

„Smart Heating“:
Brennwert plus Solarthermie im System
Gebäude-/Anlagentechnik
für die DVGW-Innovationsoffensive „Gastechnologie“
zum Themencluster:
Anwendungstechnologie

Management Summary

G 5/03/09

gefördert durch: DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
Technisch-wissenschaftlicher Verein

ausgeführt durch: Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.

Autoren:

Frank Burmeister, Jens Brauner, Jens Bruch, Sabine Feldpausch-Jägers
Essen, Juli 2012



Die DVGW-Innovationsoffensive.
www.dvgw-innovation.de



Hintergrund und Zielsetzung

Die Solarthermie eignet sich insbesondere im Neubaubereich zur Erfüllung des EEWärmeG, das seit 2009 bei der Wärmeversorgung von Gebäuden im Bereich Solarthermie eine 15 %-ige Nutzung von erneuerbaren Energien fordert. Die Brennwerttechnologie ist eine von technischer Seite etablierte Standardtechnologie mit nach wie vor bestehenden Optimierungsmöglichkeiten in Kombination mit Solarthermie, sowohl für die Einbindung solarer Brauchwassererwärmung als auch insbesondere mit Heizungsunterstützung.

Ziel dieses Projektes war die Zusammenführung, Kategorisierung, Bewertung und Weiterentwicklung der Kriterien für eine optimale Dimensionierung und Anwendung in Abhängigkeit der Randbedingungen durch die Anlagen- und Gebäudetechnik. Als Projektrahmen galt der Ein- und Zweifamilienhaus-Bereich, jeweils als Bestand und Neubau.

Neben einer Recherche über Förderprogramme von solarthermischen Anlagen, einer Betrachtung der Marktentwicklung der Solarthermie, einer Zusammenstellung über die Komponenten solarthermischer Anlagen, eine Regelwerksrecherche, einem Konzept für Schulungen über Optimierungsmöglichkeiten zu den Themen Planung, Installation und Betrieb von Solaranlagen wurden Beispielauslegungen mit der Auslegungssoftware GetSolar berechnet.

Auslegung

Eine Auslegung anhand derselben Eingangsparameter unterschiedlichster Hersteller ergab eine deutliche Planungsvarianz, zum einen bei der Größe der Aperturfläche und zum anderen zeigten sich erhebliche Unterschiede bei der solaren Deckungsrate am gesamten Wärmebedarf. Diese Abweichungen wurden durch die unterschiedliche Auswahl der Komponenten belegt. Weiterhin wurde der Auslegungsbereich von bekannten Daumenregeln zweier Fachverbände verdeutlicht.

Eine Auslegung nach diesen vereinfachten Daumenregeln führte nur in Einzelfällen zu ausgewogenen ökologischen und ökonomischen Ergebnissen. Grund hierfür ist die Komplexität der Systeme. Es wird daher sowohl für den Neubau als auch für den Bestand eine Simulation auf Basis der bekannten Randbedingungen sowie der meteorologischen Daten empfohlen.

Sensitivitätsanalyse

Eine durchgeführte Sensitivitätsanalyse über die wichtigsten Dimensionierungskriterien wie Aperturfläche, Speichergröße, Systemtemperaturen sowie die hydraulische Einbindung auf die solare Deckungsrate am Wärmeenergiebedarf führte zu folgenden Ergebnissen:

- Das **ökonomische und energetische Optimum liegt in einem Anlagensystem vor** (Pufferspeicher 200 l, Frischwassermodul, Rücklaufanhebung).
- Die Auswirkungen des **Speichervolumens variieren je nach hydraulischer Einbindung** des Speichers.
 - **Rücklaufanhebung:** Speichervolumen kann in vielen Fällen ohne Effizienzeinbußen deutlich reduziert werden.
 - **Ohne Rücklaufanhebung:** Speichervolumen kann kostenneutral erhöht werden.
 - **Zweispichersystem:** Eine reduzierte Kapazität für die Kollektorfläche (z. B. durch begrenzte Dachfläche) kann nicht durch höheres Speichervolumen kompensiert werden.

- Eine Reduzierung der Vorlauftemperatur von z. B. 55 °C auf 40 °C führt im Mittel zu einer Steigerung der solaren Deckungsrate um ca. 5 % sowie einer Kostensenkung:
 - Im Neubau sind **Flächenheizungssysteme vorzusehen.**
 - Ohne Flächenheizungssysteme (z. B. Bestand) ist eine **stufenweise Senkung der Heizkurve** empfehlenswert.

Empfehlungen

Folgende Ableitungen und Empfehlungen für geeignete Systeme im Neubau und Bestand werden gegeben:

- Kombinierte Systeme aus Brennwert und Solarthermie eignen sich besonders im Neubaubereich zur Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen an die Nutzung von regenerativen Energien. Die Potenziale dieser Systeme können jedoch nur dann optimal ausgeschöpft werden, wenn der Betrieb einer Solarthermieanlage bereits im frühen Planungsstadium des Bauobjektes berücksichtigt wird.
- Im Bestand erschwert sich die Formulierung von allgemeingültigen Empfehlungen, da hier die wesentlichen Randbedingungen für eine Solarthermieanlage (Systemtemperaturen, Azimut, Dachneigung, Dachfläche) bereits vorgegeben sind.
- Weiterhin ist für den effizienten Betrieb einer Solaranlage die Beachtung der Einstellmöglichkeiten der Regelung hervorzuheben.

Als Konzept für Schulungen zum Thema Solarthermie werden Optimierungsmöglichkeiten zu den Themen Planung, Installation und Betrieb von Solaranlagen sowie Auslegungsregeln zusammengestellt.

Im Versuchshaus des GWI wurde eine praxisnahe Solaranlage installiert, um Daten zur Validierung von Modellrechnungen mit dem Simulationsprogramm Modelica zu erfassen.

„Smart Heating“:
Brennwert plus Solarthermie im System
Gebäude-/Anlagentechnik
für die DVGW-Innovationsoffensive „Gastechnologie“
zum Themencluster:
Anwendungstechnologie

Abschlussbericht

G 5/03/09

gefördert durch: DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
Technisch-wissenschaftlicher Verein

ausgeführt durch: Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.

Autoren:

Frank Burmeister, Jens Brauner, Jens Bruch, Sabine Feldpausch-Jägers

Essen, Juli 2012



Die DVGW-Innovationsoffensive.
www.dvgw-innovation.de



Management Summary

Die Brennwerttechnologie ist eine von technischer Seite etablierte Standardtechnologie mit nach wie vor bestehenden Optimierungsmöglichkeiten in Kombination mit Solarthermie, sowohl für die Einbindung solarer Trinkwarmwassererwärmung als auch insbesondere mit Heizungsunterstützung. Die Solarthermienutzung eignet sich insbesondere im Neubaubereich zur Erfüllung des EEWärmeG, das seit 2009 bei der Wärmeversorgung von Gebäuden im Bereich Solarthermie eine 15 %-ige Nutzung von erneuerbaren Energien fordert.

Ziel dieses Projektes war die Zusammenführung, Kategorisierung, Bewertung und Weiterentwicklung der Kriterien für eine optimale Dimensionierung und Anwendung in Abhängigkeit der Randbedingungen durch die Anlagen- und Gebäudetechnik. Als Projektrahmen galt der Einfamilienhaus- und Zweifamilienhausbereich als Bestand und Neubau.

Neben einer Recherche über Förderprogramme zu solarthermischen Anlagen, einer Betrachtung der Marktentwicklung der Solarthermie, einer Zusammenstellung der Komponenten solarthermischer Anlagen, einer Regelwerksrecherche, einem Konzept für Schulungen über Optimierungsmöglichkeiten zu den Themen Planung, Installation und Betrieb von Solaranlagen wurden Beispielauslegungen mit der Auslegungssoftware „GetSolar“ berechnet.

Eine Auslegung mit gleichen Eingangsparametern unterschiedlichster Hersteller zeigt eine deutliche Planungsvarianz, zum einen bei der Größe der Aperturfläche und zum anderen zeigen sich erhebliche Unterschiede bei der solaren Deckungsrate am gesamten Wärmebedarf. Diese Abweichungen sind belegt durch eine unterschiedliche Auswahl der Komponenten. Weiterhin wird der Auslegungsbereich von „Daumenregeln“ zwei verschiedener Verbände verdeutlicht. Eine Auslegung nach Daumenregeln kann aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge nur als Anhaltswert für ausgewogene ökologische und ökonomische Ergebnissen dienen. Es wird daher sowohl für den Neubau als auch für den Bestand eine Simulation auf Basis der gegebenen Randbedingungen sowie der meteorologischen Daten empfohlen.

Eine Sensitivitätsanalyse zu den Dimensionierungskriterien wie Aperturfläche, Speichergröße, Systemtemperaturen sowie Einflüsse der hydraulischen Einbindung auf die solare Deckungsrate am Wärmeenergiebedarf führt zu folgenden Ergebnissen:

- Ein ökonomisches und energetisches Optimum liegt in einem Anlagensystem mit folgender Beispielkonfiguration vor: Pufferspeicher 200 l, Frischwassermodul, Rücklaufanhebung.
- Die Auswirkungen des Speichervolumens variieren je nach hydraulischer Einbindung des Speichers.
 - Rücklaufanhebung: Das Speichervolumen kann in vielen Fällen ohne Effizienzeinbußen deutlich reduziert werden.
 - Ohne Rücklaufanhebung: Das Speichervolumen kann kostenneutral erhöht werden.
 - Zweispeichersystem: Eine Reduktion der Kollektorfläche (z. B. durch begrenzte Dachfläche) kann nicht durch höheres Speichervolumen kompensiert werden.
- Eine Reduzierung der Vorlauftemperatur von z. B. 55 °C auf 40 °C führt im Mittel zu einer Steigerung der solaren Deckungsrate von ca. 5 % sowie einer Kostensenkung,
 - im Neubau sind Flächenheizungssysteme vorzusehen.
 - ohne Flächenheizungssysteme (z. B. Bestand) ist eine stufenweise Senkung der Heizkurve empfehlenswert.

Folgende Ableitungen und Empfehlungen für geeignete Systeme für den Neubau und Bestand werden gegeben:

Kombinierte Systeme aus Brennwert und Solarthermie eignen sich besonders im Neubaubereich zur Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen an die Nutzung von regenerativen Energien. Die Potenziale dieser Systeme können jedoch nur dann optimal ausgeschöpft werden, wenn der Betrieb einer Solarthermieanlage bereits im frühen Planungsstadium des Bauobjektes berücksichtigt wird.

Im Bestand erschwert sich die Formulierung von allgemeingültigen Empfehlungen, da hier die wesentlichen Randbedingungen für eine Solarthermieanlage (Systemtemperaturen, Azimut, Dachneigung, Dachfläche) bereits vorgegeben sind.

Weiterhin ist für den effizienten Betrieb einer Solaranlage die Beachtung der Einstellmöglichkeiten der Regelung hervorzuheben.

Als Konzept für Schulungen zum Thema Solarthermie werden Optimierungsmöglichkeiten zu den Themen Planung, Installation und Betrieb von Solaranlagen sowie Auslegungsregeln zusammengestellt. Im Versuchshaus des GWI wurde eine praxisnahe Solaranlage installiert, um die Anlagentechnik im Demonstrationszentrum darzustellen und um Daten zur Validierung von Modellrechnungen mit dem Simulationsprogramm Modelica zu erfassen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Management Summary | 1 |
| Abbildungsverzeichnis | 7 |
| Tabellenverzeichnis | 11 |
| 1. Motivation und Zielsetzung | 13 |
| 2. Vorgehensweise | 14 |
| 3. Recherche zu Förderprogrammen | 15 |
| 3.1. Förderprogramme zum Thema Solarthermie | 15 |
| 3.2. Darstellung der Fördermöglichkeiten der KfW-Bank | 15 |
| 3.2.1. KfW-Effizienzhaus | 16 |
| 3.2.2. Energieeffizient Sanieren – Kredit Einzelmaßnahmen (Programm Nr. 152) | 17 |
| 3.2.3. Wohnraum Modernisieren – Kredit (Programm Nr. 141) | 19 |
| 3.2.4. Energieeffizient Bauen – Kredit (Programm Nr. 153) | 20 |
| 3.2.5. Energieeffizient Sanieren – Sonderförderung (Programm Nr. 431) | 22 |
| 3.3. Darstellung der Fördermöglichkeiten der BAFA | 23 |
| 3.4. Förderungsmaßnahmen in verschiedenen Bundesländern | 26 |
| 3.5. Beispiel einer regionalen Förderungen | 27 |
| 4. Marktentwicklung der Solarthermie | 28 |
| 5. Zusammenfassende Beschreibung der Systeme und Komponenten | 33 |
| 5.1. Wassererwärmungssysteme und Solaranlagen | 35 |
| 5.2. Brennwertkessel mit Solaranbindung | 36 |
| 5.3. Thermische Solaranlagen zur Trinkwarmwassererwärmung | 36 |
| 5.4. Thermische Solaranlagen zur Heizungs- und Trinkwarm-wassererwärmung | 39 |
| 5.5. Kollektoren | 39 |
| 5.5.1. Flachkollektor | 40 |
| 5.5.2. Vakuum-Röhrenkollektoren | 41 |
| 5.5.3. Thermosiphonkollektor | 43 |

| | | |
|---------|--|----|
| 5.5.4. | Drain-Back-Systeme | 44 |
| 5.5.5. | Kennwerte von Kollektoren | 45 |
| 5.5.6. | Qualität und Zertifikate von Kollektoren | 50 |
| 5.5.7. | Zusammenfassung und Einflussgrößen der Kollektoren | 51 |
| 5.6. | Speicher | 52 |
| 5.6.1. | Druckfeste Speicher (Bivalenter Druckspeicher) | 53 |
| 5.6.2. | Drucklose Speicher | 53 |
| 5.6.3. | Puffer-Speicher und Kombi-Speicher | 53 |
| 5.6.4. | Puffer-Speicher als Zweispeicheranlage | 55 |
| 5.6.5. | Puffer-Speicher mit externer Frischwasserstation | 56 |
| 5.6.6. | Puffer-Speicher oder Kombi-Speicher mit internem Wärmetauscher | 56 |
| 5.6.7. | Tank-in-Tank-Speicher | 57 |
| 5.6.8. | Schichtenlade-Speicher | 60 |
| 5.6.9. | Multifunktions-Speicher | 61 |
| | Kombi-Speicher mit Rücklaufanhebung | 63 |
| 5.6.10. | Zusammenfassung und Einflussgrößen der Speichersysteme | 64 |
| 5.7. | Komponenten des Solarkreislauf | 65 |
| 5.7.1. | Kollektor-Betriebsweisen | 65 |
| 5.7.2. | Solarpumpen | 66 |
| 5.7.3. | Sicherheitseinrichtungen | 67 |
| 5.7.4. | Solarstation | 68 |
| 5.7.5. | Zusammenfassung und Einflussgrößen der Komponenten | 70 |
| 5.8. | Steuerung und Regelung | 71 |
| 5.8.1. | Temperaturdifferenzregelungen | 71 |
| 5.8.2. | Temperaturfühler | 71 |
| 5.8.3. | Überhitzungsschutz | 72 |
| 5.8.4. | Zusatzfunktionen | 72 |
| 6. | Auslegung von Solaranlagen | 73 |

| | |
|--|-----|
| 6.1. Dimensionierung von Solaranlagen zur Trinkwarmwasser-erwärmung und „Daumenregeln“ | 73 |
| 6.2. Dimensionierung von Solaranlagen zur Trinkwarmwasser-erwärmung mit Heizungsunterstützung und „Daumenregeln“ | 75 |
| 6.3. Komplettsysteme für den Neubau | 76 |
| 6.4. Beschreibung der Hottgenroth Auslegungssoftware | 78 |
| 6.4.1. Grundlagen der Auslegung mit GetSolar | 78 |
| 6.4.2. Beispielauslegung einer Solaranlage zur Trinkwarmwasser-erwärmung | 78 |
| 6.4.3. Beispielauslegung einer Solaranlage zur kombinierten Heizungsunterstützung | 81 |
| 6.5. Auslegung nach Vorgaben aus dem EEWärmeG | 84 |
| 7. Analyse und Bewertung der Kriterien für eine optimale Dimensionierung | 86 |
| 7.1. Regelwerksanalyse | 86 |
| 7.1.1. EEWärmeG | 86 |
| 7.1.2. EnEG | 87 |
| 7.1.3. EnEV | 87 |
| 7.1.4. DIN EN 12977 | 88 |
| 7.1.5. DIN EN 13203 | 89 |
| 7.1.6. DIN EN 15316 T 4-3 | 89 |
| 7.1.7. VDI 6002 Blatt 1 | 89 |
| 7.1.8. EN ISO 9488 | 90 |
| 7.2. Analyse zur Bestimmung der sensitiven Parameter | 90 |
| 7.2.1. Sensitivitätsanalyse, Schritt 1 | 91 |
| 7.2.2. Sensitivitätsanalyse, Schritt 2 | 94 |
| 7.2.2.1. Ergebnisse „solare Anlagen zur Trinkwarmwasserbereitung“ | 98 |
| 7.2.3. Ergebnisse „solare Anlagen zur Heizungsunterstützung“ | 99 |
| 7.2.4. Wirtschaftliche Analyse | 105 |
| 7.2.5. Zusammenfassung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse | 111 |

