärmeerzeuger

Bauart	Pelletofen	Ja	Nein	Anmerkung
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone		X	Verluste ja, Gutschrift noch nicht implementiert
Thermische Leistungskennwerte				
Nennwärmeleistung [kW]	EFH: 19,0 MFH: 41,1	X		
Wasserseitige Wärmeleistung [kW]	gleich der Nennwärmeleistung	X		
Wirkungsgrad [%]	100,0	X		
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste und kapazitive Effekte vernachlässigt	X		
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher; Rücklauf: Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 22 ff.)	X		
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	10, davon 10 innerhalb der beh. Zone		X	vernachlässigt
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,000		X	vernachlässigt
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste vernachlässigt	X		
Regelung	5) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Warmwasser: $T_{\text{EIN}} = 55^\circ\text{C}$, $T_{\text{AUS}} = 65^\circ\text{C}$ 6) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Heizung: $T_{\text{EIN}} = T_{\text{h,VL}}$ (angepasst an Heizkurve), $T_{\text{AUS}} = 65^\circ\text{C}$	X X		
Temperaturfühler zur Regelung	5) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Warmwasser (Position s. Tabelle 22 ff.) 6) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Heizung (Position s. Tabelle 22 ff.)	X X		
Mindestlaufzeit pro Start [s]	0		X	Nicht vorgesehen
Temperatur VL und RL im Nennbetrieb [°C]	EFH: Vorlauf 65,0 / Rücklauf 55,0 MFH: Vorlauf 70,0 / Rücklauf 55,0 (konstant durch Rücklaufanhebung)	X		Nicht vorgesehen
Nenndurchfluss [kg/h]	Massenstrom durch Pelletofen ergibt sich aus	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

	Nennwärmeleistung und Temperaturdifferenz zw. Vor- und Rücklauf im Nennbetrieb (s. o.) Massenstrom zum Speicher ergibt sich aus Rücklaufanhebung			
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 20,0 MFH: 40,0		X	Nicht vorgesehen
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	X		

F.3.1.3 Wärmespeicher

Anmerkung: Kombispeicher

WARMWASSERSPEICHER		Ja	Nein	Anmerkung
Bauart	Bivalenter Warmwasserspeicher mit interner Schichtladeeinrichtung		X	Schichtenanlagen in System mit Frischwasserstation noch nicht implementiert
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone		X	Anrechnung noch nicht implementiert
Höhe / Durchmesser (ohne Dämmung) [m]	siehe Tabelle 22 ff.	X		
Nennvolumen [m³]	siehe Tabelle 22 ff.	X		
Nennvolumen integrierter Trinkwassertank [m³] (falls vorhanden)	nicht vorhanden	X		
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Wasser 992,42 4,181	X		
Effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit des Speichers [W/(m K)]	0,624 (da keine Prüfergebnisse vorliegen, wird die Wärmeleitfähigkeit von Wasser angesetzt)	X		
Mittlere Wärmeverlustrate des gesamten Speichers [W/K]	siehe Tabelle 22 ff.	X		
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet		X	Anrechnung noch nicht implementiert

F.3.2 Parameter von Wärmeerzeuger und -speicher der Referenzanlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für Simulation des Wärmeerzeugers und der Wärmespeicher der Referenzanlage verwendet wurden. **Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf den jeweiligen Abschnitt in Kapitel 4 verwiesen.**

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

F.3.2.1 Wärmerezeuger

Anmerkung: Alle Angaben wie beim Zusatzwärmerezeuger

Bauart	Pelletofen	Ja	Nein	Anmerkung
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone		X	Verluste ja, Gutschrift noch nicht implementiert
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste und kapazitive Effekte vernachlässigt			
Thermische Leistungskennwerte		X		
Nennwärmeleistung [kW]	EFH: 19,0 MFH: 41,1	X		
Wasserseitige Wärmeleistung [kW]	gleich der Nennwärmeleistung	X		
Wirkungsgrad [%]	100,0	X		
Anbindung an Speicher / Verbraucher	Vorlauf Eintritt direkt in Speicher; Rücklauf: Austritt direkt aus Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 22 ff.)	X		
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	10, davon 10 innerhalb der beh. Zone		X	vernachlässigt
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,000		X	vernachlässigt
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste vernachlässigt	X		
Regelung	5) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Warmwasser: $T_{\text{EIN}} = 55\text{ °C}$, $T_{\text{AUS}} = 65\text{ °C}$ 6) Hysterese für Ein- und Ausschalten der Pumpe über Speicher-Temperaturfühler Heizung: $T_{\text{EIN}} = 35\text{ °C}$, $T_{\text{AUS}} = 65\text{ °C}$	X X		
Temperaturfühler zur Regelung	5) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Warmwasser (Position s. Tabelle 22 ff.) 6) Speicher-Temperaturfühler für Anforderung Heizung (Position s. Tabelle 22 ff.)	X X		
Mindestlaufzeit pro Start [s]	0		X	Nicht vorgesehen
Temperatur VL und RL im Nennbetrieb [°C]	Vorlauf 70,0 / Rücklauf 55,0 (konstant durch Rücklaufanhebung)	X		Nicht vorgesehen
Nenndurchfluss [kg/h]	Massenstrom durch Pelletofen ergibt sich aus Nennwärmeleistung und Temperaturdifferenz zw. Vor- und Rücklauf im Nennbetrieb (s. o.) Massenstrom zum Speicher ergibt sich aus Rücklaufanhebung	X		
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 20,0 MFH: 40,0		X	Nicht vorgesehen

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	X		
--	---	---	--	--

F.3.2.2 Wärmespeicher

Anmerkung: Monovalenter Wärmespeicher für Referenzsystem

WARMWASSERSPEICHER		Ja	Nein	Anmerkung
Bauart	Monovalenter Warmwasserspeicher	X		
Aufstellort	innerhalb der beheizten Zone		X	Anrechnung noch nicht implementiert
Höhe / Durchmesser (ohne Dämmung) [m]	siehe Tabelle 22 ff.	X		
Nennvolumen [m³]	siehe Tabelle 22 ff.	X		
Nennvolumen integrierter Trinkwassertank [m³] (falls vorhanden)	nicht vorhanden	X		
Fluid Dichte [kg/m³] Spez. Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	Wasser 992,42 4,181	X		
Effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit des Speichers [W/(m K)]	0,624 (da keine Prüfergebnisse vorliegen, wird die Wärmeleitfähigkeit von Wasser angesetzt)	X		
Mittlere Wärmeverlustrate des gesamten Speichers [W/K]	siehe Tabelle 22 ff.	X		
Behandlung der Wärmeverluste	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet		X	Anrechnung noch nicht implementiert

F.3.3 Parameter der Wärmeverteilung für Solaranlage und Referenzanlage

Im Folgenden werden alle Parameter beschrieben, welche für die Simulation der Wärmeverteilung sowohl für die Referenzanlage als auch für die Solaranlage verwendet wurden. Für die Parameter, welche für die einzelnen Validierungsbeispiele angepasst wurden, wird auf den jeweiligen Abschnitt in Kapitel 4 verwiesen.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

F.3.3.1 Heizung

HEIZKREIS		Ja	Nein	Anmerkung
Typ der Heizflächen	Fußbodenheizungssystem	X		
Größe und Lage der Heizflächen	Heizrohre innerhalb des Estrichs in Bodenplatte/Kellerdecke und Zwischendecke(n) der Gebäude. Für die Simulation in TRNSYS wurde eine idealisierte Heizfläche angenommen: Nennleistung siehe Tabelle 22 ff.	X		
Anbindung an Speicher	Vorlauf Austritt direkt aus Speicher, Rücklauf Eintritt direkt in Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 22 ff.)	X		
Länge der Rohrleitung (VL u. RL) [m]	EFH: 178,0 - davon 178,0 in der beh. Zone MFH: 480,7 - davon 480,7 in der beh. Zone		X	Rohrverluste erzeugen Bedarf, werden dann aber gutgeschrieben. Kann man also auch weglassen.
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,255		X	
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegevinne der beheizten Zone angerechnet	X		Gar nicht erst als Bedarf addiert, somit gutgeschrieben
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 114,7 MFH: 184,6		X	Nicht benötigt
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	X		
REGELUNG		Ja	Nein	Anmerkung
Vorlauftemperatur-Regelung	$T_{h,VL} = \frac{15 \cdot (20 - T_{amb})}{20 - (-14)} + 20$ Anmerkung: Heizkurve nach diesen Formeln: $MassFlowTemperatureHCSupply = \frac{(-hE100 \cdot hLoadFactor / (\exp(hLoadFactor \cdot \ln(1 - hE100) \cdot \text{Math.Power}(hLoadFactor, -1/nHK)) - 1))}{hDeltaTgr100 + FIndoorTemperature}$ mit $hDeltaTgr100 = FNominalSupplyTemperature - FIndoorTemperature$ $hDeltaTHK100 = FNominalSupplyTemperature - FNominalReturnTemperature$	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Durchfluss-Regelung	Massenstromregelung mit PI-Regler abhängig von der Differenz zwischen aktueller Lufttemperatur und Raum-Solltemperatur	X		
min. Durchfluss [kg/h]	siehe Tabelle 22 ff.	X		
max. Durchfluss [kg/h] (Nennbetrieb)	siehe Tabelle 22 ff.	X		
Temperaturdifferenz Vorlauf zu Rücklauf im Nennbetrieb [K]	7,0 (VL: 35,0 °C / RL: 28,0 °C)	X		
Temperaturfühler für Regelung	Temperaturfühler für Regelung der Vorlauftemperatur im Heizkreis direkt nach Rücklauf-Beimischung	X		
Raum-Solltemperatur [°C]	siehe Kapitel F.3	X		
Nachtbetrieb	siehe Kapitel F.3	X		

F.3.3.2 Trinkwasser

TRINKWARMWASSER		Ja	Nein	Anmerkung
Anbindung an Speicher	TW-Erwärmung über ext. Wärmeübertrager Primärkreis Vorlauf Austritt direkt aus Speicher, Rücklauf Eintritt direkt in Speicher (Höhe und Art der Anschlüsse s. Tabelle 22 ff.)	X		
Länge der Rohrleitung Primärseite (VL u. RL) [m]	keine Rohrleitung berücksichtigt	X		
Länge der Rohrleitung Sekundärseite (VL) [m]	Strang- und Verteilerleitungen: EFH: 24,0 - davon 24,0 in der beh. Zone MFH: 46,1 - davon 46,1 in der beh. Zone Stichleitung: EFH: 11,6 - davon 11,6 in der beh. Zone MFH: 34,9 - davon 34,9 in der beh. Zone	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,20		X	Werden nicht berechnet, würden aber sowieso bei Heizwärme wieder abgezogen.
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegevinne der beheizten Zone angerechnet	X		
Externer Wärmeübertrager (falls vorhanden)	Plattenwärmeübertrager	X		
Übertragungsvermögen [W/K] (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	EFH: 7.000 MFH: 11.000 (ausgelegt für eine mittlere Temperaturdifferenz von 5 K)	X		
Regelung Primärseite (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	Massenstromregelung mit PID-Regler	X		
Trinkwarmwasser-Solltemperatur am Austritt der Stichleitung [°C]	50,0	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Leistung der Pumpe [W] (falls externer Wärmeübertrager vorhanden)	EFH: 58,0 MFH: 85,0		X	vernachlässigt
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	X		
ZIRKULATION		Ja	Nein	Anmerkung
Regelung (Beschreibung der Regelung)	konstanter Massenstrom, Beginn der Laufzeit vor erster Zapfung, Ende der Laufzeit nach letzter Zapfung (siehe Kapitel F.3)	X		
Länge der Rohrleitung (RL) [m]	EFH: 24,0 - davon 24,0 in der beh. Zone MFH: 46,1 - davon 46,1 in der beh. Zone	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,20	X		
Behandlung der Wärmeverluste der Rohrleitung	Wärmeverluste werden als interne Wärmegewinne der beheizten Zone angerechnet		X	Noch nicht implementiert
Nenndurchfluss [l/h]	EFH: 120,0 MFH: 240,0	X		
Leistung der Pumpe [W]	EFH: 29,0 MFH: 33,0		X	Nicht benötigt
Laufzeit der Pumpe [h/d]	siehe Kapitel F.3	X		
Behandlung der Wärmeverluste von Pumpe, Armaturen, Wärmeübertrager etc.	Wärmeverluste sowie Wärmeeinträge ins Fluid (durch Pumpen) vernachlässigt	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 22: Angepasste Parameter der simulierten Varianten der Referenzanlage für das EFH

	Referenzanlage Ref1 nach DIN V 18599	Referenzanlage Ref2 nach DIN V 4701-10			
WÄRMESPEICHER			Ja	Nein	Anmerkung
Speicher-Nennvolumen [m³]	1,135	1,221	X		
Speichervolumen Warmwasser [m³]	0,185	0,271		X	Warmwasserbereich über Einbauhöhe des Nachheizfühlers definiert
Verhältnis Höhe zu Durchmesser [-]	2,50	2,50	X		
Höhe ohne Dämmung [m]	2,08	2,13		X	h/d-Verhältnis eingeben
Durchmesser ohne Dämmung [m]	0,83	0,85		X	h/d-Verhältnis eingeben
Mittlere Wärmeverlustrate [W/K]	5,39	5,59		X	Nach Eingabe der Wärmeleitwert wird mittlere Verlustrate ausgewiesen. Verlustrate passend wählen.
RELATIVE HÖHE DER DIREKTEN ANSCHLÜSSE			Ja	Nein	Anmerkung
Wärmeerzeuger Vorlauf Eintritt [-]	0,95	0,95	X		
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein	X		
Wärmeerzeuger Rücklauf Austritt [-]	0,01	0,01	X		
Warmwasser Rücklauf Eintritt [-]	0,01	0,01		X	5% fest
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein		X	Nein
Warmwasser Vorlauf Austritt [-]	0,99	0,99		X	99%
Raumheizung Rücklauf Eintritt [-]	0,01	0,01	X		
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein		X	Umlenkventil
Raumheizung Vorlauf Austritt [-]	0,84	0,78	X		
RELATIVE HÖHE DER TEMPERATURFÜHLER			Ja	Nein	Anmerkung
Wärmeerzeuger Anforderung Raumheizung [-]	0,42	0,39	X		
Wärmeerzeuger Anforderung Trinkwarmwasser [-]	0,92	0,89	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Tabelle 23: Angepasste Parameter der Varianten der Solaranlage für das EFH

