

K u r z s t u d i e

Thermische und Sonstige Referenzbedingungen für Gebäude nach einer solaraktiven Renovierung und Solar-Aktiv-Häuser mit unterschiedlichen Wärmedämmstandards und Anlagentechnik für die Trinkwassererwärmung und Raumheizung

Stand

31. Januar 2009

Bearbeitung: Dipl.- Ing. M. Peter

Auftraggeber: Bundesverband Solarwirtschaft e.V.
Stralauer Platz 34
10243 Berlin

ausgeschrieben durch die
Deutsche Solarthermie Technologieplattform DSTTP,
Arbeitsgruppe 2, *Innovative Speichertechnologien*

INHALTSVERZEICHNIS

1	Projektbeschreibung	3
2	Leistungsbeschreibung	3
2.1	Thermische Referenzbedingungen	4
2.1.1	Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation	4
2.2	Erstellung von Heizlastprofilen für die Referenzgebäude	5
2.3	Sonstige Referenzbedingungen	5
3	Gebäudebeschreibung	6
3.1	Raumlufttemperatur	8
3.1.1	Abgesenkter Heizbetrieb	8
3.2	Luftwechsel	8
3.3	Heiztemperaturniveaus und Heizgrenztemperatur	9
3.4	Energiebedarfswerte für die Raumheizung	12
3.4.1	Haustyp "solaraktive Renovierung"	12
3.4.2	Haustyp "Solar-Aktiv-Haus"	12
3.5	Generelle Festlegungen zur Raumheizung	13
3.6	Energiebedarf für die Trinkwassererwärmung	13
4	Energieeinsparung durch solarthermische Kombianlagen	15
4.1	Anpassung des Anlagenkonzeptes bei großen Speichervolumen	19
5	Sonstige Referenzbedingungen	25
5.1	Umrechnung/Verhältnis Endenergie – Nutzenergie	25
5.2	Umrechnung/Verhältnis Primärenergie – Nutzenergie	25
5.3	Einsparung an Primärenergie	26
5.4	Zusatzenergie (Strom), jährlicher Stromverbrauch von Solaranlagen	26
5.5	Energieeinsparung über die Lebensdauer der Anlage	27
5.6	Ökologische Bewertung	27
5.7	Ökonomische Bewertung	28
5.7.1	Materialkosten	28
5.8	Montagekosten - Lohnkosten	28
5.9	Zusätzliche Baukosten bei einer "solaraktiven Renovierung"	29
5.10	Zusätzliche Baukosten bei der Erstellung eines "Solar-Aktiv-Hauses"	30
5.11	Umweltverträglichkeit und ökologische Bewertung von verwendeten Materialien	30
6	Literatur	31

1 Projektbeschreibung

Für die im Rahmen der Arbeiten innerhalb der Deutschen Solarthermie-Technologie Plattform DSTTP vorgeschlagenen Verfahren sind einheitlichen Vorgaben und Rahmendaten, sog. Referenzbedingungen notwendig. Die Referenzbedingungen werden von der Arbeitsgruppe 2 der DSTTP in *thermische* und *sonstige Referenzbedingungen* unterteilt. Unter dem Begriff *thermische Referenzbedingungen* werden im wesentlichen Energien und die zugehörigen Temperaturen bzw. Temperaturniveaus zur Bereitstellung von erwärmtem Trinkwasser und zur Gebäudebeheizung zusammengefasst. *Sonstige Referenzbedingungen* definieren z. B. die für eine energetische, ökologische oder ökonomische Bewertung verwendeten Berechnungsmethoden, systemspezifische Größen und weitere Rahmenbedingungen.

2 Leistungsbeschreibung

Die nachfolgend beschriebenen Leistungen basieren auf dem Ausschreibungstext der Arbeitsgruppe 2 zur durchgeführten Studie. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden zu Beginn für 4 Einfamilienhäuser die wesentlichen bzw. relevanten thermischen und sonstige Referenzbedingungen festgelegt.

- Energiebedarf und die Rahmendaten für die Trinkwassererwärmung
- anlagentechnische Rahmenbedingungen zur Trinkwassererwärmung
- Wärmebedarf für die Raumheizung
- Heizungsauslegungstemperaturen und Heizperioden

Die Rahmendaten werden für zwei neu zu erstellende Gebäude in der Bauart "Solar-Aktiv-Haus" und zwei Bestandsgebäude nach einer "solaraktiven Renovierung" definiert. Mit dem Programm Trnsys¹ werden anhand von dynamischen Gebäude- und Anlagensimulationen die für die Trinkwassererwärmung und die Raumheizung benötigten Energien berechnet und die zugrunde liegenden Massenströme sowie zugehörigen Temperaturen in Lastdateien dokumentiert. Die Lastdateien werden in einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde sowie hochaufgelöst in 3 Minuten-Schritten erstellt.

Nach der Vorgabe des Auftraggebers werden die Simulationen zur Ermittlung des Energiebedarfs für die Trinkwassererwärmung und für die Raumheizung einheitlich für alle Gebäude für den Standort Würzburg auf der Basis des "alten" Testreferenzjahres 05, *Franken und nördliches Baden-Württemberg* durchgeführt.

Der Energiebedarf zur Trinkwassererwärmung repräsentiert einen Haushalt mit 4 Personen und ist für alle Gebäudetypen gleich.

¹ Transient System Simulation Program

Gemäß Ausschreibung werden im Anschluss “exemplarisch für eine charakteristische Kollektorfläche für jeden ausgewählten Gebäudetyp das Volumen eines entsprechenden Wasserspeichers abgeschätzt.“

In diesem Punkt wird in Abstimmung mit dem Auftraggeber der Einfluss unterschiedlicher Kollektorflächen im Zusammenwirken mit unterschiedlichen Speichervolumen auf die anteilige Energieeinsparung durch die Solaranlage für die vier Gebäude ermittelt.

Hinweis:

Es ist nicht das Ziel dieser Studie ein spezielles Bestandgebäude oder Mustergebäude abzubilden. Vielmehr sind idealisierte Gebäude zu definieren, die über Variationen des baulichen Wärmeschutzes der opaken Flächen und Fenster sowie die Lüftungs- und Infiltrationswärmeverluste und die Anlagentechnik zur Wärmebereitstellung variiert werden. Gemäß den Vorgabe werden die unterschiedlichen Gebäude allein durch Ihren jährlichen Heizwärmebedarf je Quadratmeter beheizte Fläche definiert. Die z. B. gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) einzuhaltenden Grenzwerte und ihre Abhängigkeit vom A/Ve-Verhältnis sind nicht Gegenstand dieser Studie.

Die im Zusammenhang mit dieser Studie erarbeiteten Referenzbedingungen enthalten die beim 5. Treffen der DSTTP Arbeitsgruppe 2, *Innovative Speichertechnologien* am 18.12.2008 an der Universität Stuttgart (ITW) getroffenen Festlegungen. Die Festlegungen und Referenzbedingungen werden unter der Bezeichnung **DSTTP-Referenzbedingungen** kommuniziert.

2.1 Thermische Referenzbedingungen

Eine wesentliche Grundlage zur Ermittlung der thermischen Referenzbedingungen sind Gebäude- und Anlagensimulationen. Zusammen mit den thermischen Referenzbedingungen dienen die Simulationsrechnung

- der Festlegung von Kennwerten für eine energetische Bewertung, z. B. f_{sav}
- der Definition der Einsparungen an Primärenergie, Endenergie und Nutzenergie

2.1.1 Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation

Die Simulationsrechnungen zu den verschiedenen Varianten werden mit dem Programm Trnsys und den zugehörigen Umgebungsprogrammen in den Programmversionen 14.2 für Microsoft DOS und 15 für Microsoft Windows durchgeführt. Trnsys wurde an der Universität von Wisconsin, USA am Solar Energy Laboratory ursprünglich für die dynamische Simulation von aktiven Solarsystemen entwickelt und ist seit 1975 kommerziell verfügbar. Das in der Programmiersprache Fortran erstellte Simulationsprogramm ist ein anerkanntes und vor allem im wissenschaftlichen Bereich verbreitetes Programm zur dynamischen Simulation von Energieversorgungssystemen für Gebäude. Durch seine Modularität ermöglicht es die Integration von Rechenmodellen für spezifische Anlagenkomponenten der technischen Gebäudeausrüstung.

Trnsys wird ständig weiterentwickelt, erweitert und validiert und stellt ein für die vorliegende Aufgabenstellung geeignetes Simulationsprogramm dar.

Der für die Simulationsrechnungen verwendete Wetterdatensatz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) entspricht dem Testreferenzjahr Würzburg (alt). Ein Testreferenzjahr TRY (Test-Reference-Year) des DWD ist ein Datensatz von Wetterdatenelemente eines Jahres in stündlicher Auflösung, d. h. 8760 Werte je Element (z. B. Außentemperatur). Aktuell stellt der DWD Datensätze für 15 verschiedene TRY-Regionen der Bundesrepublik Deutschland zur Verfügung (2004). Gemäß der Vorgabe durch den Auftragnehmer wird für diese Studie das sog. "alte Testreferenzjahr" von Würzburg verwendet.

2.2 Erstellung von Heizlastprofilen für die Referenzgebäude

Für die Erstellung der Heizlastprofile erfolgte zunächst eine Festlegung von jeweils zwei Gebäudevarianten für eine "solaraktive Renovierung" und ein "Solar-Aktiv-Haus". Die Varianten unterscheiden sich im wesentlichen in der Höhe des Raumwärmebedarfs, des Auslegungstemperaturniveaus der Heizkreise und in der Dauer der Heizperiode. Der Referenzstandort ist in allen Fällen Würzburg, die Normaußentemperatur am Referenzstandort beträgt -12 °C .

Bei der Erstellung der Heizlastprofile für die Referenzgebäude wurde wie folgt vorgegangen:

- Festlegung der Heizperioden und der heizungsfreien Zeit für die einzelnen Gebäude
- Festlegung der Heizgrenztemperaturen für die unterschiedlichen Gebäude
- Erstellung der Lastprofile für die einzelnen Gebäude, dabei bestehen die Lastprofile bzw. Lastdateien aus:
 - a) der aktuellen Zeit (Stunde) im Jahr
 - b) der gemeinsamen Vorlauftemperatur in die Heizkreise
 - c) dem gesamten Massenstrom in die Heizkreise
 - d) der gemischten Rücklauftemperatur aus den Heizkreisen (Rücklauf, nach der Zusammenführung der Heizkreise)

Die Lastprofile bzw. Lastdateien liegen in der Form von ASCII-Daten als Stunden-Mittelwerte sowie hochaufgelöst als 3-Minuten-Mittelwerte vor.

Neben den Definitionen für die Raumheizung und Erstellung der zugehörigen Lastprofile wurde ein standardisierter Lastgang für die Erwärmung von Trinkwasser festgelegt.

2.3 Sonstige Referenzbedingungen

Im Rahmen der *sonstigen Referenzbedingungen* werden die für eine "ganzheitliche" energetische Bewertung notwendigen Kennwerte, wie etwa die Primärenergieeinsparung

und die damit verbundene Verringerung an CO₂ - Emissionen spezifiziert. Die spezifischen Kosten für die Solartechnik und die sich daraus ergebenden spezifischen Kosten für unterschiedliche Primärenergieeinsparungen bzw. Reduktionen der CO₂ - Emissionen werden ermittelt. Typische Systemkosten für die Installation von thermischen Solaranlagen in den gewählten Referenzgebäuden werden angegeben.

Die Datenbasis zur Ermittlung der *sonstigen Referenzbedingungen* wurde zu Beginn der Arbeiten mit dem Auftraggeber abgestimmt und die zur Ermittlung der *sonstigen Referenzbedingungen* verwendeten Kennwerte, Daten und Berechnungsmethoden festgelegt.