| | |
|---|-----|
| 7.2.6. Ableitung und Empfehlung von geeigneten Systemen für den Neubau und Bestand (EFH/ZFH), Schritt 4/5 | 114 |
| 7.3. Varianzen bei der Auslegung von Solarthermie-Anlagen | 117 |
| 7.4. Bewertung | 119 |
| 7.4.1. Analyse des Energieausweises | 119 |
| 8. Grundzüge zum Schulungskonzept | 121 |
| 8.1. Auslegungsregeln bei der Planung von solaren Trinkwarm-wasseranlagen | 121 |
| 8.2. Auslegungsregeln bei der Planung von heizungsunterstützten Solaranlagen | 121 |
| 8.3. Praxistipps bei der Installation von Solaranlagen | 122 |
| 8.4. Optimierungsmöglichkeiten und Fehlervermeidung beim Betrieb | 126 |
| 8.4.1. Wartung | 126 |
| 8.4.2. Probleme bei Stillstandszeiten | 126 |
| 8.4.3. Inbetriebnahme | 128 |
| 8.5. Schulungsangebote | 129 |
| 9. Praxisanlage im Versuchshaus | 131 |
| 9.1. Versuchsanlage | 131 |
| 9.2. Versuchsergebnisse | 133 |
| 9.2.1. Anlage im Standard-Heizbetrieb | 133 |
| 9.2.2. Anlage im Trinkwarmwasserbetrieb | 138 |
| 10. Zusammenfassung | 141 |
| 11. Literaturverzeichnis | 147 |
| A Anhang | 149 |
| Fördermöglichkeiten | 149 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 3-1: Fördermöglichkeiten des MAP bzgl. Solarthermie, Quelle:BAFA | 24 |
| Abbildung 4-1: Marktentwicklung Solarthermie von 1999 bis 2011; Quelle BDH/Statisa..... | 28 |
| Abbildung 4-2: Entwicklung der Wärmebereitstellung aus solarthermischen Anlagen; Quelle BMU | 29 |
| Abbildung 4-3: Anträge für das MAP von November 2009 bis November 2011 (Quelle: BAFA) | 30 |
| Abbildung 4-4: Investitionen zur Errichtung von EE-Anlagen in Deutschland 2010; Quelle BMU | 31 |
| Abbildung 4-5: Gründe zum Rückgang der Solarthermie | 32 |
| Abbildung 5-1: Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland, Jahressummen 2010; Quelle: Deutscher Wetterdienst..... | 34 |
| Abbildung 5-2: Abhängigkeit des Solarertrags von Ausrichtung und Neigung; Quelle: Solarpraxis | 35 |
| Abbildung 5-3: Kompaktgerät ECOSolar BSK [Brötje] (links)/ Kompaktgerät auroCOMPACT [Vaillant] (rechts)..... | 36 |
| Abbildung 5-4: Monatliche Anteile von Erdgas und Solarenergie am Trinkwarmwasserenergiebedarf, Jahreswert: 65 % (Quelle: ASUE) | 37 |
| Abbildung 5-5: Solaranlage zur Brauchwassererwärmung; Quelle: wiehl-heizung- sanitaer.de..... | 38 |
| Abbildung 5-6: Flachkollektor, Quelle www.bildwoerterbuch.com | 41 |
| Abbildung 5-7: Vakuum-Röhrenkollektoren (durchströmt und trockene Einbindung); Quelle Viessmann | 43 |
| Abbildung 5-8: Thermosiphonkollektor | 44 |
| Abbildung 5-9: Drain-Back System..... | 45 |
| Abbildung 5-10: Wirkungsgradkennlinien verschiedener Kollektortypen | 46 |
| Abbildung 5-11: Zweispeicheranlage (Quelle: ITW) | 55 |
| Abbildung 5-12: Frischwassermodul Außenansicht und Innenansicht..... | 56 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 5-13: Pufferspeicher mit integrierter Trinkwarmwassererwärmung (Quelle: Viessmann Vitocell 340 M) und Anlagenschema | 57 |
| Abbildung 5-14: Anlagenschema mit ‚Tank-in-Tank‘ Speicher (Quelle ITW) | 59 |
| Abbildung 5-15: TERMO Kombispeicher der Fa. Wagner & Co Solar, Tank-in-Tank-Speicher der Fa. Paradigma..... | 59 |
| Abbildung 5-16: Dreischichtenladelanze und Membranklappe [Quelle: Fa. Solvis] .. | 60 |
| Abbildung 5-17: Bivalenter Schichtenspeicher (www.ing-büro-junge.de/assets) / Schichtlade-Kombi-Speicher Vitocell 360 M (Viessmann)..... | 61 |
| Abbildung 5-18: Multifunktionsspeicher Solvis Max Futur der Fa. Solvis..... | 62 |
| Abbildung 5-19: Anlagenschema mit Multifunktionsspeicher mit eingebauter Nachheizung | 62 |
| Abbildung 5-20: Solaranlage mit Kombi-Speicher und Rücklaufanhebung (Quelle ITW)..... | 63 |
| Abbildung 5-21: Solarpumpen: Grundfos UPS Solar und Wilo-Stratos PICO..... | 67 |
| Abbildung 5-22: Solarstation mit Regelung und Ausdehnungsgefäß, Quelle [www.hewalex.pl]..... | 69 |
| Abbildung 6-1: Komplettsystem Solar des Herstellers Brötje, Typ BSK 15 | 77 |
| Abbildung 6-2: Hydraulikschema der Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung | 79 |
| Abbildung 6-3: Simulationsergebnisse der Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung | 80 |
| Abbildung 6-4: Hydraulikschema der solaren Kombianlage | 81 |
| Abbildung 6-5: Simulationsergebnisse der solaren Kombianlage / Neubau EnEV 2009 | 83 |
| Abbildung 6-6: Simulationsergebnisse der solaren Kombianlage / Bestandsbau 1978 | 83 |
| Abbildung 6-7: Ergebnisse der Simulationsberechnungen für das Kombisystem im Einfamilienhaus [Fraunhofer]..... | 85 |
| Abbildung 7-1: Vorgehensweise der Sensitivitätsanalyse..... | 91 |
| Abbildung 7-2: Darstellung der Sensitivitätsanalyse | 92 |
| Abbildung 7-3: Solare Deckungsrate und Endenergie-einsparung über Aperturfläche | 98 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 7-4: Solare Deckungsrate und Endenergie-einsparung über Aperturfläche | 98 |
| Abbildung 7-5: Solare Deckungsrate und Endenergie-einsparung über Aperturfläche | 98 |
| Abbildung 7-6: Bestandsbau, solare Deckungsrate über Aperturfläche | 100 |
| Abbildung 7-7: Neubau, solare Deckungsrate über Aperturfläche | 100 |
| Abbildung 7-8: Bestandsbau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 100 |
| Abbildung 7-9: Neubau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 100 |
| Abbildung 7-11: Bestandsbau, solare Deckungsrate über Aperturfläche | 101 |
| Abbildung 7-10: Neubau, solare Deckungsrate über Aperturfläche | 101 |
| Abbildung 7-13: Neubau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 101 |
| Abbildung 7-12: Bestandsbau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 101 |
| Abbildung 7-14: Bestandsbau, solare Deckungsrate über Aperturfläche | 101 |
| Abbildung 7-15: Neubau, solare Deckungsrate über Aperturfläche | 101 |
| Abbildung 7-16: Bestandsbau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 102 |
| Abbildung 7-17: Neubau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 102 |
| Abbildung 7-18: Solare Wärmegestehungskosten der verschiedenen Anlagentypen (solare TWW, solare Heizungsunterstützung Neubau/Bestand) | 106 |
| Abbildung 7-19: Bestandsbau, solare Wärmegestehungskosten über Speichervolumen | 107 |
| Abbildung 7-20: Neubau, solare Wärmegestehungskosten über Speichervolumen | 107 |
| Abbildung 7-21: Neubau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 107 |
| Abbildung 7-22: Bestandsbau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 107 |
| Abbildung 7-23: Bestandsbau, solare Wärmegestehungs-kosten über Speichervolumen | 108 |
| Abbildung 7-24: Neubau, solare Wärmegestehungs-kosten über Speichervolumen | 108 |
| Abbildung 7-25: Neubau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 108 |
| Abbildung 7-26: Bestandsbau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 108 |
| Abbildung 7-27: Bestandsbau, solare Wärmegestehungs-kosten über Speichervolumen | 109 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 7-28: Neubau, solare Wärmegestehungs-kosten über Speichervolumen | 109 |
| Abbildung 7-29: Neubau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 109 |
| Abbildung 7-30: Bestandsbau, solare Deckungsrate über Speichervolumen | 109 |
| Abbildung 7-31: Verlauf der Energie-, Kapital- und Jahresgesamtkosten im System Pufferspeicher (200 Liter) mit Frischwassermodul und Rücklaufanhebung | 113 |
| Abbildung 7-32: Platzsparende, kompakte Bauweise „Unit-Bauweise“ von Brennwert+Solarsystemen | 115 |
| Abbildung 7-33: Grenzbetrachtung der solaren Deckungsrate, Abweichungen im Bereich der Sensitivitätsanalyse | 116 |
| Abbildung 7-34: Planungsvarianzen im EnEV 2009 Gebäude | 118 |
| Abbildung 7-35: Planungsvarianzen im 1978er Gebäude | 118 |
| Abbildung 8-1: Häufigkeit von Defekten an den Solarsystemen des Zukunftsinvestitionsprogramm, Stand 2000 [Solarpraxis] | 123 |
| Abbildung 9-1: Schema der Versuchsanlage | 131 |
| Abbildung 9-2: Bildschirmanzeige der Versuchsanlage Brennwert und Solar | 132 |
| Abbildung 9-3: Warmwasser-Zapfprofil | 134 |
| Abbildung 9-4: Verlauf verschiedener Messdaten am 02. August 2011 | 135 |
| Abbildung 9-5: Verlauf der unterschiedlichen Volumenströme am 02. August 2011 | 137 |
| Abbildung 9-6: Verlauf von Messdaten im Kollektorkreis am 02. August 2011 | 138 |
| Abbildung 9-7: Verlauf verschiedener Messdaten am 01. Oktober 2011, Trinkwasserbetrieb | 139 |
| Abbildung 9-8: Verlauf von Messdaten im Kollektorkreis am 01. Oktober 2011 | 140 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|--------------|--|-----|
| Tabelle 3-1: | Kreditkonditionen im Programm „Energieeffizient Sanieren“ | 17 |
| Tabelle 3-2: | Kreditkonditionen im Programm „Wohnraum Modernisieren“ | 19 |
| Tabelle 3-3: | Kreditkonditionen im Programm „Energieeffizient Bauen“ | 21 |
| Tabelle 3-4: | Tilgungszuschuss in Abhängigkeit des kfW-Effizienzhausstandards | 21 |
| Tabelle 3-5: | Fördermaßnahmen der Berliner Gaswerke AG, Quelle: GASAG | 27 |
| Tabelle 5-1: | Charakteristische Kenngrößen unterschiedlicher Kollektortypen | 47 |
| Tabelle 5-2: | Absorptions- und Emissionsfaktoren selektiver Absorberschichtungen | 49 |
| Tabelle 5-3: | Zusammenfassung und Einflussgrößen der Kollektoren | 51 |
| Tabelle 5-4: | Zusammenfassung und Einflussgrößen der Speichersysteme | 64 |
| Tabelle 5-5: | Zusammenfassung und Einflussgrößen der Komponenten | 70 |
| Tabelle 6-1: | Normverbräuche gemäß VDI 2087 Blatt 2 | 73 |
| Tabelle 6-2: | Daumenregeln unterschiedlicher Bezugsquellen bei solarer TWW | 74 |
| Tabelle 6-3: | Daumenregeln unterschiedlicher Bezugsquellen bei solarer TWW + Hzg. | 76 |
| Tabelle 6-4: | Auslegungsparameter der Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung | 79 |
| Tabelle 6-5: | Energie-, Gebäude- und Anlagendaten zur Auslegung der solaren Kombianlage | 82 |
| Tabelle 6-6: | Auszug aus den Ergebnissen der Simulationsberechnungen für das Kombisystem im Einfamilienhaus [Fraunhofer] | 84 |
| Tabelle 6-7: | Mindest-Aperturfläche nach den Vorgaben aus dem EEWärmeG | 85 |
| Tabelle 7-1: | Flächenschlüssel zur Erfüllung der Anforderungen aus dem EEWärmeG | 86 |
| Tabelle 7-2: | Systemparameter der Sensitivitätsanalyse, nur Warmwasserbereitung | 94 |
| Tabelle 7-3: | Systemparameter der Sensitivitätsanalyse, solare Heizungsunterstützung Neubau/Bestand | 95 |
| Tabelle 7-4: | Hydraulikschemen der Solaranlagen zur Trinkwarmwasserbereitung | 96 |
| Tabelle 7-5: | Hydraulikschemen der Solaranlagen zur Heizungsunterstützung | 97 |
| Tabelle 7-6: | Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse aus der Sensitivitätsanalyse | 111 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Tabelle 8-1: | Mögliche Installationsfehler bei Solaranlagen | 124 |
| Tabelle 8-2: | Mögliche Installationsfehler bei heizungsunterstützten Solaranlagen | 125 |
| Tabelle 8-3: | Probleme und Maßnahmen bei Stagnation | 127 |
| Tabelle 9-1: | Zapfzeiten mit Zapfmengen und Warmwassertemperatur | 135 |
| Tabelle 9-2: | Leistungsaufnahme der Pumpen | 136 |

1. Motivation und Zielsetzung

Die Nutzung der solaren Wärme ist CO₂-frei und spart wertvolle Brennstoffe. Außerdem eignet sich die Solarthermie insbesondere im Neubaubereich zur Erfüllung des EEWärmeG (Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz), das seit dem 1. Januar 2009 bei der Wärmeversorgung von Gebäuden eine anteilige Nutzung von erneuerbaren Energien fordert. Zur Deckung des Anteils aus erneuerbaren Energien gibt es die Möglichkeiten der Nutzung von Geothermie, Umweltwärme, solarer Strahlungsenergie und Biomasse. Sofern solare Strahlungsenergie zur Nutzung vorgesehen ist, versteht sich die Nutzungspflicht des EEWärmeG als erfüllt, wenn der Wärmeenergiebedarf zu 15 % aus solarer Strahlungsenergie gedeckt wird.

Eine Kombination aus hocheffizienter Gasbrennwerttechnik und Solarthermie deckt mit einer solar unterstützten Trinkwasserbereitung ca. 60 % des Energiebedarfs ab, natürlich in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten (Dachneigung, Positionierung der Kollektoren etc.) sowie der jährlichen, durchschnittlichen Sonnenscheindauer. Bei einer solaren Trinkwassererwärmung mit Heizungsunterstützung liegt die Brennstoffeinsparung zwischen 10 und 30 %, je nach Dämmstandard des Gebäudes. Bei Niedrigenergiegebäuden sind bis zu 50 % erreichbar. [BDH]

Die Investitionen für Solaranlagen sind im Vergleich zu anderen regenerativen Energiesystemen in der Regel geringer. Auch die Nachrüstung bestehender Heizungssysteme ist vergleichsweise einfach. Mittlerweile liefert jede fünfte in Deutschland installierte Solaranlage außer dem erwärmten Trinkwasser auch Heizungswärme. [BINE]

Die Gebäudebeheizung durch Sonnenenergie stellt jedoch auch höhere Anforderungen an die Anlagenplanung und -ausführung als die solare Warmwasserbereitung. Die Brennwerttechnologie ist eine von technischer Seite etablierte Standardtechnologie mit nach wie vor bestehenden Optimierungsmöglichkeiten in Kombination mit Solarthermie, sowohl für die Einbindung solarer Trinkwarmwasserwassererwärmung als auch insbesondere mit Heizungsunterstützung.

Ziel dieses Projektes ist die Zusammenführung, Kategorisierung, Bewertung und Weiterentwicklung der Kriterien für eine optimale Dimensionierung und Anwendung in Abhängigkeit der Randbedingungen durch die Anlagen- und Gebäudetechnik.

2. Vorgehensweise

Als Projektrahmen gilt der EFH und ZFH-Bereich, jeweils als Bestand und Neubau. Zunächst werden die Fördermöglichkeiten von solarthermischen Anlagen zusammengestellt sowie die Marktentwicklung der Solarthermie dargelegt. Es folgt eine ausführliche Beschreibung der Komponenten von Solaranlagen und der unterschiedlichen Anlagensysteme. Im weiteren Verlauf wird auf die Auslegung von Solaranlagen eingegangen. Mit der Auslegungs-Software Get Solar der Fa. Hottgenroth wurden Vergleichsrechnungen durchgeführt, mit weiteren Auslegungsregeln verglichen und die Bandbreite der Auslegungsregeln plakativ dargestellt. Ergebnisse von Feldtestanlagen werden ebenfalls mit einbezogen.

Die gesetzlichen Vorgaben rund um das Thema Solarthermie sind in Kapitel 7.1 aufgezeigt. Weiterhin werden in einer Parameteranalyse die Einflüsse der wesentlichen Dimensionierungs-Kriterien auf die solare Deckungsrate am Wärmeenergiebedarf eingehend beleuchtet:

- Aperturfläche (Flachkollektoren)
- Speichergröße
- Systemtemperaturen

Diese Parameteranalyse wird für solare Anlagen zur Trinkwarmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung jeweils für einen Neubau nach EnEV 2009 und für ein Bestandsgebäude mit Dämmstandard von 1978 durchgeführt. Bei den solaren Anlagen zur Heizungsunterstützung werden drei verschiedene hydraulische Speichereinbindungen betrachtet.

Auf die Grundzüge zum Schulungskonzept wird in Kapitel 8 eingegangen. Hinweise und Praxistipps bei Installation und Betrieb von Solaranlagen sind in Kapitel 8.3 zusammengestellt. In Kapitel 9 wird die im Versuchshaus errichtete Praxisanlage dargestellt.

3.Recherche zu Förderprogrammen

3.1. Förderprogramme zum Thema Solarthermie

Die Recherchen zu Förderprogrammen von solarthermischen Anlagen zeigen unterschiedliche Möglichkeiten, mit denen Solaranlagenbesitzer sowohl Kollektoren als auch Heizgeräte fördern lassen können.

Die wichtigsten Förderprogramme sind die des Bundes, getragen von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) und dem BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle). Beide haben einen unterschiedlichen Förderschwerpunkt: Die KfW fördert Gebäudeeffizienzmaßnahmen in Form von Krediten oder Zuschüssen. Das BAFA fördert den Einsatz von regenerativen Energien zur Wärmeerzeugung in Form von Zuschüssen.

Wird eine Heizung auf Basis erneuerbarer Energien in Kombination mit einer Heizungserneuerung auf Basis konventioneller Energieträger geplant, kann entweder im Programm 152 ein KfW-Kredit oder ein Zuschuss des BAFA-Programms „Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ (Kapitel 3.3, Marktanzreizprogramm) in Anspruch genommen werden. Eine Kombination beider Fördermöglichkeiten für die gleiche Heizungskomponente ist nicht möglich. Diese Fördermaßnahmen gelten für Solaranlagen auf Bestandsgebäuden. Im Neubaubereich werden Solaranlagen bei energieeffizienten KfW-Effizienzhäusern 70, 55 oder 40 oder eines Passivhauses gefördert.

Weiterhin stellen einige Bundesländer für eine Heizungssanierung ebenfalls Fördermittel bereit. Auch bieten viele Stadtwerke bzw. Gasversorgungsunternehmen bei einem Energieträgerwechsel von Öl, Strom, Kohle oder Flüssiggas auf Erdgas-Brennwerttechnik in Kombination mit Solarthermie eine Förderung zusätzlich zur staatlichen Förderung an.

Auf der Internetseite www.energiefoerderung.info der BINE-Förderdatenbank werden durch Eingabe der PLZ und die Auswahl der Fördermaßnahmen alle zurzeit gültigen Förderprogramme für die angegebene Region aufgelistet.

3.2. Darstellung der Fördermöglichkeiten der KfW-Bank

Bei Heizungserneuerungen in Kombination mit der Errichtung einer Solarthermieanlage besteht die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit bei der KfW im Programm 152 "Energieeffizient Sanieren" – Einzelmaßnahmen zu beantragen. Eine KfW-Altbau-Förderung kann bei der Sanierung oder beim Kauf sanierter Gebäude beantragt werden, deren Bauantrag oder Bauanzeige vor dem 01.01.1995 eingegangen ist. Die KfW gibt einen zinsgünstigen Kredit oder Zuschuss aus dem Programm "Energieeffizient Sanieren". Es umfasst einzelne Sanierungsmaßnahmen

oder eine Kombination daraus. Nachfolgend sind die Förderprogramme (gültig seit März 2011) zusammengestellt.

- Energieeffizient Sanieren – Kredit, Einzelmaßnahmen; Programm 152 (Bestand)
- Wohnraum Modernisieren – Kredit, Programm 141 (Bestand)
- Energieeffizient Bauen – Kredit, Einzelmaßnahmen; Programm 153 (Neubau)

Voraussetzungen für die Förderungen:

Bei allen Förderprogrammen muss der Antrag vor dem Start der Maßnahmen gestellt werden. Der Kreditantrag kann mit dem bei den Kreditinstituten vorrätigen Formular bei jeder Bank oder Sparkasse gestellt werden. Diese leitet den Antrag an die KfW Bankengruppe weiter.

Im Sanierungsfall gilt: Für das Wohngebäude muss vor dem 1. Januar 1995 der Bauantrag gestellt oder Bauanzeige erstattet worden sein.

Bei dem Kauf oder Neubau eines Wohngebäudes muss der Antrag vor Baubeginn gestellt werden.

Es muss sich um die Sanierung zu einem KfW-Effizienzhaus (siehe Anhang) handeln. Die technischen Anforderungen sind zu erfüllen.

Bei Bau/Kauf/Ersterwerb oder Sanierung zum KfW-Effizienzhaus 55 sind die energetische Fachplanung und Baubegleitung durch einen Sachverständigen verbindlich nachzuweisen.

Der Sachverständige muss als Energieberater zugelassen oder eine nach § 21 der Energieeinsparverordnung (EnEV) ausstellungsberechtigte Person sein.

Die Maßnahmen müssen durch ein Fachunternehmen durchgeführt werden.

Von der Förderung ausgeschlossen sind Ferien- und Wochenendhäuser.

3.2.1. KfW-Effizienzhaus

Der Begriff Effizienzhaus ist ein Qualitätszeichen, das von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) zusammen mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und der KfW entwickelt wurde.

Die KfW nutzt dieses Qualitätszeichen im Rahmen ihrer Förderprogramme Energieeffizient Bauen und Energieeffizient Sanieren. Durch die Sanierung muss mindestens der Energiestandard KfW-Effizienzhaus 115 erreicht werden. Das bedeutet einen Jahres-Primärenergiebedarf von 15 % über dem Neubauniveau (KfW-Effizienzhaus 100). Die Zahl nach dem Begriff KfW-Effizienzhaus gibt an, wie hoch der Jahresprimärenergiebedarf (Qp) in Relation (%) zu einem vergleichbaren Neubau (siehe Referenzgebäude) nach den Vorgaben der Energieeinspar-

verordnung (EnEV) sein darf. Je kleiner die Zahl, desto niedriger und besser das Energieniveau.

Daneben ist auch der Wert des spezifischen Transmissionswärmeverlustes (HT') des Gebäudes relevant. Beim KfW-Effizienzhaus 85 darf er z. B. höchstens 100 % eines entsprechenden Referenzgebäudes betragen [KfW].

3.2.2. Energieeffizient Sanieren – Kredit Einzelmaßnahmen (Programm Nr. 152)

Seit dem 01. März 2011 werden energetische Einzelmaßnahmen wieder im attraktiven Programm "Energieeffizient Sanieren" (152) gefördert.

Voraussetzung: Der Bauantrag oder die Bauanzeige wurde vor dem 01.01.1995 gestellt, die Energiebilanz des Wohngebäudes wird verbessert und die technischen Mindestanforderungen (siehe Anhang A.1) werden eingehalten.

Es besteht die Wahl zwischen einem zinsgünstigen Kredit oder einem Zuschuss in Höhe von 5 % der förderfähigen Kosten.

Konditionen:

Die Gutschrift des Tilgungszuschusses erfolgt, sobald der Sachverständige und die Hausbank die ordnungsgemäße Durchführung der Sanierung bestätigt haben. Die Laufzeit kann gemäß der folgenden Tabelle 3-1 gewählt werden.

Tabelle 3-1: Kreditkonditionen im Programm „Energieeffizient Sanieren“

| Sollzins (Effektivzins) pro Jahr | Laufzeit | tilgungsfreie Anlaufzeit | Zinsbindung |
|----------------------------------|----------|--------------------------|-------------|
| 2,75 % (2,78 %) | 8 Jahre | 8 Jahre | 8 Jahre |
| 2,55 % (2,57 %) | 10 Jahre | 2 Jahre | 10 Jahre |
| 2,85 % (2,88 %) | 20 Jahre | 3 Jahre | 10 Jahre |
| 3,00 % (3,03 %) | 30 Jahre | 5 Jahre | 10 Jahre |

- Finanzierung bis zu 100 % der förderfähigen Investitionskosten einschließlich Nebenkosten (z. B. Architekt, Energieeinsparberatung, etc.), max. bis zu 50.000 €/Wohneinheit, Grundlage ist Anzahl der WE vor Sanierung
- Zinsbindung für die ersten 10 Jahre, anschließend Prolongationsangebot der KfW
- Rückzahlung des Kredits in gleich hohen vierteljährlichen Raten (Annuitäten) und nur auf den abgerufenen (tatsächlich genutzten) Kreditbetrag
- kostenfreie, außerplanmäßige Tilgung innerhalb der ersten Zinsbindungsfrist möglich

- Abruffrist innerhalb von 12 Monaten, sie kann um max. 24 Monate verlängert werden
- Bereitstellungsprovision nach 12 Monaten nach Zusage von 0,25 %/Monat

Programm 152 finanziert u. a. folgende Kosten beim Austausch der Heizung:

- Austausch der Heizung einschließlich Einbau einer Umwälzpumpe der Klasse A und gegebenenfalls einer hocheffizienten Zirkulationspumpe
- Lieferung und Einbau der solarthermischen Anlage (Einschränkung bei "Einzelmaßnahmen" - siehe Programm-Merkblatt)
- Anschluss solarthermische Anlage an das Warmwasser- und/oder Heizsystem, inklusive Solarspeicher, Steigleitungen
- Einbau von Steuerungs- und Regelungstechnik, notwendige Elektroarbeiten
- Einbau oder Austausch von Thermostatventilen
- Planungs- und Baubegleitungsleistungen

Eine Kombination mit weiteren Förderungen ist möglich. Die Summe aus allen Fördermitteln darf die Summe der Sanierungskosten nicht übersteigen.

Eine Kombination mit dem Zuschussprogramm "Energieeffizient Sanieren - Sonderförderung (431, Baubegleitung)" ist möglich, die Kombination mit der Zuschussvariante des Programms "Energieeffizient Sanieren" (Programmnummer 430) für dasselbe Vorhaben ist nicht möglich.

Wird eine Heizung auf Basis erneuerbarer Energien in Kombination mit einer Heizungserneuerung auf Basis konventioneller Energieträger geplant, kann entweder im Programm 152 ein KfW-Kredit oder ein Zuschuss des BAFA-Programms "Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt" (Marktanreizprogramm) in Anspruch genommen werden. Eine Kombination beider Fördermöglichkeiten für die gleiche Heizungskomponente ist nicht möglich. Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien werden im Rahmen des BAFA-Programms gefördert. [KfW]

Antragsteller:

Träger von Investitionsmaßnahmen an selbst genutzten oder vermieteten Wohngebäuden sowie Ersterwerber von neu sanierten Wohngebäuden, z. B. Privatpersonen, Wohnungsunternehmen/Wohnungsgenossenschaften, Bauträger, Eigentümer/Betreiber von Wohnheimen, Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts sowie Contracting-Geber (Investor).

3.2.3. Wohnraum Modernisieren – Kredit (Programm Nr. 141)

Mit dem Programm 141 fördert die KfW die Modernisierung und Instandsetzung einer Wohnung bzw. eines Wohngebäudes oder den Kauf eines neu sanierten Wohngebäudes oder einer Eigentumswohnung.

Voraussetzung: Der Antrag muss **vor** dem Kauf bzw. der Modernisierung/ Instandsetzung gestellt werden.

Konditionen:

Während der tilgungsfreien Anlaufjahre (erstes Jahr) fallen vierteljährlich Zinsen nur auf den abgerufenen Kreditbetrag an. Die Konditionen können der Tabelle 3-2 entnommen werden.

Tabelle 3-2: Kreditkonditionen im Programm „Wohnraum Modernisieren“

| Sollzins (Effektivzins) pro Jahr | Laufzeit | tilgungsfreie Anlaufzeit | Zinsbindung |
|----------------------------------|----------|--------------------------|-------------|
| 3,80 % (4,47 %) | 8 Jahre | 8 Jahre | 8 Jahre |
| 2,95 % (3,98 %) | 10 Jahre | 2 Jahre | 5 Jahre |
| 3,50 % (4,30 %) | 10 Jahre | 2 Jahre | 10 Jahre |
| 3,10 % (4,06 %) | 20 Jahre | 3 Jahre | 5 Jahre |
| 3,95 % (4,58 %) | 20 Jahre | 3 Jahre | 10 Jahre |
| 3,15 % (4,10 %) | 30 Jahre | 5 Jahre | 5 Jahre |
| 4,05 % (4,640 %) | 30 Jahre | 5 Jahre | 10 Jahre |

- Finanzierung bis zu 100 % der förderfähigen Investitionskosten einschließlich Nebenkosten (z. B. Architekt, Energieeinsparberatung, etc.), max. bis zu 100.000 €/Wohneinheit.
- Zinsbindung wahlweise für 5 oder 10 Jahre, anschließend Prolongationsangebot der KfW
- Rückzahlung des Kredits in gleich hohen vierteljährlichen Raten (Annuitäten) und nur auf den abgerufenen (tatsächlich genutzten) Kreditbetrag
- kostenfreie, außerplanmäßige Tilgung innerhalb der ersten Zinsbindungsfrist möglich
- Abruffrist innerhalb von 12 Monaten, sie kann um max. 24 Monate verlängert werden
- Bereitstellungsprovision nach 4 Monaten nach Zusage von 0,25 %/Monat

Programm 141 finanziert u. a. folgende Kosten bzgl. Solarthermie:

- Erneuerung von Zentralheizungsanlagen oder deren Komponenten einschließlich der unmittelbar dadurch notwendigen Maßnahmen (Beim Einbau der Heizung ist stets ein hydraulischer Abgleich vorzunehmen.)