	Solaranlage ST1	Solaranlage ST2	Solaranlage ST3			
WÄRMESPEICHER				Ja	Nein	Anmerkung
Speicher-Nennvolumen [m³]	2,00	4,20	7,20	X		
Verhältnis Höhe zu Durchmesser [-]	2,50	2,50	2,50	X		
Höhe ohne Dämmung [m]	2,52	3,22	3,86		X	h/d-Verhältnis eingeben
Durchmesser ohne Dämmung [m]	1,01	1,29	1,54		X	h/d-Verhältnis eingeben
Mittlere Wärmeverlustrate [W/K]	4,24	5,58	6,83		X	Nach Eingabe der Wärmeleitwert wird mittlere Verlustrate ausgewiesen. Verlustrate passend wählen.
RELATIVE HÖHE DER DIREKTEN ANSCHLÜSSE				Ja	Nein	Anmerkung
Solarkreis Vorlauf Eintritt [-]	0,05 - 0,90	0,05 - 0,90	0,05 - 0,90		X	40% Fest
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja		X	Nein
Solarkreis Rücklauf Austritt [-]	0,05	0,05	0,05		X	1% fest
Zusatzwärmeerzeuger Vorlauf Eintritt [-]	0,95	0,95	0,95	X		
Eintritt ideal schichtend [-]	nein	nein	nein	X		
Zusatzwärmeerzeuger Rücklauf Austritt [-]	0,50	0,60	0,70	X		
Warmwasser Rücklauf Eintritt [-]	0,30 - 0,99	0,30 - 0,99	0,30 - 0,99		X	5% fest
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja		X	Nein
Warmwasser Vorlauf Austritt [-]	0,99	0,99	0,99		X	99%
Raumheizung Rücklauf Eintritt [-]	0,05 - 0,80	0,05 - 0,87	0,05 - 0,90	X		
Eintritt ideal schichtend [-]	ja	ja	ja		X	Umlenkventil
Raumheizung Vorlauf Austritt [-]	0,80	0,87	0,90	X		
RELATIVE HÖHE DER TEMPERATURFÜHLER				Ja	Nein	Anmerkung
Solarkreisreglung [-]	0,10	0,10	0,10	X		
Zusatzwärmeerzeuger Anforderung Raumheizung [-]	0,60	0,80	0,87	X		
Zusatzwärmeerzeuger Anforderung	0,90	0,93	0,96	X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Trinkwarmwasser [-]						
---------------------	--	--	--	--	--	--

Tabelle 24: Angepasste Parameter des Solarkreis für das EFH

Energiestandard: EnEV-Ref Nutzungs-RB: DIN V 18599	Solaranlage ST2a	Solaranlage ST3a		Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	32,0	56,0		X		
Wärmeübertragungs-rate des Solarkreis- Wärmeübertragers [W/K]	5.480	8.840		X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangs- koeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228		X		
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	42,0	66,0			X	Ausgewiesene Pumpenleistung wird spezifisch mit 10 W/m² Kollektorfläche berechnet. Entsprechend der tatsächlichen Fläche ergibt sich eine andere Pumpenleistung als die Vorgegebene. Das Ergebnis muss entsprechend skaliert werden.
Energiestandard: EnEV-Ref Nutzungs-RB: DIN V 4701-10	Solaranlage ST1b	Solaranlage ST2b	Solaranlage ST3b	Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	26,0	48,0	76,0	X		
Wärmeübertragungs-rate des Solarkreis- Wärmeübertragers [W/K]	4.640	7.720	11.640	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangs- koeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228	0,222	X		
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	36,0	58,0	86,0		X	s.o. bei 18599
Energiestandard: KfW-EH 40 Nutzungs-RB: DIN V 18599	Solaranlage ST2c	Solaranlage ST3c		Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	36,0	60,0		X		
Wärmeübertragungs-rate des Solarkreis- Wärmeübertragers [W/K]	6.040	9.400		X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangs- koeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,228	0,222		X		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	46,0	70,0			X	s.o. bei 18599
Energiestandard: KfW-EH 40 Nutzungs-RB: DIN V 4701-10	Solaranlage ST1d	Solaranlage ST2d	Solaranlage ST3d	Ja	Nein	Anmerkung
Aperturfläche des Kollektors [m²]	22,0	36,0	58,0	X		
Wärmeübertragungs-rate des Solarkreis- Wärmeübertragers [W/K]	4.080	6.040	9.120	X		
Längenspezifischer Wärmedurchgangs- koeffizient der gedämmten Rohrleitung [W/(m K)]	0,200	0,228	0,222	X		
Gesamt-Leistung der Pumpen [W]	32,0	46,0	68,0		X	s.o. bei 18599

Tabelle 25: Angepasste Parameter der Wärmeverteilung für das EFH

Energiestandard	EnEV-Ref	KfW-EH 40	Ja	Nein	Anmerkung
Nennleistung der Heizflächen [W]	15.856	10.825		X	Heizflächen als ausreichend vorausgesetzt
min. Durchfluss [kg/h]	0	0	X		
max. Durchfluss [kg/h] (Nennbetrieb)	1.950	1.332		X	Berechnung aus Auslegungsdaten

Tabelle 26: Vorzugebende Nutzwärmeabgaben der Referenzanlage Ref2 für das EFH im Energiestandard EnEV-Ref nach DIN V 4701-10 – Ergebnisse der Simulation mit TRNSYS

	Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers an den Wärmespeicher $Q_{\text{outg,sim,ref}}$	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Trinkwasserstrang	Nutzwärmeabgabe des Speichers an den Heizstrang	Hilfsstrombedarf der Pumpe des Wärmeerzeugers (informativ)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jahres- summe	16.682	4.571	10.742	17,56
Ja		X	X	
Nein	X			X
Anmerkung	Wird berechnet			

*Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*

F.3.4 T*Sol Bauteile der Gebäude

Die Fensterflächen werden nach Himmelsrichtung sortiert und addiert. Danach auf die Bezugsfläche bezogen. Alle anderen Bauteile werden nicht ausgewertet, da der Heizwärmebedarf vorgegeben ist.

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

G Detaillierte Ergebnisse Validierung

G.1 GetSolar Einfamilienhaus Nutzungs-Randbedingungen: DIN V 4701-10

Variante ST1b

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 30,24 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	65	416	2,47	45	382	9,65	20	34	54	-7,18	0,69	0,92	3,91
Feb	23	134	1,42	32	242	9,65	-9	-108	-117	-8,23	1,39	1,81	6,79
März	143	384	2,75	120	549	9,65	23	-165	-142	-6,90	0,84	1,43	3,51
Apr	392	139	3,91	308	535	9,65	84	-396	-312	-5,74	0,79	3,85	2,47
Mai	468	0	3,68	494	0	9,65	-26	0	-26	-5,97	1,06	#DIV/0!	2,62
Jun	439	0	3,83	471	0	9,65	-32	0	-32	-5,82	1,07	#DIV/0!	2,52
Jul	455	0	3,73	493	0	9,65	-38	0	-38	-5,92	1,08	#DIV/0!	2,59
Aug	464	0	3,85	489	0	9,65	-25	0	-25	-5,80	1,05	#DIV/0!	2,51
Sep	443	0	2,91	478	0	9,65	-35	0	-35	-6,74	1,08	#DIV/0!	3,31
Okt	444	168	2,84	319	526	9,65	125	-358	-233	-6,81	0,72	3,13	3,40
Nov	49	232	1,54	34	236	9,65	15	-4	11	-8,11	0,69	1,02	6,26
Dez	23	166	1,04	16	156	9,65	7	10	17	-8,61	0,70	0,94	9,27
Jahr	3408	1637	33,97	3.299	2.626	115,75	109	-987	-878	-81,78	0,97	1,60	3,41
Rel. Abweichung Gesamt											0,174		
Abweichung Absolutwert											1,042		
rel. Abweichung Absolutwert											0,207		

Variante ST2b

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 39,76 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	120	770	3,99	77	658	9,65	43	112	155	-5,66	0,64	0,85	2,42
Feb	41	238	2,37	50	387	9,65	-9	-149	-158	-7,28	1,22	1,63	4,07
März	224	599	4,03	179	818	9,65	45	-219	-174	-5,62	0,80	1,37	2,39
Apr	457	162	4,45	376	653	9,65	81	-491	-410	-5,20	0,82	4,03	2,17
Mai	481	0	3,91	492	0	9,65	-11	0	-11	-5,74	1,02	#DIV/0!	2,47
Jun	457	0	4,81	478	0	9,65	-21	0	-21	-4,84	1,05	#DIV/0!	2,57
Jul	461	0	3,76	494	0	9,65	-33	0	-33	-5,89	1,07	#DIV/0!	2,51
Aug	464	0	4,12	493	0	9,65	-29	0	-29	-5,53	1,06	#DIV/0!	2,34
Sep	468	0	3,1	478	0	9,65	-10	0	-10	-6,55	1,02	#DIV/0!	3,11
Okt	480	181	3,22	445	731	9,65	35	-550	-515	-6,43	0,93	4,04	3,00
Nov	112	529	2,36	58	395	9,65	54	134	188	-7,29	0,52	0,75	4,09
Dez	48	341	1,71	29	282	9,65	19	59	78	-7,94	0,60	0,83	5,64
Jahr	3812	2821	41,84	3.649	3.924	115,75	163	-1.103	-940	-73,91	0,96	1,39	2,77
Rel. Abweichung Gesamt											0,142		
Abweichung Absolutwert											1,782		
rel. Abweichung Absolutwert											0,269		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST3b

EFH Energiesstandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,89 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbare Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbare Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbare Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbare Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tr, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tr, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	177	1141	5,78	120	1.019	9,65	57	122	179	-3,87	0,68	0,89	1,67
Feb	78	456	3,59	66	512	9,65	12	-56	-44	-6,06	0,85	1,12	2,69
Mrz	325	869	5,5	224	1.032	9,65	101	-163	-62	-4,15	0,69	1,19	1,75
Apr	457	162	4,57	397	690	9,65	60	-528	-468	-5,08	0,87	4,26	2,11
Mai	481	0	4,28	507	0	9,65	-26	0	-26	-5,37	1,05	#DIV/0!	2,25
Jun	457	0	5,11	480	0	9,65	-23	0	-23	-4,54	1,05	#DIV/0!	1,89
Jul	461	0	4,25	499	0	9,65	-38	0	-38	-5,40	1,08	#DIV/0!	2,27
Aug	464	0	4,24	497	0	9,65	-33	0	-33	-5,41	1,07	#DIV/0!	2,27
Sep	468	0	3,51	480	0	9,65	-12	0	-12	-6,14	1,03	#DIV/0!	2,75
Okt	480	181	3,46	447	737	9,65	33	-556	-523	-6,19	0,93	4,07	2,79
Nov	194	916	3,3	97	662	9,65	97	254	351	-6,35	0,50	0,72	2,92
Dez	68	486	2,57	47	456	9,65	21	30	51	-7,08	0,69	0,94	3,75
Jahr	4110	4212	50,18	3.861	5.108	115,75	249	-896	-647	-65,57	0,94	1,21	2,31
Rel. Abweichung Gesamt											0,078		
Abweichung Absolutwert											1,810		
rel. Abweichung Absolutwert											0,217		

Variante ST1d

EFH Energiesstandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 40,46 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbare Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbare Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbare Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbare Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tr, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tr, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	96	299	2,1	53	309	9,65	43	-10	33	-7,55	0,55	1,03	4,59
Feb	29	87	1,29	36	189	9,65	-7	-102	-109	-8,36	1,24	2,17	7,48
Mrz	218	187	2,25	145	361	9,65	73	-174	-101	-7,40	0,67	1,93	4,29
Apr	435	6	3,38	379	273	9,65	56	-267	-211	-6,27	0,87	45,50	2,85
Mai	450	0	3,57	494	0	9,65	-44	0	-44	-6,08	1,10	#DIV/0!	2,70
Jun	423	0	3,85	483	0	9,65	-60	0	-60	-5,80	1,14	#DIV/0!	2,51
Jul	427	0	3,4	497	0	9,65	-70	0	-70	-6,25	1,16	#DIV/0!	2,84
Aug	446	0	3,71	500	0	9,65	-54	0	-54	-5,94	1,12	#DIV/0!	2,60
Sep	409	0	2,7	472	0	9,65	-63	0	-63	-6,95	1,15	#DIV/0!	3,57
Okt	441	3	2,46	404	236	9,65	37	-233	-196	-7,19	0,92	78,67	3,92
Nov	84	167	1,25	40	183	9,65	44	-16	28	-8,40	0,48	1,10	7,72
Dez	35	133	0,91	18	130	9,65	17	3	20	-8,74	0,51	0,98	10,60
Jahr	3492	882	30,87	3.521	1.681	115,75	-29	-799	-828	-84,88	1,01	1,91	3,75
Rel. Abweichung Gesamt											0,189		
Abweichung Absolutwert											989		
rel. Abweichung Absolutwert											0,226		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST2d

EFH Energiesstandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 50,46 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbare Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbare Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbare Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbare Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tw,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{h,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tw,sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h,sol,sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	150	468	3	84	485	9,65	66	-17	49	-6,65	0,56	1,04	3,22
Feb	58	175	1,92	48	260	9,65	10	-85	-75	-7,73	0,83	1,49	5,02
März	322	276	2,92	185	464	9,65	137	-188	-51	-6,73	0,57	1,68	3,30
Apr	475	7	3,95	442	319	9,65	33	-312	-279	-5,70	0,93	45,57	2,44
Mai	469	0	3,67	495	0	9,65	-26	0	-26	-5,98	1,06	#DIV/0!	2,63
Jun	447	0	4,38	479	0	9,65	-32	0	-32	-5,27	1,07	#DIV/0!	2,20
Jul	442	0	3,58	493	0	9,65	-51	0	-51	-6,07	1,12	#DIV/0!	2,69
Aug	446	0	4,09	494	0	9,65	-48	0	-48	-5,56	1,11	#DIV/0!	2,36
Sep	455	0	3,02	479	0	9,65	-24	0	-24	-6,63	1,05	#DIV/0!	3,19
Okt	488	3	2,91	475	279	9,65	13	-276	-263	-6,74	0,97	93,00	3,31
Nov	168	335	1,63	68	315	9,65	100	20	120	-8,02	0,40	0,94	5,92
Dez	56	213	1,35	29	203	9,65	27	10	37	-8,30	0,52	0,95	7,15
Jahr	3976	1477	36,42	3.771	2.325	115,75	205	-848	-643	-79,33	0,95	1,57	3,18
Rel. Abweichung Gesamt											0,118		
Abweichung Absolutwert											1,055		
rel. Abweichung Absolutwert											0,193		