Als *sonstige Referenzbedingungen* werden im wesentlichen die folgenden Punkte bearbeitet:

- Kennwerte zur Bestimmung der vermiedenen CO₂ - Emissionen
- Grundlagen zur Ermittlung der solaren Systemkosten, basierend auf den
 - a) Materialkosten
 - b) Lohnkosten

3 Gebäudebeschreibung

Das Basisgebäude ist ein Einfamilienhaus in massiver Bauweise erstellt als Mauerwerksbau. Das Gebäude verfügt über ein nach Süden ausgerichtetes Satteldach² mit einer Neigung von 45° und hat eine beheizte Nutzfläche von 128 m². Das Gebäude besteht aus zwei Vollgeschossen und einem unbeheizten Dachraum. Das Haus ist vollständig unterkellert. Das Dach des Gebäudes zur "solaraktiven Renovierung" ist als symmetrisches Satteldach ausgeführt. Dadurch ergibt sich eine nach Süden weisende Dachfläche von ca. 45 m². Das Dach des "Solar-Aktiv-Hauses" ist unsymmetrisch, die nach Süden weisende Dachfläche hat, wie im Falle der "solaraktiven Renovierung", einen Neigungswinkel von 45°. Die nach Norden weisende Dachfläche ist gegenüber der Horizontalen um 75° geneigt. Für die Südseite des Daches des "Solar-Aktiv-Hauses" ergibt sich eine Fläche von etwa 70 m².

Die zur Verfügung stehenden Dachflächen wurden im Rahmen der Simulationen bei der max. Größe der jeweiligen Kollektorfelder berücksichtigt.

Die max. wirksame Kollektorfläche beträgt:

solaraktive Renovierung	40 m ²
Solar-Aktiv-Haus	70 m ²

² Der First verläuft in ost / westlicher Richtung.

Für die Simulationen werden die Gebäude in vier thermische Zonen unterteilt

- thermische Zone "SÜD"
- thermische Zone "NORD"
- thermische Zone "DACHRAUM"
- thermische Zone "KELLER"

Die thermischen Zonen "SÜD" und "NORD" sind geometrisch gleich. Die Grundfläche einer Zone je Vollgeschoss beträgt ca. 32 m², die lichte Raumhöhe ist 2,40 m. Die thermische Zone "DACHRAUM" ergibt sich aus der Nutzfläche der darunter liegenden Zonen und der Dachgeometrie. Die thermische Zone "KELLER" entspricht der Grundfläche des Gebäudes und ist 64 m².

- Die thermischen Zonen "SÜD" und "NORD" werden beheizt (gesamt 128 m²)
- Die thermischen Zonen " DACHRAUM" und " KELLER" werden **nicht** beheizt.

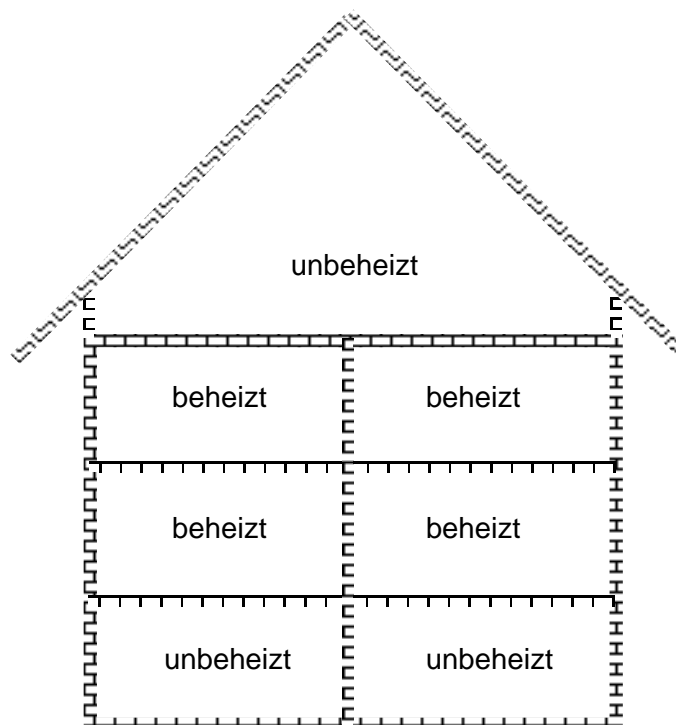


Abb. 1 Schematische Darstellung des Gebäudetyps "solaraktive Renovierung"

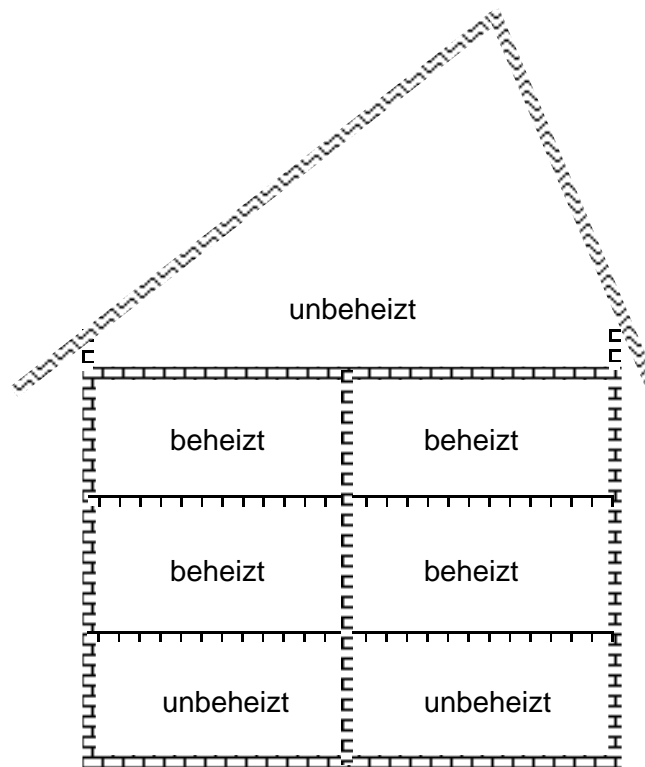


Abb.2 Schematische Darstellung des Gebäudetyps "Solar-Aktiv-Haus"

3.1 Raumlufthtemperatur

Der Sollwert für die Raumtemperatur wird konstant auf 20 °C gesetzt.

3.1.1 Abgesenkter Heizbetrieb

Die Referenzgebäude verfügen über einen abgesenkten Heizbetrieb.

"solaraktive Renovierung" Nachtabsenkung von 22:00 bis 05:00 Uhr auf 15°C

"Solar-Aktiv-Haus" Nachtabstaltung von 22:00 bis 05:00 Uhr

3.2 Luftwechsel

Im Fall der "solaraktiven Renovierung" als auch im "Solar-Aktiv-Haus" beträgt der auf das umbaute Volumen bezogene Luftwechsel 0.6 h⁻¹. Der Luftwechsel erfolgt jeweils über Lüftungsanlagen mit idealer (vollständiger) Wärmerückgewinnung. Ein zusätzlicher Energiebedarf infolge Luftwechsel besteht daher nicht.

3.3 Heiztemperaturniveaus und Heizgrenztemperatur

Die nachfolgende Graphik zeigt die für Deutschland üblicherweise angesetzte Heizperiode, bzw. die heizungsfreie Zeit.

(Referenz: Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik, Recknagel, Sprenger, Hönnmann)

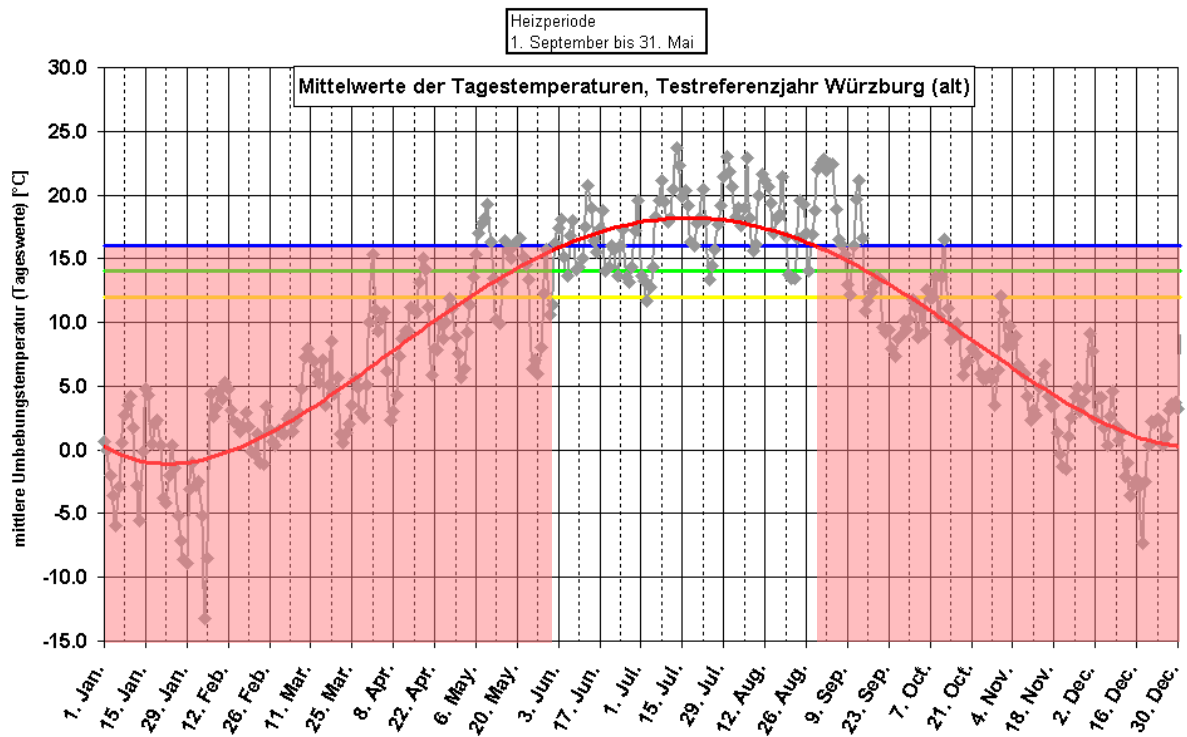


Abb. 3 Übliche, für Deutschland angesetzte Heizperiode vom 1. September bis 31. Mai

Eingezeichnet ist die in der Praxis gebräuchliche Heizgrenztemperatur von 16 °C (blaue Linie)

Ermittlung und Festlegung der Heizperiode für die Gebäudeart "solaraktive Renovierung"