Bei der Durchführung dieser Maßnahmen sind die baulichen Vorschriften der Energieeinsparverordnung (EnEV) zu beachten.

Eine Kombination mit weiteren Förderungen ist möglich. Die Summe aus allen Fördermitteln darf die Summe der Sanierungskosten nicht übersteigen.

Eine Kombination mit dem Zuschussprogramm "Energieeffizient Sanieren - Sonderförderung (431, Baubegleitung)" ist möglich, die Kombination mit der Zuschussvariante des Programms "Energieeffizient Sanieren" (Programmnummer 430) für dasselbe Vorhaben ist nicht möglich. [KfW]

Antragsteller :

Eigentümer einer Wohnimmobilie/Selbstnutzer, Mieter einer Wohnimmobilie, Vermieter einer Wohnimmobilie, Wohneigentümergeinschaften, Contracting-Geber, Gewerbliche Unternehmen, Kommunale Unternehmen, Wohnungsgesellschaften, Gemeinnützige Organisationen, Kommunen, Zweckverbände, Eigenbetriebe

3.2.4. Energieeffizient Bauen – Kredit (Programm Nr. 153)

Dieses Förderprogramm kann jeder nutzen, der gemäß KfW-Effizienzhaus-Standard (bzw. Passivhaus-Standard) baut oder einen entsprechenden Neubau kauft. Erreicht das Niedrigenergiehaus beim Energiebedarf den Standard eines KfW-Effizienzhaus 70, 55 oder 40 oder eines Passivhauses, wird der Kredit mit niedrigen Zinsen begünstigt. Beim KfW-Effizienzhaus 55 oder 40 bzw. beim Passivhaus gibt es zusätzlich einen Tilgungszuschuss.

Das KfW-Darlehen im Programm 153 übernimmt 100 % der Baukosten (ohne Grundstückskosten) bis zu 50.000 Euro pro Wohneinheit.

Voraussetzung: Der Antrag muss vor dem Kauf bzw. dem Baubeginn gestellt werden.

Programm 153 finanziert im Detail u. a.:

- thermische Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserversorgung und Heizung. Die Solaranlage sollte mit einem geeignetem Funktionskontrollgerät bzw. Wärmemengenzähler ausgestattet sein und das europäische Prüfzeichen Solar Keymark in der Fassung Version 8.00 - Januar 2003 tragen oder die Anforderungen des Umweltzeichens RAL-UZ 73 erfüllen;

Konditionen:

Die Kreditkonditionen sowie die Tilgungszuschüsse können der Tabelle 3-3 und Tabelle 3-4 entnommen werden.

Tabelle 3-3: Kreditkonditionen im Programm „Energieeffizient Bauen“

| Sollzins (Effektivzins) pro Jahr | Laufzeit | tilgungsfreie Anlaufzeit | Zinsbindung |
|----------------------------------|----------|--------------------------|-------------|
| 4,10 % (4,16 %) | 8 Jahre | 8 Jahre | 8 Jahre |
| 3,95 % (4,01 %) | 10 Jahre | 2 Jahre | 10 Jahre |
| 4,20 % (4,27 %) | 20 Jahre | 3 Jahre | 10 Jahre |
| 4,25 % (4,32 %) | 30 Jahre | 5 Jahre | 10 Jahre |

Tabelle 3-4: Tilgungszuschuss in Abhängigkeit des KfW-Effizienzhausstandards

| Förderung auf Basis der Energiesparverordnung (EnEV): | Tilgungszuschuss: Prozentualer Anteil an Ihrem Darlehensbetrag |
|--|---|
| KfW-Effizienzhaus 70 | ---- |
| KfW-Effizienzhaus 55 | 5,0 % |
| KfW-Effizienzhaus 40 | 10,0 % |

- Finanzierung bis zu 100 % der förderfähigen Investitionskosten einschließlich Nebenkosten (z. B. Architekt, Energieeinsparberatung, etc.), max. bis zu 50.000 €/Wohneinheit,
- Zinssatz ab 4,01 % effektiv pro Jahr
- Tilgungszuschuss: bis zu 10,0 % der Darlehenssumme, je nach erreichtem KfW-Effizienzhaus-Standard
- bis zu 30 Jahren Kreditlaufzeit
- Zinsbindung für die ersten 10 Jahre, in denen eine vorzeitige Rückzahlung des gesamten Darlehens oder Teilbeträgen kostenfrei möglich ist, anschließend Prolongationsangebot der KfW
- kostenfreie, außerplanmäßige Tilgung möglich nach Ablauf der tilgungsfreien Anlaufjahre zahlen Sie Ihren Kredit in gleich hohen vierteljährlichen Raten (Annuitäten) zurück
- Finanzierung bis zu 100 % der Nettoinvestitionskosten, max. bis zu 50.000 €/Wohneinheit,

- kostenfreie, außerplanmäßige Tilgung innerhalb der ersten Zinsbindungs-frist möglich
- Abruffrist innerhalb von 12 Monaten und Verlängerung um bis zu 24 Monate
- Bereitstellungsprovision nach 12 Monaten nach Zusage von 0,25 %/Monat

Eine Kombination mit weiteren Förderungen ist möglich. Die Summe aus allen Fördermitteln darf die Summe der Sanierungskosten nicht übersteigen.

Eine Kombination mit dem Zuschussprogramm "Energieeffizient Sanieren - Sonderförderung (431)" ist möglich. Eine gleichzeitige Inanspruchnahme von Fördermitteln aus dem Programm "Energieeffizient Sanieren - Kredit (151, 152)" oder "Energieeffizient Sanieren - Zuschuss (430)" für dieselbe Wohneinheit ist nicht möglich.

Antragsteller:

Eigentümer einer Wohnimmobilie/Selbstnutzer, Mieter einer Wohnimmobilie, Vermieter einer Wohnimmobilie, Wohneigentümer-Gemeinschaften, Contracting-Geber, Gewerbliche Unternehmen, Kommunale Unternehmen, Wohnungsgesellschaften, Gemeinnützige Organisationen, Kommunen, Zweckverbände, Eigenbetriebe. [KfW]

3.2.5. Energieeffizient Sanieren – Sonderförderung (Programm Nr. 431)

Bei qualifizierter Baubegleitung durch einen Sachverständigen unterstützt die KfW mit einem Zuschuss in Höhe von 50 % der Kosten bis zu 2.000 Euro. Zuschussbeträge unter 150 Euro werden nicht ausgezahlt.

Wird Wohneigentum zum KfW-Effizienzhaus saniert, ist Programm 431 - Baubegleitung - genau die richtige Ergänzung: Gefördert werden hier z. B. Leistungen zur Detailplanung, Unterstützung bei der Ausschreibung und Angebotsauswertung, Bauausführung, Abnahme und Bewertung der Sanierung. Voraussetzung für die Inanspruchnahme des Zuschusses ist die Kombination mit dem Programm Energieeffizient Sanieren Kredit (151) oder Zuschuss (430).

Seit dem 01.03.2011 wird der Zuschuss für die qualifizierte Baubegleitung auch bei der Durchführung von Einzelmaßnahmen (Energieeffizient Sanieren - Einzelmaßnahmen (152)) gewährt.

Antragsteller:

Eigentümer einer Wohnimmobilie/Selbstnutzer, Mieter einer Wohnimmobilie, Vermieter einer Wohnimmobilie, Wohneigentümergeinschaften, Gewerbliche Unternehmen, Kommunale Unternehmen, Wohnungsgesellschaften, Gemeinnützige Organisationen, Kommunen, Zweckverbände, Eigenbetriebe, Energieberater/Sachverständige. [KfW]

3.3. Darstellung der Fördermöglichkeiten der BAFA

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) ist eine Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Im Energiesektor setzt das BAFA Fördermaßnahmen zur stärkeren Nutzung erneuerbarer Energien und zur Energieeinsparung um.

Ein wichtiger Schwerpunkt in der Arbeit des BAFA liegt in der Durchführung des Programms des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Förderung erneuerbarer Energien. Im Rahmen des Marktanreizprogramms unter der Rubrik „Erneuerbare Energien – Solarthermie“ wird eine Förderung für Solarkollektoranlagen mit folgenden Anwendungsbereichen angegeben:

- zur Raumheizung
- zur kombinierten Warmwasserbereitung und Raumheizung
- zur Bereitstellung von Prozesswärme
- zur solaren Kälteerzeugung
- Solarkollektoranlagen, die die Wärme überwiegend einem Wärmenetz zuführen

Hinweis: Es sind nur solche Anlagen förderbar, die einem Gebäude dienen, für das bereits vor dem 01. Januar 2009 ein Bauantrag gestellt bzw. eine Bauanzeige erstattet wurde und das bereits vor dem 01. Januar 2009 über ein Heizungssystem verfügte (Gebäudebestand). Anlagen in oder auf Neubauten werden nur noch für die Bereitstellung von Prozesswärme gefördert.

Die verschiedenen Fördermöglichkeiten sind in Abbildung 3-1 aufgeführt:

Basis-, Bonus- und Innovationsförderung Solar, Stand: Ab dem 31.12.2011 (Antragseinang beim BAFA)

| Maßnahme | Förderung | | Boni nur zusammen mit der Beantragung der Basisförderung möglich | | | | Innovationsförderung | |
|---|--|-------------------------------------|--|--------------------------------|-----------------------------|------------------|--|--------------------------------------|
| | Basisförderung im Gebäudebestand | Basisförderung im Neubau | Kesseltauschbonus ¹ | Kombinationsbonus ² | Effizienzbonus ³ | Solarpumpenbonus | Innovationsförderung im Gebäudebestand | Innovationsförderung im Neubau |
| ... Warmwasserbereitung bis 40 m ² Kollektorfläche | - | - | - | - | - | - | 90 €/m ² Kollektorfläche | - |
| ... kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung ¹⁾ bis 40 m ² Kollektorfläche | 90 €/m ² Kollektorfläche | - | - | - | - | - | 180 €/m ² Kollektorfläche | - |
| ... kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung ²⁾ mit mehr als 40 m ² Kollektorfläche | 90 €/m ² Kollektorfläche bis 40 m ² + 45 € pro m ² Kollektorfläche über 40 m ² | - | 500 € | 500 € | 0,5 x Basisförderung | 50 € | - | - |
| ... Bereitstellung von Prozesswärme ³⁾ bis 40 m ² Kollektorfläche | 90 €/m ² Kollektorfläche | 90 €/m ² Kollektorfläche | - | - | - | - | 180 €/m ² Kollektorfläche | 180 €/m ² Kollektorfläche |
| ... solaren Kälteerzeugung bis 40 m ² Kollektorfläche | 90 €/m ² Kollektorfläche | - | - | - | - | - | 180 €/m ² Kollektorfläche | - |
| Erweiterung einer bestehenden Solaranlage ⁴⁾ | 45 €/m ² zusätzlicher Kollektorfläche | - | - | - | - | - | - | - |

Abbildung 3-1: Fördermöglichkeiten des MAP bzgl. Solarthermie, Quelle:BAFA

Für Abbildung 3-1 gelten folgende Erläuterungen:

Gebäudebestand: Ein Gebäude, für das vor dem 01.01.2009 eine Bauanzeige erstattet oder ein Bauantrag gestellt wurde und in welchem vor dem 01.01.2009 ein Heizungssystem installiert wurde. Es muss sich um ein mit dem Gebäude fest verbundenes Heizungssystem handeln, das den Gesamtjahreswärmebedarf des Gebäudes oder Gebäudeteils abdeckt. Mobile Heizgeräte stellen kein Heizungssystem im Sinne der Förderrichtlinien dar.

Kesseltauschbonus, Kombinationsbonus, Effizienzbonus und Solarpumpenbonus können zusätzlich zur Basisförderung gewährt werden.

Kombinationsbonus und Effizienzbonus sowie Kesseltauschbonus und Effizienzbonus sind nicht miteinander kumulierbar.

Bei der Innovationsförderung werden zusätzliche Boni nicht gewährt. Es gelten die Bestimmungen der Richtlinien vom 11. März 2011.

1) Mindestvoraussetzung bei Flachkollektoren: Bruttokollektorfläche $\geq 9 \text{ m}^2$, Pufferspeichervolumen 40 l/m^2 ; bei Röhrenkollektoren: Bruttokollektorfläche $\geq 7 \text{ m}^2$, Pufferspeichervolumen 50 l/m^2 .

2) Nur bei Ein- und Zweifamilienhäusern. Pufferspeichervolumen von mind. 100 l/m^2 Kollektorfläche erforderlich.

3) Voraussetzung ist, dass die nach Ende der Maßnahme vorhandene Solarkollektoranlage der Raumheizung, Prozesswärmeerzeugung oder Bereitstellung solarer Kälte dient. Warmwasseranlagen, die auch nach der Erweiterung nur der Warmwasserbereitung dienen, sind nicht förderfähig.

4) Zusätzlich zur Basisförderung kann ein Bonus in Höhe von 500 € gewährt werden, wenn gleichzeitig eine förderfähige Biomasseanlage oder eine förderfähige Wärmepumpe installiert wurde.

5) Effizient im Sinne dieser Vorschrift sind Wohngebäude, die die Höchstwerte für den spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust HT' nach Anlage 1 Tabelle 2 der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 um mind. 30 % unterschreiten oder die den spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust HT' eines Referenzgebäudes gleicher Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung, mit der in Tabelle 1 Anlage 1 der Energieeinsparverordnung 2009 angegebenen technischen Referenzausführung um mind. 30 % unterschreiten. Der Effizienzbonus wird nur für Anlagen zur Heizungsunterstützung gewährt. Für Nichtwohngebäude wird kein Effizienzbonus gewährt.

6) Mindestkollektorfläche 20 m², maximale Kollektorfläche 40 m². Die Ausführungsbestimmungen des BMU vom 18.04.2007 zur Innovationsförderung sind zu beachten.

(Quelle: www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/publikationen/energie_ee_uebersicht_basis_und_bonus_inno_alle.pdf)

Als Bonusförderung wird zusätzlich ein Solarpumpenbonus von 50 € je Pumpe gewährt, wenn es sich hierbei um eine effiziente Solarpumpe mit

- permanent erregter EC-Motor-Bauweise oder um
- Pumpen, die ausschließlich mit PV-Strom versorgt werden (keine Netzanbindung) handelt.

Auszug aus [BAFA]

Seit dem 16. März 2011 gelten neue Konditionen bei der Förderung erneuerbarer Energien aus dem Marktanreizprogramm. Sie gelten bis 30.12.2011, danach gelten wieder die vorherigen Konditionen. Im Bereich Solarthermie wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Erhöhung der Basisförderung für Solarkollektoren zur kombinierten Warmwasserbereitung und Raumheizung auf 120 €/m² bis 30. Dezember 2011; danach beträgt die Förderung wieder 90 €/m².
- Es wird ein neuer Kesseltauschbonus (Bonus für den zusätzlichen Austausch eines alten Heizkessels ohne Brennwertnutzung gegen einen neuen Brennwertkessel) eingeführt, der degressiv ausgestaltet ist. Der Bonus beträgt 600 € (früher 400 €) bis zum 30. Dezember 2011, danach 500 €. Nachweis hydraulischer Abgleich vorausgesetzt!

- Der Kombinationsbonus für Solarthermie plus Wärmepumpe oder Solarthermie plus Biomasse beträgt ebenfalls 600 € (früher 500 €) bis 30. Dezember 2011, danach 500 €. Nachweis hydraulischer Abgleich vorausgesetzt!
- Fördervoraussetzungen bei Kombianlagen ab 01.09.2011: Heizungsumwälzpumpe Klasse A und hydraulischer Abgleich [*Erneuerbare-Energien*]

3.4. Förderungsmaßnahmen in verschiedenen Bundesländern

Für eine Heizungssanierung haben einige Bundesländer neben der staatlichen Unterstützung ebenfalls Fördermittel bereitgestellt. Hier ist beispielhaft die Förderung von baulichen Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz im Wohnungsbestand in NRW aufgeführt:

In NRW gibt es ein Förderprogramm des Wirtschaftsministeriums im Programmbereich Markteinführung Solarthermie, das unter dem Namen *progres.nrw* geführt wird [www.energieagentur.nrw.de].

Gefördert werden Solarkollektoranlagen in Passivhäusern, in „3-Liter-Häusern“ in Solarsiedlungen, in Gebäuden mit mehr als 2 Wohneinheiten, als Verbundanlage für die Versorgung mehrerer Gebäude (auch mit ein oder zwei WE), in Gewerbebetrieben und als Multiplikatoranlagen.

Die Förderung wird mit 200 €/m² Kollektorfläche bezuschusst.

Förderanträge können in dem Zeitraum vom 14.02.2011 bis zum 13.10.2011 gestellt werden. Eine Kumulation mit anderen Förderprogrammen des Landes NRW ist nicht zulässig.

Auf der Seite [www.energieagentur.nrw.de] sind die Fördermöglichkeiten bzgl. Solarthermie sämtlicher Bundesländer abrufbar.

3.5. Beispiel einer regionalen Förderungen

Viele Stadtwerke bzw. Gasversorgungsunternehmen bieten bei einem Energieträgerwechsel von Öl, Strom, Kohle oder Flüssiggas auf Erdgas-Brennwerttechnik eine Förderung zusätzlich zur staatlichen Förderung an.

Beispielhaft sind hier die Förderbedingungen der GASAG in Berlin aufgeführt.

Die GASAG bietet seit dem 01.10.2010 Förderungen für Erdgasbrennwertheizungen, für Erdgas und Solarthermie sowie Gaswärmepumpen und Mikro-KWK an.

Ziel der GASAG-Förderung ist die Umstellung auf moderne hocheffiziente Erdgas-Technologien. Die Umstellung von anderen Energieträgern auf Erdgas bei Verwendung von Brennwerttechnik und Solarthermie wird mit einer GASAG-Umweltprämie von bis zu 600 € gefördert. Diese neuen Förderungen lassen sich in Kombination mit staatlichen Programmen noch wesentlich aufstocken.

- Gefördert wird ein Energieträgerwechsel von Öl, Strom, Kohle oder Flüssiggas
- Objekt liegt im GASAG-Versorgungsgebiet, Bestand oder Abschluss eines Gaslieferungsvertrages mit der GASAG

Die Fördermaßnahmen der GASAG sind in der Tabelle 3-5 aufgeführt.

Tabelle 3-5: Fördermaßnahmen der Berliner Gaswerke AG, Quelle: GASAG

| | |
|---|--|
| Förderung bei Umstellung: | auf Brennwert-Gasetagenheizung: 200 € auf Brennwert-Zentralheizung: 300 € auf Brennwert + Solar: 600 €; (Neubau: 400 €) auf Brennwert + stromerzeugende Heizung: 800 € auf Brennwert + Gaswärmepumpe: 800 € |
| Förderung bei Modernisierung, Neubau oder Umstellung: | mit Strom erzeugender Heizung: 800 € mit Gaswärmepumpe: 800 € |

4. Marktentwicklung der Solarthermie

Etwa 40 % des gesamten deutschen Energieverbrauchs entfallen auf den Wärmemarkt. Er ist für ca. 1/3 der CO₂-Emissionen verantwortlich. Etwa 75 % des Gebäudebestands wurde vor 1978 erbaut und die Heizsysteme sind veraltet (Quelle BDH). Die Bundesregierung sieht in ihrem Energiekonzept die energetische Sanierung des Gebäudebestands als eine sehr wichtige Maßnahme zur Minderung fossiler Energieträger an. Bis 2020 soll der Wärmebedarf von Bestandsgebäuden um 20 % sinken, bis 2050 sogar um 80 %. Ziel ist mindestens eine Verdoppelung der Sanierungsrate von 1 auf 2 % sowie eine Heizungsmodernisierungsrate von 3,5 auf 7 % (Quelle IEU).

Bis zu 90 % des Energiebedarfs eines Vier-Personen-Haushalts entfallen in Deutschland auf Heizung und Warmwasser. Die Marktentwicklung der Solarthermie in den Jahren von 1999 bis 2011 ist in der folgenden Abbildung 4-1 dargestellt. Zudem ist der Zuwachs der neu installierten Photovoltaikanlagen dargestellt.

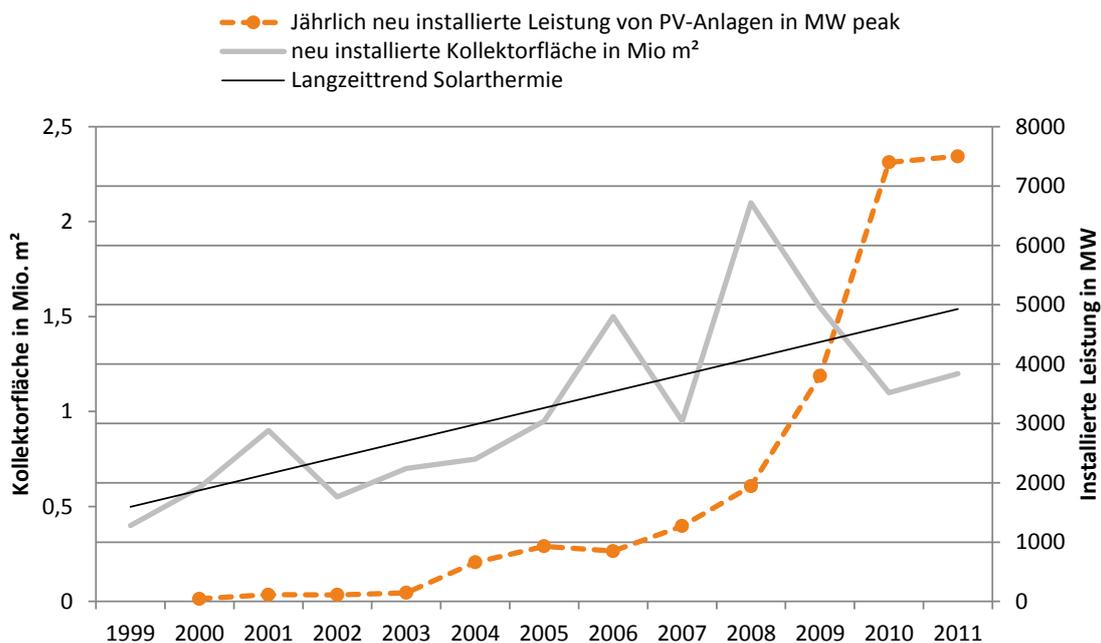


Abbildung 4-1: Marktentwicklung Solarthermie von 1999 bis 2011; Quelle BDH/Statisa

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gibt die Entwicklung der Wärmebereitstellung aus solarthermischen Anlagen in Deutschland mit der in Abbildung 4-2 dargestellten Grafik an.