Variante ST3d

EFH Energiesstandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 60,12 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbare Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbare Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbare Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbare Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tw,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{h,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tw,sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h,sol,sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	206	643	4,25	124	721	9,65	82	-78	4	-5,40	0,60	1,12	2,27
Feb	111	332	2,81	66	352	9,65	45	-20	25	-6,84	0,59	1,06	3,43
März	402	345	3,97	238	598	9,65	164	-253	-89	-5,68	0,59	1,73	2,43
Apr	475	7	4,06	425	307	9,65	50	-300	-250	-5,59	0,89	43,86	2,38
Mai	469	0	4,11	502	0	9,65	-33	0	-33	-5,64	1,07	#DIV/0!	2,35
Jun	447	0	4,87	477	0	9,65	-30	0	-30	-4,78	1,07	#DIV/0!	1,98
Jul	442	0	3,93	493	0	9,65	-51	0	-51	-5,72	1,12	#DIV/0!	2,45
Aug	446	0	4,1	495	0	9,65	-49	0	-49	-5,55	1,11	#DIV/0!	2,35
Sep	455	0	3,29	478	0	9,65	-23	0	-23	-6,36	1,05	#DIV/0!	2,93
Okt	488	3	3,26	464	272	9,65	24	-269	-245	-6,39	0,95	90,67	2,96
Nov	241	481	1,65	120	548	9,65	121	-67	54	-8,00	0,50	1,14	5,85
Dez	105	398	2,02	50	353	9,65	55	45	100	-7,63	0,48	0,89	4,78
Jahr	4287	2210	42,34	3.932	3.151	115,75	355	-941	-586	-73,41	0,92	1,43	2,73
Rel. Abweichung Gesamt											0,090		
Abweichung Absolutwert											953		
rel. Abweichung Absolutwert											0,147		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

G.2 GetSolar Mehrfamilienhaus Nutzungs-Randbedingungen: DIN V 4701-10

Variante ST4b

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 29,71 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis $Q_{p, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis $Q_{p, sol, sim}$	$\Delta Q_{tw, sol, sim}$	$\Delta Q_{h, sol, sim}$	$\Delta Q_{p, sol, sim}$	$\Delta Q_{p, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{tw, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{h, sol, sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	127	661	3,38	66	492	29,05	61	169	230	-25,67	0,52	0,74	8,59
Feb	46	225	2,18	54	363	29,05	-8	-138	-146	-26,87	1,17	1,61	13,33
März	386	916	5,14	244	1.017	29,05	142	-101	41	-23,91	0,63	1,11	5,65
Apr	986	391	7,33	674	1.029	29,05	312	-638	-326	-21,72	0,68	2,63	3,96
Mai	1228	0	5,61	1.210	0	29,05	18	0	18	-23,44	0,99	#DIV/0!	5,18
Jun	1251	0	6,64	1.166	0	29,05	85	0	85	-22,41	0,93	#DIV/0!	4,38
Juli	1173	0	5,4	1.222	0	29,05	-49	0	-49	-23,65	1,04	#DIV/0!	5,38
Aug	1241	1	6,43	1.223	0	29,05	18	1	19	-22,62	0,99	0,00	4,52
Sep	1193	2	4,99	1.151	0	29,05	42	2	44	-24,06	0,96	0,00	5,82
Okt	1252	117	4,57	588	920	29,05	664	-803	-139	-24,48	0,47	7,86	6,36
Nov	99	370	2,2	52	307	29,05	47	63	110	-26,85	0,53	0,83	13,20
Dez	41	232	1,45	24	206	29,05	17	26	43	-27,60	0,59	0,89	20,03
Jahr	9024	2915	55,33	7.674	4.334	348,60	1.350	-1.419	-69	-293,27	0,85	1,49	6,30
Rel. Abweichung Gesamt											0,006		
Abweichung Absolutwert											1.250		
rel. Abweichung Absolutwert											0,105		

Variante ST5b

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 39,68 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis $Q_{p, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis $Q_{p, sol, sim}$	$\Delta Q_{tw, sol, sim}$	$\Delta Q_{h, sol, sim}$	$\Delta Q_{p, sol, sim}$	$\Delta Q_{p, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{tw, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{h, sol, sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	269	1396	6,7	132	994	40,67	137	402	539	-33,97	0,49	0,71	6,07
Feb	93	453	4,33	109	734	40,67	-16	-281	-297	-36,34	1,17	1,62	9,39
März	635	1507	9,1	417	1.739	40,67	218	-232	-14	-31,57	0,66	1,15	4,47
Apr	1241	493	8,32	892	1.364	40,67	349	-871	-522	-32,35	0,72	2,77	4,89
Mai	1228	0	5,44	1.225	0	40,67	3	0	3	-35,23	1,00	#DIV/0!	7,48
Jun	1251	0	6,33	1.181	0	40,67	70	0	70	-34,34	0,94	#DIV/0!	6,42
Juli	1173	0	6,25	1.219	0	40,67	-46	0	-46	-34,42	1,04	#DIV/0!	6,51
Aug	1241	1	5,89	1.220	0	40,67	21	1	22	-34,78	0,98	0,00	6,90
Sep	1203	2	5,47	1.182	0	40,67	21	2	23	-35,20	0,98	0,00	7,44
Okt	1334	125	5,54	1.042	1.631	40,67	292	-1.506	-1.214	-35,13	0,78	13,05	7,34
Nov	348	1298	4,13	109	650	40,67	239	648	887	-36,54	0,31	0,50	9,85
Dez	99	559	2,9	51	436	40,67	48	123	171	-37,77	0,52	0,78	14,02
Jahr	10116	5832	70,39	8.779	7.548	488,04	1.337	-1.716	-379	-417,65	0,87	1,29	6,93
Rel. Abweichung Gesamt											0,024		
Abweichung Absolutwert											3.808		
rel. Abweichung Absolutwert											0,239		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST6b

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,86 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tw,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{h,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{tw,sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h,sol,sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	463	2406	11,03	220	1.661	69,72	243	745	988	-58,69	0,48	0,69	6,32
Feb	171	833	7,16	145	976	69,72	26	-143	-117	-62,56	0,85	1,17	9,74
März	889	2111	13,95	530	2.216	69,72	359	-105	254	-55,77	0,60	1,05	5,00
Apr	1241	493	7,92	1.015	1.549	69,72	226	-1.056	-830	-61,80	0,82	3,14	8,80
Mai	1228	0	5,78	1.238	0	69,72	-10	0	-10	-63,94	1,01	#DIV/0!	12,06
Jun	1251	0	6,43	1.221	0	69,72	30	0	30	-63,29	0,98	#DIV/0!	10,84
Juli	1173	0	5,57	1.244	0	69,72	-71	0	-71	-64,15	1,06	#DIV/0!	12,52
Aug	1241	1	6,77	1.238	0	69,72	3	1	4	-62,95	1,00	0,00	10,30
Sep	1203	2	5,05	1.203	0	69,72	0	2	2	-64,67	1,00	0,00	13,81
Okt	1334	125	5,94	1.114	1.741	69,72	220	-1.616	-1.396	-63,78	0,84	13,93	11,74
Nov	574	2139	6,33	208	1.235	69,72	366	904	1.270	-63,39	0,36	0,58	11,01
Dez	175	986	4,81	90	775	69,72	85	211	296	-64,91	0,51	0,79	14,49
Jahr	10944	9093	86,74	9.466	10.153	836,64	1.478	-1.060	418	-749,90	0,86	1,12	9,65
Rel. Abweichung Gesamt											-0,021		
Abweichung Absolutwert											5,268		
rel. Abweichung Absolutwert											0,263		

Variante ST4d

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,00 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tw,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{h,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{tw,sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h,sol,sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	371	1043	6,19	174	939	23,24	197	104	301	-17,05	0,47	0,90	3,75
Feb	159	431	4,01	121	590	23,24	38	-159	-121	-19,23	0,76	1,37	5,80
März	786	708	6,94	469	1.198	23,24	317	-490	-173	-16,30	0,60	1,69	3,35
Apr	1279	0	6,32	1.097	804	23,24	182	-804	-622	-16,92	0,86	#DIV/0!	3,68
Mai	1245	0	6,3	1.212	0	23,24	33	0	33	-16,94	0,97	#DIV/0!	3,69
Jun	1183	0	6,24	1.176	0	23,24	7	0	7	-17,00	0,99	#DIV/0!	3,72
Juli	1199	0	6,11	1.215	0	23,24	-16	0	-16	-17,13	1,01	#DIV/0!	3,80
Aug	1134	0	5,86	1.214	0	23,24	-80	0	-80	-17,38	1,07	#DIV/0!	3,97
Sep	1161	3	5,85	1.176	0	23,24	-15	3	-12	-17,39	1,01	0,00	3,97
Okt	1320	2	5,59	1.143	834	23,24	177	-832	-655	-17,65	0,87	417,00	4,16
Nov	398	599	3,49	146	611	23,24	252	-12	240	-19,75	0,37	1,02	6,66
Dez	119	392	2,72	62	397	23,24	57	-5	52	-20,52	0,52	1,01	8,54
Jahr	10353	3177	65,61	9.205	5.373	278,88	1.148	-2.196	-1.048	-213,27	0,89	1,69	4,25
Rel. Abweichung Gesamt											0,077		
Abweichung Absolutwert											2,312		
rel. Abweichung Absolutwert											0,171		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST5d

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 60,75 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tw,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{h,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{tw,sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h,sol,sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	585	1645	10,13	273	1.480	69,72	312	165	477	-59,59	0,47	0,90	6,88
Feb	307	836	6,73	175	848	69,72	132	-12	120	-62,99	0,57	1,01	10,36
Mrz	1132	1019	9,69	613	1.565	69,72	519	-546	-27	-60,03	0,54	1,54	7,20
Apr	1279	0	6,51	1.124	824	69,72	155	-824	-669	-63,21	0,88	#DIV/0!	10,71
Mai	1245	0	6,49	1.241	0	69,72	4	0	4	-63,23	1,00	#DIV/0!	10,74
Jun	1183	0	5,9	1.183	0	69,72	0	0	0	-63,82	1,00	#DIV/0!	11,82
Jul	1199	0	6,78	1.230	0	69,72	-31	0	-31	-62,94	1,03	#DIV/0!	10,28
Aug	1134	0	5,06	1.222	0	69,72	-88	0	-88	-64,66	1,08	#DIV/0!	13,78
Sep	1161	3	6,01	1.188	0	69,72	-27	3	-24	-63,71	1,02	0,00	11,60
Okt	1320	2	5,86	1.165	851	69,72	155	-849	-694	-63,86	0,88	425,50	11,90
Nov	659	993	4,45	282	1.178	69,72	377	-185	192	-65,27	0,43	1,19	15,67
Dez	251	824	4,53	105	668	69,72	146	156	302	-65,19	0,42	0,81	15,39
Jahr	11455	5321	78,16	9.801	7.414	836,64	1.654	-2.093	-439	-758,48	0,86	1,39	10,70
Rel. Abweichung Gesamt											0,026		
Abweichung Absolutwert											2.628		
rel. Abweichung Absolutwert											0,157		

Variante ST6d

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 70,80 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tw,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{h,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{tw,sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h,sol,sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	759	2132	14,15	372	2.020	98,77	387	112	499	-84,62	0,49	0,95	6,98
Feb	471	1280	9,41	199	963	98,77	272	317	589	-89,36	0,42	0,75	10,50
Mrz	1238	1114	11,55	728	1.859	98,77	510	-745	-235	-87,22	0,59	1,67	8,55
Apr	1279	0	6,17	1.076	790	98,77	203	-790	-587	-92,60	0,84	#DIV/0!	16,01
Mai	1245	0	6,49	1.236	0	98,77	9	0	9	-92,28	0,99	#DIV/0!	15,22
Jun	1183	0	5,59	1.262	0	98,77	-79	0	-79	-93,18	1,07	#DIV/0!	17,67
Jul	1199	0	7,24	1.218	0	98,77	-19	0	-19	-91,53	1,02	#DIV/0!	13,64
Aug	1134	0	4,93	1.248	0	98,77	-114	0	-114	-93,84	1,10	#DIV/0!	20,03
Sep	1161	3	5,82	1.200	0	98,77	-39	3	-36	-92,95	1,03	0,00	16,97
Okt	1320	2	5,53	1.113	811	98,77	207	-809	-602	-93,24	0,84	405,50	17,86
Nov	1005	1515	4,12	423	1.769	98,77	582	-254	328	-94,65	0,42	1,17	23,97
Dez	353	1160	6,36	159	1.012	98,77	194	148	342	-92,41	0,45	0,87	15,53
Jahr	12345	7206	87,37	10.234	9.224	1.185,24	2.111	-2.018	93	-1.097,87	0,83	1,28	13,57
Rel. Abweichung Gesamt											-0,005		
Abweichung Absolutwert											3.439		
rel. Abweichung Absolutwert											0,176		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

G.3 Polysun Einfamilienhaus Nutzungs-Randbedingungen: DIN V 18599

Variante ST2a

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 30,21 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	58	585	3,02	70	717	1,80	-12	-132	-144	1,22	1,20	1,23	0,60
Feb	22	200	1,78	11	128	1,10	11	72	83	0,68	0,50	0,64	0,62
März	139	748	3,99	99	595	2,50	40	153	193	1,49	0,71	0,80	0,63
Apr	280	361	4,72	317	343	4,40	-37	18	-20	0,32	1,13	0,95	0,93
Mai	412	32	3,56	346	52	2,60	66	-20	47	0,96	0,84	1,61	0,73
Jun	403	6	4,34	341	0	3,60	62	6	68	0,74	0,85	0,00	0,83
Jul	407	0	3,24	341	0	2,20	66	0	66	1,04	0,84	#DIV/0!	0,68
Aug	409	0	3,91	375	0	3,20	34	0	34	0,71	0,92	#DIV/0!	0,82
Sep	397	37	2,99	317	31	2,40	80	6	85	0,59	0,80	0,85	0,80
Okt	328	762	3,79	333	615	2,70	-5	147	142	1,09	1,02	0,81	0,71
Nov	42	335	1,92	23	238	0,70	19	97	116	1,22	0,55	0,71	0,36
Dez	26	279	1,29	21	279	0,60	5	-0	5	0,69	0,80	1,00	0,47
Jahr	2922	3345	38,55	2.594	2.998	27,80	328	347	675	10,75	0,89	0,90	0,72
Rel. Abweichung Gesamt											-0,108		
Abweichung Absolutwert											1,003		
rel. Abweichung Absolutwert											0,160		