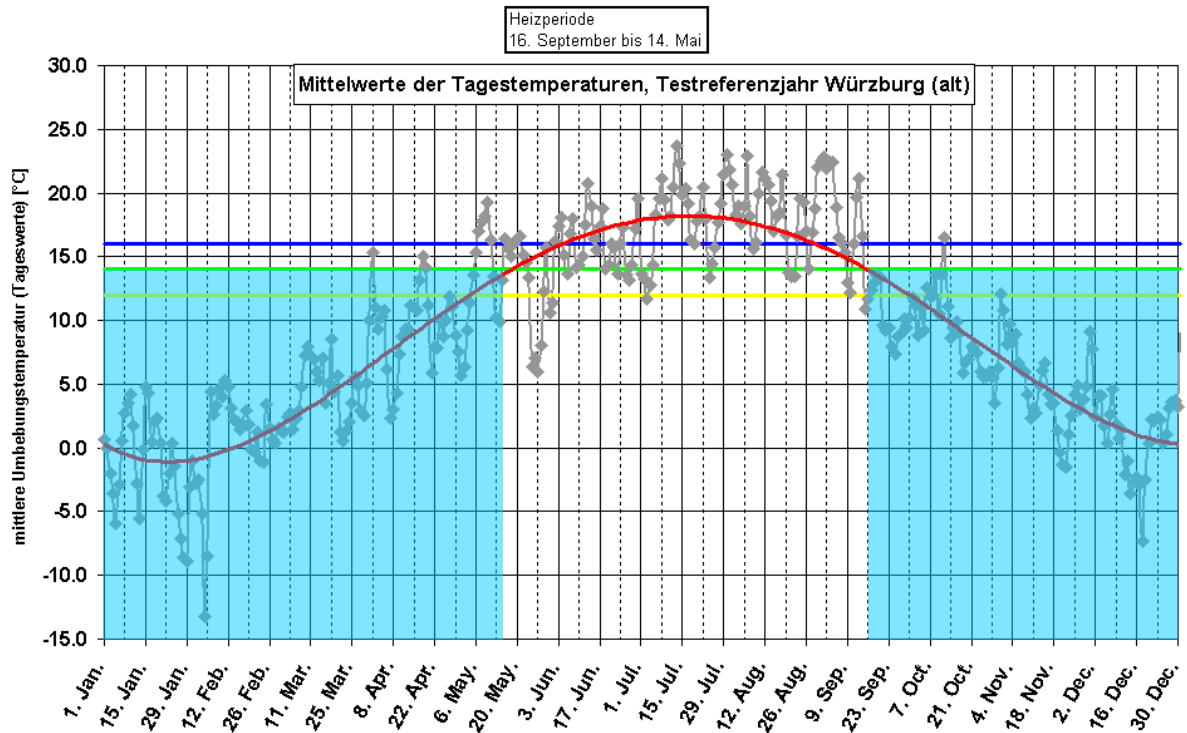


Abb. 4 Heizperiode im Fall einer "solaraktiven Renovierung"

"solaraktive Renovierung"

	Nutzwärme	Heiztemperaturniveau	Heizgrenztemperatur (grüne Linie)
Variante 1	70 kWh/(m²a)	bei 60/40 °C	14 °C
Variante 2	55 kWh/(m²a)	bei 50/30 °C	14 °C

Daraus ergibt sich eine Heizperiode vom 16. September bis 14. Mai.

Ermittlung und Festlegung der Heizperiode für die Gebäudeart "Solar-Aktiv-Haus"

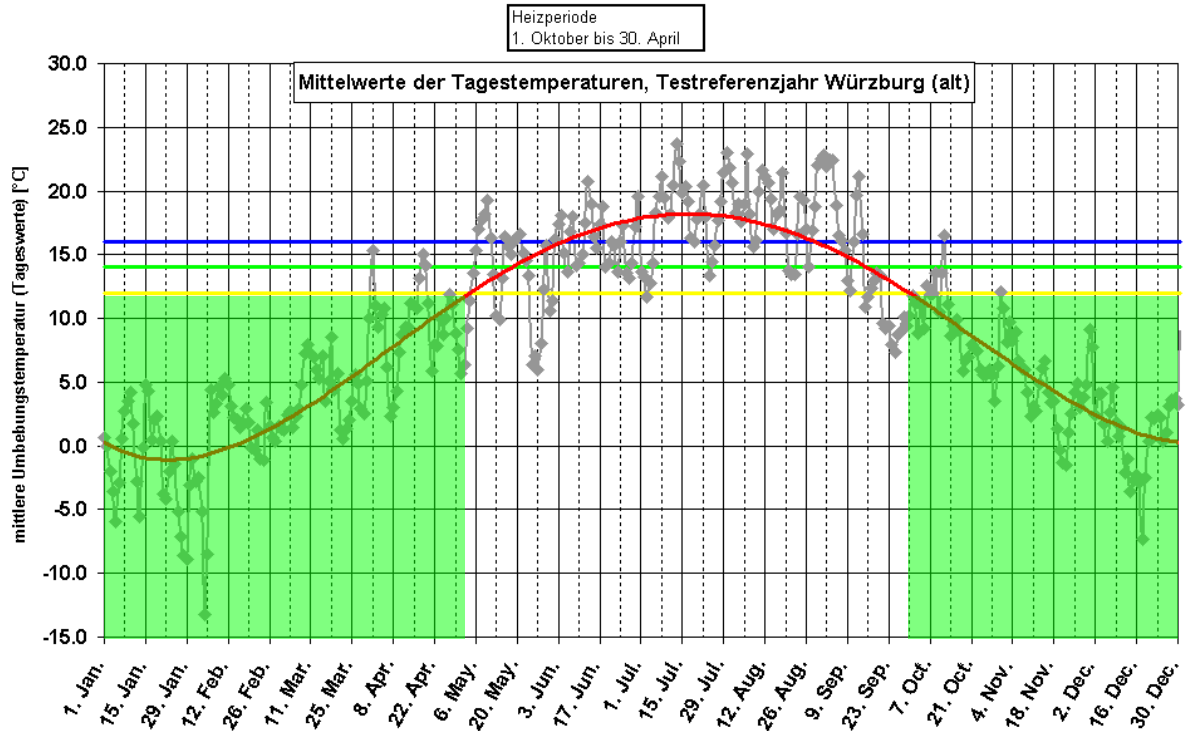


Abb. 5 Heizperiode im Fall eines "Solar-Aktiv-Hauses"

"Solar-Aktiv-Haus"

	Nutzwärme	Heiztemperaturniveau	Heizgrenztemperatur (gelbe Linie)
Variante 1	45 kWh/(m ² a)	bei 50/30 °C	12 °C
Variante 2	30 kWh/(m ² a)	bei 35/25 °C	12 °C

Daraus ergibt sich eine Heizperiode vom 1. Oktober bis 30. April.

3.4 Energiebedarfswerte für die Raumheizung

Die folgenden Nutzwärmen, Endenergien und Primärenergien beruhen auf einem Primärenergiefaktor für Erdgas H und leichtes Heizöl von 1,1. Der durchschnittliche Jahresnutzungsgrad eines Gas- bzw. Ölkessels ist mit 0,85 festgelegt. Der Primärenergiefaktor wird im Abschnitt "sonstige Referenzbedingungen" diskutiert.

3.4.1 Haustyp "solaraktive Renovierung"

solaraktive Renovierung, Variante 1

Nutzwärmebedarf: 70 kWh/(m² a)

Das entspricht einem Endenergiebedarf von ca. 80 kWh/(m² a) bzw. einem Primärenergiebedarf von ca. 90 kWh/(m² a)

Die Heizungsauslegungstemperaturen für den Standort Würzburg (Normaußentemperatur –12 °C) betragen:

- gemeinsamer Vorlauf der Heizkreise: 60 °C
- gemeinsamer Rücklauf der Heizkreise: 40 °C

solaraktive Renovierung, Variante 2

Nutzwärmebedarf: 55 kWh/(m² a)

Das entspricht einem Endenergiebedarf von ca. 65 kWh/(m² a) bzw. einem Primärenergiebedarf von ca. 70 kWh/(m² a)

Die Heizungsauslegungstemperaturen für den Standort Würzburg (Normaußentemperatur –12 °C) betragen:

- gemeinsamer Vorlauf der Heizkreise: 50 °C
- gemeinsamer Rücklauf der Heizkreise: 30 °C

3.4.2 Haustyp "Solar-Aktiv-Haus"

Solar-Aktiv-Haus, Variante 1

Nutzwärmebedarf: 45 kWh/(m² a)

Das entspricht einem Endenergiebedarf von ca. 55 kWh/(m² a) bzw. einem Primärenergiebedarf von ca. 60 kWh/(m² a)

Die Heizungsauslegungstemperaturen für den Standort Würzburg (Normaußentemperatur –12 °C) betragen:

- gemeinsamer Vorlauf der Heizkreise: 50 °C
- gemeinsamer Rücklauf der Heizkreise: 30 °C

Solar-Aktiv-Haus, Variante 2

Nutzwärmebedarf: 30 kWh/(m² a)

Das entspricht einem Endenergiebedarf von ca. 35 kWh/(m² a) bzw. einem Primärenergiebedarf von ca. 40 kWh/(m² a)

Die Heizungsauslegungstemperaturen für den Standort Würzburg (Normaußentemperatur –12 °C) betragen:

- gemeinsamer Vorlauf der Heizkreise: 35 °C
- gemeinsamer Rücklauf der Heizkreise: 25 °C

3.5 Generelle Festlegungen zur Raumheizung

Die nachfolgenden Rahmenbedingungen gelten für alle Wärmedämmstandards und sind in alle Berechnungen gleich.

- Die Referenz-Einfamilienhäuser befinden sich in Würzburg.
- Wetterdaten zur Simulation: Testreferenzjahr Würzburg (alt)
- Flächenbezug für den Heizwärmebedarf: beheizte Nutzfläche
- Referenz, konventioneller Wärmeerzeuger: Gas- oder Ölkessel (gleichwertig)
- Die Anlagentechnik ist so ausgelegt, dass zu jeder Zeit der Bedarf an Raumheizung gedeckt wird.

3.6 Energiebedarf für die Trinkwassererwärmung

Der Energiebedarf zur Erwärmung von Trinkwasser ist im wesentlichen unabhängig vom Gebäude und dessen wärmedämmtechnischen Standard. Setzt man gleiche Erzeugungsverluste in allen Gebäudetypen voraus, wird dieser Energiebedarf allein durch die Anzahl der Nutzer und das Nutzerverhalten bestimmt. Der Wärmebedarf wird daher auch im Rahmen der durchgeführten Simulationen für die unterschiedlichen Gebäude identisch angesetzt. Der Bedarf an erwärmtem Trinkwasser ist für alle Haustypen und Heiztemperaturniveaus gleich.

Rahmendaten des Energiebedarfs zur Trinkwassererwärmung

- Entnahmevolumen: 200 Liter/Tag
- Solltemperatur am Eintritt in das Trinkwarmwassernetz: 45 °C
- Temperatur des Kaltwassers: 10 ± 3 °C (jahreszeitabhängige Schwankung)
- Entnahmen / Zapfungen:
 - 7.00 Uhr: 80 l
 - 12.00 Uhr: 40 l
 - 19.00 Uhr: 80 l

Mit den Stoffwerten für Wasser und ohne Erzeugungsverluste ergibt sich damit ein Energiebedarf zur Erwärmung von Trinkwasser von netto 2945 kWh in Jahr.

Die Anlagentechnik ist so ausgelegt, dass zu jeder Zeit der Bedarf an erwärmtem Trinkwasser gedeckt wird.

Eine Zirkulation von erwärmtem Trinkwasser ist nicht vorhanden.