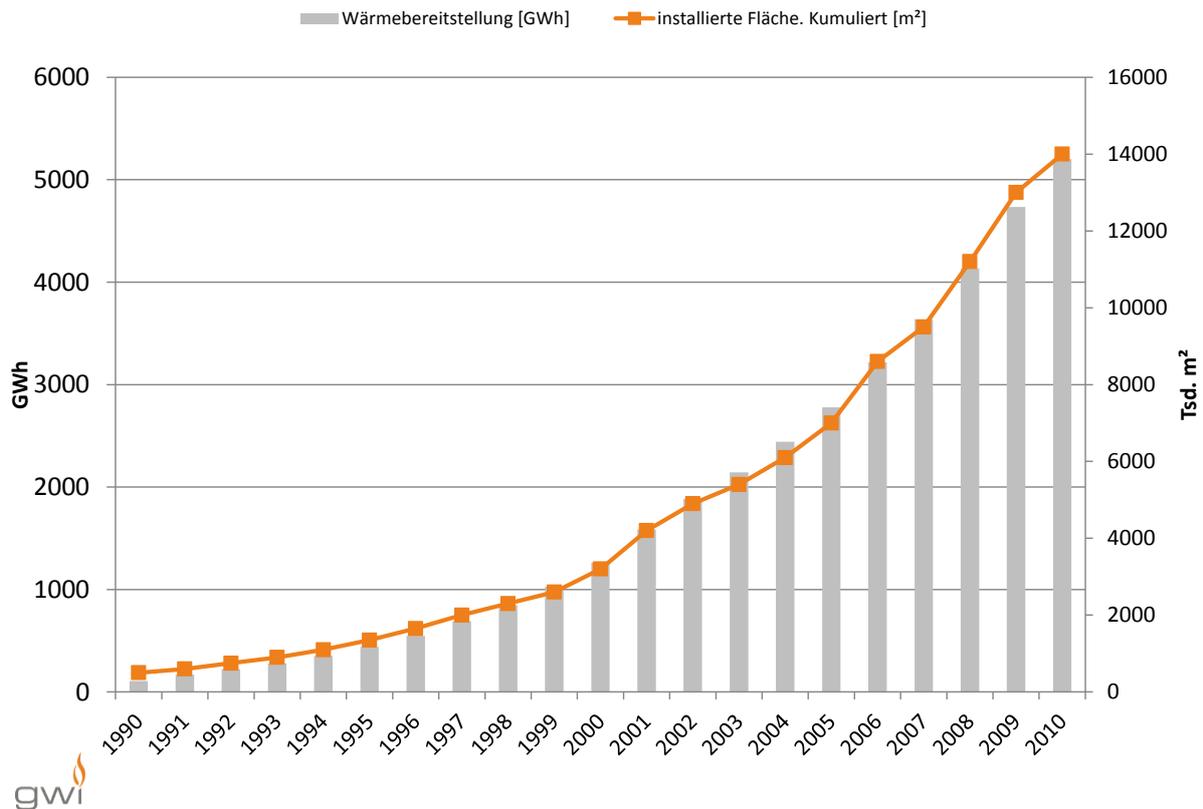


Abbildung 4-2: Entwicklung der Wärmebereitstellung aus solarthermischen Anlagen; Quelle BMU

Seit 2008 ist ein deutlicher Rückgang der neu installierten Solaranlagen zu erkennen. Der Bundesverband der Solarwirtschaft e.V. (BSW) teilt in einer Pressemitteilung vom 30.12.2010 mit, dass der Ausbau der Solarthermie sich 2010 verlangsamt hat. Mit rund 1.150 Mio. m² wurde rund 26 % weniger Kollektorfläche neu zugebaut als im Vorjahr. Die insgesamt installierte Kollektorfläche lag damit Ende 2010 bei rund 14 Mio. m². [BSW] Diese Marktentwicklung geht auch aus den Jahreszahlen 2010 des Bundesindustrieverbands Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik (BDH) hervor. Insbesondere der Absatz solarthermischer Anlagen für die Warmwasserbereitung und Raumwärme brach im vergangenen Jahr besonders stark ein – um 27 %. Möglicherweise ist dies auf den Förderstopp vom 04. Mai bis 12. Juli 2010 im Marktanreizprogramm zurückzuführen (siehe Abbildung 4-3). Nach dem Förderstopp ist die Zahl der Anträge nicht wieder auf das Niveau des Vorjahres gestiegen. Von dem Rückgang der Anträge sind auch die Biomassewärmeerzeuger und die Wärmepumpen betroffen. Nach der Jahresbilanz des BDH gab der Gesamtmarkt für Wärmeerzeuger 2010 um 4 % nach. Aber Öko-Heizsysteme verloren überproportional stark Marktanteile, die Verkaufszahlen der Festbrennstoffkessel gingen um 30 % zurück und die der Wärmepumpen um 6 %. Instabile Förderbedingungen verunsichern die Eigenheimbesitzer und führen eher zu einem Abwarten als zu Investitionen.

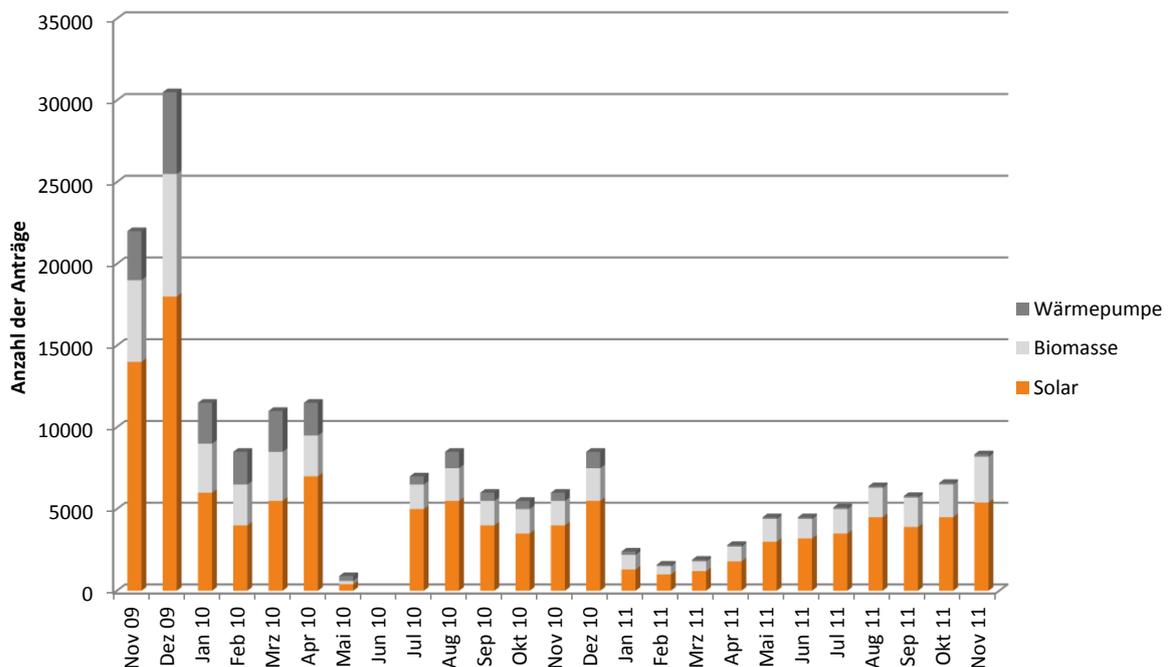


Abbildung 4-3: Anträge für das MAP von November 2009 bis November 2011 (Quelle: BAFA)

Ab dem 01.01.2012 liegt die Fördersumme bei 90 €/m² Kollektorfläche. Lediglich Kombianlagen zur Warmwasserbereitung und Raumheizung auf Mehrfamilienhäusern werden auch im Jahr 2012 mit 180 €/m² unterstützt.

Das BAFA gibt bzgl. der Fördermittelsituation an, dass für die Förderung energetischer Maßnahmen in Bestandsgebäuden (solarthermische oder Biomasseanlagen sowie Wärmepumpen) ausreichend Fördermittel bereitstehen. Die für das Jahr 2011 bereit gestellten Mittel wurden nur teilweise abgerufen. Bis einschließlich August 2011 wurden Fördermittel für 21.391 Solaranlagen mit einer Kollektorfläche von 269.117 m² beantragt. Zum Jahresende 2011 sind die Antragszahlen nochmal angestiegen, im Vergleich zum Niveau des Monats November im Jahr 2009 liegt die Zahl der Anträge für Solarthermie jedoch nur etwas höher als ein Drittel.

Immer weniger Hausbesitzer rüsten auf nachhaltige Heizsysteme wie Pelletöfen, Wärmepumpen, Solarkollektoren um. Verbandsvertreter führen die Solarstromförderung auf die Verdrängung der Öko-Wärme-Investitionen zurück. Abbildung 4-4 zeigt die im Jahr 2010 in Deutschland getätigten Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Den mit Abstand größten Anteil stellte mit rund 19,5 Mrd. Euro die Photovoltaik. In den übrigen Sparten waren die Investitionen hingegen leicht rückläufig. Als Gründe hierfür kommen im Strombereich u.a. Nachwirkungen der Finanz- und Wirtschaftskrise sowie im Wärmebereich Marktverunsicherungen durch den zeitweiligen Stopp des Marktanzreizprogramms in Frage.

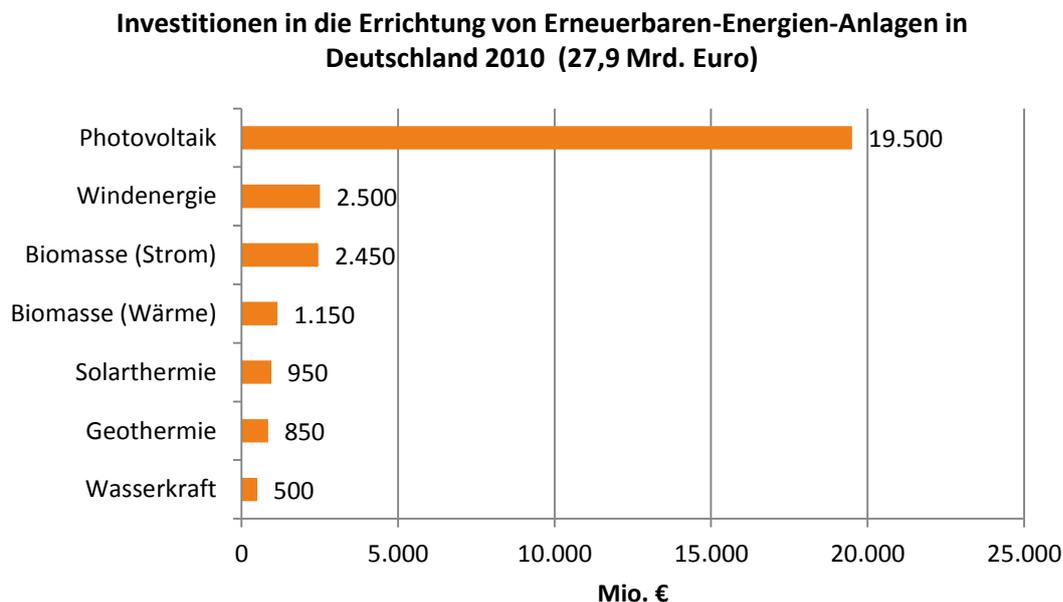


Abbildung 4-4: Investitionen zur Errichtung von EE-Anlagen in Deutschland 2010; Quelle BMU

Nach Schätzungen der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sind die hocheffizienten energetischen Gebäudesanierungen 2011 in Deutschland im Vergleich zum Vorjahr um die Hälfte zurückgegangen. Wesentliche Gründe dafür sieht die dena in dem seit Monaten schwelenden Streit um steuerliche Anreize und in den finanziell nicht ausreichenden Förderprogrammen für energetische Sanierungen. Die dena fordert deshalb die Bundesregierung und die Bundesländer auf, eine schnelle Lösung im Streit um die steuerliche Förderung der Gebäudesanierung zu finden und das Fördervolumen auf 5 Milliarden Euro zu erhöhen. „Außerdem muss die Steuererleichterung auch auf Teilsanierungen ausgeweitet werden. Die von der Bundesregierung angestrebte und notwendige Verdoppelung der Sanierungsrate auf 2 % ist sonst nicht zu schaffen.“ [dena]

Ein weiterer Grund für den Rückgang der Investitionen im Bereich der Solarthermie kann auch zu viel Propagierung neuer Technologien sein, das zu einem Abwarten der Hausbesitzer führt. Die Abbildung 4-5 stellt die Gründe für die rückläufige Marktentwicklung der Solarthermie dar.



Abbildung 4-5: Gründe zum Rückgang der Solarthermie

5. Zusammenfassende Beschreibung der Systeme und Komponenten

Die solare Strahlung bietet ein enormes Energiepotential, das in Deutschland den Primärenergieverbrauch um das Achtzigfache übersteigt. Diese Energiequelle ist praktisch unerschöpflich und steht auch in Zukunft zur Verfügung. Die solarthermische Strahlung kann in Strom und in Wärme umgewandelt werden. Anlagen, die Wärme erzeugen als thermische Solaranlagen bezeichnet. Es gibt zum einen thermische Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung als auch Solaranlagen mit zusätzlicher Heizungsunterstützung.

In Deutschland steht an der Erdoberfläche eine Sonnenstrahlung mit einem Energieangebot von 950 kWh/(m²a) in der norddeutschen Tiefebene und 1200 kWh/(m²a) im Freiburger Raum und in der Alpenregion zur Verfügung. [BINE] Eine Übersicht über die Globalstrahlung in Deutschland zeigt Abbildung 5-1.

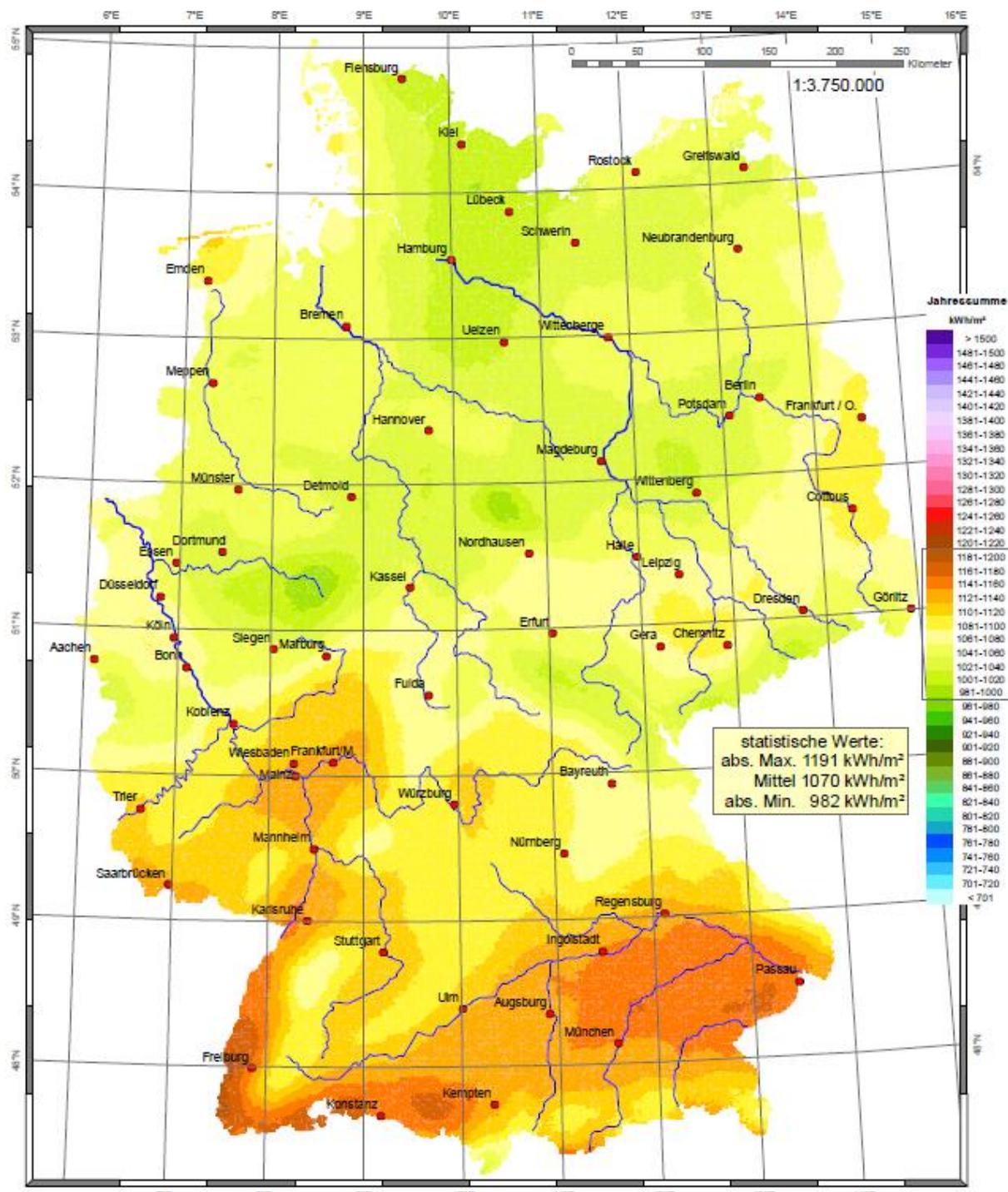


Abbildung 5-1: Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland, Jahressummen 2010; Quelle: Deutscher Wetterdienst

Auch die Ausrichtung und die Neigung der Kollektorfläche wirken sich auf den Solarertrag aus. Im Jahresmittel liegt die optimale Neigung in Deutschland zwischen 30 bis 40°, wobei geringe Abweichungen von der Südorientierung oder des Neigungswinkels den Ertrag nur wenig reduzieren. Die Abhängigkeit des Solarertrags gibt Abbildung 5-2 wieder.

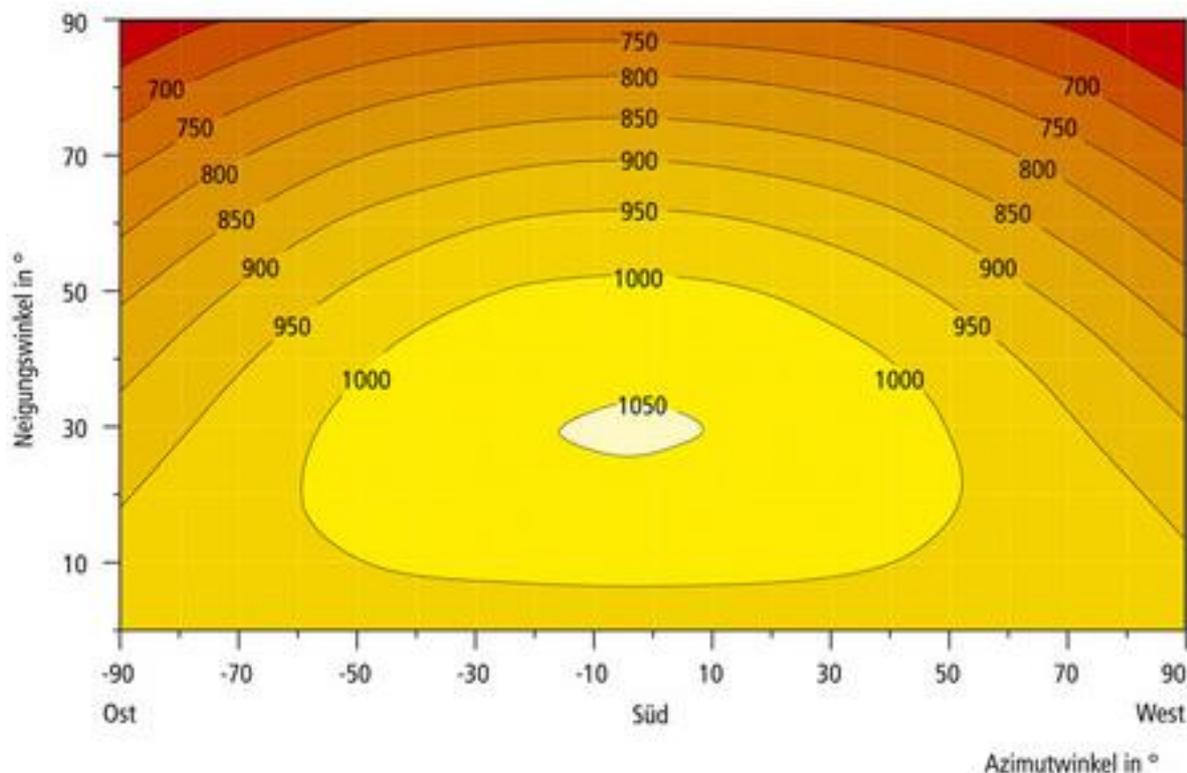


Abbildung 5-2: Abhängigkeit des Solarertrags von Ausrichtung und Neigung; Quelle: Solarpraxis

5.1. Wassererwärmungssysteme und Solaranlagen

Solaranlagen sind immer bivalente Systeme. Neben der Solaranlage, die im Sommer bis zu 100 % des Trinkwarmwasserbedarfs decken kann, ist immer ein Wassererwärmungssystem für die Nachheizung des Trinkwarmwassers auf Solltemperatur erforderlich. Wird für diese Nachheizung die fossile Energiequelle Erdgas verwendet, kommen folgende Wassererwärmungssysteme in Frage:

- Gasthermen (Umlaufwasserheizer): Das Gerät geht in Betrieb, wenn der Druck in der Zapfleitung aufgrund des Öffnens der Warmwasserleitung abfällt. Wenn kein Warmwassernetz installiert ist bzw. bei einer druckgesteuerten Regelung sind diese Geräte ungeeignet. Nur temperaturgesteuerte Gasthermen können zur Nachheizung des vorgewärmten Wassers aus einem Solarspeicher eingesetzt werden.
- Speicher-Gaswasserheizer: In einem direkt beheizten Warmwasserspeicher wird eine Trinkwassermenge auf einem vorgegebenen Temperaturniveau gehalten. Ist an dieser Anlage ein Warmwasser-Verteilnetz installiert, ist eine Kombination mit einem Solarspeicher möglich.
- Kombikessel für Warmwasser und Heizung: In einem gasbeheizten Kombikessel ist ein kleiner Warmwasserspeicher integriert, der ständig auf 60 °C gehalten wird.

So ein Gerät hat einen relativ hohen Energieverbrauch und ist für den nachträglichen Einbau eines Solarwärmetauschers ungeeignet.

- Heizkessel mit separatem Standspeicher: Über einen im Speicher integrierten Wärmetauscher wird das Trinkwarmwasser erwärmt. Dies ist die häufigste Art der Warmwassererwärmung in Wohnhäusern. Bei einer Erweiterung mit einer Solaranlage ist es sinnvoller, einen neuen bivalenten Speicher zu verwenden.

5.2. Brennwertkessel mit Solaranbindung

Eine effiziente, energiesparende und zukunftssträchtige Art der Wärmegewinnung, insbesondere für den Einfamilienhausbereich, sind die sogenannten Solar-Kompaktgeräte, die die effiziente Brennwert-Technik mit Solartechnik verbinden. Auf einer Stellfläche von ungefähr 60 x 60 cm und einer Höhe von ca. 1,70 bis 1,80 m finden neben dem Brennwertkessel der Solarregler, die Solarladestation und ein Warmwasserspeicher von ca. 150 l Platz, ideal für Haushalte mit bis zu 4 Personen. Diese wirtschaftlichen Geräte sind mit intelligenter Gas-Brennwerttechnik mit einem großen Modulationsbereich (30–100 %) sowie mit Hocheffizienzpumpen der Klasse A ausgestattet.

Verschiedene Gasgerätehersteller bieten platzsparende Kompaktgeräte, d. h. Brennwertkessel mit solarer Trinkwarmwassererwärmung an. Nachfolgend zeigt Abbildung 5-3 Beispiele der Firmen Brötje und Vaillant.