Variante ST3a

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 39,62 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	100	1004	4,72	104	1.077	1,50	-4	-73	-77	3,22	1,04	1,07	0,32
Feb	39	364	2,83	17	204	0,70	22	160	182	2,13	0,45	0,56	0,25
März	190	1025	5,47	135	814	2,00	55	211	265	3,47	0,71	0,79	0,37
Apr	356	458	5,39	317	343	3,20	39	115	154	2,19	0,89	0,75	0,59
Mai	412	32	3,75	346	52	2,00	66	-20	47	1,75	0,84	1,61	0,53
Jun	403	6	5,04	341	0	2,80	62	6	68	2,24	0,85	0,00	0,56
Jul	407	0	3,62	341	0	1,60	66	0	66	2,02	0,84	#DIV/0!	0,44
Aug	409	0	4,47	375	0	2,40	34	0	34	2,07	0,92	#DIV/0!	0,54
Sep	397	37	3,14	317	31	1,80	80	6	85	1,34	0,80	0,85	0,57
Okt	377	877	4,17	333	615	2,10	44	262	306	2,07	0,88	0,70	0,50
Nov	90	722	2,86	52	537	0,40	38	185	223	2,46	0,58	0,74	0,14
Dez	43	469	2,04	29	384	0,20	14	85	100	1,84	0,66	0,82	0,10
Jahr	3223	4994	47,5	2.708	4.055	20,70	515	939	1.453	26,80	0,84	0,81	0,44
Rel. Abweichung Gesamt											-0,177		
Abweichung Absolutwert											1,608		
rel. Abweichung Absolutwert											0,196		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST2c

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 40,02 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	98	575	3,17	106	627	1,60	-8	-52	-60	1,57	1,08	1,09	0,50
Feb	39	223	1,93	22	158	0,70	17	65	82	1,23	0,57	0,71	0,36
Mrz	178	456	3,37	130	385	1,90	48	71	119	1,47	0,73	0,84	0,56
Apr	386	138	3,68	349	50	2,80	37	88	125	0,88	0,90	0,36	0,76
Mai	415	5	3,62	346	0	2,40	69	5	74	1,22	0,83	0,00	0,66
Jun	399	0	4,34	346	0	3,20	53	0	53	1,14	0,87	#DIV/0!	0,74
Jul	404	0	3,3	342	0	2,00	62	0	62	1,30	0,85	#DIV/0!	0,61
Aug	404	0	3,86	376	0	2,80	28	0	28	1,06	0,93	#DIV/0!	0,73
Sep	400	5	2,95	346	0	2,20	54	5	59	0,75	0,86	0,00	0,75
Okt	414	195	2,83	342	103	1,90	72	92	164	0,93	0,83	0,53	0,67
Nov	85	406	1,83	58	363	0,40	27	43	70	1,43	0,69	0,89	0,22
Dez	38	258	1,38	31	270	0,30	7	-12	-6	1,08	0,83	1,05	0,22
Jahr	3261	2262	36,26	2.794	1.957	22,20	467	305	773	14,06	0,86	0,87	0,61
Rel. Abweichung Gesamt											-0,140		
Abweichung Absolutwert											902		
rel. Abweichung Absolutwert											0,163		

Variante ST3c

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 50,35 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	155	910	4,68	147	876	1,40	8	34	42	3,28	0,95	0,96	0,30
Feb	65	372	2,92	29	208	0,70	36	164	200	2,22	0,45	0,56	0,24
Mrz	266	682	4,61	179	530	1,60	87	152	239	3,01	0,67	0,78	0,35
Apr	386	138	4,27	349	50	2,40	37	88	125	1,87	0,90	0,36	0,56
Mai	415	5	3,73	346	0	1,80	69	5	74	1,93	0,83	0,00	0,48
Jun	399	0	4,65	346	0	2,60	53	0	53	2,05	0,87	#DIV/0!	0,56
Jul	404	0	3,84	342	0	1,60	62	0	62	2,24	0,85	#DIV/0!	0,42
Aug	404	0	4,18	376	0	2,20	28	0	28	1,98	0,93	#DIV/0!	0,53
Sep	400	5	3,18	346	0	1,60	54	5	59	1,58	0,86	0,00	0,50
Okt	414	195	3,1	342	103	1,40	72	92	164	1,70	0,83	0,53	0,45
Nov	159	761	2,56	96	595	0,20	63	166	229	2,36	0,60	0,78	0,08
Dez	53	359	2,09	45	388	0,00	8	-29	-21	2,09	0,85	1,08	0,00
Jahr	3521	3428	43,83	2.943	2.750	17,50	578	678	1.256	26,33	0,84	0,80	0,40
Rel. Abweichung Gesamt											-0,181		
Abweichung Absolutwert											1.296		
rel. Abweichung Absolutwert											0,186		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

G.4 Polysun Einfamilienhaus Nutzungs-Randbedingungen: DIN V 4701-10

Variante ST1b

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 30,24 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tr, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{p, sol, sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tr, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	65	416	2,47	86	498	2,10	-21	-82	-103	0,37	1,32	1,20	0,85
Feb	23	134	1,42	22	152	1,10	1	-18	-17	0,32	0,95	1,14	0,77
Mrz	143	384	2,75	108	299	2,00	35	85	120	0,75	0,76	0,78	0,73
Apr	392	139	3,91	432	58	3,60	-40	81	42	0,31	1,10	0,41	0,92
Mai	468	0	3,68	410	0	3,40	58	0	58	0,28	0,88	#DIV/0!	0,92
Jun	439	0	3,83	446	0	3,80	-7	0	-7	0,03	1,02	#DIV/0!	0,99
Jul	455	0	3,73	409	0	3,00	46	0	46	0,73	0,90	#DIV/0!	0,80
Aug	464	0	3,85	447	0	3,60	17	0	17	0,25	0,96	#DIV/0!	0,94
Sep	443	0	2,91	410	0	2,60	33	0	33	0,31	0,93	#DIV/0!	0,89
Okt	444	168	2,84	468	13	2,13	-24	155	131	0,71	1,05	0,08	0,75
Nov	49	232	1,54	42	245	0,80	7	-13	-6	0,74	0,86	1,05	0,52
Dez	23	166	1,04	23	198	1,30	0	-32	-31	-0,26	0,99	1,19	1,25
Jahr	3408	1637	33,97	3.303	1.462	29,23	105	175	280	4,74	0,97	0,89	0,86
Rel. Abweichung Gesamt											-0,055		
Abweichung Absolutwert											611		
rel. Abweichung Absolutwert											0,121		

Variante ST2b

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 39,76 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tr, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{p, sol, sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tr, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	120	770	3,99	126	733	1,60	-6	37	31	2,39	1,05	0,95	0,40
Feb	41	238	2,37	31	215	1,00	10	23	33	1,37	0,76	0,90	0,42
Mrz	224	599	4,03	173	479	1,60	51	120	171	2,43	0,77	0,80	0,40
Apr	457	162	4,45	432	58	2,60	25	104	130	1,85	0,94	0,36	0,58
Mai	481	0	3,91	410	0	2,20	71	0	71	1,71	0,85	#DIV/0!	0,56
Jun	457	0	4,81	446	0	3,00	11	0	11	1,81	0,98	#DIV/0!	0,62
Jul	461	0	3,76	409	0	2,10	52	0	52	1,66	0,89	#DIV/0!	0,56
Aug	464	0	4,12	447	0	2,60	17	0	17	1,52	0,96	#DIV/0!	0,63
Sep	468	0	3,1	410	0	2,00	58	0	58	1,10	0,88	#DIV/0!	0,65
Okt	480	181	3,22	468	13	1,70	12	168	180	1,52	0,97	0,07	0,53
Nov	112	529	2,36	79	456	0,40	33	73	107	1,96	0,70	0,86	0,17
Dez	48	341	1,71	42	363	1,00	6	-22	-16	0,71	0,87	1,07	0,58
Jahr	3812	2821	41,84	3.473	2.317	21,60	339	504	843	20,24	0,91	0,82	0,52
Rel. Abweichung Gesamt											-0,127		
Abweichung Absolutwert											875		
rel. Abweichung Absolutwert											0,132		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST3b

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,89 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	177	1141	5,78	185	1.078	2,10	-8	63	55	3,68	1,05	0,94	0,36
Feb	78	456	3,59	36	251	0,60	42	205	247	2,99	0,46	0,55	0,17
Mrz	325	869	5,5	236	654	1,70	89	215	304	3,80	0,73	0,75	0,31
Apr	457	162	4,57	432	58	2,20	25	104	130	2,37	0,94	0,36	0,48
Mai	481	0	4,28	410	0	1,80	71	0	71	2,48	0,85	#DIV/0!	0,42
Jun	457	0	5,11	446	0	2,40	11	0	11	2,71	0,98	#DIV/0!	0,47
Jul	461	0	4,25	409	0	1,60	52	0	52	2,65	0,89	#DIV/0!	0,38
Aug	464	0	4,24	447	0	2,00	17	0	17	2,24	0,96	#DIV/0!	0,47
Sep	468	0	3,51	410	0	1,60	58	0	58	1,91	0,88	#DIV/0!	0,46
Okt	480	181	3,46	468	13	1,30	12	168	180	2,16	0,97	0,07	0,38
Nov	194	916	3,3	120	697	0,20	74	219	293	3,10	0,62	0,76	0,06
Dez	68	486	2,57	66	579	1,80	2	-93	-91	0,77	0,98	1,19	0,70
Jahr	4110	4212	50,18	3.667	3.328	19,10	443	884	1.327	31,08	0,89	0,79	0,38
Rel. Abweichung Gesamt											-0,159		
Abweichung Absolutwert											1.508		
rel. Abweichung Absolutwert											0,181		

Variante ST1d

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 40,46 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	96	299	2,1	112	292	1,70	-16	7	-10	0,40	1,17	0,98	0,81
Feb	29	87	1,29	25	94	1,00	4	-7	-3	0,29	0,87	1,08	0,78
Mrz	218	187	2,25	210	166	2,10	8	21	29	0,15	0,96	0,89	0,93
Apr	435	6	3,38	411	0	3,60	24	6	30	-0,22	0,94	0,00	1,07
Mai	450	0	3,57	410	0	3,60	41	0	41	-0,03	0,91	#DIV/0!	1,01
Jun	423	0	3,85	447	0	4,20	-24	0	-24	-0,35	1,06	#DIV/0!	1,09
Jul	427	0	3,4	410	0	3,20	17	0	17	0,20	0,96	#DIV/0!	0,94
Aug	446	0	3,71	447	0	4,00	-1	0	-1	-0,29	1,00	#DIV/0!	1,08
Sep	409	0	2,7	411	0	2,80	-2	0	-2	-0,10	1,00	#DIV/0!	1,04
Okt	441	3	2,46	482	0	2,30	-41	3	-38	0,16	1,09	0,00	0,93
Nov	84	167	1,25	53	139	0,40	31	28	59	0,85	0,63	0,83	0,32
Dez	35	133	0,91	35	170	0,40	-0	-37	-37	0,51	1,01	1,28	0,44
Jahr	3492	882	30,87	3.453	861	29,10	39	21	60	1,77	0,99	0,98	0,94
Rel. Abweichung Gesamt											-0,014		
Abweichung Absolutwert											291		
rel. Abweichung Absolutwert											0,066		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST2d

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 50,46 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	150	468	3	173	449	1,60	-23	19	-3	1,40	1,15	0,96	0,53
Feb	58	175	1,92	48	178	0,80	10	-3	7	1,12	0,82	1,02	0,42
Mrz	322	276	2,92	282	223	1,70	40	53	93	1,22	0,87	0,81	0,58
Apr	475	7	3,95	411	0	3,00	64	7	71	0,95	0,86	0,00	0,76
Mai	469	0	3,67	410	0	2,80	60	0	60	0,87	0,87	#DIV/0!	0,76
Jun	447	0	4,38	447	0	3,60	0	0	0	0,78	1,00	#DIV/0!	0,82
Jul	442	0	3,58	410	0	2,30	32	0	32	1,28	0,93	#DIV/0!	0,64
Aug	446	0	4,09	447	0	3,20	-1	0	-1	0,89	1,00	#DIV/0!	0,78
Sep	455	0	3,02	411	0	2,20	44	0	44	0,82	0,90	#DIV/0!	0,73
Okt	488	3	2,91	482	0	1,90	6	3	9	1,01	0,99	0,00	0,65
Nov	168	335	1,63	101	267	0,30	67	68	135	1,33	0,60	0,80	0,18
Dez	56	213	1,35	53	254	0,40	3	-41	-38	0,95	0,94	1,19	0,30
Jahr	3976	1477	36,42	3.673	1.372	23,60	303	105	408	12,82	0,92	0,93	0,65
Rel. Abweichung Gesamt											-0,075		
Abweichung Absolutwert											493		
rel. Abweichung Absolutwert											0,090		

Variante ST3d

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 60,12 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	206	643	4,25	229	596	1,60	-23	47	23	2,65	1,11	0,93	0,38
Feb	111	332	2,81	68	255	0,80	43	77	120	2,01	0,61	0,77	0,28
Mrz	402	345	3,97	373	296	1,80	29	49	78	2,17	0,93	0,86	0,45
Apr	475	7	4,06	411	0	2,40	64	7	71	1,66	0,86	0,00	0,59
Mai	469	0	4,11	410	0	2,00	60	0	60	2,11	0,87	#DIV/0!	0,49
Jun	447	0	4,87	447	0	2,80	0	0	0	2,07	1,00	#DIV/0!	0,57
Jul	442	0	3,93	410	0	1,80	32	0	32	2,13	0,93	#DIV/0!	0,46
Aug	446	0	4,1	447	0	2,60	-1	0	-1	1,50	1,00	#DIV/0!	0,63
Sep	455	0	3,29	411	0	1,80	44	0	44	1,49	0,90	#DIV/0!	0,55
Okt	488	3	3,26	482	0	1,50	6	3	9	1,76	0,99	0,00	0,46
Nov	241	481	1,65	156	411	0,30	85	70	155	1,35	0,65	0,85	0,18
Dez	105	398	2,02	73	350	0,20	32	48	81	1,82	0,69	0,88	0,10
Jahr	4287	2210	42,34	3.917	1.908	19,40	370	302	673	22,94	0,91	0,86	0,46
Rel. Abweichung Gesamt											-0,104		
Abweichung Absolutwert											674		
rel. Abweichung Absolutwert											0,104		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

G.5 Polysun Mehrfamilienhaus Nutzungs-Randbedingungen: DIN V 18599

Variante ST4a

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 30,28 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw, sol, sim}$	$\Delta Q_{h, sol, sim}$	$\Delta Q_{sol, sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{h, sol, sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	155	927	4,74	155	1.060	2,20	-0	-133	-133	2,54	1,00	1,14	0,46
Feb	72	406	3	29	217	1,20	43	189	232	1,80	0,40	0,53	0,40
März	461	1508	7,4	292	1.048	2,70	169	460	629	4,70	0,63	0,70	0,36
Apr	926	732	9,04	1.115	609	5,40	-189	123	-66	3,64	1,20	0,83	0,60
Mai	1299	0	6,21	1.111	50	3,90	188	-50	138	2,31	0,86	#DIV/0!	0,63
Jun	1235	0	6,69	1.109	0	4,40	126	0	126	2,29	0,90	#DIV/0!	0,66
Jul	1241	0	6,82	1.182	0	3,80	59	0	59	3,02	0,95	#DIV/0!	0,56
Aug	1247	1	6,49	1.122	0	4,20	125	1	126	2,29	0,90	0,00	0,65
Sep	1249	1	6,08	1.108	17	3,22	141	-16	125	2,86	0,89	16,91	0,53
Okt	1202	998	7,07	1.141	1.018	3,50	61	-20	41	3,57	0,95	1,02	0,50
Nov	102	470	3,11	39	250	0,80	63	220	283	2,31	0,39	0,53	0,26
Dez	61	391	2,02	47	414	1,50	14	-23	-10	0,52	0,78	1,06	0,74
Jahr	9250	5433	68,66	8.450	4.683	36,82	800	750	1.550	31,84	0,91	0,86	0,54
Rel. Abweichung Gesamt											-0,106		
Abweichung Absolutwert											1,968		
rel. Abweichung Absolutwert											0,134		