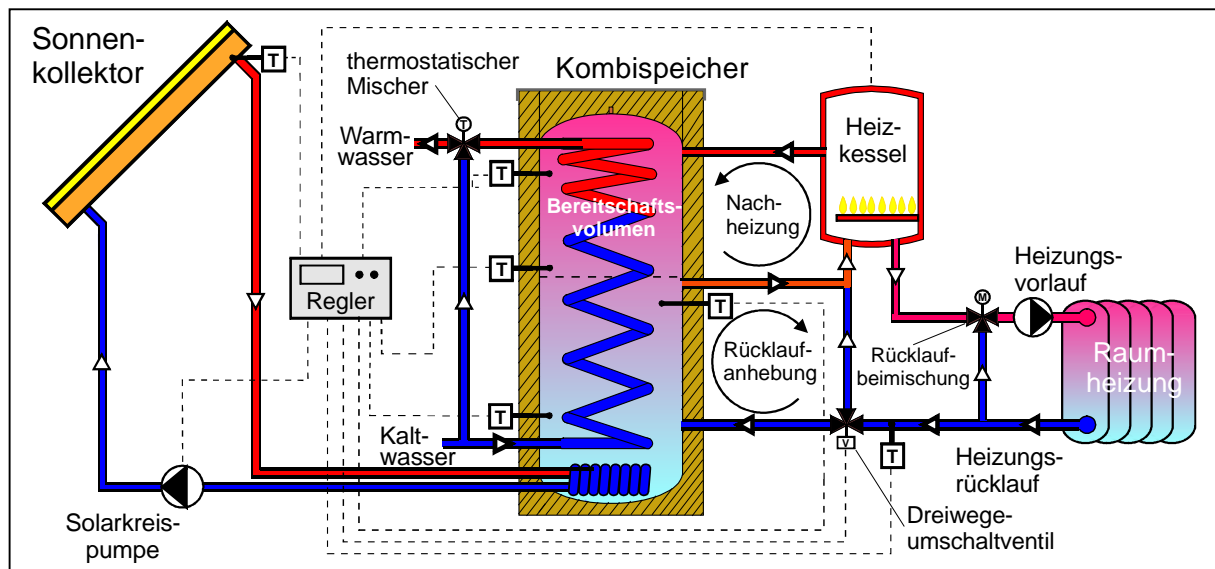


Abb. 6 Referenzanlage, Solaranlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung durch Rücklaufanhebung

Fazit zur Bedarfsdeckung

Die uneingeschränkte Deckung des Bedarfs an erwärmtem Trinkwasser und Raumheizung zu jeder Zeit bildet für die Berechnungen eine wesentliche Voraussetzung.

4 Energieeinsparung durch solarthermische Kombianlagen

Die vorliegende Simulationsstudie wird mit den erstellten Heizlastdateien bzw. Lastprofilen sowie dem standardisierten Lastgang für die Erwärmung von Trinkwasser erstellt. Bei der Anlagentechnik für die Erwärmung des Trinkwassers und die Bereitstellung der Raumwärme handelt es sich in allen Fällen und bei allen Gebäuden um eine solarthermische Kombianlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung nach dem Prinzip der Rücklaufanhebung. Im Rahmen der Simulationen werden die Kollektorfläche und das Speichervolumen variiert. In Sonderuntersuchungen wird zudem der Einfluss der Wärmedämmung des Speichers quantifiziert.

Als Ergebnisse aus den Simulationen stehen folgende Größen zur Verfügung:

- Einstrahlung auf den Kollektor
- Trinkwarmwasserbedarf, Entnahme am Speicher
- Entnahme für Raumheizung, am Speicher
- Nachheizung zur Trinkwassererwärmung, am Speicher
- Nachheizung zur Raumheizung, **nach** dem Speicher
- Speicherverluste
- Energielieferung des Kollektorkreises in den Speicher
- Raumheizungslast, gesamt
- Wärmeverluste des Kollektorkreises
- Energielieferung des Kollektors

weiterhin die

- Laufzeit der Kollektorkreispumpe
- Laufzeit der Heizkreispumpe
- Laufzeit der Zirkulationspumpe zur Trinkwassernachheizung
- Laufzeit der Zirkulationspumpe zur Nachheizung für Raumheizung (hier nicht relevant, da Rücklaufanhebung)
- Stagnationszeiten des Kollektorkreises
- Energiebilanz des Kollektorkreises
- Energiebilanz des Speichers

Für den Vergleich der Varianten, die Erstellung der Ergebnisgraphiken und die Bewertung stehen zusätzlich aus den Simulationsergebnissen berechnete Größen zur Verfügung.

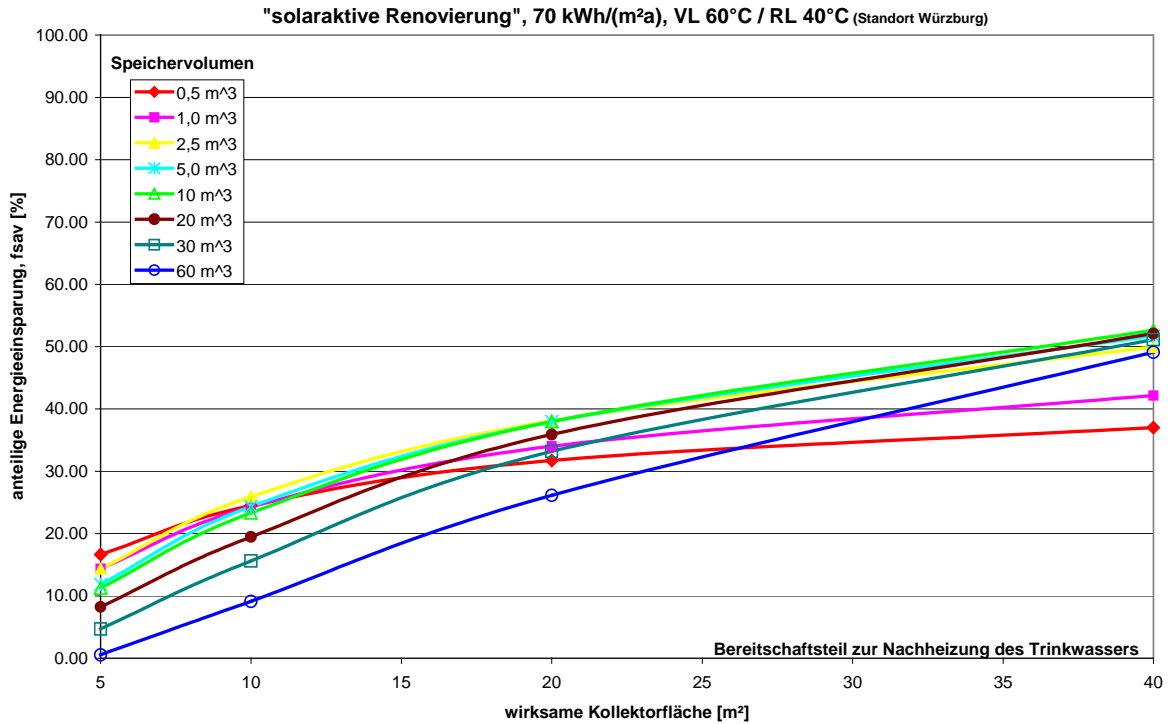


Abb. 7 Gebäude nach "solaraktiver Renovierung", Raumwärmebedarf 70 kWh/(m²a), Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers

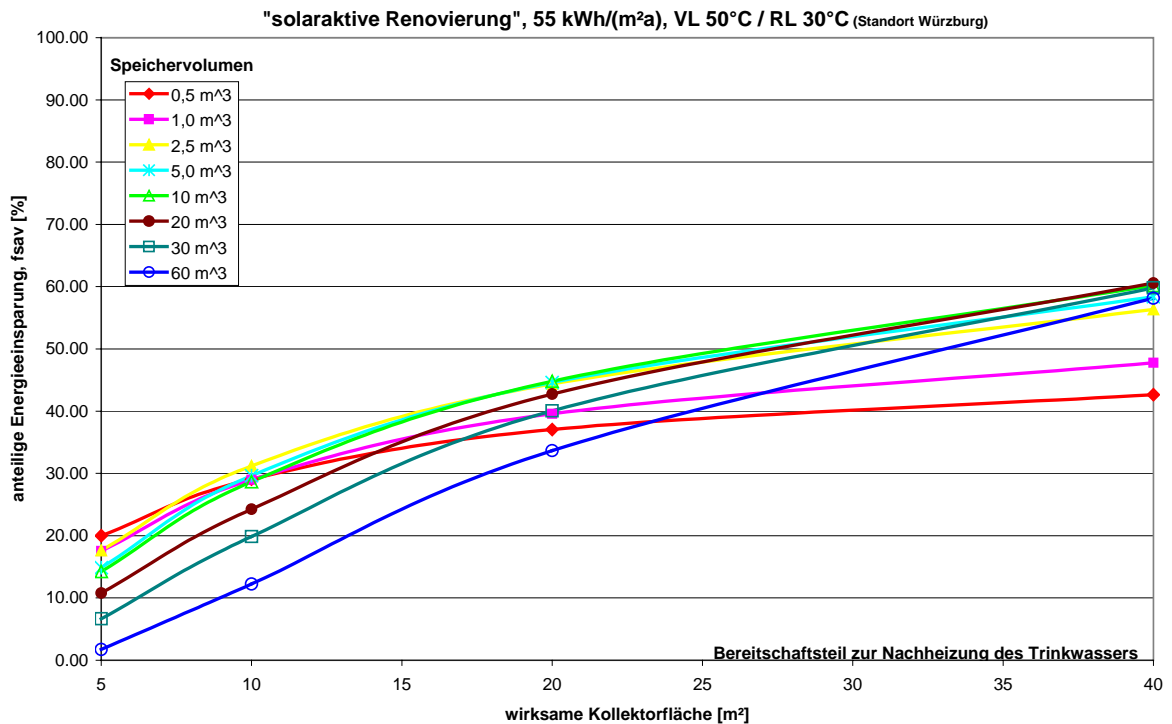


Abb. 8 Gebäude nach "solaraktiver Renovierung", Raumwärmebedarf 55 kWh/(m²a), Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers

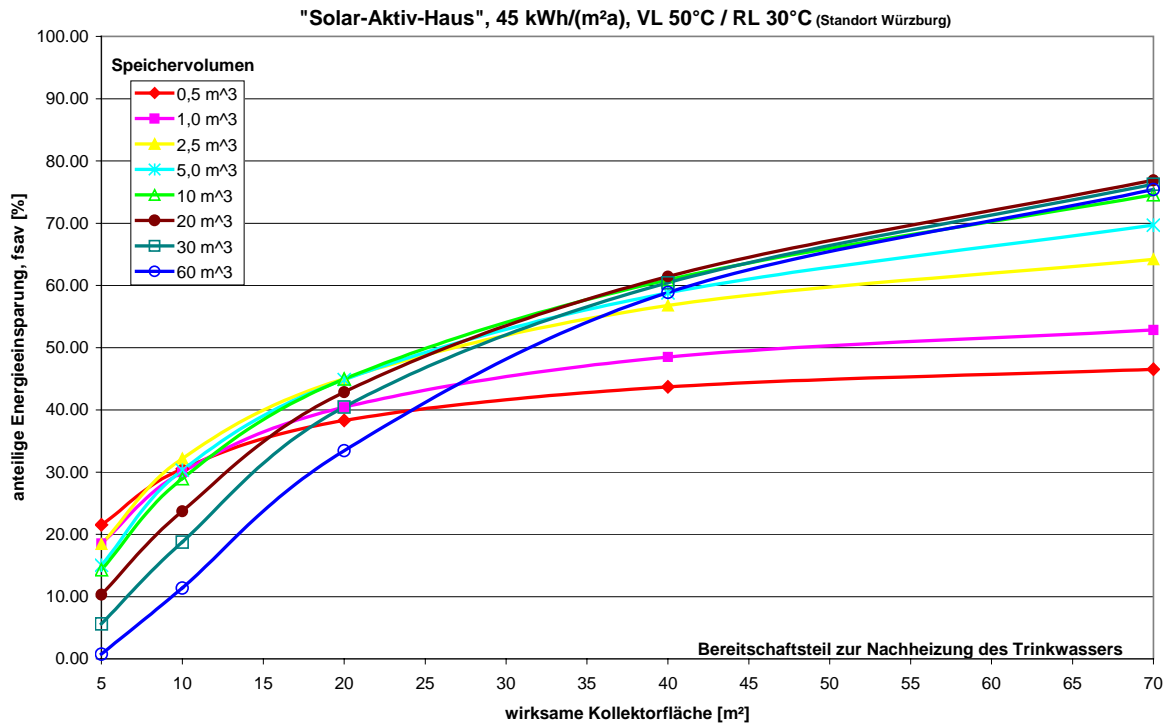


Abb. 9 "Solar-Aktiv-Haus", Raumwärmebedarf 45 kWh/(m²a), Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers

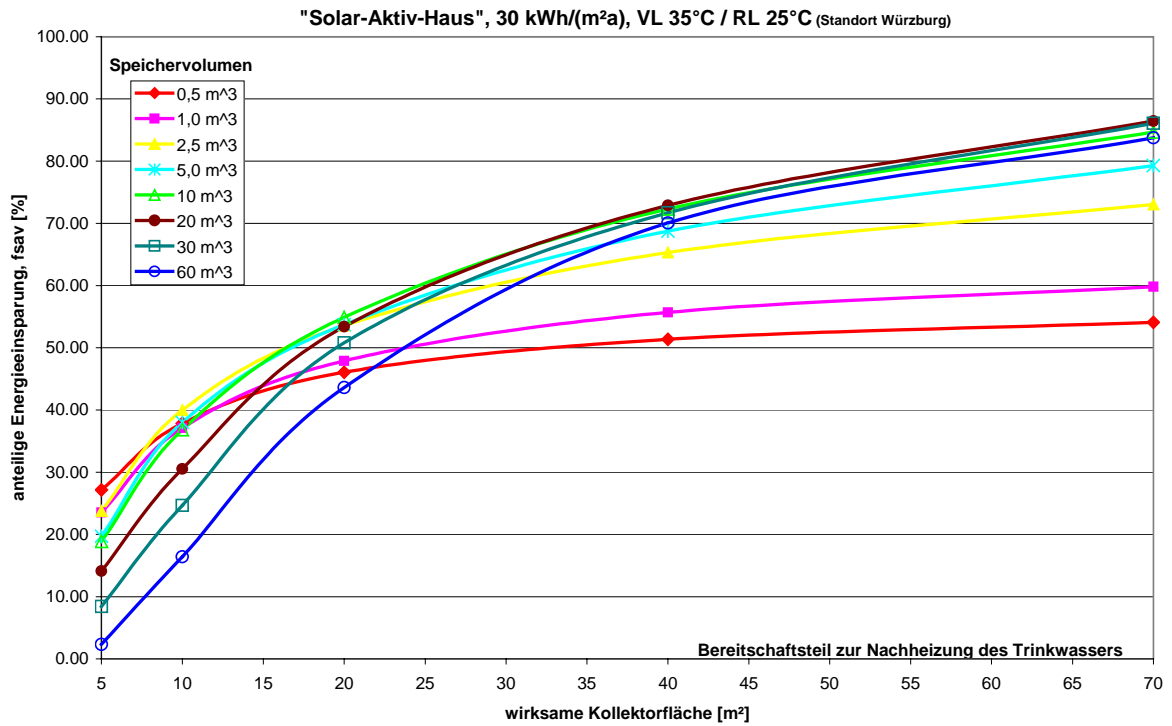


Abb. 10 "Solar-Aktiv-Haus", Raumwärmebedarf: 30 kWh/(m²a), Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers

Daten zu den Abbildungen 7, 8, 9 und 10

solaraktive RenovierungEinfamilienhaus, 70 kWh/(m²a), Vorlauf-/Rücklauftemperatur 60/40 °C

Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers im Speicher

anteilige Energieeinsparung [%]

Kollektor- fläche [m ²]	Speichervolumen [m ³]							
	0.5	1	2.5	5	10	20	30	60
5	16.7	14.4	14.3	11.9	11.3	8.2	4.7	0.6
10	24.5	24.3	25.9	24.3	23.3	19.5	15.6	9.1
20	31.7	34.0	38.1	38.0	38.0	35.9	33.2	26.1
40	37.0	42.2	50.0	51.8	52.7	52.1	51.1	49.1

solaraktive RenovierungEinfamilienhaus, 55 kWh/(m²a), Vorlauf-/Rücklauftemperatur 50/30 °C

Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers im Speicher

anteilige Energieeinsparung [%]

Kollektor- fläche [m ²]	Speichervolumen [m ³]							
	0.5	1	2.5	5	10	20	30	60
5	20.0	17.5	17.6	14.9	14.2	10.8	6.6	1.7
10	29.1	29.0	31.2	29.6	28.7	24.3	19.9	12.2
20	37.1	39.6	44.4	44.6	44.8	42.7	40.1	33.7
40	42.6	47.8	56.3	58.4	60.2	60.6	59.8	58.2

Solar-Aktiv-HausEinfamilienhaus, 45 kWh/(m²a), Vorlauf-/Rücklauftemperatur 50/30 °C

Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers im Speicher

anteilige Energieeinsparung [%]

Kollektor- fläche [m ²]	Speichervolumen [m ³]							
	0.5	1	2.5	5	10	20	30	60
5	21.5	18.5	18.4	15.0	14.3	10.3	5.6	0.8
10	30.5	30.0	32.2	30.3	29.0	23.7	18.8	11.4
20	38.3	40.4	45.0	44.9	44.9	42.9	40.5	33.4
40	43.7	48.5	56.8	58.8	60.9	61.4	60.4	58.9
70	46.5	52.8	64.2	69.7	74.6	76.9	76.3	75.4

Solar-Aktiv-HausEinfamilienhaus, 30 kWh/(m²a), Vorlauf-/Rücklauftemperatur 35/25 °C

Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers im Speicher

anteilige Energieeinsparung [%]

Kollektor- fläche [m ²]	Speichervolumen [m ³]							
	0.5	1	2.5	5	10	20	30	60
5	27.2	23.5	23.8	19.7	18.9	14.1	8.4	2.3
10	37.8	37.1	40.0	38.0	36.8	30.5	24.7	16.4
20	46.1	47.9	53.6	53.7	54.9	53.4	50.8	43.6
40	51.4	55.7	65.3	68.8	72.3	72.9	71.7	70.1
70	54.1	59.8	73.0	79.3	84.7	86.5	86.1	83.8

4.1 Anpassung des Anlagenkonzeptes bei großen Speichervolumen

Die Simulationen erfolgten gemäß Absprache mit dem Auftraggeber zunächst unabhängig von der Größe des Speichervolumens für das gewählte Anlagenkonzept mit einer Nachheizung des Bereitschaftsvolumens für die Trinkwassererwärmung im Speicher, siehe Abb. 6. Dieses Anlagenkonzept entspricht bei Speichervolumen ab etwa 3 m³ nicht der üblichen Praxis. Die nachfolgenden Graphiken, Abb. 11 bis Abb. 14 zeigen Ergebnisse von Simulationsrechnungen für ein Anlagenkonzept, bei dem im Speicher kein Bereitschaftsvolumen für die Trinkwassererwärmung vorhanden ist. Eine gegebenenfalls notwendige Nacherwärmung des Trinkwassers erfolgt außerhalb des Speichers, im Durchlaufprinzip. Im übrigen entspricht das Anlagenschema dem der Abbildung 6.

Die Abbildung 15 beinhaltet weitere Speichervolumen für den Lastfall "Solar-Aktiv-Haus", mit einem Raumwärmebedarf von 30 kWh/(m²a). Auch in diesem Fall ist im Speicher kein Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers vorhanden.

Die Abbildung 16 zeigt den Einfluss der Wärmeverlustrate des Speichers bei verschiedenen Speichervolumen im Fall "Solar-Aktiv-Haus", Raumwärmebedarf 30 kWh/(m²a). Die Variation der Wärmeverluste reicht vom Referenzwert, $(UA)_{Sto} = 0,16 \sqrt{V_S} \text{ [W/K]}$ ³⁾ in Anlehnung an die DIN V ENV 12977-1:2001, *Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kundenspezifisch gefertigte Anlagen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen*, über eine Halbierung der Wärmeverluste bis hin zu einem idealen Speicher ohne Wärmeverluste. Auch in diesem Fall ist kein Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers vorhanden.

Hinweis:

Zur Bereitstellung von erwärmtem Trinkwasser ist zudem Energie zur Kompensation der Wärmeverluste des Speichers notwendig. Bei einem Bedarf von 200 l am Tag und einer Solltemperatur von 45 °C beim Eintritt in das Trinkwarmwassernetz betragen diese Wärmeverluste im Fall einer vordefinierten konventionellen Trinkwassererwärmung 644 kWh pro Jahr.

³ Speichervolumen V_S in Liter

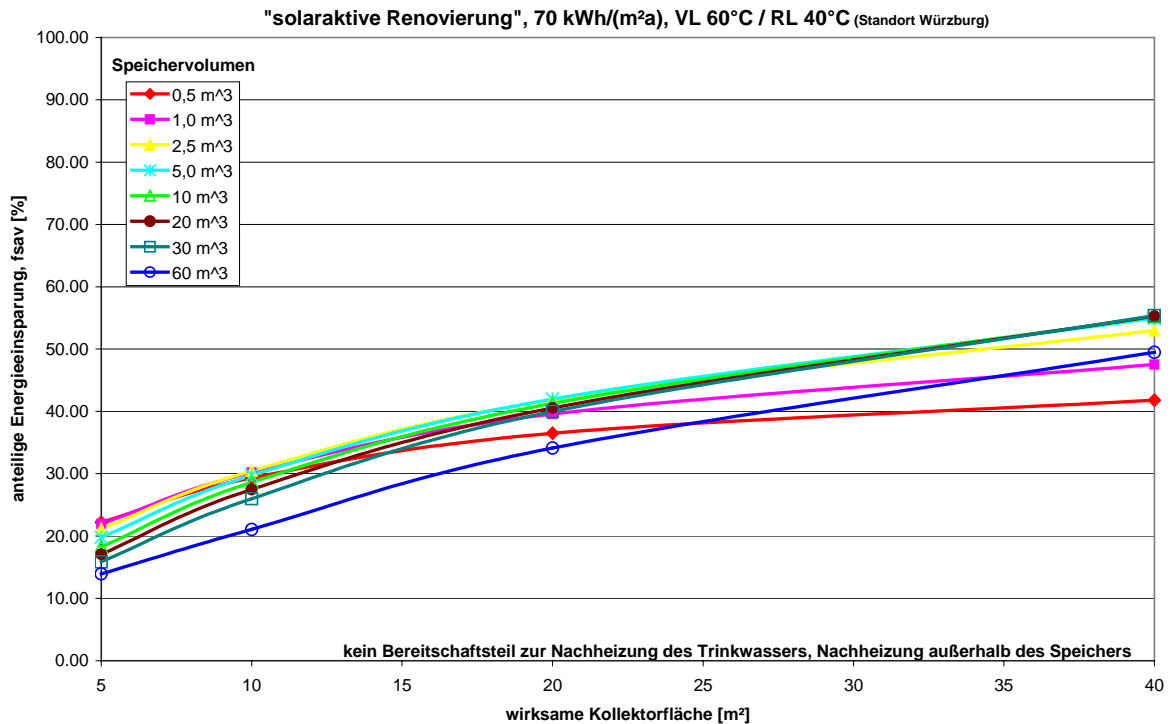


Abb. 11 Gebäude nach "solaraktiver Renovierung", Raumwärmebedarf 70 kWh/(m²a), kein Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers

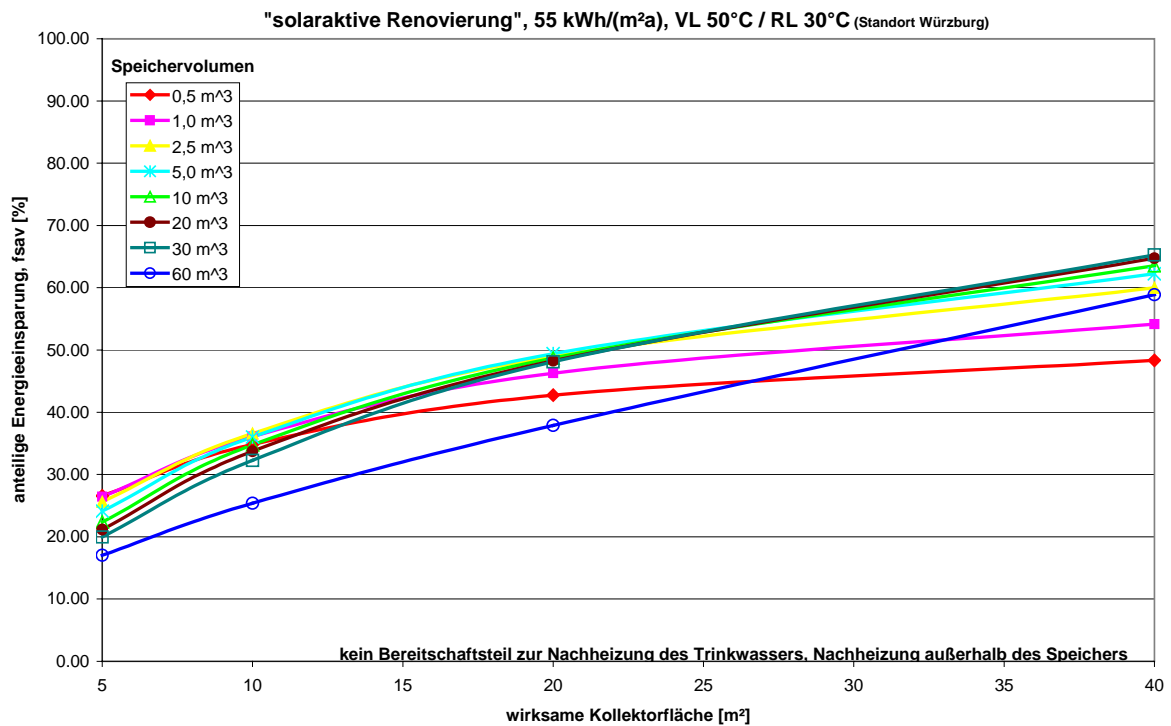


Abb. 12 Gebäude nach "solaraktiver Renovierung", Raumwärmebedarf: 55 kWh/(m²a), kein Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers

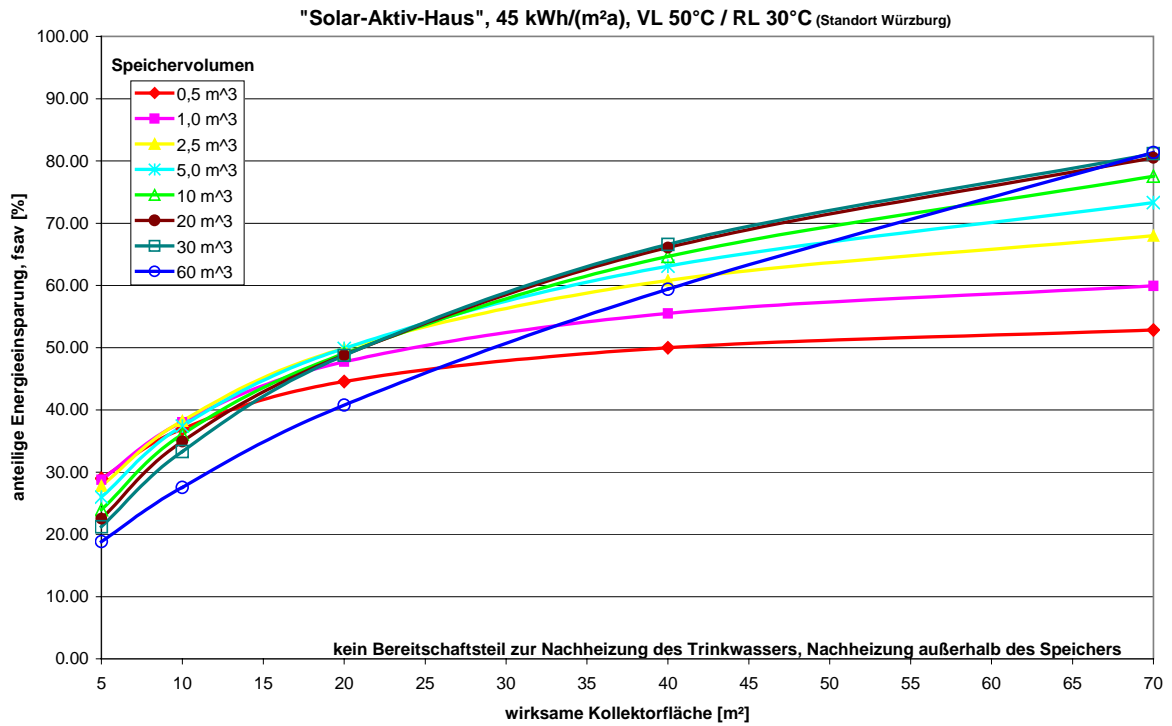


Abb. 13 "Solar-Aktiv-Haus", Raumwärmebedarf 45 kWh/(m²a), kein Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers

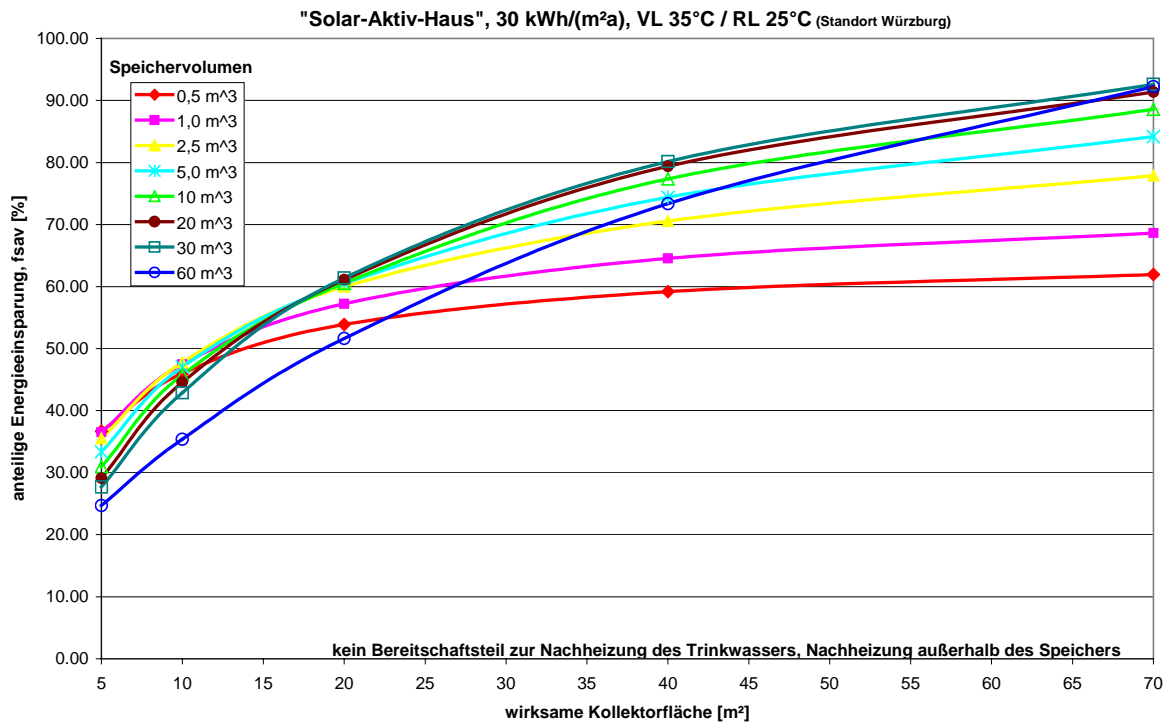


Abb. 14 "Solar-Aktiv-Haus", Raumwärmebedarf 30 kWh/(m²a), kein Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers

Daten zu den Abbildungen 11, 12, 13 und 14

solaraktive RenovierungEinfamilienhaus, 70 kWh/(m²a), Vorlauf-/Rücklauftemperatur 60/40 °C

Nachheizung des Trinkwassers im Durchlauf, außerhalb des Speicher

anteilige Energieeinsparung [%]

Kollektor- fläche [m ²]	Speichervolumen [m ³]							
	0.5	1	2.5	5	10	20	30	60
5	22.2	22.0	21.2	19.8	18.3	17.1	15.9	13.9
10	29.3	30.2	30.4	29.8	28.6	27.5	26.0	21.1
20	36.5	39.6	41.8	42.0	41.3	40.5	40.0	34.1
40	41.8	47.5	53.0	54.9	55.2	55.3	55.4	49.5

solaraktive RenovierungEinfamilienhaus, 55 kWh/(m²a), Vorlauf-/Rücklauftemperatur 50/30 °C

Nachheizung des Trinkwassers im Durchlauf, außerhalb des Speicher

anteilige Energieeinsparung [%]

Kollektor- fläche [m ²]	Speichervolumen [m ³]							
	0.5	1	2.5	5	10	20	30	60
5	26.6	26.4	25.6	24.1	22.4	21.2	20.0	17.0
10	34.8	36.1	36.6	36.0	34.8	33.7	32.3	25.4
20	42.7	46.3	49.0	49.4	48.7	48.3	48.1	37.9
40	48.3	54.2	60.0	62.3	63.5	64.7	65.3	58.9

Solar-Aktiv-HausEinfamilienhaus, 45 kWh/(m²a), Vorlauf-/Rücklauftemperatur 50/30 °C

Nachheizung des Trinkwassers im Durchlauf, außerhalb des Speicher

anteilige Energieeinsparung [%]

Kollektor- fläche [m ²]	Speichervolumen [m ³]							
	0.5	1	2.5	5	10	20	30	60
5	29.0	28.8	27.8	26.0	24.0	22.5	21.2	18.8
10	36.9	38.0	38.2	37.4	36.1	34.9	33.3	27.5
20	44.6	47.7	49.9	49.9	49.1	48.8	48.8	40.8
40	50.0	55.5	60.8	63.1	64.7	66.1	66.6	59.4
70	52.8	59.9	68.0	73.3	77.5	80.5	81.2	81.4

Solar-Aktiv-HausEinfamilienhaus, 30 kWh/(m²a), Vorlauf-/Rücklauftemperatur 35/25 °C

Nachheizung des Trinkwassers im Durchlauf, außerhalb des Speicher

anteilige Energieeinsparung [%]

Kollektor- fläche [m ²]	Speichervolumen [m ³]							
	0.5	1	2.5	5	10	20	30	60
5	36.7	36.5	35.5	33.4	31.0	29.1	27.7	24.7
10	46.0	47.5	47.8	47.0	45.8	44.6	42.9	35.4
20	53.9	57.2	60.0	60.5	60.6	61.1	61.4	51.6
40	59.2	64.5	70.6	74.4	77.4	79.4	80.2	73.4
70	62.0	68.6	77.9	84.2	88.6	91.4	92.6	92.2