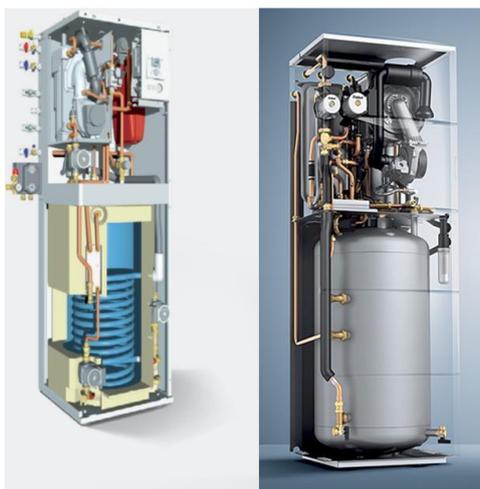


Abbildung 5-3: Kompaktgerät ECOSolar BSK [Brötje] (links)/ Kompaktgerät auroCOMPACT [Vaillant] (rechts)

5.3. Thermische Solaranlagen zur Trinkwarmwassererwärmung

Für die Nutzung der Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung ergeben sich günstige Voraussetzungen, da der Warmwasserbedarf eines Haushaltes über das Jahr annähernd konstant ist. Es besteht dadurch eine größere Übereinstimmung

zwischen Energiebedarf und solarem Energieangebot als bei der Nutzung zur Raumheizung.

Mit einer richtig dimensionierten Anlage können jährlich 50 bis 65 % der benötigten Energie zur Erwärmung des Trinkwarmwassers mit Sonnenenergie gedeckt werden (siehe Abbildung 5-4). Im Sommer kann meistens der gesamte Bedarf an Warmwasser über die Solaranlage bereitgestellt werden. Dann kann die konventionelle Heizanlage ganz abgeschaltet werden. Das ist besonders vorteilhaft, weil sie in diesem Zeitraum wegen des wegfallenden Heizbedarfs nur mit einem niedrigen Nutzungsgrad arbeitet. Die angebotene Sonnenenergie kann noch besser genutzt werden, wenn anstatt der herkömmlichen Geräte Waschmaschinen und Geschirrspüler mit Warmwasseranschluss zum Einsatz kommen.

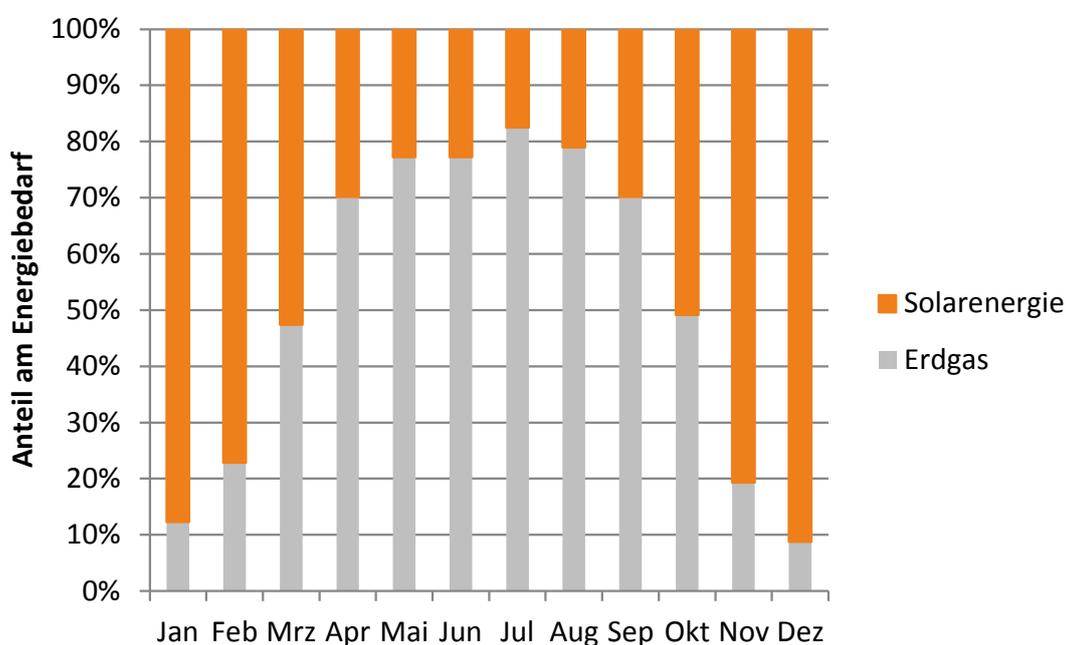


Abbildung 5-4: Monatliche Anteile von Erdgas und Solarenergie am Trinkwarmwasserenergiebedarf, Jahreswert: 65 % (Quelle: ASUE)

Solaranlagen zur Warmwasserbereitung zeichnen sich durch eine einfache Anlagentechnik aus und sind technisch ausgereift. Mittlerweile gibt es eine große Anzahl von Solar-Fachfirmen, die über langjährige Erfahrung bei der Anlagenplanung und -montage verfügen. Sie bieten für die unterschiedlichsten Anforderungen eine breite Palette an Anlagenkonzepten an.

Eine Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung besteht im Wesentlichen aus:

- dem Kollektorfeld
- dem/den Wärmespeicher(n)
- dem Solarkreis (geschlossener Rohrkreis zwischen Kollektoren und Speicher)

- der Regelung

Der Kollektor befindet sich auf oder im Dach. Er sammelt die Sonnenstrahlung und wandelt sie in Wärme um. Kollektor und Speicher sind durch gut gedämmte Rohrleitungen verbunden, in denen ein Wärmeträgermedium aus Wasser und Frostschutzmittel im Kreis gepumpt wird. Die Pumpe wird von der Regelung eingeschaltet, wenn sie mit ihren Temperaturfühlern feststellt, dass die Temperatur im Auslass des Kollektors 5 bis 10 Kelvin höher ist als unten im Speicher. Dort wird die Wärme, die das Wärmeträgermedium im Kollektor aufgenommen hat, über einen Wärmeübertrager an das Trinkwarmwasser im Speicher abgegeben.

Im unteren Teil des bivalenten Trinkwarmwasserspeichers strömt immer dann Frischwasser ein, wenn aus seinem oberen Teil warmes Wasser gezapft wird. Das Frischwasser wird solar erwärmt und steigt nach oben, wo es in den Bereitschaftsteil des Speichers gelangt. Dort wird es, falls es noch nicht warm genug ist, von einer konventionellen Nachheizung bis auf die gewünschte Temperatur aufgewärmt. Üblicherweise übernimmt ein Heizkessel dies, indem er Wärme über einen zweiten Wärmeübertrager in den Bereitschaftsteil einspeist. Abbildung 5-5 zeigt eine Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung in schematischer Darstellung.

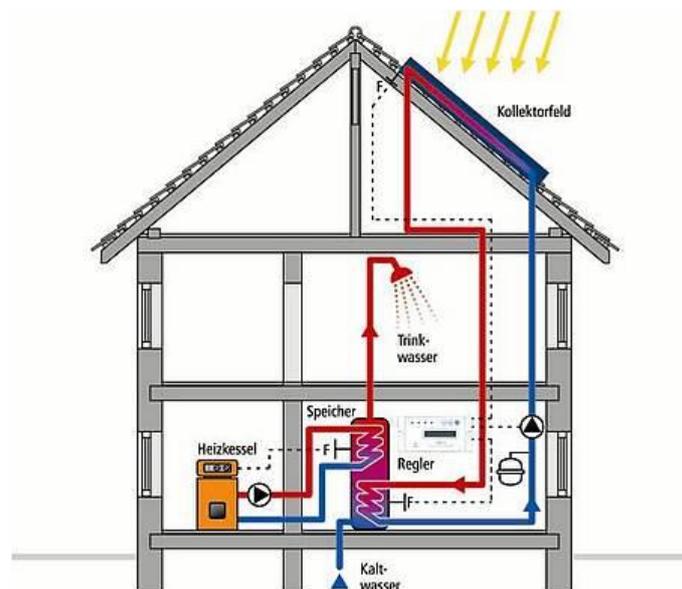


Abbildung 5-5: Solaranlage zur Brauchwassererwärmung; Quelle: wihl-heizung-sanitaer.de

Da eine Solaranlage im Sommer durchaus Temperaturen über 90 °C liefern kann, sollte am Austritt des Speichers ein thermostatisches Mischventil eingebaut werden, um Verbrühungen auszuschließen. Überhitzungsprobleme sind in der Praxis nicht so gravierend, wie es sich der Laie vorstellt. Die meisten Anlagen sind heute eigensicher konstruiert. Wenn z. B. in Urlaubszeiten der Solarspeicher mit Wärme „voll“ ist, schaltet die Regelung die Pumpe ab, um eine Überhitzung des Systems zu vermeiden.

Diese Anlagen können verhältnismäßig einfach in vorhandene Warmwassersysteme eingebunden werden.

5.4. Thermische Solaranlagen zur Heizungs- und Trinkwassererwärmung

Das in den Sonnenkollektoren erhitze Solarmedium kann außer zur Trinkwassererwärmung auch für die zusätzliche Erwärmung des Heizungswassers verwendet werden. Dafür nutzt der Heizkreislauf über einen Wärmetauscher das kontinuierlich durch die Sonnenkollektoren erhitze Wasser im Solarspeicher. Die Regelung prüft, ob die gewünschte Raumtemperatur erreicht werden kann. Liegt die Temperatur unterhalb des Sollwertes, schaltet sich zusätzlich der Heizkessel ein. Besonders in der Übergangszeit im Frühjahr und Herbst kann eine solche Anlage einen deutlichen Beitrag leisten. Sie erfordert höhere Investitionskosten, die durch eine größere Kollektorfläche und einen größeren Speicher bedingt sind.

Das Einsparpotenzial liegt, je nach Dämmstandard des Gebäudes, zwischen 12 und 25 % des Heizenergiebedarfs.

5.5. Kollektoren

Es gibt verschiedene Arten von Kollektoren, die sich in der Bauart, dem Wirkungsgrad und dem Preis unterscheiden.

Wichtig bei der richtigen Auswahl des geeigneten Kollektortyps ist vor allem der geforderte Temperaturbereich, der davon abhängt, ob die Solaranlage nur zur Trinkwassererwärmung oder zur Trinkwassererwärmung und zusätzlicher Heizungsunterstützung vorgesehen ist.

Die Leistungsfähigkeit des Kollektors wird im Wesentlichen durch den Absorber bestimmt. Ein hocheffizienter Absorber zeichnet sich durch folgende Qualitätsmerkmale aus:

- hohe Absorption der einfallenden Sonnenstrahlung
- geringe Wärmeabstrahlung
- gute Wärmeübertragung an die Solar-/Trägerflüssigkeit
- Korrosionsbeständigkeit
- Temperaturbeständigkeit
- niedriger Durchflusswiderstand
- geringe Aufheizzeit

Grobe Anhaltspunkte zur Dimensionierung einer solarthermischen Anlage (Angaben der ASUE) sind:

- Flachkollektor 1,5 m²/Person
- Vakuumröhrenkollektor 1,0 m²/Person
- Solarspeichervolumen ca. 40 l/Person und Tag x 1,8

5.5.1. Flachkollektor

In Deutschland haben Flachkollektoren derzeit einen Marktanteil von etwa 90 % bezogen auf die insgesamt verbaute Fläche.

Bei Flachkollektoren wird der Absorber in der Regel mit einem Gehäuse aus beschichtetem Stahlblech, Aluminium oder Edelstahl und einer Frontabdeckung aus eisenarmem Solarsicherheitsglas dauerhaft vor Witterungseinflüssen und Abkühlung durch Luftbewegungen geschützt. Eine Antireflex-Beschichtung des Glases kann zusätzlich die Reflexion reduzieren. Eine Wärmedämmung aus Mineralwolle mindert die Wärmeverluste. Als Absorbermaterial wird meist Kupferrohr verwendet, das in den Bauarten Harfenabsorber (die parallelen Absorberstreifen sind an beiden Enden mit einem Verteil- und Sammelrohr verbunden); Doppelharfenabsorber oder Mäanderabsorber angeboten wird.

Bei Standard-Flachkollektoren (Abbildung 5-6) hat sich eine Bruttokollektorfläche (Außenmaße) von ca. 2–2,5 m² durchgesetzt. Es werden auch Großflächenkollektoren von 4,7 und 9,4 m² angeboten, die einen geringeren Verrohrungsaufwand benötigen.

Flachkollektoren werden am meisten zur solaren Trinkwarmwassererwärmung eingesetzt. Sie sind preiswerter als Röhrenkollektoren und weisen ein gutes Preis/Leistungsverhältnis auf.

Als „Daumenwert“ für die Dimensionierung gilt für Flachkollektoren 1,5 m²/Person. Die Firma Viessmann bietet auch einen Hochleistungs-Flachkollektor zur solaren Trinkwarmwassererwärmung und Heizungsunterstützung an.

Wesentlich für den Kollektorwirkungsgrad sind neben den nachfolgend genannten Kennwerten die Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Außenluft, je größer die Temperaturdifferenz, desto größer werden die thermischen Verluste – der Wirkungsgrad sinkt also mit dem Ansteigen der Betriebstemperatur des Kollektors oder mit dem Fallen der Außenlufttemperatur. Weiterhin ist die Absorber-Beschichtung für die energetische Umwandlung von Strahlungsenergie in Wärme ausschlaggebend.

Folgende Kennwerte der Absorberfläche für die Leistungsfähigkeit der Kollektoren werden nach EN 12975 bestimmt und müssen in den Datenblättern angegeben sein:

- Optischer Wirkungsgrad [%]
- Wärmeverlustbeiwert k_1 [W/m²*K]
- Wärmeverlustbeiwert k_2 [W/m²*K²]



Abbildung 5-6: Flachkollektor, Quelle www.bildwoerterbuch.com

Mögliche Produktbesonderheiten bei Kollektoren, hier beispielhaft angegeben von der Fa. Viessmann:

- Flachkollektor: Typ Vitosol 200F mit Solarglas lt. Stiftung Warentest 03/2008 „sehr gut“
- Flachkollektor: Typ Vitosol 300F mit Antireflexbeschichtung (Hochleistungsflachkollektor)
- Typen Vitosol 200F SV2B und SH2B mit Spezialabsorberbeschichtung für küstennahe Regionen bis 100 m bzw. 1000 m Entfernung vom Meer

5.5.2. Vakuum-Röhrenkollektoren

Die Umwandlung von solarer Strahlung in Wärme am Absorber ist im Flachkollektor und im Röhrenkollektor grundsätzlich identisch. Deutliche Unterschiede bestehen bei der Wärmedämmung.

Beim Röhrenkollektor ist der Absorber ähnlich wie bei einer Thermoskanne in einer unter Vakuum gesetzte (evakuierte) Glasröhre eingebaut. Das Vakuum besitzt gute Wärmedämmeigenschaften, die Wärmeverluste sind daher geringer als bei Flachkollektoren – besonders bei hohen Temperaturen, speziell also unter Betriebsbedingungen, die bei der Gebäudeheizung oder Klimatisierung zu erwarten sind. Voraussetzung für die Zuverlässigkeit und eine lange Nutzungsdauer von Vakuum-Röhrenkollektoren ist die langfristige Aufrechterhaltung des Vakuums durch eine sichere Abdichtung. Die minimalen Gasmengen (hauptsächlich Wasserstoff), die dennoch in die Röhre eintreten, werden durch einen dünnen Film aus Barium („Getter“), der auf die Innenseite der Röhre aufgedampft wird, gebunden.

Vakuumröhren weisen durch die verbesserte Wärmedämmung einen 10–15 % höheren Wirkungsgrad als Flachkollektoren auf. Die Glasröhren werden in Reihen nebeneinander befestigt und dann zu Kollektorfeldern auf dem Dach verschaltet.

Bei Vakuum-Röhrenkollektoren (Abbildung 5-7) unterscheidet man zwischen verschiedenen Arten von Absorbern, zum einen die Finnenabsorber und zum anderen die runden Glasabsorber (CPC-Kollektoren). Bei den Finnenabsorbern, einer flachen Finne mit einem darunter liegenden Absorberrohr gibt es zwei unterschiedliche Bauformen von Absorberrohren. Bei direkt durchströmten Röhren wird ein Koaxialrohr eingesetzt. Im inneren Rohr wird der Wärmeträger vom Rücklauf aus in die Röhre geführt, über das äußere am Absorber verschweißte Rohr wird das Medium zurückgeführt und dabei erwärmt. Die direkt durchströmten Vakuumröhrenkollektoren eignen sich deshalb besonders gut für die lageunabhängige Montage.

Der Begriff „Heat-Pipe-Prinzip“ beschreibt ein Konstruktionsprinzip von Vakuum-Röhrenkollektoren. Hierbei wird die Röhre nicht direkt vom Solarmedium durchströmt. In einem in sich geschlossenen Absorberrohr wird bei Sonneneinstrahlung ein Trägermedium (meistens Wasser) verdampft. Am oberen Ende der Röhren kondensiert der Dampf im so genannten Kondensator – hier wird die Energie an das Wärmeträgermedium weitergegeben. Damit eine Zirkulation der Verdampferflüssigkeit im Wärmerohr (Heat-Pipe) gewährleistet ist, müssen die Röhren mit einem Neigungswinkel von mindesten 25° schräg aufsteigend montiert werden. Die Heatpipe ist an den Kondensator angeschlossen, der die Wärme in einem Doppelrohr-Wärmetauscher abgibt. Durch diese „trockene Anbindung“ ist ein Drehen oder Austauschen einzelner Röhren auch bei gefüllter, unter Druck stehender Anlage möglich. Abweichungen von der Südausrichtung können durch axiales Drehen der Vakuum-Röhren kompensiert werden.

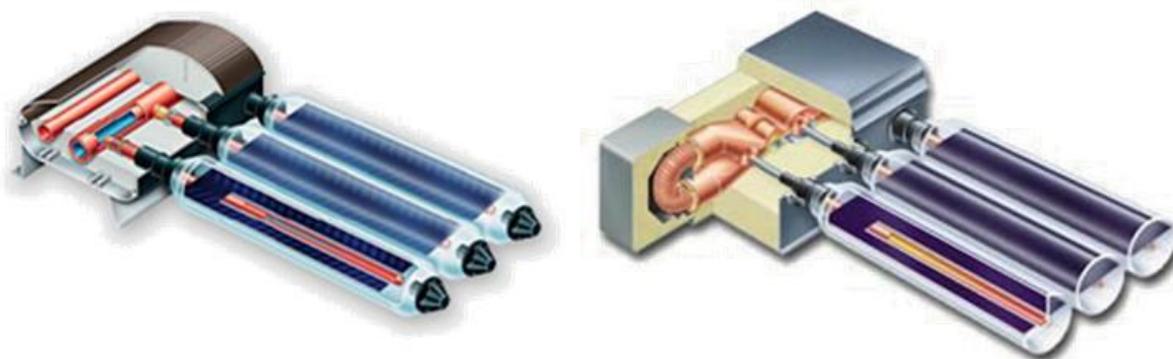


Abbildung 5-7: Vakuüm-Röhrenkollektoren (durchströmt und trockene Einbindung); Quelle Viessmann

Bei der anderen Absorberart, den so genannten CPC-Vakuümröhren, werden zwei Glasröhren ineinander geschoben, zwischen denen sich das Vakuum befindet. Die Absorberbeschichtung ist auf die innere Glasröhre aufgedampft. In das Rohr werden Wärmeleitbleche mit Röhrcchen geschoben, die die Solarwärme abtransportieren. Unter dem Begriff CPC (Compound Parabolic Concentrators) werden Spiegelsysteme verstanden, die mit parabolisch geformten Spiegelrinnen die direkte Sonneneinstrahlung auf die Glasröhren leiten und dadurch höhere Arbeitstemperaturen erreicht werden können. CPC-Röhrenkollektoren müssen mit einem Neigungswinkel von mindestens 30° aufgestellt werden, sie dürfen auf keinen Fall waagrecht montiert werden.

Entscheidend für die Auswahl des Kollektortyps ist – neben dem Platzangebot und den Aufstellbedingungen – der Ertrag der Solaranlage. Der Kollektorwirkungsgrad hängt von der Temperaturdifferenz ΔT zwischen der mittleren Kollektortemperatur und der Außenluft ab. Weiterhin ist das Preis/Leistungsverhältnis ausschlaggebend. Röhrenkollektoren sind aufwendiger herzustellen als Flachkollektoren und daher bezogen auf die Flächeneinheit teurer.

Vorteile von Röhrenkollektoren gegenüber Flachkollektoren

- Es können höhere Betriebstemperaturen erreicht werden.
- Bei höheren Temperaturen sind die Verluste geringer als bei Flachkollektoren.
- Bei gleicher effektiver Absorberfläche ist der Energieertrag höher.

5.5.3. Thermosiphonkollektor

Eine Besonderheit ist der Thermosiphonkollektor (siehe Abbildung 5-8). Dieser ist für Solaranlagen konzipiert, die ohne Pumpe nach dem Schwerkraft-Umlaufprinzip arbeiten: im Kollektor wird Wasser erwärmt und steigt nach oben, beim Abkühlen sinkt es wieder nach unten, ohne Hilfe einer Pumpe und Steuerung. Der Speicherkessel muss sich daher oberhalb der Sonnenkollektoren befinden. Der Thermosiphonkollektor hat häufig bereits einen Warmwasserspeicher integriert und

stellt damit eine komplette und einfache Solaranlage dar. Solche Anlagen sind vor allem in südlichen Ländern, z. B. Griechenland, Türkei, Spanien oder Israel auf vielen Dächern zu finden. Wegen Frostgefahr ist dieser Anlagentyp in unseren Breiten nicht geeignet. Nur wenn Thermosiphon-Anlagen mit Frostschutzmittel und Wärmetauscher im Kollektorkreis versehen sowie einwandfrei ausgelegt sind, kann man in West- und Mitteleuropa mit diesem Kollektortyp zufriedenstellende Ergebnisse erzielen. Man kann auch einen Thermosiphonspeicher an einen normalen Kollektor anschließen.



Abbildung 5-8: Thermosiphonkollektor

5.5.4. Drain-Back-Systeme

In Deutschland erfreuen sich Drain-Back-Systeme seit einiger Zeit zunehmender Beliebtheit. Im Unterschied zu den gängigen Solaranlagen läuft bei einer Drain-Back-Anlage der Wärmeträger bei ausgeschalteter Solarpumpe aus dem Kollektor und der Solarleitung bis zu einem Auffanggefäß heraus. Diese selbstentleerenden Systeme werden meist mit reinem Wasser betrieben, was sie absolut betriebssicher macht. Sie dürfen jedoch im Winter auch bei durch Einstrahlung aufgewärmtem Kollektor auf keinen Fall eingeschaltet werden. Diese Systeme wurden entwickelt, um den Wärmeträger bei Anlagen mit sehr langen Stillstandzeiten weniger zu belasten.

Das Drain-Back-System funktioniert nur mit Kollektoren, die von unten angeschlossen werden und deren Absorber ein Entleeren durch Schwerkraft ermöglichen. Alle Rohrleitungen, die vom Kollektor wegführen, müssen fallend ausgeführt werden, was im Bestand nur schwer zu realisieren ist. Der Einsatz von Hilfsenergie (Strom für

die Pumpe) ist bei Drain-Back-Systemen immer höher als bei druckhaltenden Systemen, da die Anlage bei Betriebsbeginn jedes Mal neu befüllt wird.