Variante ST5a

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 40,04 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw, sol, sim}$	$\Delta Q_{h, sol, sim}$	$\Delta Q_{sol, sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{h, sol, sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	314	1879	8,77	270	1.840	3,70	44	39	83	5,07	0,86	0,98	0,42
Feb	123	690	5,48	38	282	1,20	85	408	493	4,28	0,31	0,41	0,22
März	684	2234	11,6	435	1.564	2,60	249	670	919	9,00	0,64	0,70	0,22
Apr	1244	983	11,15	1.115	609	3,90	129	374	504	7,25	0,90	0,62	0,35
Mai	1299	0	6,67	1.111	50	2,70	188	-50	138	3,97	0,86	#DIV/0!	0,40
Jun	1235	0	6,76	1.109	0	3,00	126	0	126	3,76	0,90	#DIV/0!	0,44
Jul	1241	0	6,23	1.182	0	2,40	59	0	59	3,83	0,95	#DIV/0!	0,39
Aug	1247	1	6,58	1.122	0	2,80	125	1	126	3,78	0,90	0,00	0,43
Sep	1249	1	5,91	1.108	17	2,20	141	-16	125	3,71	0,89	16,91	0,37
Okt	1300	1080	8,74	1.141	1.018	2,70	159	62	221	6,04	0,88	0,94	0,31
Nov	325	1500	5,56	145	921	0,70	180	579	759	4,86	0,45	0,61	0,13
Dez	106	680	3,73	102	889	2,80	4	-209	-205	0,93	0,96	1,31	0,75
Jahr	10367	9047	87,19	8.877	7.190	30,70	1.490	1.857	3.347	56,49	0,86	0,79	0,35
Rel. Abweichung Gesamt											-0,172		
Abweichung Absolutwert											3,758		
rel. Abweichung Absolutwert											0,194		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST6a

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 49,58 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	492	2944	13,81	390	2.661	3,60	102	283	386	10,21	0,79	0,90	0,26
Feb	189	1059	8,67	58	428	1,20	131	631	762	7,47	0,30	0,40	0,14
März	931	3043	16,23	575	2.067	2,40	356	976	1.332	13,83	0,62	0,68	0,15
Apr	1244	983	10,49	1.115	609	3,30	129	374	504	7,19	0,90	0,62	0,31
Mai	1299	0	7,11	1.111	50	2,30	188	-50	138	4,81	0,86	#DIV/0!	0,32
Jun	1235	0	6,98	1.109	0	2,40	126	0	126	4,58	0,90	#DIV/0!	0,34
Juli	1241	0	6,87	1.182	0	1,80	59	0	59	5,07	0,95	#DIV/0!	0,26
Aug	1247	1	6,53	1.122	0	2,40	125	1	126	4,13	0,90	0,00	0,37
Sep	1249	1	6,01	1.108	17	1,80	141	-16	125	4,21	0,89	16,91	0,30
Okt	1300	1080	9,27	1.141	1.018	2,10	159	62	221	7,17	0,88	0,94	0,23
Nov	550	2537	8,28	262	1.666	0,80	288	871	1.158	7,48	0,48	0,66	0,10
Dez	192	1227	5,93	152	1.329	3,30	40	-102	-62	2,63	0,79	1,08	0,56
Jahr	11169	12875	106,19	9.324	9.845	27,40	1.845	3.030	4.875	78,79	0,83	0,76	0,26
Rel. Abweichung Gesamt											-0,203		
Abweichung Absolutwert											4.999		
rel. Abweichung Absolutwert											0,208		

Variante ST4c

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 39,39 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	255	922	5,05	248	1.042	2,90	7	-120	-113	2,15	0,97	1,13	0,57
Feb	98	342	3,13	44	205	1,30	54	137	191	1,83	0,45	0,60	0,42
März	571	916	6,56	407	714	2,30	164	202	366	4,26	0,71	0,78	0,35
Apr	1235	265	7,57	1.108	105	4,00	127	160	287	3,57	0,90	0,40	0,53
Mai	1274	0	6,28	1.117	0	3,60	157	0	157	2,68	0,88	#DIV/0!	0,57
Jun	1219	0	6,69	1.108	0	4,00	111	0	111	2,69	0,91	#DIV/0!	0,60
Juli	1211	0	6,81	1.191	0	3,60	20	0	20	3,21	0,98	#DIV/0!	0,53
Aug	1210	0	6,31	1.118	0	4,00	92	0	92	2,31	0,92	#DIV/0!	0,63
Sep	1220	2	6	1.109	0	3,00	111	2	113	3,00	0,91	0,00	0,50
Okt	1318	2	5,58	1.112	131	2,70	206	-129	76	2,88	0,84	65,57	0,48
Nov	255	694	3,11	130	520	0,80	125	174	299	2,31	0,51	0,75	0,26
Dez	94	383	2,15	103	597	3,40	-9	-214	-223	-1,25	1,09	1,56	1,58
Jahr	9962	3525	65,25	8.795	3.313	35,60	1.167	212	1.378	29,65	0,88	0,94	0,55
Rel. Abweichung Gesamt											-0,102		
Abweichung Absolutwert											2.048		
rel. Abweichung Absolutwert											0,152		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST5c

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 49,47 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	442	1596	8,66	395	1.660	3,60	47	-64	-16	5,06	0,89	1,04	0,42
Feb	190	662	5,47	73	342	1,10	117	320	438	4,37	0,38	0,52	0,20
März	868	1391	10,08	587	1.030	2,30	281	361	643	7,78	0,68	0,74	0,23
Apr	1260	270	7,4	1.108	105	3,20	152	165	317	4,20	0,88	0,39	0,43
Mai	1274	0	6,45	1.117	0	2,60	157	0	157	3,85	0,88	#DIV/0!	0,40
Jun	1219	0	6,12	1.108	0	3,00	111	0	111	3,12	0,91	#DIV/0!	0,49
Juli	1211	0	6,96	1.191	0	2,40	20	0	20	4,56	0,98	#DIV/0!	0,34
Aug	1210	0	6,17	1.118	0	2,80	92	0	92	3,37	0,92	#DIV/0!	0,45
Sep	1220	2	6,55	1.109	0	2,20	111	2	113	4,35	0,91	0,00	0,34
Okt	1318	2	5,95	1.112	131	2,10	206	-129	76	3,85	0,84	65,57	0,35
Nov	525	1427	5,04	268	1.069	0,80	257	358	615	4,24	0,51	0,75	0,16
Dez	168	683	3,69	153	893	3,10	15	-210	-196	0,59	0,91	1,31	0,84
Jahr	10906	6034	78,55	9.340	5.230	29,20	1.566	804	2.371	49,35	0,86	0,87	0,37
Rel. Abweichung Gesamt											-0,140		
Abweichung Absolutwert											2,793		
rel. Abweichung Absolutwert											0,165		

Variante ST6c

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 59,89 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	636	2298	12,71	518	2.178	3,30	118	120	238	9,41	0,81	0,95	0,26
Feb	297	1033	8,19	101	471	1,10	196	562	758	7,09	0,34	0,46	0,13
März	1154	1849	13,31	760	1.334	2,20	394	515	909	11,11	0,66	0,72	0,17
Apr	1260	270	6,4	1.108	105	2,80	152	165	317	3,60	0,88	0,39	0,44
Mai	1274	0	7,45	1.117	0	2,20	157	0	157	5,25	0,88	#DIV/0!	0,30
Jun	1219	0	6,55	1.108	0	2,40	111	0	111	4,15	0,91	#DIV/0!	0,37
Juli	1211	0	6,39	1.191	0	1,80	20	0	20	4,59	0,98	#DIV/0!	0,28
Aug	1210	0	6,26	1.118	0	2,60	92	0	92	3,66	0,92	#DIV/0!	0,42
Sep	1220	2	5,7	1.109	0	1,80	111	2	113	3,90	0,91	0,00	0,32
Okt	1318	2	6,2	1.112	131	1,90	206	-129	76	4,30	0,84	65,57	0,31
Nov	787	2139	6,19	417	1.665	0,90	370	474	844	5,29	0,53	0,78	0,15
Dez	263	1067	5,61	220	1.282	6,00	43	-215	-173	-0,39	0,84	1,20	1,07
Jahr	11849	8660	90,96	9.880	7.167	29,00	1.969	1.493	3.462	61,96	0,83	0,83	0,32
Rel. Abweichung Gesamt											-0,169		
Abweichung Absolutwert											3,807		
rel. Abweichung Absolutwert											0,186		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

G.6 Polysun Mehrfamilienhaus Nutzungs-Randbedingungen: DIN V 4701-10

Variante ST4b

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 29,71 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw, sol, sim}$	$\Delta Q_{h, sol, sim}$	$\Delta Q_{sol, sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{h, sol, sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	127	661	3,38	136	784	2,00	-9	-123	-132	1,38	1,07	1,19	0,59
Feb	46	225	2,18	19	125	1,10	27	100	128	1,08	0,41	0,55	0,50
März	386	916	5,14	267	684	2,90	119	232	351	2,24	0,69	0,75	0,56
Apr	986	391	7,33	1.036	166	5,30	-50	225	176	2,03	1,05	0,42	0,72
Mai	1228	0	5,61	1.148	0	4,80	80	0	80	0,81	0,93	#DIV/0!	0,86
Jun	1251	0	6,64	1.062	0	5,60	189	0	189	1,04	0,85	#DIV/0!	0,84
Jul	1173	0	5,4	1.061	0	4,60	112	0	112	0,80	0,90	#DIV/0!	0,85
Aug	1241	1	6,43	1.155	0	5,60	86	1	87	0,83	0,93	0,00	0,87
Sep	1193	2	4,99	1.057	0	4,00	136	2	138	0,99	0,89	0,00	0,80
Okt	1252	117	4,57	1.032	128	3,20	220	-11	209	1,37	0,82	1,09	0,70
Nov	99	370	2,2	58	315	0,70	41	55	96	1,50	0,58	0,85	0,32
Dez	41	232	1,45	33	262	1,00	8	-30	-22	0,45	0,79	1,13	0,69
Jahr	9024	2915	55,33	8.062	2.463	40,70	962	452	1.414	14,63	0,89	0,84	0,74
Rel. Abweichung Gesamt											-0,118		
Abweichung Absolutwert											1,721		
rel. Abweichung Absolutwert											0,144		

Variante ST5b

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 39,68 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw, sol, sim}$	$\Delta Q_{h, sol, sim}$	$\Delta Q_{sol, sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{h, sol, sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	269	1396	6,7	241	1.384	4,10	28	12	41	2,60	0,89	0,99	0,61
Feb	93	453	4,33	36	241	1,20	57	212	269	3,13	0,39	0,53	0,28
März	635	1507	9,1	401	1.024	2,50	234	483	717	6,60	0,63	0,68	0,27
Apr	1241	493	8,32	1.036	166	3,50	205	327	533	4,82	0,83	0,34	0,42
Mai	1228	0	5,44	1.148	0	3,00	80	0	80	2,44	0,93	#DIV/0!	0,55
Jun	1251	0	6,33	1.062	0	3,40	189	0	189	2,93	0,85	#DIV/0!	0,54
Jul	1173	0	6,25	1.061	0	2,80	112	0	112	3,45	0,90	#DIV/0!	0,45
Aug	1241	1	5,89	1.155	0	3,40	86	1	87	2,49	0,93	0,00	0,58
Sep	1203	2	5,47	1.057	0	2,40	146	2	148	3,07	0,88	0,00	0,44
Okt	1334	125	5,54	1.032	128	2,40	302	-3	299	3,14	0,77	1,02	0,43
Nov	348	1298	4,13	188	1.025	0,60	160	273	433	3,53	0,54	0,79	0,15
Dez	99	559	2,9	106	858	3,70	-7	-299	-306	-0,80	1,07	1,53	1,28
Jahr	10116	5832	70,39	8.522	4.824	32,90	1.594	1.008	2.602	37,49	0,84	0,83	0,47
Rel. Abweichung Gesamt											-0,163		
Abweichung Absolutwert											3,215		
rel. Abweichung Absolutwert											0,202		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST6b

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,86 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	463	2406	11,03	357	2.050	4,60	106	356	462	6,43	0,77	0,85	0,42
Feb	171	833	7,16	53	354	1,30	118	479	597	5,86	0,31	0,42	0,18
März	889	2111	13,95	566	1.447	2,40	323	664	987	11,55	0,64	0,69	0,17
Apr	1241	493	7,92	1.036	166	3,20	205	327	533	4,72	0,83	0,34	0,40
Mai	1228	0	5,78	1.148	0	2,20	80	0	80	3,58	0,93	#DIV/0!	0,38
Jun	1251	0	6,43	1.062	0	2,80	189	0	189	3,63	0,85	#DIV/0!	0,44
Juli	1173	0	5,57	1.061	0	2,00	112	0	112	3,57	0,90	#DIV/0!	0,36
Aug	1241	1	6,77	1.155	0	2,60	86	1	87	4,17	0,93	0,00	0,38
Sep	1203	2	5,05	1.057	0	2,00	146	2	148	3,05	0,88	0,00	0,40
Okt	1334	125	5,94	1.032	128	1,80	302	-3	299	4,14	0,77	1,02	0,30
Nov	574	2139	6,33	313	1.703	0,70	261	436	698	5,63	0,54	0,80	0,11
Dez	175	986	4,81	150	1.208	4,40	25	-222	-197	0,41	0,86	1,23	0,91
Jahr	10944	9093	86,74	8.988	7.056	29,90	1.956	2.037	3.993	56,84	0,82	0,78	0,34
Rel. Abweichung Gesamt											-0,199		
Abweichung Absolutwert											4,389		
rel. Abweichung Absolutwert											0,219		