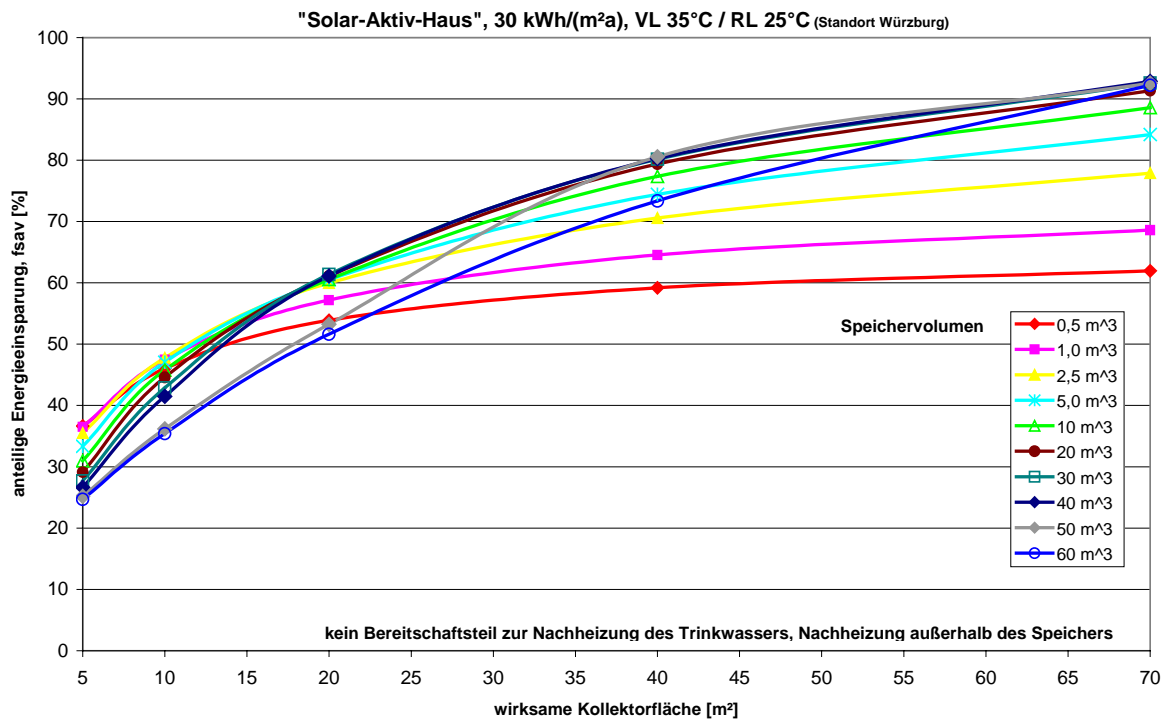


Abb. 15 "Solar-Aktiv-Haus", weitere Speichervolumen, Raumwärmebedarf 30 kWh/(m²a), kein Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers

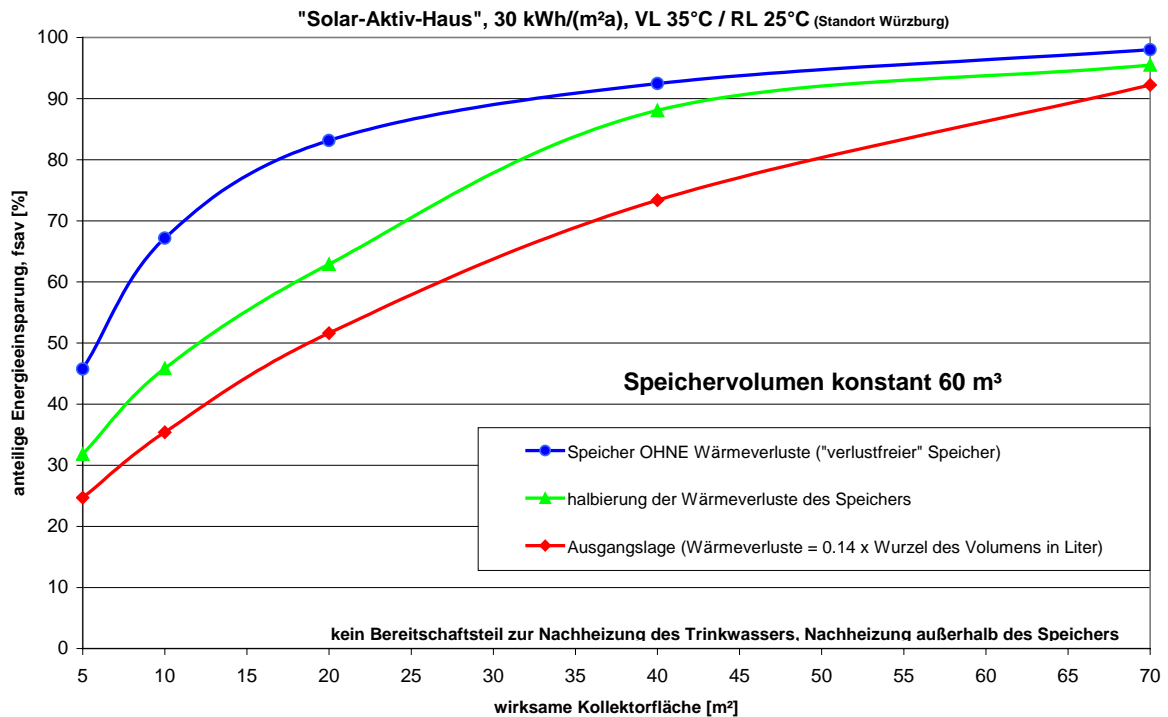


Abb. 16 "Solar-Aktiv-Haus", Variation der Wärmeverluste des Speichers, Raumwärmebedarf 30 kWh/(m²a), kein Bereitschaftsteil zur Nachheizung des Trinkwassers

Daten zu den Abbildungen 15 und 16

Solar-Aktiv-Haus

Einfamilienhaus, 30 kWh/(m²a), Vorlauf-/Rücklauf­temperatur 35/25 °C
 Nachheizung des Trinkwassers im Durchlauf, außerhalb des Speicher
anteilige Energieeinsparung [%]zusätzliche Speichervolumen

Kollektor- fläche [m²]	Speichervolumen [m³]									
	0.5	1	2.5	5	10	20	30	40	50	60
5	36.7	36.5	35.5	33.4	31.0	29.1	27.7	26.7	25.2	24.7
10	46.0	47.5	47.8	47.0	45.8	44.6	42.9	41.5	36.2	35.4
20	53.9	57.2	60.0	60.5	60.6	61.1	61.4	61.1	53.2	51.6
40	59.2	64.5	70.6	74.4	77.4	79.4	80.2	80.3	80.6	73.4
70	62.0	68.6	77.9	84.2	88.6	91.4	92.6	92.9	92.6	92.2

Solar-Aktiv-Haus

Einfamilienhaus, 30 kWh/(m²a), Vorlauf-/Rücklauf­temperatur 35/25 °C
 Nachheizung des Trinkwassers im Durchlauf, außerhalb des Speicher

anteilige Energieeinsparung [%]; reduzierte und keine Wärmeverluste des Speichers

Kollektor- fläche [m²]	Speichervolumen konstant 60 m³		
	Speicherverluste	Wärmeverluste reduziert: Ausgangslage minus 50 %	Wärmeverl.: keine
5	Ausgangslage	24.7	31.8
10		35.4	45.9
20		51.6	62.9
40		73.4	88.1
70		92.2	95.5

5 Sonstige Referenzbedingungen

Nachfolgend sind die sonstigen Referenzbedingungen zusammengestellt, die eine vergleichende Bewertung von Simulationsergebnissen ermöglichen.

5.1 Umrechnung/Verhältnis Endenergie – Nutzenergie

$$\text{Endenergie} = \frac{\text{Nutzenergie}}{0,85}$$

Für die Bereitstellung der Raumwärme und die Erwärmung von Trinkwasser (beides Nutzenergie) wird von einem mittleren jährlichen Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers von 85 % ausgegangen. Diese Zahl wird in vielerlei Berechnungen, Studien und Veröffentlichungen genannt und stellt einen allgemein anerkannten Wert da.

5.2 Umrechnung/Verhältnis Primärenergie – Nutzenergie

Zur Berechnung der Primärenergieeinsparung müssen die den verschiedenen Energieträgern vorgelagerten Prozessketten (z. B. Förderung, Raffinierung, Transporte) berücksichtigt werden. Die vorgelagerten Prozessketten für wesentliche Energieträger werden z. B. in der DIN V 4701-10:2007 unter dem Begriff "Primärenergiefaktoren" definiert. Für die im Bereich von Einfamilienhäusern üblichen fossilen Energieträger wie Heizöl EL, Erdgas H, Flüssiggas und Steinkohle beträgt der Primärenergiefaktor gemäß DIN V 4701-10:2007 → 1,1. Der entsprechende Wert für Braunkohle ist 1,2.

Für die in dieser Studie relevanten Energieträger leichtes Heizöl und Erdgas H wird deshalb der Primärenergiefaktor von 1,1 vorgeschlagen. In der Datenbank Ecoinvent des Swiss Center for Life Cycle Inventories liegt der Primärenergiefaktor für Erdgas um etwa 0,1 über dem der DIN V 4701-10:2007. Der Faktor für leichtes Heizöl übersteigt den Wert der DIN um über 0,3.

Die Benutzung der Datenbasis Ecoinvent ist lizenziert, Werte dürfen laut Nutzerbestimmungen nicht veröffentlicht werden

Für die DSTTP-Referenzbedingungen werden die Werte der DIN V 4701-10:2007 verwendet.

Der Primärenergiebedarf für ein konventionelles Heizsystem ist wie folgt definiert:

$$\text{Primärenergiebedarf}_{\text{konv}} = \frac{\text{Wärmebedarf (RH+TW)}}{\text{Jahresnutzungsgrad der konventionellen Heizung}} * \text{Primärenergiefaktor}$$

5.3 Einsparung an Primärenergie

Subtrahiert man die von einer Heizungsanlage in Verbindung mit einer thermischen Solaranlage benötigte Primärenergie von dem Primärenergiebedarf für eine rein konventionelle Heizung, erhält man die von der Solaranlage eingesparte Primärenergie. Aus dieser Primärenergie kann nach der folgenden Beziehung die Einsparung an Endenergie berechnet werden.

$$\text{Einsparung an Endenergie} = \frac{\text{eingesparte Primärenergie}}{1,1}$$

5.4 Zusatzenergie (Strom), jährlicher Stromverbrauch von Solaranlagen

Der Primärenergiefaktor für el. Strom hat gemäß DIN V 4701-10:2007, abhängig von der Art der Stromerzeugung unterschiedliche Werte. Die entsprechenden Werte nach Ecoinvent liegen etwa 0,5 höher. Vor dem Hintergrund eines steigenden Anteils an regenerativ erzeugtem Strom und einer weiteren Steigerung der Effizienz von fossil befeuerten Kraftwerken, wird für die DSTTP-Referenzbedingungen in Anlehnung an die DIN V 4701-10:2007 ein Primärenergiefaktor von 2,7 vorgeschlagen. Der Energiebedarf der einzelnen Stromverbraucher ist neben der Aufnahmeleistung von der Betriebszeit abhängig.

Wesentliche Stromverbraucher:

- Heizungspumpe: Heizperiode
- Solarkreispumpe: jährliche Volllaststunden⁴
- Regler: üblicher Betriebszustand, 8760 h/a
- NebenkompONENTEN gemäß aktuellem Heizsystem

Zu Wirtschaftlichkeitsberechnungen und für ökologische Bilanzen kann die durchschnittliche Energieeinsparung pro Jahr der angenommenen Lebensdauer des Solarteils der Anlage von Interesse sein.

Ausgehend vom Stand der Technik und im Hochbau bei vergleichbaren Berechnungen üblicherweise angesetzten Lebenserwartungen werden für thermische Solaranlagen und die damit verbundenen Anlagenkomponenten eine Lebensdauer von 25 Jahren angesetzt. Dabei wird davon ausgegangen, dass Aufwendungen für Bauteile die ggf. innerhalb dieser Lebensdauer ausgewechselt werden müssen, von Aufwendungen für Bauteile mit einer Lebensdauer von über 25 Jahre kompensiert werden.