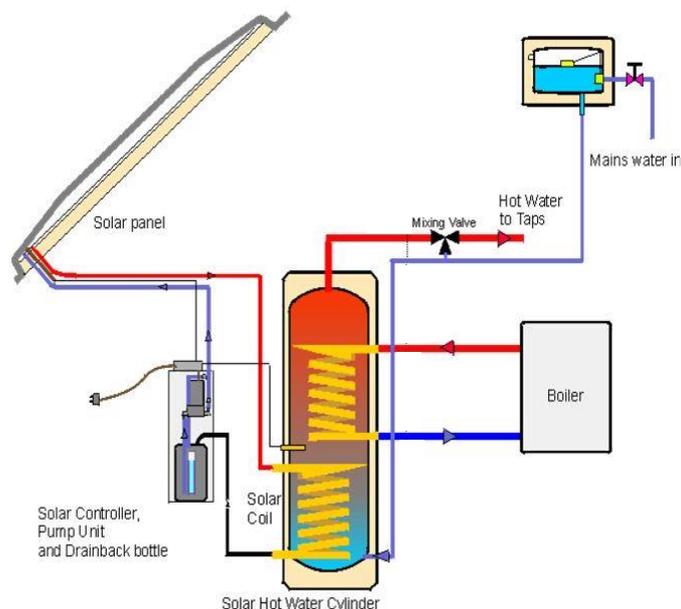


Abbildung 5-9: Drain-Back System

5.5.5. Kennwerte von Kollektoren

Nachfolgend werden einige grundlegende Eigenschaften und Beurteilungskriterien für Solarkollektoren erläutert.

Kollektorwirkungsgrad:

Der Kollektorwirkungsgrad bezeichnet den Anteil der auf die Aperturfläche treffende Sonnenstrahlung, der in nutzbare Wärmeenergie umgewandelt wird. Die Art der Ermittlung ist für alle Kollektortypen gleich.

Je größer die Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Außenluft, desto größer werden die thermischen Verluste – der Wirkungsgrad sinkt also mit dem Ansteigen der Betriebstemperatur des Kollektors oder mit dem Fallen der Außenlufttemperatur.

Dieser Zusammenhang wird durch die nachstehende Abbildung 5-10 und die Formel 1 verdeutlicht.

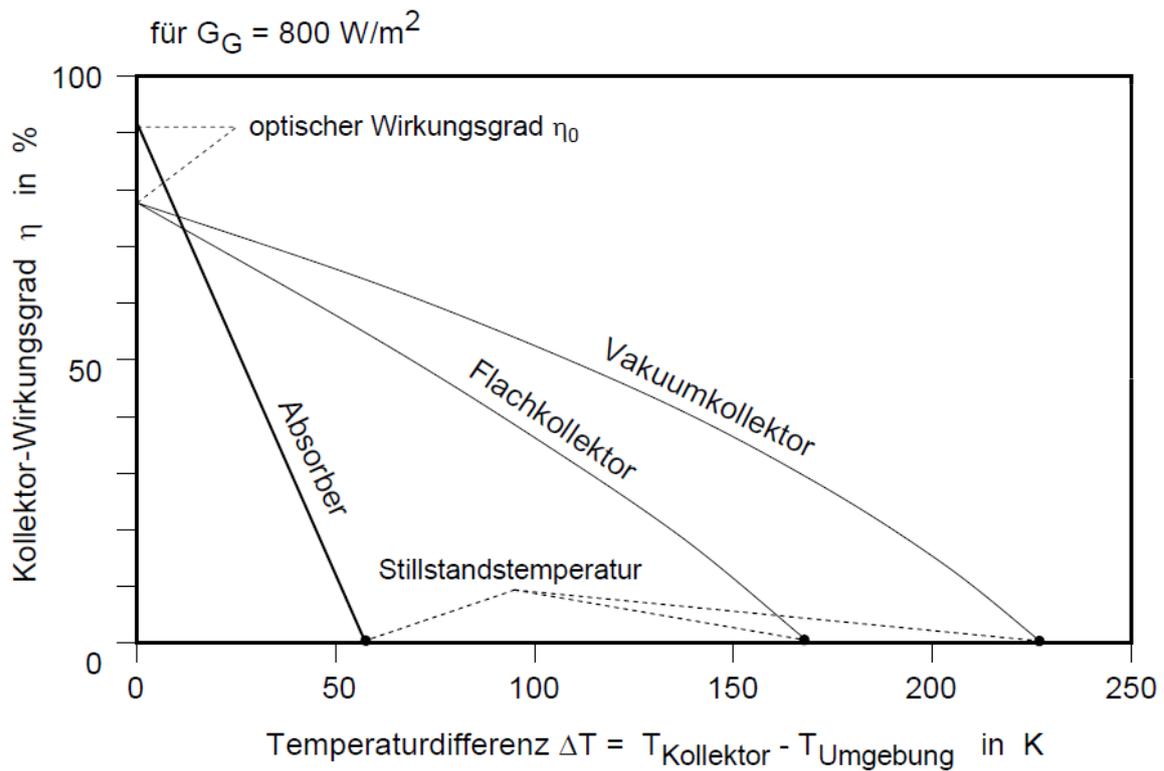


Abbildung 5-10: Wirkungsgradkennlinien verschiedener Kollektortypen

$$\eta = \eta_0 - \frac{K_1 \cdot \Delta T}{\dot{G}_G} - \frac{K_2 \cdot \Delta T^2}{\dot{G}_G} \quad \text{Formel (1)}$$

η_0 = optischer Wirkungsgrad

K_1 = Wärmeverlustbeiwert 1

K_2 = Wärmeverlustbeiwert 2

ΔT = Temperaturdifferenz

\dot{G}_G = solare Strahlung

Optischer Wirkungsgrad:

Verhältnis zwischen Einstrahlung auf den Kollektor und der Strahlungsleistung, die auf dem Absorber in Wärme umgewandelt wird.

Wärmeverlustbeiwerte:

Wird ein Kollektor von der Sonnenstrahlung erwärmt, gibt er einen Teil der Wärme an die Umgebung ab – durch Wärmeleitung des Kollektormaterials, Wärmestrahlung und Konvektion (Luftbewegung). Diese Verluste können mit Hilfe der Wärmeverlustbeiwerte k_1 und k_2 berechnet werden. Standardwerte dazu sind in Tabelle 5-1 angegebenen (lt. DIN V 4701-10; 2003-08):

Tabelle 5-1: Charakteristische Kenngrößen unterschiedlicher Kollektortypen

| | Optischer Wirkungs- Grad [%] | Wärmeverlust Beiwert k_1 [W/m ² K] | Wärmeverlust Beiwert k_2 [W/m ² K ²] |
|-----------------|---------------------------------|--|--|
| Flachkollektor | 77 | 3,5 | 0,02 |
| Röhrenkollektor | 71 | 1,0 | 0,009 |

Stillstandstemperatur:

Wird dem Kollektor keine Wärme entzogen (die Wärmeträgerflüssigkeit zirkuliert nicht mehr, die Pumpe steht), erwärmt sich der Kollektor bis zur so genannten Stillstandstemperatur. In diesem Zustand sind die thermischen Verluste ebenso groß wie die aufgenommene Strahlungsleistung, die Leistung des Kollektors ist Null. In Deutschland erreichen handelsübliche Flachkollektoren im Sommer Stillstandstemperaturen von über 200 °C, Vakuum-Röhrenkollektoren ca. 300 °C.

Solare Deckungsrate:

Für die Planung einer Solaranlage ist die solare Deckungsrate – neben dem Ertrag – die zweite wesentliche Beurteilungsgröße. Die Deckungsrate gibt an, wie viel Prozent der für die vorgesehene Nutzung notwendigen Energie durch die Solaranlage bereitgestellt wird. Ein guter Kompromiss zwischen Ertrag und solarer Deckung ist in der Regel auch ein guter Kompromiss zwischen Investitionskosten für die Solaranlage und eingesparter konventioneller Energie.

Bruttokollektorfläche:

Die Bruttokollektorfläche beschreibt die Außenmaße eines Kollektors und ergibt sich aus Länge x Breite der Außenabmessungen. Sie ist wichtig für die Planung der Montage und der benötigten Dachflächen. Auch für die Beantragung von Fördermitteln ist häufig die Bruttokollektorfläche ausschlaggebend.

Absorberfläche:

Die Absorberfläche bezieht sich ausschließlich auf den Absorber. Bei Finnenabsorbern werden die Überlappungen der einzelnen Streifen nicht mitgerechnet, da die verdeckten Bereiche nicht zur aktiven Fläche gehören. Bei runden Absorbern zählt die gesamte Fläche, auch wenn hier bestimmte Bereiche des Absorbers nie der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt sind. Deshalb kann die Absorberfläche bei Rundabsorbern größer sein als die Bruttokollektorfläche.

Aperturfläche:

Beim Flachkollektor ist die Aperturfläche der sichtbare Bereich der Glasscheibe, also der Bereich innerhalb des Kollektorrahmens, durch den Licht in das Gerät gelangen kann. Bei Vakuum-Röhrenkollektoren sowohl mit flachen Absorbern als auch mit runden Absorbern ohne Reflektorflächen ist die Aperturfläche definiert als die Summe der Längsschnitte aller Glasröhren. Da sich oben und unten in den Röhren kleine Bereiche ohne Absorberblech befinden, ist die Aperturfläche bei diesen Kollektoren immer etwas größer als die Absorberfläche. Bei Röhrenkollektoren mit dahinterliegenden Reflektorflächen ist die Projektion dieser Spiegelfläche als Aperturfläche definiert. [Viessmann]

Selektive Absorberbeschichtungen:

Einen guten selektiv beschichteten Absorber erkennt man:

- an einem großen Absorptionsfaktor α , er soll über 0,9 μm liegen
- an einem kleinen Emissionsfaktor ε , er soll kleiner als 0,1 μm sein

Die Tabelle 5-2 zeigt typische Absorptions- und Emissionsfaktoren verschiedener Materialien.

Tabelle 5-2: Absorptions- und Emissionsfaktoren selektiver Absorberbeschichtungen

| Material der Beschichtung | Absorptionsfaktor α | Emissionsfaktor ε | α/ε -Wert |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Schwarzchrom | 0,95 | 0,12 | 7,9 |
| Schwarznickel | 0,97 | 0,11 | 8,8 |
| Titanoxid | 0,95 | 0,05 | 19,0 |
| Aluminiumoxid | 0,96 | 0,05 | 19,1 |
| schwarze Farbe, matt selektiv | 0,90 | 0,20 | 4,5 |

5.5.6. Qualität und Zertifikate von Kollektoren

Solarthermische Anlagen und ihre Bauteile müssen sich den Tests unabhängiger Prüfinstitute stellen.

Kollektorprüfung nach EN 12975

Diese Prüfung beinhaltet Tests zur Leistungsermittlung der Kollektoren und Prüfungen bezüglich Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen wie Regen, Schnee oder Hagel sowie eine Innendruckprüfung des Absorbers.

Solar Keymark

Der Zertifizierung nach Solar Keymark liegt ebenfalls die Kollektorprüfung EN 12975 zugrunde, die Prüfmuster werden jedoch von einem unabhängigen Prüfinstitut direkt aus dem Produktionsprozess gezogen.

CE-Zeichen

Mit einem CE-Zeichen (hier nach Druckgeräte-Richtlinie) garantiert ein Hersteller selbst das Einhalten der einschlägigen Normen. Es müssen keine externen Prüfungen durchgeführt werden.

„Blauer Engel“ (RAL-UZ 73)

Der „Blaue Engel“ kann als zusätzliches Label erworben werden. Dieses Zeichen hat keine baurechtlichen oder zulassungsrelevanten Konsequenzen und galt bis 2007 als Voraussetzung für die Förderung durch das deutsche Marktanzreizprogramm. Für dieses Zeichen wurden zusätzlich zu den Leistungsdaten die Recyclingfähigkeit des Kollektors und die verwendeten Materialien in Bezug auf ihren kumulierten Energieaufwand (KEA) untersucht.

5.5.7. Zusammenfassung und Einflussgrößen der Kollektoren

Die wichtigsten Einflussgrößen auf Solarkollektoren sind in der Tabelle 5-3 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5-3: Zusammenfassung und Einflussgrößen der Kollektoren

| Kollektoren | Parameter | Einflussgrößen | | |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--|
| | | betriebsbedingt | optimal | Randbedingung |
| Auslegungskriterien | Größe, Bauart | | | Dachfläche/Platzangebot Aufstellbedingungen |
| | Ausrichtung | | 5 ± 45° Azimut | |
| | Neigung | | 30 - 40 ° | |
| | ΔT Kollektorkreis | | 5 - 10 K | |
| | Geforderter Temp.- Bereich | Röhre/Flach | | Preis |
| Flachkollektor | | | | |
| | Absorbereffizienz | | Anti-Reflex- Beschichtung | |
| | Absorberbauart | Harfe, Doppelharfe, Mäander | | |
| | Absorbermaterial | | | |
| | Stillstandtemp. | 200°C | | |
| Röhrenkollektor | | | | |
| | Energieeintrag | 10–15 % mehr als Flachkollektoren. | | höhere Betriebstemperaturen |
| | Wärmeverluste | Geringer als bei Flachkollektoren | | |
| | Stillstandtemp. | 300°C | | |
| | Finnenabsorber | direkt durchströmt | | Lageunabhängige Montage |
| | Heat-Pipe | trockene Anbindung | Austausch einzelner Röhren | Montage mind. 25 ° aufsteigend |
| | CPC-Röhren | | | Montage mind. 30 ° aufsteigend |
| Thermosiphonkollektor | Schwerkraftprinzip | | | In Ländern ohne Frostgefahr |
| Drain-Back-System | selbstentleerend | | | Auffanggefäß erforderlich |
| | Anschluss von unten | kein Frostschutz nötig | Keine Überhitzung im Sommer | Kein Winterbetrieb |

5.6. Speicher

Das Angebot an solarthermischer Einstrahlung und der Wärmebedarf stimmen zeitlich nur selten überein. Daher muss die solar erzeugte Wärme gespeichert werden. Als Speichermedium wird weitgehend Wasser verwendet, es gibt aber auch andere Speichermöglichkeiten wie z. B. Latentwärmespeicher, Festkörperspeicher oder thermochemische Wärmespeicher. Für die Gesamteffizienz einer Solarwärmanlage ist neben dem Kollektor die Speichertechnik von erheblicher Bedeutung.

Für eine gute Effizienz der Speicher sind folgende Eigenschaften von Bedeutung:

- Dichtheit der mindestens 10 cm dicken Wärmedämmung des Speichers, sowie möglichst gedämmte Anschlussstutzen
- Vermeidung von Wärmeverlusten an den Rohranschlussleitungen: Beim hydraulischen Stillstand des Speichers fällt das in den horizontalen Anschlussleitungen erkaltete Wasser in den Speicher zurück, wo es sich mit dem Speicherinhalt vermischt und die Temperaturschichtung zerstört. Weiterhin steigt ständig neues warmes Wasser in die Rohrleitung auf, wodurch erhebliche Wärmeverluste entstehen, die bis zum 5-fachen der unvermeidbaren Verluste an der Speicherisolierung betragen. Eine nach unten gerichtete Leitungsführung mit lückenloser Isolierung kann diese Verluste vermeiden.
- Insgesamt ist eine hohe und schlanke Bauform vorteilhaft, um eine Temperaturschichtenbildung im Speicher zu unterstützen.
- Die Warmwasserzirkulation darf die Temperaturschichtung im Speicher nicht zerstören.
- Anschluss des Kollektorkreislaufs über einen möglichst tief liegenden Wärmetauscher an die kältesten Schichten im Speicher.
- Gut dimensionierte Speicher sowie optimal aufeinander abgestimmte Wärmetauscher bewirken einen besseren Nutzungsgrad der Solaranlage.

Das Angebot an solaren Wasserspeichern in unterschiedlichen Größen und Bauarten ist groß. Wesentliche Unterschiede sind die Druckverträglichkeit und die Art bzw. die Anordnung der Wärmetauscher. Für die solare Trinkwarmwassererwärmung kann zwischen einem druckfesten und einem drucklosen Speicher gewählt werden (siehe Kap. 5.6.1 und 5.6.2). Bei Solaranlagen für Warmwasserbereitung und Raumheizung kommen nur druckfeste Speicher in Frage, wobei einige verschiedene Speichertypen zur Auswahl stehen (siehe Kap. 5.6.3).

5.6.1. Druckfeste Speicher (Bivalenter Druckspeicher)

Merkmal eines bivalenten Druckspeichers ist, dass er Trinkwarmwasser als Speichermedium enthält. Bivalente Druckspeicher sind bei Solaranlagen zur Warmwasserbereitung weit verbreitet. Das kalte Trinkwarmwasser wird direkt vom Netz in den unteren Bereich eines druckfesten Behälters geleitet und dort durch zwei Kreisläufe erwärmt. Der untere Wärmetauscher gibt die Wärme der vom Kollektor kommenden Solarflüssigkeit an das kalte Wasser ab und der obere Wärmetauscher erhitzt bei fehlender Sonneneinstrahlung das Wasser durch den Heizkesselkreislauf auf die gewünschte Solltemperatur. Diese Speicher zeichnen sich durch eine hohe, schlanke Form aus, die eine Temperaturschichtung des Wassers begünstigt. Durch eine entsprechende Regelung und geschickt angeordnete Temperaturfühler kann ein Speicher mit Temperaturschichtung auch bei kurzen Schlechtwetterphasen genutzt werden, ohne dass die Zusatzheizung sofort anspringt. Der Nachteil liegt in der nicht konstanten Temperaturschichtung. Diese wird bei Warmwasserentnahme durch das gleichzeitig zufließende Kaltwasser und die auf Grund der Dichteunterschiede entstehende freie Konvektion immer wieder zerstört. Damit verkleinert sich die vom Kollektor kommende Wärmemenge. Diesen Nachteil gleicht man durch eine größere Kollektorfläche aus. Durch den einfachen Aufbau sind sie kostengünstig und werden in Standardlösungen in der Regel angeboten.

Um einwandfreie hygienische Bedingungen zu garantieren, kommen hierbei entweder Edelstahltanks oder mit Emaille oder Kunststoff beschichtete Stahltanks zum Einsatz. Eingebaute Magnesium-Schutzanoden oder Fremdstromanoden schützen den Speicher zusätzlich vor Korrosion bei Rissen in der Beschichtung.

5.6.2. Drucklose Speicher

Bei drucklosen Speichern dient der Wasserinhalt als ruhende thermische Masse. Drucklose Speicher sind bei einer Solaranlage jedoch kaum gebräuchlich. Sie werden hingegen gerne von Bauherren eingesetzt, die preiswerte Lösungen bevorzugen. Da das Trinkwarmwasser nicht mit dem Speichermedium identisch sein darf, ist meist ein zusätzlicher Wärmetauscher nötig. Dieser funktioniert als Durchlauferhitzer und muss sehr leistungsfähig dimensioniert werden. Dabei vermindert sich allerdings der Preisvorteil des Speichers. Bei der Verwendung von Kunststofftanks (z. B. aus Polypropylen) innerhalb einer Solaranlage muss auf die Temperaturbeständigkeit des Materials, meist 95 °C geachtet werden. [www.effiziento.de/solaranlage]

5.6.3. Puffer-Speicher und Kombi-Speicher

Mit Hilfe von Kombispeichern kann sowohl die Trinkwarmwassererwärmung als auch die Raumheizung mit nur einem Speicher solar unterstützt werden. Kombispeicher

dienen somit sowohl als Wärmespeicher für die Solaranlage als auch zur Bevorratung des Trinkwarmwassers und ggf. auch als Pufferspeicher für den Heizkessel. Sie unterscheiden sich vor allem durch die Art der Trinkwarmwasserbereitung und die Integration des Kollektorkreises. Die Typenvielfalt bei diesen Speichern ist beträchtlich. Anhand des Speichers bzw. ihres Anlagenkonzeptes können Kombianlagen grob nach folgenden Gesichtspunkten charakterisiert werden:

- Anzahl der Speicher: Hier wird zwischen Ein- und Zweispeicheranlagen unterschieden.
- Art der Trinkwarmwassererwärmung: Die Erwärmung des Trinkwarmwassers kann entweder vor der Entnahme oder während der Entnahme erfolgen. Anlagen bei denen das Trinkwarmwasser vor der Entnahme erwärmt wird, arbeiten nach dem ‚Speicherprinzip‘ und benötigen daher für das Trinkwarmwasser einen zusätzlichen Speicherbehälter. Bei der Zweispeicheranlage ist dies ein separater Trinkwarmwasserspeicher. Bei Einspeicheranlagen ist der Speicher für das Trinkwarmwasser in den Kombispeicher eingebaut – diese Kategorie von Kombispeichern wird als ‚Tank-im-Tank‘ Speicher bezeichnet.
- Erfolgt die Erwärmung des Trinkwarmwassers erst bei der Entnahme (Durchlaufprinzip), werden sehr leistungsfähige Wärmetauscher benötigt. Hierzu werden entweder in den Speicher eingebaute Rippenrohr- und Glattrohrwärmetauscher eingesetzt oder Plattenwärmetauscher (externe Frischwasserstation), die sich außerhalb des Speichers befinden.
- Pufferfunktion des Kombispeichers für den Heizkessel: Hier wird zwischen Kombianlagen mit und ohne Pufferfunktion für den Heizkessel unterschieden. Letztere werden als so genannte Anlagen mit Rücklaufanhebung (Vorwärmanlagen) bezeichnet. Bei diesen wird das Wasser des Heizungsrücklaufs solar vorgewärmt (Rücklaufanhebung) bevor es im Heizkessel auf Vorlauftemperatur erhitzt wird.
- Kombispeicher mit eingebauter Wärmequelle: Bei diesen Anlagen sind der Heizkessel und der Speicher für die Trinkwarmwassererwärmung durch einen großen Speicher ersetzt, in den als Wärmequelle meist ein Gas- oder Ölbrenner eingebaut ist (Multifunktionsspeicher).

(siehe z.B. www.solarthermietechologie.de/technologie/speicher/kombispeicher)

In der Ausgabe 18/2010 der Fachzeitschrift „Sonne Wind Wärme“ ist eine umfangreiche Marktübersicht der am Markt erhältlichen Speichertypen aufgeführt.

Eine vollständige Übersicht mit mehr als 600 Solarspeichern ist unter www.sonnewindwaerme.de/speicher zu finden.

5.6.4. Puffer-Speicher als Zweispeicheranlage

Pufferspeicher werden bei Solaranlagen zur Trinkwarmwassererwärmung und zur Unterstützung der Raumheizung verwendet. Das Heizungswasser ist hierbei das Speichermedium. Pufferspeicher finden als Zweispeicheranlagen Verwendung.

In dem in

Abbildung 5-11 dargestellten Anlagenkonzept ist neben dem Heizwasser-Pufferspeicher noch ein bivalenter Speicher-Wassererwärmer zur Trinkwarmwasserbereitung vorhanden. Das Konzept der Zweispeicheranlage zeichnet sich insbesondere durch die Möglichkeit aus, relativ einfache Speicher einsetzen zu können. Ein weiterer Vorteil ist, dass die geringen Temperaturen des in den Trinkwarmwasserspeicher einströmenden Kaltwassers dem Kollektor fast direkt zur Verfügung stehen. Da ein Sonnenkollektor umso effektiver arbeitet, je niedriger das Temperaturniveau ist, wirkt sich dies positiv auf den Wirkungsgrad des Kollektors aus.