Variante ST4d

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,00 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	371	1043	6,19	291	842	1,70	80	201	281	4,49	0,79	0,81	0,27
Feb	159	431	4,01	78	290	1,10	81	141	222	2,91	0,49	0,67	0,27
März	786	708	6,94	617	587	2,00	169	121	290	4,94	0,78	0,83	0,29
Apr	1279	0	6,32	1.059	0	3,20	220	0	220	3,12	0,83	#DIV/0!	0,51
Mai	1245	0	6,3	1.062	0	3,00	183	0	183	3,30	0,85	#DIV/0!	0,48
Jun	1183	0	6,24	1.062	0	3,20	121	0	121	3,04	0,90	#DIV/0!	0,51
Juli	1199	0	6,11	1.064	0	3,00	135	0	135	3,11	0,89	#DIV/0!	0,49
Aug	1134	0	5,86	1.146	0	3,00	-12	0	-12	2,86	1,01	#DIV/0!	0,51
Sep	1161	3	5,85	1.057	0	2,60	104	3	107	3,25	0,91	0,00	0,44
Okt	1320	2	5,59	1.045	0	2,20	275	2	277	3,39	0,79	0,00	0,39
Nov	398	599	3,49	197	546	0,60	201	53	254	2,89	0,50	0,91	0,17
Dez	119	392	2,72	101	499	0,80	18	-107	-89	1,92	0,85	1,27	0,29
Jahr	10353	3177	65,61	8.777	2.764	26,30	1.576	413	1.988	39,31	0,85	0,87	0,40
Rel. Abweichung Gesamt											-0,147		
Abweichung Absolutwert											2,191		
rel. Abweichung Absolutwert											0,162		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST5d

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 60,75 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	585	1645	10,13	470	1.357	2,80	115	288	403	7,33	0,80	0,83	0,28
Feb	307	836	6,73	125	467	1,10	182	369	551	5,63	0,41	0,56	0,16
Mrz	1132	1019	9,69	847	807	2,00	285	212	497	7,69	0,75	0,79	0,21
Apr	1279	0	6,51	1.059	0	2,60	220	0	220	3,91	0,83	#DIV/0!	0,40
Mai	1245	0	6,49	1.062	0	2,20	183	0	183	4,29	0,85	#DIV/0!	0,34
Jun	1183	0	5,9	1.062	0	2,60	121	0	121	3,30	0,90	#DIV/0!	0,44
Jul	1199	0	6,78	1.064	0	2,00	135	0	135	4,78	0,89	#DIV/0!	0,29
Aug	1134	0	5,06	1.146	0	2,60	-12	0	-12	2,46	1,01	#DIV/0!	0,51
Sep	1161	3	6,01	1.057	0	1,80	104	3	107	4,21	0,91	0,00	0,30
Okt	1320	2	5,86	1.045	0	1,80	275	2	277	4,06	0,79	0,00	0,31
Nov	659	993	4,45	349	967	0,40	310	26	335	4,05	0,53	0,97	0,09
Dez	251	824	4,53	195	968	3,30	56	-144	-88	1,23	0,78	1,17	0,73
Jahr	11455	5321	78,16	9.480	4.566	25,10	1.975	755	2.729	53,06	0,83	0,86	0,32
Rel. Abweichung Gesamt											-0,163		
Abweichung Absolutwert											2.929		
rel. Abweichung Absolutwert											0,175		

Variante ST6d

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 70,80 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	759	2132	14,15	581	1.678	2,40	178	454	632	11,75	0,77	0,79	0,17
Feb	471	1280	9,41	185	691	1,10	286	589	875	8,31	0,39	0,54	0,12
Mrz	1238	1114	11,55	1.021	972	2,00	217	142	359	9,55	0,82	0,87	0,17
Apr	1279	0	6,17	1.059	0	2,40	220	0	220	3,77	0,83	#DIV/0!	0,39
Mai	1245	0	6,49	1.062	0	2,00	183	0	183	4,49	0,85	#DIV/0!	0,31
Jun	1183	0	5,59	1.062	0	2,20	121	0	121	3,39	0,90	#DIV/0!	0,39
Jul	1199	0	7,24	1.064	0	1,80	135	0	135	5,44	0,89	#DIV/0!	0,25
Aug	1134	0	4,93	1.146	0	2,20	-12	0	-12	2,73	1,01	#DIV/0!	0,45
Sep	1161	3	5,82	1.057	0	1,60	104	3	107	4,22	0,91	0,00	0,27
Okt	1320	2	5,53	1.045	0	1,60	275	2	277	3,93	0,79	0,00	0,29
Nov	1005	1515	4,12	530	1.466	0,60	475	49	524	3,52	0,53	0,97	0,15
Dez	353	1160	6,36	253	1.256	5,70	100	-96	4	0,66	0,72	1,08	0,90
Jahr	12345	7206	87,37	10.063	6.064	25,50	2.282	1.142	3.424	61,87	0,82	0,84	0,29
Rel. Abweichung Gesamt											-0,175		
Abweichung Absolutwert											3.449		
rel. Abweichung Absolutwert											0,176		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

G.7 T*Sol Einfamilienhaus Nutzungs-Randbedingungen: DIN V 18599

Variante ST2a

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 30,21 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	58	585	3,02	50	537	2,89	8	48	56	0,13	1,03	0,90	0,96
Feb	22	200	1,78	20	197	1,97	2	3	5	-0,19	1,45	0,93	1,11
März	139	748	3,99	129	749	4,46	10	-1	9	-0,47	1,26	0,94	1,12
Apr	280	361	4,72	307	415	5,78	-27	-54	-81	-1,06	1,25	1,03	1,22
Mai	412	32	3,56	436	35	4,33	-24	-3	-27	-0,77	1,08	0,78	1,22
Jun	403	6	4,34	431	7	4,86	-28	-1	-29	-0,52	1,07	0,83	1,12
Jul	407	0	3,24	444	0	4,07	-37	0	-37	-0,83	1,09	#DIV/0!	1,26
Aug	409	0	3,91	453	0	4,86	-44	0	-44	-0,95	1,11	#DIV/0!	1,24
Sep	397	37	2,99	422	42	3,54	-25	-5	-30	-0,55	1,09	0,81	1,19
Okt	328	762	3,79	311	772	4,59	17	-10	7	-0,80	1,13	0,93	1,21
Nov	42	335	1,92	41	350	1,97	1	-15	-14	-0,05	1,29	1,01	1,03
Dez	26	279	1,29	16	189	1,18	10	90	100	0,11	0,96	0,65	0,92
Jahr	2922	3345	38,55	3.060	3.293	44,49	-138	52	-86	-5,94	1,12	0,92	1,15
Rel. Abweichung Gesamt											0,014		
Abweichung Absolutwert											439		
rel. Abweichung Absolutwert											0,070		

Variante ST3a

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 39,62 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	100	1004	4,72	85	921	4,60	15	83	98	0,12	1,00	0,90	0,97
Feb	39	364	2,83	35	345	3,06	4	19	23	-0,23	1,51	0,88	1,08
März	190	1025	5,47	193	1.113	6,72	-3	-88	-91	-1,25	1,42	1,01	1,23
Apr	356	458	5,39	361	488	7,07	-5	-30	-35	-1,68	1,25	0,88	1,31
Mai	412	32	3,75	470	38	4,71	-58	-6	-64	-0,96	1,17	0,78	1,26
Jun	403	6	5,04	469	8	6,36	-66	-2	-68	-1,32	1,17	0,83	1,26
Jul	407	0	3,62	479	0	4,24	-72	0	-72	-0,62	1,18	#DIV/0!	1,17
Aug	409	0	4,47	493	0	5,66	-84	0	-84	-1,19	1,21	#DIV/0!	1,27
Sep	397	37	3,14	458	45	4,01	-61	-8	-69	-0,87	1,19	0,81	1,28
Okt	377	877	4,17	358	889	5,89	19	-12	7	-1,72	1,25	0,89	1,41
Nov	90	722	2,86	83	715	3,06	7	7	14	-0,20	1,27	0,95	1,07
Dez	43	469	2,04	28	329	1,89	15	140	155	0,15	1,00	0,67	0,92
Jahr	3223	4994	47,5	3.511	4.892	57,28	-288	102	-186	-9,78	1,21	0,90	1,21
Rel. Abweichung Gesamt											0,023		
Abweichung Absolutwert											780		
rel. Abweichung Absolutwert											0,095		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST2c

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 40,02 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	98	575	3,17	88	559	3,19	10	16	26	-0,02	1,01	0,95	1,01
Feb	39	223	1,93	34	211	2,17	5	12	17	-0,24	1,38	0,86	1,13
Mrz	178	456	3,37	209	570	4,47	-31	-114	-145	-1,10	1,42	1,15	1,33
Apr	386	138	3,68	381	142	4,86	5	-4	1	-1,18	1,06	0,81	1,32
Mai	415	5	3,62	445	6	4,22	-30	-1	-31	-0,60	1,08	0,80	1,16
Jun	399	0	4,34	436	0	5,11	-37	0	-37	-0,77	1,09	#DIV/0!	1,18
Jul	404	0	3,3	445	0	4,09	-41	0	-41	-0,79	1,10	#DIV/0!	1,24
Aug	404	0	3,86	454	0	4,86	-50	0	-50	-1,00	1,12	#DIV/0!	1,26
Sep	400	5	2,95	433	6	3,45	-33	-1	-34	-0,50	1,09	0,80	1,17
Okt	414	195	2,83	402	200	3,32	12	-5	7	-0,49	1,08	0,80	1,17
Nov	85	406	1,83	85	438	2,17	-0	-32	-32	-0,34	1,24	1,03	1,19
Dez	38	258	1,38	28	203	1,28	10	55	65	0,10	1,11	0,73	0,93
Jahr	3261	2262	36,26	3.441	2.334	43,19	-180	-72	-252	-6,93	1,11	0,95	1,19
Rel. Abweichung Gesamt											0,046		
Abweichung Absolutwert											486		
rel. Abweichung Absolutwert											0,088		

Variante ST3c

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 50,35 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw,sol,sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h,sol,sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	155	910	4,68	138	876	4,78	17	34	51	-0,10	1,14	0,92	1,02
Feb	65	372	2,92	51	312	3,27	14	60	74	-0,35	0,97	0,81	1,12
Mrz	266	682	4,61	271	740	6,07	-5	-58	-63	-1,46	1,33	0,96	1,32
Apr	386	138	4,27	425	158	5,48	-39	-20	-59	-1,21	1,22	0,82	1,28
Mai	415	5	3,73	482	6	4,43	-67	-1	-68	-0,70	1,17	0,80	1,19
Jun	399	0	4,65	473	0	6,42	-74	0	-74	-1,77	1,19	#DIV/0!	1,38
Jul	404	0	3,84	482	0	4,32	-78	0	-78	-0,48	1,19	#DIV/0!	1,12
Aug	404	0	4,18	493	0	5,60	-89	0	-89	-1,42	1,22	#DIV/0!	1,34
Sep	400	5	3,18	472	6	3,85	-72	-1	-73	-0,67	1,19	0,80	1,21
Okt	414	195	3,1	424	212	4,08	-10	-17	-27	-0,98	1,16	0,80	1,32
Nov	159	761	2,56	143	736	3,03	16	25	41	-0,47	1,11	0,92	1,18
Dez	53	359	2,09	47	344	1,87	6	15	21	0,22	1,13	0,92	0,89
Jahr	3521	3428	43,83	3.901	3.390	53,20	-380	38	-342	-9,37	1,19	0,91	1,21
Rel. Abweichung Gesamt											0,049		
Abweichung Absolutwert											718		
rel. Abweichung Absolutwert											0,103		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

G.8 T*Sol Einfamilienhaus Nutzungs-Randbedingungen: DIN V 4701-10

Variante ST1b

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 30,24 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	65	416	2,47	62	378	2,35	3	38	41	0,12	1,31	0,85	0,95
Feb	23	134	1,42	29	157	1,66	-6	-23	-29	-0,24	2,26	1,00	1,17
März	143	384	2,75	144	500	3,74	-1	-116	-117	-0,99	1,21	1,23	1,36
Apr	392	139	3,91	289	430	5,54	103	-291	-188	-1,63	0,90	2,65	1,42
Mai	468	0	3,68	404	133	4,85	64	-133	-69	-1,17	0,93	#DIV/0!	1,32
Jun	439	0	3,83	400	36	4,57	39	-36	3	-0,74	0,94	#DIV/0!	1,19
Jul	455	0	3,73	427	2	4,29	28	-2	26	-0,56	0,94	#DIV/0!	1,15
Aug	464	0	3,85	469	2	4,57	-5	-2	-7	-0,72	1,01	#DIV/0!	1,19
Sep	443	0	2,91	419	123	3,88	24	-123	-99	-0,97	0,99	#DIV/0!	1,33
Okt	444	168	2,84	327	479	4,02	117	-311	-194	-1,18	0,81	2,65	1,41
Nov	49	232	1,54	50	212	1,66	-1	20	19	-0,12	1,41	0,83	1,08
Dez	23	166	1,04	21	134	0,97	2	32	34	0,07	1,78	0,69	0,93
Jahr	3408	1637	33,97	3.038	2.589	42,09	370	-952	-582	-8,12	0,97	1,41	1,24
Rel. Abweichung Gesamt											0,115		
Abweichung Absolutwert											826		
rel. Abweichung Absolutwert											0,164		

Variante ST2b

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 39,76 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	120	770	3,99	114	704	3,87	6	66	72	0,12	1,00	0,91	0,97
Feb	41	238	2,37	48	254	2,66	-7	-16	-23	-0,29	1,49	1,01	1,12
März	224	599	4,03	221	772	5,68	3	-173	-170	-1,65	1,29	1,18	1,41
Apr	457	162	4,45	376	558	7,37	81	-396	-315	-2,92	0,93	3,14	1,66
Mai	481	0	3,91	479	159	5,20	2	-159	-157	-1,29	1,07	#DIV/0!	1,33
Jun	457	0	4,81	488	44	6,16	-31	-44	-75	-1,35	1,09	#DIV/0!	1,28
Jul	461	0	3,76	510	3	4,71	-49	-3	-52	-0,95	1,11	#DIV/0!	1,25
Aug	464	0	4,12	518	3	5,44	-54	-3	-57	-1,32	1,12	#DIV/0!	1,32
Sep	468	0	3,1	467	138	4,11	1	-138	-137	-1,01	1,06	#DIV/0!	1,33
Okt	480	181	3,22	424	623	5,20	56	-442	-386	-1,98	1,05	3,01	1,61
Nov	112	529	2,36	109	467	2,66	3	62	65	-0,30	1,13	0,85	1,13
Dez	48	341	1,71	40	257	1,57	8	84	92	0,14	1,19	0,70	0,92
Jahr	3812	2821	41,84	3.796	3.980	54,62	16	-1.159	-1.143	-12,78	1,08	1,30	1,31
Rel. Abweichung Gesamt											0,172		
Abweichung Absolutwert											1.601		
rel. Abweichung Absolutwert											0,241		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST3b

EFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,89 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tw, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sol, sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tw, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	177	1141	5,78	166	1.023	5,77	11	118	129	0,01	1,10	0,87	1,00
Feb	78	456	3,59	69	369	3,96	9	87	96	-0,37	1,00	0,79	1,10
Mrz	325	869	5,5	305	1.061	7,36	20	-192	-172	-1,86	1,24	1,11	1,34
Apr	457	162	4,57	421	625	8,26	36	-463	-427	-3,69	1,12	3,31	1,81
Mai	481	0	4,28	502	166	5,21	-21	-166	-187	-0,93	1,13	#DIV/0!	1,22
Jun	457	0	5,11	520	47	7,36	-63	-47	-110	-2,25	1,17	#DIV/0!	1,44
Jul	461	0	4,25	544	3	5,21	-83	-3	-86	-0,96	1,18	#DIV/0!	1,22
Aug	464	0	4,24	555	3	6,11	-91	-3	-94	-1,87	1,20	#DIV/0!	1,44
Sep	468	0	3,51	496	146	4,75	-28	-146	-174	-1,24	1,14	#DIV/0!	1,35
Okt	480	181	3,46	441	648	6,11	39	-467	-428	-2,65	1,12	3,04	1,77
Nov	194	916	3,3	185	791	3,85	9	125	134	-0,55	1,07	0,84	1,17
Dez	68	486	2,57	64	411	2,38	4	75	79	0,19	1,28	0,80	0,92
Jahr	4110	4212	50,18	4.268	5.293	66,31	-158	-1.081	-1.239	-16,13	1,15	1,15	1,32
Rel. Abweichung Gesamt											0,149		
Abweichung Absolutwert											2,116		
rel. Abweichung Absolutwert											0,254		

Variante ST1d

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 40,46 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tw, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sol, sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tw, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	96	299	2,1	89	273	2,18	7	26	33	-0,08	1,09	0,86	1,04
Feb	29	87	1,29	38	95	1,45	-9	-8	-17	-0,16	1,79	0,93	1,13
Mrz	218	187	2,25	200	310	3,20	18	-123	-105	-0,95	0,94	1,63	1,42
Apr	435	6	3,38	340	216	4,65	95	-210	-115	-1,27	0,85	31,33	1,38
Mai	450	0	3,57	415	40	4,07	35	-40	-5	-0,50	0,95	#DIV/0!	1,14
Jun	423	0	3,85	386	10	4,07	37	-10	27	-0,22	0,92	#DIV/0!	1,06
Jul	427	0	3,4	395	0	3,93	32	0	32	-0,53	0,93	#DIV/0!	1,16
Aug	446	0	3,71	451	0	4,36	-5	0	-5	-0,65	1,01	#DIV/0!	1,18
Sep	409	0	2,7	420	30	3,35	-11	-30	-41	-0,65	1,04	#DIV/0!	1,24
Okt	441	3	2,46	380	206	3,20	61	-203	-142	-0,74	0,89	64,67	1,30
Nov	84	167	1,25	83	160	1,45	1	7	8	-0,20	1,10	0,90	1,16
Dez	35	133	0,91	31	98	0,87	4	35	39	0,04	1,29	0,63	0,96
Jahr	3492	882	30,87	3.229	1.437	36,80	263	-555	-292	-5,93	0,96	1,50	1,19
Rel. Abweichung Gesamt											0,067		
Abweichung Absolutwert											569		
rel. Abweichung Absolutwert											0,130		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST2d

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 50,46 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tr, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sol, sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tr, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	150	468	3	145	443	3,19	5	25	30	-0,19	0,85	0,99	1,06
Feb	58	175	1,92	66	169	2,17	-8	6	-2	-0,25	1,38	0,89	1,13
Mrz	322	276	2,92	285	442	4,22	37	-166	-129	-1,30	0,94	1,53	1,44
Apr	475	7	3,95	407	258	5,49	68	-251	-183	-1,54	0,94	31,14	1,39
Mai	469	0	3,67	500	48	4,73	-31	-48	-79	-1,06	1,09	#DIV/0!	1,29
Jun	447	0	4,38	485	12	5,37	-38	-12	-50	-0,99	1,09	#DIV/0!	1,23
Jul	442	0	3,58	508	0	4,60	-66	0	-66	-1,02	1,15	#DIV/0!	1,28
Aug	446	0	4,09	519	0	5,24	-73	0	-73	-1,15	1,16	#DIV/0!	1,28
Sep	455	0	3,02	489	35	3,83	-34	-35	-69	-0,81	1,09	#DIV/0!	1,27
Okt	488	3	2,91	463	250	3,71	25	-247	-222	-0,80	1,05	67,67	1,27
Nov	168	335	1,63	166	318	2,17	2	17	19	-0,54	0,92	0,99	1,33
Dez	56	213	1,35	55	173	1,28	1	40	41	0,07	1,11	0,78	0,95
Jahr	3976	1477	36,42	4.088	2.148	46,00	-112	-671	-783	-9,58	1,06	1,37	1,26
Rel. Abweichung Gesamt											0,144		
Abweichung Absolutwert											963		
rel. Abweichung Absolutwert											0,177		

Variante ST3d

EFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 60,12 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tr, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sol, sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tr, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	206	643	4,25	201	614	4,46	5	29	34	-0,21	1,13	0,91	1,05
Feb	111	332	2,81	112	284	3,05	-1	48	47	-0,24	1,11	0,82	1,08
Mrz	402	345	3,97	355	549	5,63	47	-204	-157	-1,66	1,11	1,32	1,42
Apr	475	7	4,06	463	293	6,57	12	-286	-274	-2,51	1,11	32,86	1,62
Mai	469	0	4,11	529	51	5,04	-60	-51	-111	-0,93	1,16	#DIV/0!	1,23
Jun	447	0	4,87	531	13	6,80	-84	-13	-97	-1,93	1,20	#DIV/0!	1,40
Jul	442	0	3,93	545	0	4,69	-103	0	-103	-0,76	1,23	#DIV/0!	1,19
Aug	446	0	4,1	559	0	6,10	-113	0	-113	-2,00	1,25	#DIV/0!	1,49
Sep	455	0	3,29	524	38	4,22	-69	-38	-107	-0,93	1,18	#DIV/0!	1,28
Okt	488	3	3,26	486	263	4,34	2	-260	-258	-1,08	1,12	67,67	1,33
Nov	241	481	1,65	253	486	2,70	-12	-5	-17	-1,05	1,17	0,95	1,63
Dez	105	398	2,02	83	264	1,88	22	134	156	0,14	1,00	0,61	0,93
Jahr	4287	2210	42,34	4.641	2.855	55,46	-354	-645	-999	-13,12	1,16	1,14	1,31
Rel. Abweichung Gesamt											0,154		
Abweichung Absolutwert											1.474		
rel. Abweichung Absolutwert											0,227		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

G.9 T*Sol Mehrfamilienhaus Nutzungs-Randbedingungen: DIN V 18599

Variante ST4a

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 30,28 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw, sol, sim}$	$\Delta Q_{h, sol, sim}$	$\Delta Q_{sol, sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{h, sol, sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	155	927	4,74	131	849	4,85	24	78	102	-0,11	1,15	0,86	1,02
Feb	72	406	3	65	391	3,43	7	15	22	-0,43	1,69	0,82	1,14
März	461	1508	7,4	393	1.388	8,04	68	120	188	-0,64	1,00	0,88	1,09
Apr	926	732	9,04	908	769	12,29	18	-37	-19	-3,25	1,06	0,95	1,36
Mai	1299	0	6,21	1.294	0	11,46	5	0	5	-5,25	1,00	#DIV/0!	1,85
Jun	1235	0	6,69	1.255	0	11,23	-20	0	-20	-4,54	1,02	#DIV/0!	1,68
Jul	1241	0	6,82	1.284	0	11,94	-43	0	-43	-5,12	1,03	#DIV/0!	1,75
Aug	1247	1	6,49	1.299	0	11,46	-52	1	-51	-4,97	1,04	0,00	1,77
Sep	1249	1	6,08	1.248	1	9,22	1	-0	1	-3,14	1,00	1,00	1,52
Okt	1202	998	7,07	1.053	938	8,27	149	60	209	-1,20	0,92	0,89	1,17
Nov	102	470	3,11	119	594	3,55	-17	-124	-141	-0,44	1,56	1,18	1,14
Dez	61	391	2,02	42	287	1,89	19	104	123	0,13	1,18	0,66	0,94
Jahr	9250	5433	68,66	4.140	10.168	97,62	5.110	-4.735	375	-28,96	1,02	0,89	1,42
Rel. Abweichung Gesamt											-0,026		
Abweichung Absolutwert											924		
rel. Abweichung Absolutwert											0,063		

Variante ST5a

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 40,04 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw, sol, sim}$	$\Delta Q_{h, sol, sim}$	$\Delta Q_{sol, sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{h, sol, sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	314	1879	8,77	252	1.631	8,84	62	248	310	-0,07	1,01	0,83	1,01
Feb	123	690	5,48	109	660	6,22	14	30	44	-0,74	1,11	0,92	1,13
März	684	2234	11,6	621	2.195	13,96	63	39	102	-2,36	1,06	0,94	1,20
Apr	1244	983	11,15	1.175	995	19,09	69	-12	57	-7,94	1,01	0,93	1,71
Mai	1299	0	6,67	1.343	0	11,67	-44	0	-44	-5,00	1,03	#DIV/0!	1,75
Jun	1235	0	6,76	1.308	0	13,20	-73	0	-73	-6,44	1,06	#DIV/0!	1,95
Jul	1241	0	6,23	1.340	0	14,40	-99	0	-99	-8,17	1,08	#DIV/0!	2,31
Aug	1247	1	6,58	1.369	0	13,85	-122	1	-121	-7,27	1,10	0,00	2,11
Sep	1249	1	5,91	1.302	1	10,69	-53	-0	-53	-4,78	1,04	1,00	1,81
Okt	1300	1080	8,74	1.232	1.096	13,31	68	-16	52	-4,57	1,02	0,93	1,52
Nov	325	1500	5,56	290	1.446	6,44	35	54	89	-0,88	1,02	0,94	1,16
Dez	106	680	3,73	85	585	3,49	21	95	116	0,24	1,19	0,80	0,94
Jahr	10367	9047	87,19	5.508	13.527	135,16	4.859	-4.480	379	-47,97	1,05	0,90	1,55
Rel. Abweichung Gesamt											-0,020		
Abweichung Absolutwert											1.160		
rel. Abweichung Absolutwert											0,060		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST6a

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 49,58 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tw,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{h,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tw,sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h,sol,sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	492	2944	13,81	404	2.618	13,83	88	326	414	-0,02	0,94	0,87	1,00
Feb	189	1059	8,67	154	930	9,71	35	129	164	-1,04	1,03	0,84	1,12
März	931	3043	16,23	838	2.958	21,01	93	85	178	-4,78	1,08	0,92	1,29
Apr	1244	983	10,49	1.226	1.037	23,54	18	-54	-36	-13,05	1,07	0,94	2,24
Mai	1299	0	7,11	1.411	0	13,41	-112	0	-112	-6,30	1,09	#DIV/0!	1,89
Jun	1235	0	6,98	1.374	0	14,99	-139	0	-139	-8,01	1,11	#DIV/0!	2,15
Juli	1241	0	6,87	1.389	0	16,15	-148	0	-148	-9,28	1,12	#DIV/0!	2,35
Aug	1247	1	6,53	1.426	0	15,62	-179	1	-178	-9,09	1,14	0,00	2,39
Sep	1249	1	6,01	1.352	1	12,67	-103	-0	-103	-6,66	1,08	1,00	2,11
Okt	1300	1080	9,27	1.256	1.119	18,26	44	-39	5	-8,99	1,05	0,93	1,97
Nov	550	2537	8,28	519	2.584	9,92	31	-47	-16	-1,64	1,07	0,99	1,20
Dez	192	1227	5,93	140	964	5,59	52	263	315	0,34	0,92	0,76	0,94
Jahr	11169	12875	106,19	6.858	16.842	174,69	4.311	-3.967	344	-68,50	1,08	0,90	1,65
Rel. Abweichung Gesamt											-0,014		
Abweichung Absolutwert											1.808		
rel. Abweichung Absolutwert											0,075		

Variante ST4c

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 39,39 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tw,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{h,sol,sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol,sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tw,sol,sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h,sol,sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	255	922	5,05	204	795	5,13	51	127	178	-0,08	0,96	0,82	1,02
Feb	98	342	3,13	88	329	3,62	10	13	23	-0,49	1,55	0,77	1,16
März	571	916	6,56	580	1.002	8,05	-9	-86	-95	-1,49	1,12	1,03	1,23
Apr	1235	265	7,57	1.105	252	11,67	130	13	143	-4,10	0,90	0,91	1,54
Mai	1274	0	6,28	1.243	0	11,43	31	0	31	-5,15	0,98	#DIV/0!	1,82
Jun	1219	0	6,69	1.206	0	11,55	13	0	13	-4,86	0,99	#DIV/0!	1,73
Juli	1211	0	6,81	1.237	0	12,48	-26	0	-26	-5,67	1,02	#DIV/0!	1,83
Aug	1210	0	6,31	1.250	0	11,78	-40	0	-40	-5,47	1,03	#DIV/0!	1,87
Sep	1220	2	6	1.199	2	9,45	21	-0	21	-3,45	0,98	1,00	1,58
Okt	1318	2	5,58	1.234	2	7,70	84	-0	84	-2,12	0,94	1,00	1,38
Nov	255	694	3,11	225	661	3,62	30	33	63	-0,51	1,02	0,90	1,16
Dez	94	383	2,15	68	299	2,10	26	84	110	0,05	1,09	0,69	0,98
Jahr	9962	3525	65,25	5.410	7.571	98,58	4.552	-4.046	506	-33,33	0,99	0,88	1,51
Rel. Abweichung Gesamt											-0,038		
Abweichung Absolutwert											827		
rel. Abweichung Absolutwert											0,061		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST5c