⁴ Der Energiebedarf für drehzahlgeregelte Pumpen berechnet sich aus den Volllaststunden.

Durch den Betrieb einer thermischen Solaranlage werden die jährlichen Laufzeiten der konventionellen Wärmeerzeuger, wie Heizkessel oder Wärmepumpen reduziert. Eine Reduzierung der jährlichen Betriebszeiten erhöht im allgemeinen die Lebensdauer dieser Komponenten. Wenn die Lebensdauer konventioneller Heizungskomponenten wesentlich von deren Betriebsstunden abhängt, führt eine Halbierung der Betriebszeiten z. B. durch die Kombination mit einer Solaranlage mit einer anteiligen Energieeinsparung von 50 %, im günstigen Fall zu einer Verdoppelung der Lebensdauer.

5.5 Energieeinsparung über die Lebensdauer der Anlage.

Aus der für ein Jahr berechneten Einsparung an Nutz-, End- oder Primärenergie kann durch Multiplikation mit der angenommenen Lebensdauer von 25 Jahren die entsprechende Energieeinsparung über die angenommene Lebensdauer des Solarteils der Anlage ermittelt werden. Mit den nachfolgend aufgeführten, spezifischen CO₂ - Emissionen für Erdgas und leichtes Heizöl können zudem die während der Lebensdauer der Anlage vermiedenen CO₂ - Emissionen ermittelt werden

5.6 Ökologische Bewertung

Die CO₂ - Emissionen bei der Verbrennung von Erdgas H und leichtem Heizöl sind nachfolgend zusammengestellt. Die Werte gelten für die vollständige Verbrennung des Energieträgers. Ein Wirkungsgrad für die Verbrennung des Energieträgers in einer technischen Anlage ist nicht berücksichtigt.

Erdgas H, 0,202 kg CO₂ je kWh¹

Erdgas H, 0,202 kg CO₂ je kWh²

Erdgas H, 0,213 kg CO₂ je kWh (direkt) sowie 0,033 kg CO₂ je kWh (indirekt)³

Leichtes Heizöl, 0,266 kg CO₂ je kWh¹

Leichtes Heizöl, 0,266 kg CO₂ je kWh²

Leichtes Heizöl, 0,261 kg CO₂ je kWh (direkt) sowie 0,0498 kg CO₂ je kWh (indirekt)³

Die angegebenen Werte wurden auf einheitliche Einheiten umgerechnet.

Der direkte Anteil berücksichtigt die Verbrennung, der indirekte Anteil die vorgelagerten Prozessketten. In den Angaben zu Quelle 1 und 2 ist nur der direkte Anteil enthalten.

¹ **Umweltbundesamt; Gichtgas: KFA Jülich**

² **Bundeseinheitliche Liste der CO₂ Emissionen**

³ Gemis 4.2

Als DSTTP-Referenzbedingungen werden die Daten des Umweltbundesamtes; Gichtgas: KFA Jülich, bzw. der Bundeseinheitlichen Liste der CO₂ Emissionen vorgeschlagen (fett gedruckt).

5.7 Ökonomische Bewertung

Nachfolgend sind einige Rahmendaten für eine ökonomische Bewertung zusammengestellt.

5.7.1 Materialkosten

Die Spanne bei den Materialkosten ist groß und die zur Verfügung stehenden Werte meist mit Ungenauigkeit behaftet. In bezug auf die Materialkosten könnte eine Umfrage des BSW zumindest aktuell verlässliche Werten und deren Bandbreite liefern. Auch eine Prognose für die mittlere Zukunft (5-10 Jahre) erscheint schwierig. Im Rahmen der Sitzung der DSTTP Arbeitsgruppe 2 am 18.12.2008 in Stuttgart wurden von der Arbeitsgruppe dennoch die folgenden Material- und Komponentenkosten definiert:

Kollektorfeld, inkl. Montagezubehör

Kollektorfeldgröße	5 m ²	70 m ²
	400 €/m ²	200 €/m ²

Speicher, inkl. Wärmedämmung

Speichervolumen	0,3 m ³	10 m ³	60 m ³
	3,30 €/Liter	1,10 €/Liter	1,10 €/Liter

sonstiges, wie Regler, Kollektorkreisverrohrung und Sicherheitseinrichtungen

Kollektorfeldgröße	5 m ²	70 m ²
	1200 €/m ²	4000 €/m ²

Die Ermittlung von Zwischenwerten erfolgt durch lineare Interpolation.

5.8 Montagekosten - Lohnkosten

Bei der Abschätzung der Aufwendungen für die Montage wird von einer Montage durch min. 2 Personen vor Ort ausgegangen. In der nachfolgenden Auflistung sind unterschiedliche Bereiche dargestellt, in die die Lohnkosten aufgeteilt werden können. Als Beispiel sind die Montagezeiten bei einer derzeit marktgängigen Kombianlage (1000 Liter Speicher, Flachkollektor 14 m²) angegeben. Die angegebenen Montagezeiten sind nur bei einer problemlosen und barrierefreien Einbringung des Speichers und ungehindertem Transport der Kollektoren auf das Dach möglich. Der Rückbau oder Umbau vorhandener Anlagentechnik ist nicht berücksichtigt. Die angegebenen Montagezeiten repräsentieren die Montagezeit multipliziert mit der Anzahl der beteiligten Personen.

Die Montagezeiten können wie folgt unterteilt werden:

	Kombianlage mit 14 m ² Flachkollektor	Kombianlage mit 70 m ² Flachkollektor
Speicher stellen und anschließen	8 h	16 h ⁵
Einbindung Heizkreis	2 h	2 h
Pumpengruppe, solar	3 h	10 h
Kollektormontage	1 h/m ²	0,5 h/m ²
Kollektorkreis	10 h	20 h
Sonderaufwand, z. B. Elektroarbeiten	1 h	2 h
gesamt	38 h	85 h

Die Ermittlung von Zwischenwerten erfolgt durch lineare Interpolation.

Die Lohnkosten ergeben sich aus der Arbeitszeit multipliziert mit dem Stundensatz für den Installateur. Bei einem angenommenen Stundensatz von 40 Euro, ergeben sich für das obige Beispiel die folgenden Lohnkosten (netto):

Kombianlage 14 m² Koll., 1 m³ Speicher 38 h x 40 €/h = 1520 € (netto).
 Kombianlage 70 m² Koll., 60 m³ Speicher 85 h x 40 €/h = 3400 € (netto).

Die Gesamtkosten für die Montage sind die Summe der Materialkosten und der Lohnkosten.

Die Kosten für die Wartung und die Instandhaltung der Anlage werden in Anlehnung an die VDI 2067 mit jährlich 1,5 % der Nettoinvestitionssumme angesetzt.

5.9 Zusätzliche Baukosten bei einer "solaraktiven Renovierung"

Zusätzliche Baukosten beim Hochbau sind generell schwer zu benennen, Renovierungen sind meist individuell und an das jeweilige Gebäude angepasst. Auch bei gleichen Baukörpern werden Renovierungen und die anfallenden Kosten maßgeblich durch die Wünsche und Vorlieben der Bauherren bestimmt und unterschiedlich ausfallen.

Der für die thermische Solartechnik zur Verfügung stehende Raum, die Zugänglichkeit und die verfügbaren Flächen sind in den einzelnen Objekten unterschiedlich. Auch hier liegen die Schwerpunkte der Bauherren und Investoren unterschiedlich.

⁵ Die besonderen Aufwendungen für die Einbringung bzw. Montage eines großvolumigen Pufferspeichers sind stark von den bauseitigen Bedingungen abhängig und nicht berücksichtigt.

Das gleiche gilt sinngemäß für die Installation eines Wärmespeichers außerhalb des Gebäudes. Die im Bestand zur Verfügung stehenden Freiflächen hängen stark von deren gegenwärtigen und geplanten Nutzung ab. Die Bereitschaft "gewachsene" Strukturen wie etwa alte Gärten durch den Einbau eines Wärmespeichers grundsätzlich umzugestalten, sind im Allgemeinen gering.

Bei einer solaraktiven Renovierung werden die Zusatzkosten für die Anlagentechnik und die Lohnkosten je nach Bauzustand und Renovierungsgrad des Hauses bei etwa 25 % bis über 50 % liegen. In Einzelfällen können die Zusatzkosten diesen Bereich deutlich übersteigen.

5.10 Zusätzliche Baukosten bei der Erstellung eines "Solar-Aktiv-Hauses"

Die Integration großer thermischen Solaranlagen bei der Erstellung eines Solar-Aktiv-Hauses ist auf das Gebäude und die Planung bezogen einfacher als der Einbau im Rahmen einer solaraktiven Renovierung. Infolge der insbesondere im städtischen Bereich gegenüber dem Bestand reduzierten Grundstücksflächen ist die Installation eines Speichers außerhalb des Gebäudes, auch im Erdreich schwierig. Die Zusatzkosten für die thermische Solartechnik können, abhängig vom Gebäude, 10-15 % der Erstellungskosten für ein "konventionelles" Niedrigstenergiehaus betragen. Soll ein Speichervolumen von 5 m³ oder mehr installiert werden, so hat dies zudem bedeutenden Einfluss auf den Hochbau. Ab Speichervolumen von etwa 10 m³ wird der Speicher eine zentrale Komponente im Hochbau darstellen. Für diesen Fall werden Zusatzkosten bis über 30 % angesetzt.

5.11 Umweltverträglichkeit und ökologische Bewertung von verwendeten Materialien

In Bezug auf die Umweltverträglichkeit können z. B. der kumulierte Energieaufwand zur Herstellung, die verwendeten Materialien und Aspekte des Transports, der Aufbau, der Betrieb, die Montage und Wartung sowie der Rückbau und die Entsorgung bewertet werden. Eine detaillierte Betrachtung der ökologischen Aspekte legt besonderes Augenmerk auf die für die Herstellung der einzelnen Bauteile verwendeten Materialien und die zur Herstellung benötigte Energie. Weitere wichtige Aspekte sind die Verpackung und die Entsorgung.

Auch bei der Umweltverträglichkeit und der weiteren ökologischen Betrachtung, wie z. B. den insgesamt vermiedenen CO₂ - Emissionen, spielt die angesetzte Lebensdauer der Solaranlage (25 Jahre) eine entscheidende Bedeutung.

6 Literatur

- /1/ Protokoll zum 5. Treffen des DSTTP Arbeitsgruppe 2, *Innovative Speicher-technologien* am 18.12.2008 an der Universität Stuttgart (ITW)
- /2/ DIN V ENV 12977-1:2001, *Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kundenspezifisch gefertigte Anlagen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen*
- /3/ Klein, S.A.; Beckmann, W.A.; et all
TRNSYS – A Transient System Simulation Program, Version 14.2, User Manual, University of Wisconsin, Solar Energy Laboratory, Madison, USA, July 1996
- /4/ Klein, S.A.; Beckmann, W.A.; et all
TRNSYS – A Transient System Simulation Program, Version 15, University of Wisconsin, Solar Energy Laboratory, Madison, USA, 2002
- /5/ PreBid, Umgebungsprogramm zur Erzeugung einer Gebäudebeschreibung eines *multi-zone building* (TYPE 56) für TRNSYS, Version 5.0.36
- /6/ Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Klima- und Umweltberatung, Testreferenzjahr 05, *Franken und nördliches Baden-Württemberg*
- /7/ Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Recknagel. H., Sprenger E., Hönnmann W., Oldenbourg 66. Auflage 1993, Herausgeber Schramek E.-R., ISBN 3-486-26212-2
- /8/ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 277, Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 06/87