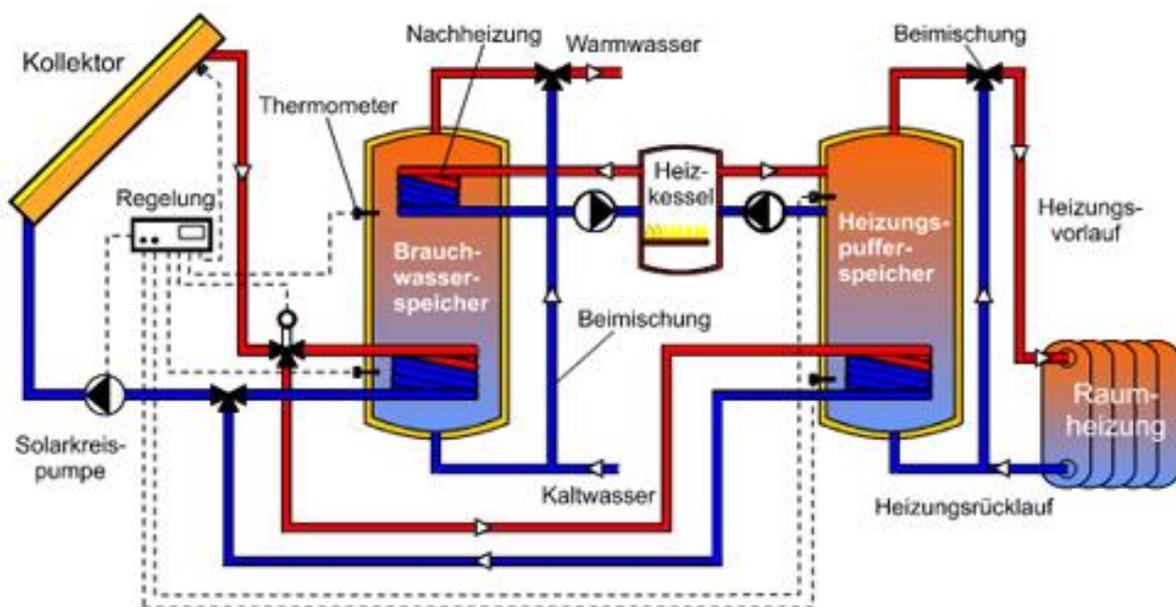


Abbildung 5-11: Zweispeicheranlage (Quelle: ITW)

Nachteilig bei der Zweispeicheranlage sind zum einen der größere Platzbedarf und zum anderen die größeren Wärmeverluste aufgrund der zwei Speicher. Würde sich das gesamte Volumen der beiden einzelnen Speicher in einem großen Speicher befinden, so hätte dieser – eine gleiche Wärmedämmung vorausgesetzt - theoretisch um ca. 30 % geringere Wärmeverluste.

Das benötigte Trinkwarmwasser in Trinkwasserqualität (keine Legionellen) kann bei Puffer-Speichern auf nachfolgend beschriebene Arten erwärmt werden.

5.6.5. Puffer-Speicher mit externer Frischwasserstation

Die Trinkwarmwassererwärmung erfolgt mit einem externen Frischwassermodul (siehe Abbildung 5-12), wobei das zu erwärmende Trinkwarmwasser den Plattenwärmetauscher im Gegenstromprinzip durchströmt. Die zur Warmwasserbereitung notwendige Wärme wird aus dem Heizwasser-Pufferspeicher entnommen. In dem wärmegeprägten Gehäuse sind der Plattenwärmetauscher, die Umwälzpumpe ein Sicherheitsventil und eine elektronische Regelung zur Einstellung der gewünschten Warmwassertemperatur untergebracht. Eine Zapfrate von bis zu 40 l/min ist möglich, die für Ein- und Zweifamilienhäuser ausreichend ist. Durch das minimale Volumen des Trinkwarmwassers im Wärmetauscher ist die Legionellengefahr sehr niedrig.

Die Verkalkungsneigung ist auch bei hartem Wasser gering. Eine Regelung verhindert, dass die Temperatur in der Station über 65 °C steigt. Außerdem kühlt sich das Wasser im Inneren des Platten- Wärmetauschers schnell wieder ab. Evtl. Kalkablagerungen können bei der Wartung durch Ausbau und Reinigung des Platten-Wärmetauschers relativ einfach beseitigt werden.



Abbildung 5-12: Frischwassermodul Außenansicht und Innenansicht

5.6.6. Puffer-Speicher oder Kombi-Speicher mit internem Wärmetauscher

Hier wird ein zentraler Speicher, der so genannte Kombispeicher, sowohl als Wärmespeicher für die Solaranlage als auch zur Erwärmung des Trinkwarmwassers und auch als Pufferspeicher für den Heizkessel genutzt. Einspeicheranlagen sind aufgrund ihrer kompakten Bauweise auf dem Markt dominant. Die vom Heizkessel

abgegebene Wärme wird grundsätzlich dem Speicher zugeführt. Im oberen Bereich des Speichers befindet sich das Puffervolumen (Bereitschaftsvolumen) für die Trinkwarmwassererwärmung und im mittleren Bereich das Puffervolumen für die Raumheizung. Wenn dem Heizkessel ein Puffervolumen zur Verfügung steht, hat dies den Vorteil, dass häufiges Ein- und Ausschalten (Takten) des Kessels und daraus resultierende Verluste und Emissionen vermieden werden. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn nur eine geringe Leistung für die Gebäudeheizung benötigt wird und diese Leistung unter der minimal möglichen Leistungsabgabe des Heizkessels liegt. Die Trinkwarmwassererwärmung erfolgt bei dem in Abbildung 5-13 dargestellten multivalenten Speicher mittels eines eingebauten Wärmetauschers (z. B. Rippenrohr-Rohrbündel-Wärmetauscher), in dem das Trinkwarmwasser beim Durchströmen im oberen Bereich des Speichers aufgewärmt wird. An diesen multivalenten Heizwasser-Pufferspeicher mit integrierter Trinkwarmwassererwärmung können weitere Wärmeerzeuger z. B. Festbrennstoffkessel oder eine Wärmepumpe angeschlossen werden. So können die wechselnd verfügbaren Energieströme in bi- oder multivalenten Anlagen optimal verwaltet werden.

Im Gegensatz zum Standardspeicher fasst ein Pufferspeicher bis zu 300 l mehr Wasser, braucht aber mehr Raum. Bei Platzmangel bieten z. B. Kompaktheizgeräte mit integriertem Speicher Abhilfe.

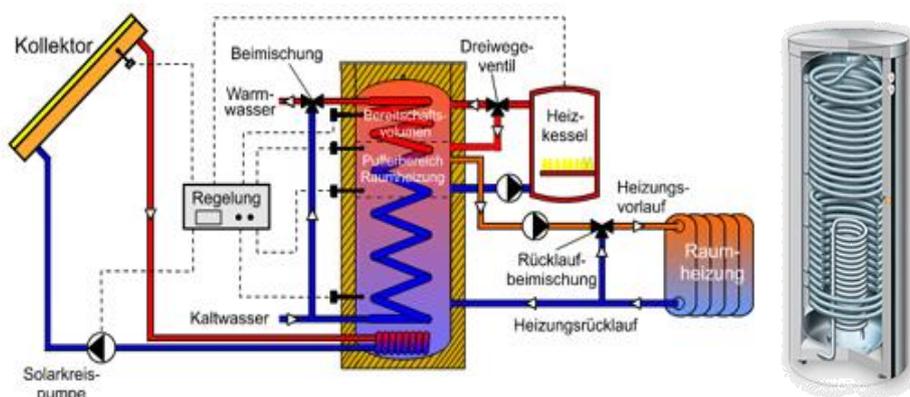


Abbildung 5-13: Pufferspeicher mit integrierter Trinkwarmwassererwärmung (Quelle: Viessmann Vitocell 340 M) und Anlagenschema

5.6.7. Tank-in-Tank-Speicher

Im Bereich der Kombispeicher gewinnen „Tank-in-Tank“ Speicher aufgrund ihres relativ einfachen Aufbaus zunehmend an Bedeutung.

Bei diesem System ist in den mit Heizungswasser gefüllten Speicher ein zweiter, kleinerer Speicher eingebaut, in dem sich das Trinkwarmwasser befindet (siehe

Abbildung 5-14). Die Erwärmung des Trinkwarmwassers erfolgt durch das den Trinkwasserspeicher umgebende Heizungswasser. Die vom Heizkessel abgegebene Wärme wird grundsätzlich dem Speicher zugeführt. Im oberen Bereich des Speichers befindet sich das Puffervolumen (Bereitschaftsvolumen) für die Trinkwassererwärmung und im mittleren Bereich das Puffervolumen für die Raumheizung. Wenn dem Heizkessel ein Puffervolumen zur Verfügung steht hat dies den Vorteil, dass häufiges Ein- und Ausschalten (Takten) des Kessels und daraus resultierende höhere Emissionen vermieden werden. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn nur eine geringe Leistung für die Gebäudeheizung benötigt wird und diese Leistung unter der minimal möglichen Leistungsabgabe des Heizkessels liegt.

Ein guter „Tank-im-Tank“ Speicher zeichnet sich unter anderem dadurch aus, dass der Trinkwarmwassertank möglichst weit nach unten ausgedehnt ist, wie es bei dem im linken Teil der Abbildung 5-15 dargestellten Speichers der Fall ist. Wird warmes Trinkwarmwasser entnommen, so strömt unten in den Trinkwarmwassertank kaltes Wasser ein. Hierdurch ist es möglich, den unteren Speicherbereich auf ein niedriges Temperaturniveau abzukühlen. Dieser Effekt hat einen günstigen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Solaranlage. Denn dieser ist umso höher, je niedriger das Temperaturniveau ist, mit dem der Kollektor betrieben wird.

Der Innenbehälter sollte aus Edelstahl sein, für den Außenbehälter genügt in d. R. Baustahl St 37-2. Vorteilhaft sind der einfache Aufbau, eine unkomplizierte Regelung und ein geringer Platzbedarf, da ein Nachheizwärmetauscher entfallen kann. Nachteilig ist ein begrenzter Trinkwarmwasservorrat und ein begrenztes Nachheizvolumen (max. 200 l Warmwasser und 600 l Pufferwasser bei Standardgrößen, die auch durch eine normale Tür passen). Weiterhin besteht ein Risiko von Bakterienbildung (Legionellen) im gespeicherten Trinkwarmwasser. Zudem ist der Austausch von Teilen bei Reparaturen schwierig.

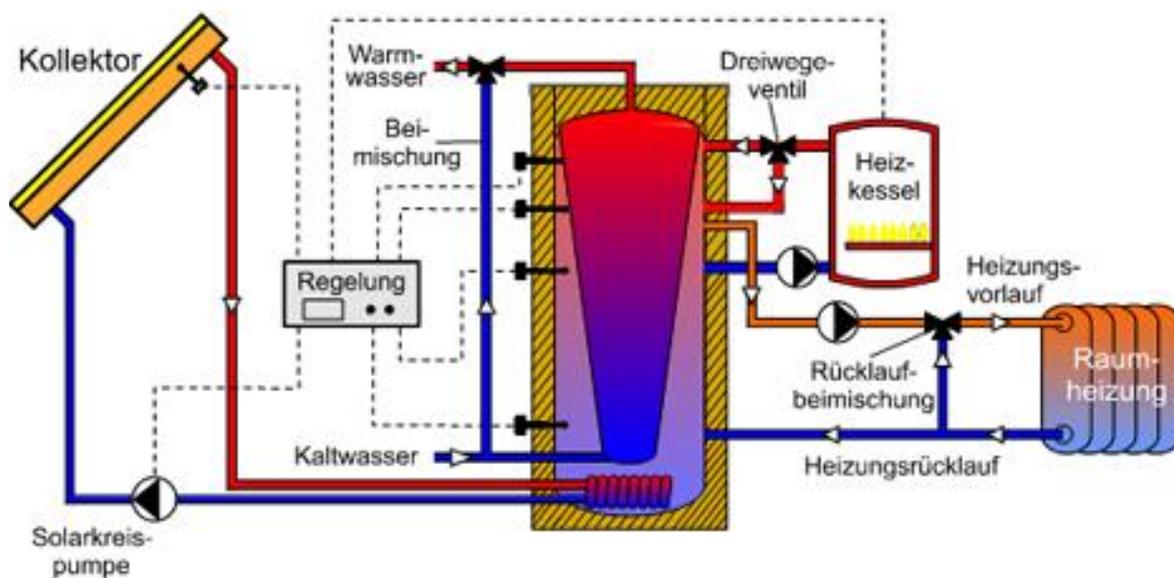


Abbildung 5-14: Anlagenschema mit ‚Tank-in-Tank‘ Speicher (Quelle ITW)



© PARADIGMA

Abbildung 5-15: TERMO Kombispeicher der Fa. Wagner & Co Solar, Tank-in-Tank-Speicher der Fa. Paradigma

5.6.8. Schichtenlade-Speicher

Schichtenladespeicher sind „intelligente“ Speicher, die die natürliche Schichtung von warmem Wasser (oben) und kaltem Wasser (unten) energetisch optimal ausnutzen. Die Temperaturschichtung im Speicher ist bedeutend für die Funktion und den Ertrag von Solaranlagen, sie bewirkt eine bis zu 5 % höhere Kollektoren-Ausbeute. Aufgrund der unterschiedlichen Dichte von warmem und kaltem Wasser sowie der Be- und Entladevorgänge im Speicher stellt sich eine Temperaturschichtung ein, die weder bei der Be- noch der Entladung durchmischt werden sollte. Die Einlagerung des erwärmten Wassers in der Wasserschicht mit annähernd gleichem Temperaturniveau erfolgt über so genannte Ladelanzen (Fa. Solvis). [BINE] In verschiedenen Höhen der Ladelanze befinden sich Auslass-Öffnungen, die über Membranklappen verschlossen sind, siehe Abbildung 5-16. Das durch das Rohr aufsteigende Wasser kann den auf den Membranklappen lastenden hydrostatischen Druck erst in einer Höhe überwinden, in der die Temperatur bzw. die Dichte des zufließenden Wassers mit der im Speicher übereinstimmt. Somit wird der Speicher von oben nach unten unter Einhaltung der Temperaturschichtung geladen. Vorteilhaft ist, dass auf diese Weise die Solarwärme schneller auf das Niveau der Nutztemperatur gelangt.

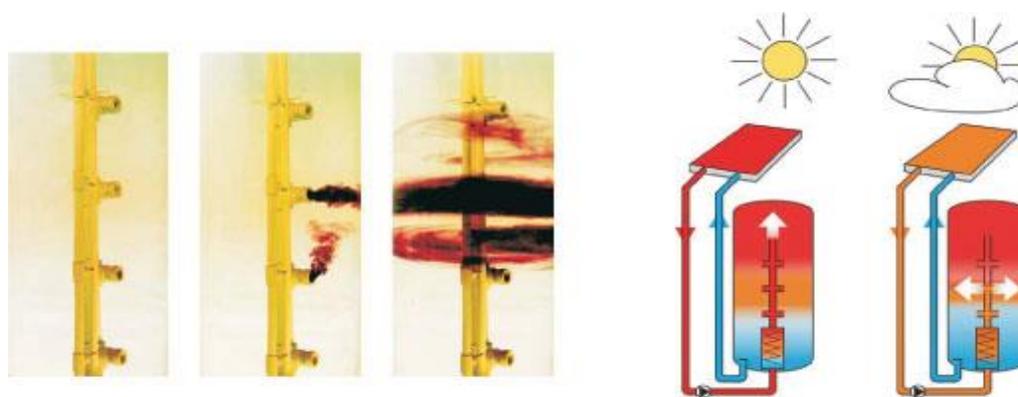


Abbildung 5-16: Dreischichtenladelanze und Membranklappe [Quelle: Fa. Solvis]

Sowohl bivalente Speicher zur Trinkwarmwassererwärmung als auch Puffer- oder Kombi-Speicher zur Trinkwarmwassererwärmung und Heizungsunterstützung können mit einer Schichtenladung eingesetzt werden (siehe Abbildung 5-16 und Abbildung 5-17).

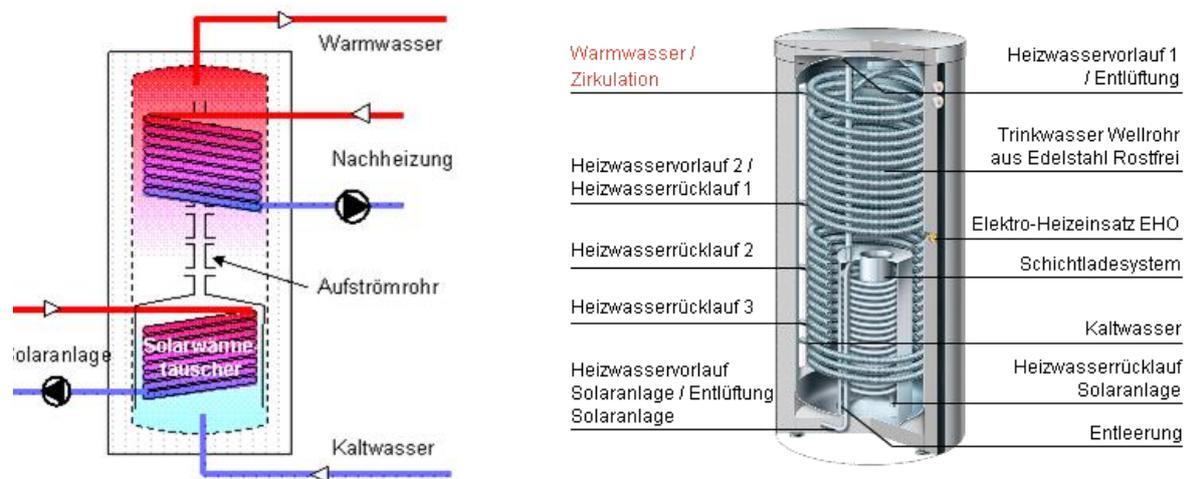


Abbildung 5-17: Bivalenter Schichtenspeicher (www.ing-büro-junge.de/assets) / Schichtlade-Kombi-Speicher Vitocell 360 M (Viessmann)

5.6.9. Multifunktions-Speicher

Anlagen mit Multifunktionspeicher unterscheiden sich von anderen Anlagenvarianten darin, dass die konventionelle Nachheizung direkt in den Kombispeicher eingebaut ist. Die wichtigsten Vorteile sind geringere Montage- und Installationskosten, da das Gerät bereits als betriebsfertige Einheit angeliefert wird und nur noch mit dem Heizungs- und Warmwassernetz des Gebäudes sowie mit der Gas-, bzw. Öl- und Elektrizitätsversorgung verbunden werden muss. Zusätzlich ist aufgrund der kompakten Bauweise der Platzbedarf für einen Kombispeicher mit eingebauter konventioneller Nachheizung deutlich geringer als beim Einsatz eines separaten Speichers in Kombination mit einem Heizkessel. Als Beispiel ist in Abbildung 5-18 der Multifunktionspeicher der Firma Solvis dargestellt [www.solvis.de]. In diesen Speicher können sowohl Gas- als auch Ölbrenner eingebaut bzw. bei noch vorhandenem Heizkessel auch später nachgerüstet werden. Abbildung 5-19 zeigt das Anlagenschema eines Multifunktionspeichers mit eingebauter Nachheizung.

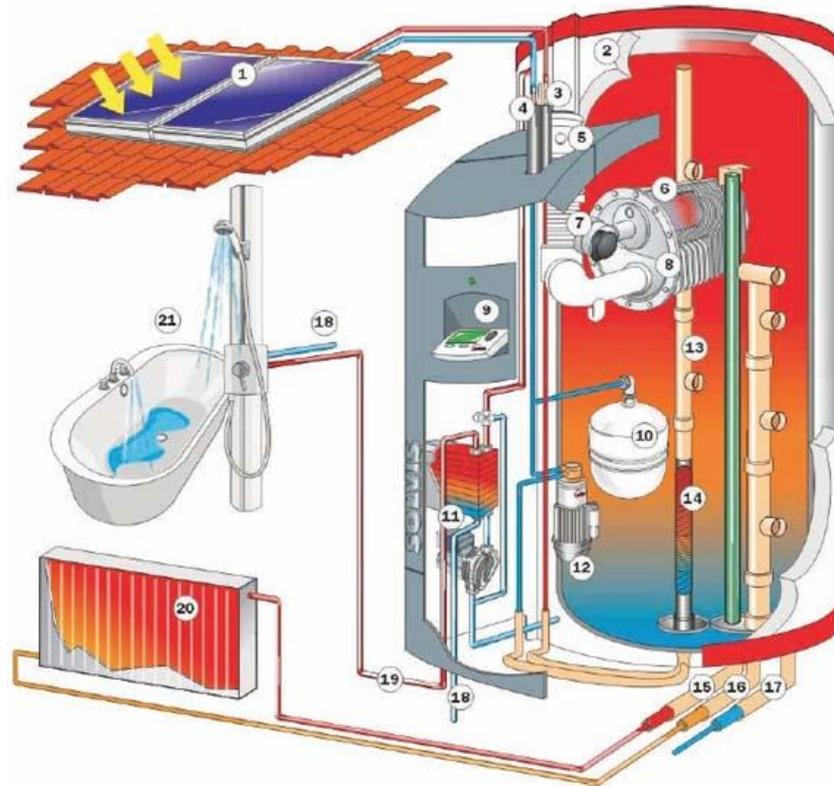


Abbildung 5-18: Multifunktionsspeicher Solvis Max Futur der Fa. Solvis

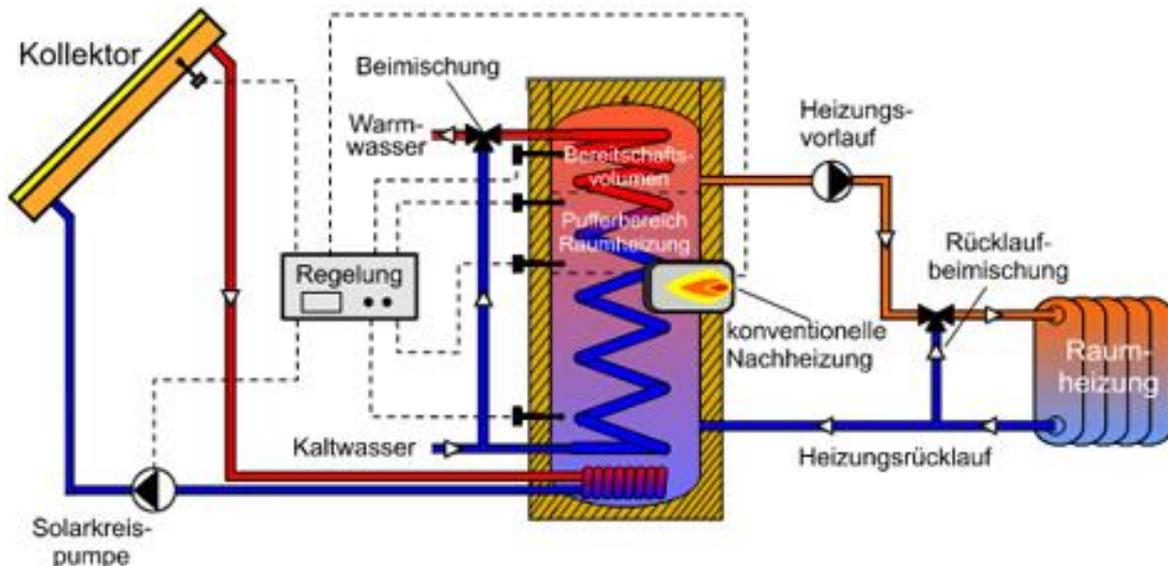


Abbildung 5-19: Anlagenschema mit Multifunktionsspeicher mit eingebauter Nachheizung

Kombi-Speicher mit Rücklaufanhebung

Bei einer Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung und Raumheizung, die nach dem Prinzip der Rücklaufanhebung arbeitet, ist im Speicher nur ein Puffervolumen bzw. ein Bereitschaftsvolumen für die Trinkwarmwassererwärmung vorhanden. Vom Heizkessel kann die für die Raumheizung benötigte Wärme nur direkt in den Heizkreislauf des Gebäudes geliefert werden. Ist die Temperatur im unteren Bereich des Speichers höher als die Rücklauftemperatur des Raumheizungskreises, so wird der Rücklauf durch den Speicher geleitet und dabei solar erwärmt. Diese Wärme hebt das Temperaturniveau des Wassers im Rücklauf an, bevor es im Heizkessel auf Vorlauftemperatur erwärmt wird. Jede Temperaturerhöhung des Rücklaufes um wenige Grad bedeutet für die Nachheizung weniger Energieeinsatz.