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 49,47 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	442	1596	8,66	355	1.386	9,22	87	210	297	-0,56	0,76	0,88	1,06
Feb	190	662	5,47	152	569	6,53	38	93	131	-1,06	0,90	0,83	1,19
März	868	1391	10,08	824	1.426	13,88	44	-35	9	-3,80	1,03	0,97	1,38
Apr	1260	270	7,4	1.230	280	16,45	30	-10	20	-9,05	1,00	0,92	2,22
Mai	1274	0	6,45	1.293	0	12,02	-19	0	-19	-5,57	1,01	#DIV/0!	1,86
Jun	1219	0	6,12	1.260	0	13,18	-41	0	-41	-7,06	1,03	#DIV/0!	2,15
Juli	1211	0	6,96	1.288	0	14,82	-77	0	-77	-7,86	1,06	#DIV/0!	2,13
Aug	1210	0	6,17	1.312	0	14,35	-102	0	-102	-8,18	1,08	#DIV/0!	2,33
Sep	1220	2	6,55	1.252	2	11,08	-32	-0	-32	-4,53	1,03	1,00	1,69
Okt	1318	2	5,95	1.297	2	10,15	21	-0	21	-4,20	0,98	1,00	1,71
Nov	525	1427	5,04	471	1.383	6,42	54	44	98	-1,38	0,88	0,98	1,27
Dez	168	683	3,69	126	553	3,73	42	130	172	-0,04	0,95	0,76	1,01
Jahr	10906	6034	78,55	6.860	9.601	131,83	4.046	-3.567	479	-53,28	1,01	0,91	1,68
Rel. Abweichung Gesamt											-0,028		
Abweichung Absolutwert											1.019		
rel. Abweichung Absolutwert											0,060		

Variante ST6c

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 18599; Deckungsanteil: 59,89 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw,sol,sim}$	$\Delta Q_{h,sol,sim}$	$\Delta Q_{sol,sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw,sol,sim}$	Rel. Abw. $Q_{h,sol,sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	636	2298	12,71	497	1.939	14,00	139	359	498	-1,29	0,79	0,84	1,10
Feb	297	1033	8,19	267	1.003	9,92	30	30	60	-1,73	0,94	0,96	1,21
März	1154	1849	13,31	1.020	1.765	20,07	134	84	218	-6,76	0,97	0,90	1,51
Apr	1260	270	6,4	1.263	287	19,95	-3	-17	-20	-13,55	1,03	0,92	3,12
Mai	1274	0	7,45	1.355	0	14,12	-81	0	-81	-6,67	1,06	#DIV/0!	1,89
Jun	1219	0	6,55	1.321	0	16,10	-102	0	-102	-9,55	1,08	#DIV/0!	2,46
Juli	1211	0	6,39	1.342	0	17,50	-131	0	-131	-11,11	1,11	#DIV/0!	2,74
Aug	1210	0	6,26	1.375	0	16,68	-165	0	-165	-10,42	1,14	#DIV/0!	2,67
Sep	1220	2	5,7	1.311	2	13,65	-91	-0	-91	-7,95	1,07	1,00	2,39
Okt	1318	2	6,2	1.359	2	12,72	-41	-0	-41	-6,52	1,03	1,00	2,05
Nov	787	2139	6,19	740	2.173	9,57	47	-34	13	-3,38	0,96	1,01	1,55
Dez	263	1067	5,61	195	857	5,72	68	210	278	-0,11	0,92	0,76	1,02
Jahr	11849	8660	90,96	8.365	11.708	169,98	3.484	-3.048	436	-79,02	1,03	0,90	1,87
Rel. Abweichung Gesamt											-0,021		
Abweichung Absolutwert											1.698		
rel. Abweichung Absolutwert											0,083		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

G.10 T*Sol Mehrfamilienhaus Nutzungs-Randbedingungen: DIN V 4701-10

Variante ST4b

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 29,71 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw, sol, sim}$	$\Delta Q_{h, sol, sim}$	$\Delta Q_{sol, sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{h, sol, sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	127	661	3,38	106	576	3,71	21	85	106	-0,33	1,13	0,81	1,10
Feb	46	225	2,18	50	238	2,57	-4	-13	-17	-0,39	1,72	0,93	1,18
März	386	916	5,14	305	866	6,29	81	50	131	-1,15	0,93	0,89	1,22
Apr	986	391	7,33	707	645	10,00	279	-254	25	-2,67	0,80	1,45	1,36
Mai	1228	0	5,61	1.126	121	9,86	102	-121	-19	-4,25	0,93	#DIV/0!	1,76
Jun	1251	0	6,64	1.085	19	9,43	166	-19	147	-2,79	0,87	#DIV/0!	1,42
Jul	1173	0	5,4	1.141	0	10,00	32	0	32	-4,60	0,97	#DIV/0!	1,85
Aug	1241	1	6,43	1.174	0	9,71	67	1	68	-3,28	0,95	0,00	1,51
Sep	1193	2	4,99	1.103	100	7,86	90	-98	-8	-2,87	0,94	43,50	1,57
Okt	1252	117	4,57	748	740	6,71	504	-623	-119	-2,14	0,60	6,32	1,47
Nov	99	370	2,2	100	369	2,71	-1	1	0	-0,51	1,41	0,89	1,23
Dez	41	232	1,45	32	179	1,57	9	53	62	-0,12	1,32	0,68	1,08
Jahr	9024	2915	55,33	3.806	7.724	80,43	5.218	-4.809	409	-25,10	0,88	1,22	1,45
Rel. Abweichung Gesamt											-0,034		
Abweichung Absolutwert											734		
rel. Abweichung Absolutwert											0,061		

Variante ST5b

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 39,68 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung $Q_{tw, sol, sim}$	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung $Q_{h, sol, sim}$	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{tw, sol, sim}$	$\Delta Q_{h, sol, sim}$	$\Delta Q_{sol, sim}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{tw, sol, sim}$	Rel. Abw. $Q_{h, sol, sim}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	269	1396	6,7	214	1.166	7,38	55	230	285	-0,68	0,89	0,82	1,10
Feb	93	453	4,33	93	442	5,25	-0	11	11	-0,92	1,23	0,93	1,21
März	635	1507	9,1	562	1.596	11,88	73	-89	-16	-2,78	1,04	0,99	1,30
Apr	1241	493	8,32	1.026	937	17,38	215	-444	-229	-9,06	0,87	1,78	2,09
Mai	1228	0	5,44	1.240	133	13,75	-12	-133	-145	-8,31	1,03	#DIV/0!	2,53
Jun	1251	0	6,33	1.232	22	14,13	19	-22	-3	-7,80	0,99	#DIV/0!	2,23
Jul	1173	0	6,25	1.247	0	13,13	-74	0	-74	-6,88	1,06	#DIV/0!	2,10
Aug	1241	1	5,89	1.282	0	13,75	-41	1	-40	-7,86	1,03	0,00	2,33
Sep	1203	2	5,47	1.199	108	11,38	4	-106	-102	-5,91	1,01	45,50	2,08
Okt	1334	125	5,54	1.138	1.124	11,75	196	-999	-803	-6,21	0,92	8,23	2,12
Nov	348	1298	4,13	281	1.036	5,38	67	262	329	-1,25	0,87	0,78	1,30
Dez	99	559	2,9	76	428	3,00	23	131	154	-0,10	1,03	0,72	1,03
Jahr	10116	5832	70,39	5.474	11.108	128,13	4.642	-5.276	-634	-57,74	0,99	1,13	1,82
Rel. Abweichung Gesamt											0,040		
Abweichung Absolutwert											2.191		
rel. Abweichung Absolutwert											0,137		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST6b

MFH Energiestandard: EnEV-Ref; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,86 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tr, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{tr, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	463	2406	11,03	352	1.913	11,04	111	493	604	-0,01	0,79	0,79	1,00
Feb	171	833	7,16	179	852	7,82	-8	-19	-27	-0,66	1,29	0,97	1,09
März	889	2111	13,95	772	2.190	16,93	117	-79	38	-2,98	0,99	0,99	1,21
Apr	1241	493	7,92	1.141	1.042	21,75	100	-549	-449	-13,83	1,02	1,86	2,75
Mai	1228	0	5,78	1.283	138	14,25	-55	-138	-193	-8,47	1,07	#DIV/0!	2,47
Jun	1251	0	6,43	1.282	23	15,11	-31	-23	-54	-8,68	1,03	#DIV/0!	2,35
Juli	1173	0	5,57	1.305	0	14,79	-132	0	-132	-9,22	1,11	#DIV/0!	2,65
Aug	1241	1	6,77	1.339	0	14,25	-98	1	-97	-7,48	1,08	0,00	2,10
Sep	1203	2	5,05	1.256	114	12,43	-53	-112	-165	-7,38	1,06	45,50	2,46
Okt	1334	125	5,94	1.160	1.147	15,21	174	-1.022	-848	-9,27	0,96	8,23	2,56
Nov	574	2139	6,33	549	2.030	7,93	25	109	134	-1,60	1,01	0,94	1,25
Dez	175	986	4,81	123	697	4,50	52	289	341	0,31	1,02	0,65	0,94
Jahr	10944	9093	86,74	6.896	13.991	156,00	4.048	-4.898	-850	-69,26	1,03	1,06	1,80
Rel. Abweichung Gesamt											0,042		
Abweichung Absolutwert											3.082		
rel. Abweichung Absolutwert											0,154		

Variante ST4d

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 49,00 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tr, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{tr, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	371	1043	6,19	288	854	6,53	83	189	272	-0,34	0,74	0,83	1,05
Feb	159	431	4,01	135	332	4,61	24	99	123	-0,60	0,92	0,74	1,15
März	786	708	6,94	667	862	10,01	119	-154	-35	-3,07	0,94	1,11	1,44
Apr	1279	0	6,32	1.075	372	14,74	204	-372	-168	-8,42	0,87	#DIV/0!	2,33
Mai	1245	0	6,3	1.211	10	14,29	34	-10	24	-7,99	0,97	#DIV/0!	2,27
Jun	1183	0	6,24	1.175	0	14,29	8	0	8	-8,05	0,99	#DIV/0!	2,29
Juli	1199	0	6,11	1.201	0	15,41	-2	0	-2	-9,30	1,00	#DIV/0!	2,52
Aug	1134	0	5,86	1.216	0	14,18	-82	0	-82	-8,32	1,07	#DIV/0!	2,42
Sep	1161	3	5,85	1.167	9	11,70	-6	-6	-12	-5,85	1,01	2,67	2,00
Okt	1320	2	5,59	1.155	404	10,46	165	-402	-237	-4,87	0,91	182,00	1,87
Nov	398	599	3,49	347	628	4,84	51	-29	22	-1,35	0,79	1,10	1,39
Dez	119	392	2,72	101	312	2,70	18	80	98	0,02	1,13	0,71	0,99
Jahr	10353	3177	65,61	6.690	6.831	123,75	3.663	-3.654	9	-58,14	0,95	1,14	1,89
Rel. Abweichung Gesamt											-0,001		
Abweichung Absolutwert											1.083		
rel. Abweichung Absolutwert											0,080		

Projekt „F20-11-1-139 / Solarsimu-EnEV“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Variante ST5d

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 60,75 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tr, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tr, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	585	1645	10,13	454	1.347	10,61	131	298	429	-0,48	0,72	0,84	1,05
Feb	307	836	6,73	248	610	7,61	59	226	285	-0,88	0,74	0,75	1,13
Mrz	1132	1019	9,69	987	1.277	15,00	145	-258	-113	-5,31	0,93	1,19	1,55
Apr	1279	0	6,51	1.168	404	17,89	111	-404	-293	-11,38	0,96	#DIV/0!	2,75
Mai	1245	0	6,49	1.260	11	14,14	-15	-11	-26	-7,65	1,01	#DIV/0!	2,18
Jun	1183	0	5,9	1.234	0	14,46	-51	0	-51	-8,56	1,04	#DIV/0!	2,45
Jul	1199	0	6,78	1.251	0	15,86	-52	0	-52	-9,08	1,04	#DIV/0!	2,34
Aug	1134	0	5,06	1.288	0	14,57	-154	0	-154	-9,51	1,14	#DIV/0!	2,88
Sep	1161	3	6,01	1.220	10	12,21	-59	-7	-66	-6,20	1,05	2,67	2,03
Okt	1320	2	5,86	1.198	419	14,14	122	-417	-295	-8,28	0,95	182,00	2,41
Nov	659	993	4,45	639	1.156	7,50	20	-163	-143	-3,05	1,02	1,13	1,69
Dez	251	824	4,53	189	584	4,29	62	240	302	0,24	0,83	0,69	0,95
Jahr	11455	5321	78,16	8.389	8.565	148,29	3.066	-3.244	-178	-70,13	0,99	1,06	1,90
Rel. Abweichung Gesamt											0,011		
Abweichung Absolutwert											2.209		
rel. Abweichung Absolutwert											0,132		

Variante ST6d

MFH Energiestandard: KfW-EH 40; Nutzungs-RB: DIN V 4701-10; Deckungsanteil: 70,80 %

Monat	Ergebnisse Benchmarktest			Ergebnisse Solarsimulation			Differenz [Benchmark – Solarsimulation]				Relative Abweichung		
	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Nutzbarer Solarertrag zur Trinkwassererwärmung	Nutzbarer Solarertrag zur Heizung	Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	$\Delta Q_{\text{tr, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{h, sol, sim}}$	$\Delta Q_{\text{sol, sim}}$	Δ Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis	Rel. Abw. $Q_{\text{tr, sol, sim}}$	Rel. Abw. $Q_{\text{h, sol, sim}}$	Rel. Abw. Hilfsstrombedarf der Pumpen im Solarkreis
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan	759	2132	14,15	560	1.661	14,39	199	471	670	-0,24	0,82	0,75	1,02
Feb	471	1280	9,41	416	1.027	10,40	55	253	308	-0,99	0,87	0,81	1,10
Mrz	1238	1114	11,55	1.115	1.442	18,90	123	-328	-205	-7,35	1,00	1,18	1,64
Apr	1279	0	6,17	1.201	415	19,64	78	-415	-337	-13,47	0,99	#DIV/0!	3,18
Mai	1245	0	6,49	1.327	11	14,60	-82	-11	-93	-8,11	1,07	#DIV/0!	2,25
Jun	1183	0	5,59	1.296	0	15,65	-113	0	-113	-10,06	1,10	#DIV/0!	2,80
Jul	1199	0	7,24	1.314	0	17,33	-115	0	-115	-10,09	1,10	#DIV/0!	2,39
Aug	1134	0	4,93	1.344	0	16,28	-210	0	-210	-11,35	1,19	#DIV/0!	3,30
Sep	1161	3	5,82	1.278	10	13,55	-117	-7	-124	-7,73	1,10	2,67	2,33
Okt	1320	2	5,53	1.246	436	15,23	74	-434	-360	-9,70	1,00	182,00	2,75
Nov	1005	1515	4,12	895	1.618	9,24	110	-103	7	-5,12	0,96	1,02	2,24
Dez	353	1160	6,36	290	896	5,99	63	264	327	0,38	0,91	0,75	0,94
Jahr	12345	7206	87,37	9.796	10.002	171,15	2.549	-2.796	-247	-83,78	1,03	0,98	1,96
Rel. Abweichung Gesamt											0,013		
Abweichung Absolutwert											2.869		
rel. Abweichung Absolutwert											0,147		