Anlagen mit Rücklaufanhebung können im Hinblick auf ihre thermische Leistungsfähigkeit nicht direkt mit Anlagen verglichen werden, bei welchen der Speicher teilweise als Puffer für den Heizkessel zur Verfügung steht. Da der Speicher nur zur Rücklaufanhebung genutzt wird, herrscht bei diesen Anlagen während der Heizperiode ein niedrigeres Temperaturniveau im Speicher. Dies führt zu geringeren Wärmeverlusten woraus eine höhere Energieeinsparung resultiert. Nachteilig ist bei diesen Anlagen das häufigere Ein- und Ausschalten (Takten) und die damit verbundenen Emissionen sowie der daraus resultierende geringere Nutzungsgrad des Heizkessels. In Verbindung mit Heizkesseln, bei denen die abgegebene Leistung nicht oder nur in einem geringen Bereich variiert werden kann, ist dies besonders problematisch. [www.solarthermietechologie.de]

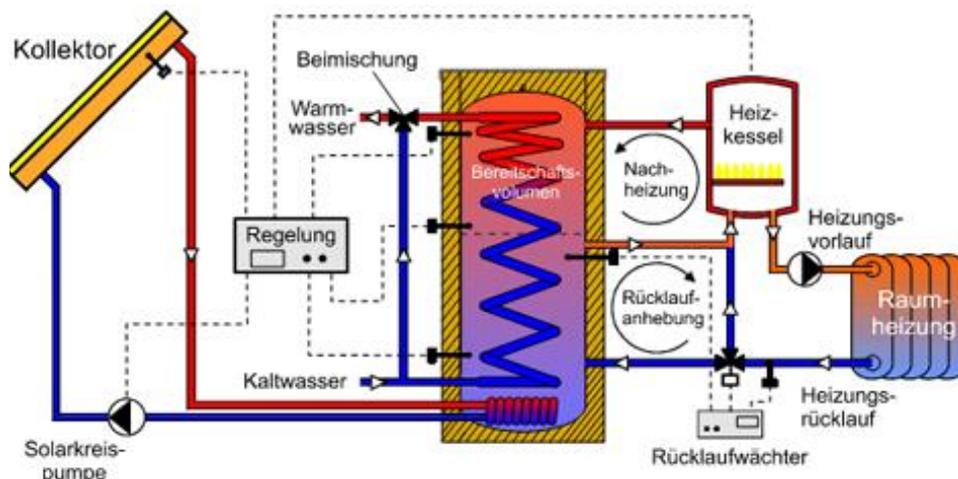


Abbildung 5-20: Solaranlage mit Kombi-Speicher und Rücklaufanhebung (Quelle ITW)

5.6.10. Zusammenfassung und Einflussgrößen der Speichersysteme

Die wichtigsten Einflussgrößen der verschiedenen Speichersysteme sind in der Tabelle 5-4 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5-4: Zusammenfassung und Einflussgrößen der Speichersysteme

| Speicher | Speichermedium | Vorteile | Nachteile | Einflussgrößen | | |
|--|-------------------------------|--|--|---|---------------|-------------------------------|
| | | | | betriebsbedingt | optimal | Randbedingung |
| Dämmung | | | | | 10 cm dick | |
| Anschlussstutzen | | | | | gedämmt | vom Speicher abfallend |
| Bauform | | | | | schlank, hoch | |
| Bivalenter Speicher | Trinkwarmwasser | | | | | druckfest, 2 Wärmetauscher |
| Zweispesicheranlage | Heizungswasser | einfache Speicher η Kollektor gut | großer Platzbedarf | | | |
| Puffer-Speicher mit externer Frischwasserstation | Heizungswasser | kein Legionellenproblem geringe Verkalkung | | Zapfrate bis 40l/min $T_{ww} < 65^\circ\text{C}$ | | |
| Tank in Tank-Speicher | Heizungs- und Trinkwarmwasser | einfacher Aufbau, seltenes Takten des Kessels, geringer Platzbedarf, unkomplizierte Regelung | begrenzter WW-Vorrat, max. 200 l, Bakterienrisiko, Reparaturen schwierig | | | |
| Kombi-Speicher | Heizungswasser | kompakte Bauweise | | | | eingebauter Wärmetauscher |
| Multifunktions-Speicher | | konventionelle Nachheizung im Speicher, geringere Installationskosten, Nachrüstung möglich, geringer Platzbedarf | | | | |
| Kombi-Speicher mit Rücklaufanhebung | | niedriges Temperaturniveau geringe Wärmeverluste | häufiges Takten des Kessels | | | |

5.7. Komponenten des Solarkreislauf

Zum Solarkreislauf gehören alle Komponenten, die den Kollektor mit dem Speicher verbinden. Für Anlagen bis ca. 20 m² Kollektorfläche werden normalerweise Kupferrohre verwendet. Im Hinblick auf die Widerstände sollten 90°-Bögen und keine scharfen Winkel eingebaut werden.

Die Rohrleitungen einer Solaranlage müssen, ebenso wie die Kollektoren und der Speicher, gut gedämmt sein, um die gewonnene Energie optimal zu nutzen. In thermischen Solaranlagen werden die rückwärtigen und seitlichen Flächen der Kollektoren, die Rohrleitungen des Solarkreislaufs und der Solarspeicher wärmegeklämt. Die Güte dieser Maßnahmen hat einen entscheidenden Einfluss auf den jährlichen Energiegewinn einer Anlage. Für die Dämmstärken der Rohrleitungen des Solarkreislaufs gelten die Anforderungen der Heizungsanlagenverordnung (Temperaturbeständigkeit bis 170 °C). Die außenverlegten Leitungen müssen außerdem UV- und witterungsbeständig sein. Schutz vor Vogelfraß bietet ein Blechmantel.

In thermischen Solaranlagen verwendet man meist ein frostsicheres Gemisch aus Wasser (60 %) und Propylenglykol (40 %) als Wärmeträger, das den Solarkollektor durchfließt und die absorbierte Wärme über den Wärmetauscher an das Trinkwarmwasser abgibt. Die eingesetzte Flüssigkeit muss frost- und verdampfungssicher und darf nicht giftig, ätzend oder reizend sein. [www.Solarthermietechologie.de]

5.7.1. Kollektor-Betriebsweisen

Mit Kollektor-Betriebsweise ist die Durchflussmenge gemeint. Sie wird in Liter pro Stunde und m² Absorberfläche angegeben. Entweder pumpt man wenig Wasser durch und erwärmt dieses stark (hohe Temperaturspreizung) oder umgekehrt, wobei die abgegebene Wärmemenge die gleiche ist. Bei großer Temperaturspreizung (d. h. niedrigem Volumenstrom) steigt die mittlere Kollektortemperatur und der Wirkungsgrad der Kollektoren sinkt. Allerdings wird bei niedrigen Volumenströmen weniger Hilfsenergie für den Betrieb der Pumpe benötigt, und es sind kleiner dimensionierte Anschlussleitungen möglich.

Man unterscheidet zwischen

- Low-flow-Betrieb = Betrieb mit Volumenströmen bis zu ca. 30 l/(h m²)
- High-flow-Betrieb = Betrieb mit Volumenströmen größer als 30 l/(h m²)
- Matched-flow-Betrieb = Betrieb mit variablen Volumenströmen

Der Matched-flow-Betrieb wird mit Hilfe von drehzahlgeregelten Pumpen erreicht. Das gesamte Kollektorfeld muss gleichmäßig durchströmt werden. Flachkollektoren

und Röhrenkollektoren mit Heatpipes können mit variablem Volumenstrom durchflossen werden. Bei direkt durchströmten Vakuum-Röhrenkollektoren ist ein Mindestvolumenstrom erforderlich, hier ist ein Matched-flow-Betrieb nicht empfehlenswert.

Um den Druckverlust möglichst gering zu halten, darf die Strömungsgeschwindigkeit im Rohr 1 m/s nicht überschreiten. Empfehlenswert sind Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 0,4 und 0,7 m/s. Eine höhere Strömungsgeschwindigkeit erhöht den Druckverlust, eine deutlich niedrigere erschwert die Entlüftung.

5.7.2. Solarpumpen

Die Solarpumpe befördert die Solarflüssigkeit (Wärmeträgerflüssigkeit) vom Kollektor in den Speicher. Dort gibt diese über einen Wärmetauscher die im Kollektor aufgenommene Wärme an das Trinkwarmwasser ab und schaltet sich automatisch ein, wenn die Temperatur im Speicher um einen bestimmten Wert niedriger ist als die Temperatur im Kollektor. In geschlossenen Solarkreisen werden entweder handelsübliche Kreiselpumpen oder spezielle Solarpumpen mit angepassten Kennlinien verwendet.

Solarpumpen sind den Betriebsbedingungen im Solarkreislauf besonders angepasst und arbeiten mit höheren Wirkungsgraden in den typischen Betriebsbereichen einer Solaranlage als normale Heizungspumpen. Wird eine herkömmliche Heizung-Umwälzpumpe statt einer Solarpumpe gewählt, sollte diese mehrere Leistungsstufen aufweisen, um eine bessere Anpassung an den Solarkreislauf, der vergleichsweise geringe Volumenströme bei hohem Druckverlust aufweist, zu ermöglichen. Um die Leistung der Solarpumpe richtig auszulegen, ist die Kenntnis des Gesamtdruckverlustes und des Volumenstromes des Solarkreislaufes notwendig. Bei großen Solarwärme-Anlagen muss er besonders berechnet werden. Bei Anlagen für Ein- und Zweifamilienhäuser ist dies nicht notwendig, da die von den Herstellern für diesen Bereich angebotenen Pumpen bereits besonders ausgelegt sind. Dies gilt auch für die fertig konfektionierten Solarpakete für Einfamilienhäuser.

Eine herkömmliche Pumpe, die die Wärmeträger-Flüssigkeit in die Kollektoren pumpt, verbraucht bei Standardgeräten 15 % der Primärenergie der gesamten Solaranlage. Schuld ist der relativ hohe Stromverbrauch dieser Pumpen. Außerdem sind die häufig in älteren Solaranlagen eingebauten normalen Heizungspumpen für den solaren Einsatz nicht richtig ausgelegt. Solaranlagen benötigen drehzahlregelte Pumpen, die einen kleinen Durchsatz von 0,1 bis 1 m³/h mit hohem Druck von 0,6 bis 1 bar liefern können. Gängige Durchflussraten in kleinen Solaranlagen betragen 30 bis 50 Liter pro Stunde und m² Kollektorfläche. Die Solarkreis-Umwälzpumpe muss diesen Durchfluss garantieren können. Werden Regler für variable Volumenströme verwendet (Matched-flow-Betrieb), so hat das

keinen Einfluss auf die Auswahl der Pumpe – sie muss für die maximale Leistung ausgelegt werden. Bei geringer Einstrahlung können Drehzahlregelungen die Leistungsaufnahme der Pumpe und damit auch die Drehzahl reduzieren (nicht erhöhen!).

Inzwischen hat die Industrie moderne Solarpumpen, wie beispielhaft in Abbildung 5-21 dargestellt, mit hoher Energieeffizienz entwickelt. EC-Solarpumpen verbrauchen durch eine andere Motortechnik (permanent erregter EC-Motor) und die elektronische Steuerung wesentlich weniger Strom. Solche Pumpen senken den Primärenergieverbrauch der Solaranlage auf nur 3–4 % des gesamten Energieaufwands. Manche Modelle haben nicht einmal einen Netzanschluss, sondern werden mit Sonnenstrom versorgt. Bei Anschaffung einer effizienten Solarpumpe wird das durch die Bafa mit 50 € gefördert.



Abbildung 5-21: Solarpumpen: Grundfos UPS Solar und Wilo-Stratos PICO

Die Pumpe sollte immer im kälteren Rücklauf des Solarkreises eingebaut sein, um sie nicht unnötig den hohen Temperaturen im Vorlauf auszusetzen, wodurch keine besonderen Anforderungen an die Temperaturbeständigkeit berücksichtigt werden müssen. Damit beim Auswechseln einer defekten Pumpe nicht das ganze System entleert werden muss, werden vor und hinter der Pumpe Absperrschieber montiert. Der Betrieb mit Wasser-Glykol-Gemischen ist normalerweise unproblematisch.

5.7.3. Sicherheitseinrichtungen

Sicherheitseinrichtungen dienen u.a. dazu, Störungen im Betrieb einer Anlage zu verhindern sowie Anlagenteile bei Betriebsstörungen vor Zerstörung zu schützen. Bei thermischen Solaranlagen sind die wichtigsten Sicherheitseinrichtungen das Sicherheitsventil, das Ausdehnungsgefäß und die Absperrarmaturen der Entlüfter.

Entlüfter

Luft im Solarkreis sammelt sich an den am höchsten gelegenen Stellen und unterbricht den Flüssigkeitsumlauf. Zur Entlüftung des Solarkreislaufs, z. B. nach Befüllen der Anlage und im Betrieb, werden an den kritischen Stellen des Kreislaufs

(an den höchsten Punkten) Entlüfter installiert. Sie müssen absperrbar und für das verwendete Glykol-Wassergemisch und die Maximaltemperatur von mind. 170 °C im Solarkreis geeignet sein (Ganzmetallentlüfter). Automatische Entlüfter müssen mit Absperrhahn eingebaut werden.

Sicherheitsventil

Nach EN 12976 ist der Einbau eines Sicherheitsventils (SV) vorgeschrieben. Es darf zum Kollektor hin nicht absperrbar sein. Das Sicherheitsventil lässt Solarflüssigkeit in den Auffangbehälter ab, wenn infolge einer Störung der Betriebsdruck in der Solaranlage den Ansprechdruck des Ventils überschreitet. Der Ansprechdruck des Sicherheitsventils sollte 80 % des Nenndruckes des SV betragen und etwa 0,3 bar über dem maximal zulässigen Betriebsdruck der Anlage liegen. Das SV muss für 120 °C ausgelegt sein. Es gibt Tabellen zur Auswahl des SV.

Ausdehnungsgefäß

Das Ausdehnungsgefäß, ein geschlossener Behälter mit einem meist durch eine Membran abgetrennten Stickstoffpolster, gehört zu den Sicherheitseinrichtungen einer solaren Trinkwarmwasseranlage. Es nimmt die beim Aufheizen auftretende Ausdehnung des Volumens der Solarflüssigkeit auf und darf zum Kollektor hin nicht schließbar sein. Um auch bei Schäden und Stillstandszeiten der Solaranlage Sicherheit zu gewährleisten, muss das Ausdehnungsgefäß den vollständigen Flüssigkeitsinhalt des Kollektors aufnehmen können, bei Vakuumröhrenkollektoren zusätzlich den Inhalt der Vor- und Rücklaufleitungen. Wichtig ist die Glykolbeständigkeit der Membran. Glykol wird als Frostschutz im Kollektor eingesetzt.

5.7.4. Solarstation

Solarstationen, wie beispielhaft in Abbildung 5-22 dargestellt, vereinen in sich die Solarkreispumpe, Temperatur-, Druck und Durchflussanzeigen und eventuell einen Wärmemengenzähler.



Abbildung 5-22: Solarstation mit Regelung und Ausdehnungsgefäß, Quelle [www.hewalex.pl]

5.7.5. Zusammenfassung und Einflussgrößen der Komponenten

Die wichtigsten Einflussgrößen auf Komponenten von Solaranlagen sind in der Tabelle 5-5 zusammenfassend dargestellt

Tabelle 5-5: Zusammenfassung und Einflussgrößen der Komponenten

| Komponenten | Parameter | Einflussgrößen | | |
|--------------------------|------------------------------------|---|---|--|
| | | betriebsbedingt | optimal | Randbedingung |
| Verrohrung | Kupferrohre | | | nur Bögen, keine Winkel |
| Dämmung | | außen verlegt | temperaturbeständig bis 170 °C | UV-witterungsbeständig |
| Frostschutzmittel | 60 % Wasser 40 % Propylenglykol | | | |
| Solarkreispumpe | Spezielle Solarpumpen | | Einbau im Rücklauf | Gesamtdruckverlust Volumenstrom im Solarkreis |
| | Drehzahl geregelt | V = 0,1 - 1 m³/h P = 0,6 - 1 bar V = 30 - 50 l/(h m²) | | |
| | EC-Motorpumpe | | | geringer PE-Verbrauch |
| Sicherheitseinrichtungen | Entlüfter | Einbau an höchster Stelle | Absperrbar T _{max} = 170 °C | |
| | Sicherheitsventil | Ansprechdruck 0,3 * P _{max} | T _{max} = 120 °C | |
| | Ausdehnungsgefäß | glykolbeständige Membran | | |
| Regelung | Temperaturdifferenzregelung | 200 °C | ΔT _{ein} = 5 - 8 °C | inkl. Betriebsstundenzähler |
| | digitaler Regler | | | inkl. Wärmemengenzähler, Fernanzeige, etc. |
| | Temperaturfühler | temperatur- und witterungsbeständig | Einbau mit Tauchhülsen | |

5.8. Steuerung und Regelung

Die Funktion einer thermischen Solaranlage wird durch den Solarregler vollautomatisch geregelt. Die Funktionen können je nach Anforderungen an die Regelung unterschiedlich sein.

5.8.1. Temperaturdifferenzregelungen

Für die Regelung einer kleinen Solaranlage zur Warmwasserbereitung ist meistens ein einfacher Temperaturdifferenzregler ausreichend. Temperaturdifferenzregelungen messen die Differenz zwischen der Temperatur im Kollektor und im Speicher. Diese Regelungen verfügen über mindestens zwei Temperaturfühler: Diese befinden sich an der heißesten Stelle des Kollektors und im Speicher im Bereich des Wärmetauschers. Der Regler stellt fest, wann die Temperatur am Kollektorausstritt höher ist als im Speicher auf Höhe des Solarkreis-Wärmetauschers und setzt daraufhin die Solarkreis-Umwälzpumpe in Betrieb. Meist werden die Solarregler so eingestellt, dass für den Pumpenstart eine Temperaturdifferenz von etwa 5 bis 8 °C zwischen Kollektor und Speicher notwendig ist. Sinkt diese Temperaturdifferenz auf 2 bis 3 °C ab, wird die Solarkreis-Umwälzpumpe durch den Solarregler wieder außer Betrieb genommen. Am Solarregler sollten die Temperaturen des Kollektors und des Speichers abgelesen werden können, die Speicherhöchsttemperatur sollte zu begrenzen sein. Das ist wichtig, da bei zu hohen Speichertemperaturen Kalk vermehrt ausfällt. Ein Betriebsstundenzähler der Solarpumpe gibt Auskunft über die Zeiten, in denen die Solaranlage warmes Wasser an den Speicher geliefert hat. Das ist eine grobe Kontrollfunktion der Funktionsweise der Anlage, die auch von einigen Fördermittelstellen verlangt wird. Digitale Regler sind zusätzlich mit Wärmemengen- und Betriebsstundenzähler, mit Fernanzeige, Fehlerdiagnose und PC- Schnittstelle ausgestattet. [www.solarthermietechologie.de]

5.8.2. Temperaturfühler

Temperaturfühler dienen der Ermittlung der Istwerte einer solarthermischen Anlage. Die Fühler messen die Temperatur der Solarflüssigkeit am Austritt aus dem Kollektorfeld und die Temperatur des Trinkwarmwassers in Höhe des Wärmetauschers. Aus diesen Temperaturen wird die Differenz ermittelt, die zur Regelung der Anlage notwendig ist. Die erfasste Temperaturdifferenz wird mit dem eingestellten Sollwert verglichen. Zur Nachheizung wird zusätzlich die Temperatur des Trinkwarmwassers an der Entnahmestelle aus dem Solarspeicher gemessen. Die präziseste Messung ergibt sich, wenn die Temperatur jeweils direkt im Wärmeträgermedium gemessen, also mit Tauchhülsen gearbeitet wird. Der Temperaturfühler am Kollektor muss besonders temperaturbeständig und mit einem hochtemperatur- und witterungsbeständigen Kabel ausgerüstet sein.

5.8.3. Überhitzungsschutz

Wenn während einer länger anhaltenden Schönwetterperiode keine Energie aus dem Solarspeicher entnommen wird (Stagnation), kann die Speichertemperatur auf den maximal zulässigen Wert steigen. Die Pumpe schaltet ab, es kommt zum Stillstand. In der Folge steigt die Absorbtemperatur bis zur Stillstandstemperatur an und ein Teil der Solarflüssigkeit verdampft. Um diesen Betriebszustand zu vermeiden ist es empfehlenswert, durch einen zusätzlichen Überhitzungsschutz dafür zu sorgen, dass der Solarspeicher in solchen Fällen die Maximaltemperatur gar nicht erst erreicht. Überschüssige Energie lässt sich in kritischen Betriebsphasen zum Beispiel über den Nachheizkreis an den Brennraum des Heizkessels und den Heizungsabzug abführen. Falls ein geeigneter Wärmeverbraucher an die Heizung angeschlossen ist, kann auch dieser über den Nachheizkreis versorgt werden.

5.8.4. Zusatzfunktionen

Sind in einer Solaranlage mehrere Speicher oder Verbraucher vorhanden, muss auch die Regelung mit Zusatzfunktionen ausgestattet sein, wie beispielsweise

- mehrere Temperaturdifferenzregelungen mit Vorrangschaltung
- Effizienzregelung (z. B. bei zwei Wohneinheiten)
- Regelung mit Bypass-Pumpe
- Regelung mit Strahlungsfühlern
- Unterdrückung der Nachheizung
- Beheizung zur Trinkwasserhygiene
- Funktionen zur Stagnationsvermeidung wie Kühlfunktion, Rückkühlfunktion, Intervallfunktion, Thermostاتفunktion

Die Zusatzfunktionen sind im Viessmann-Planungs-Solar-Handbuch näher erläutert.
[www.viessmann.de]

6. Auslegung von Solaranlagen

Für die Dimensionierung einer Solaranlage gibt es unterschiedliche Zielgrößen. Die Auslegung kann unter folgenden Gesichtspunkten erfolgen:

- Erzielung eines bestimmten solaren Deckungsanteils
- Erzielung eines möglichst hohen Ertrags pro m² Kollektorfläche
- Beachtung der Kosten für die solare Nutzwärme
- Erzielung eines hohen spezifischen Ertrags

Der solare Deckungsanteil verhält sich gegenläufig zum Systemnutzungsgrad, dem Verhältnis aus eingestrahelter Energie auf die Kollektorfläche und der vom System nutzbaren Energie. Je höher der Deckungsanteil, desto niedriger der Systemnutzungsgrad und umgekehrt.

6.1. Dimensionierung von Solaranlagen zur Trinkwarmwassererwärmung und „Daumenregeln“

Die Dimensionierung einer Solaranlage für Ein- und Zweifamilienhäuser richtet sich nach dem Energiebedarf. Die Komfortansprüche der Bewohner spielen ebenfalls für die Ermittlung des täglichen Warmwasserbedarfs, der die Grundlage zur Dimensionierung der Kollektorfläche bildet, eine Rolle. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern wird ein ca. 60 %-iger Deckungsanteil des Energiebedarfs zur Trinkwarmwassererwärmung angestrebt, da ein höherer Deckungsanteil aus anlagentechnischen und wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll ist.

Folgende grundlegenden Gesichtspunkte zur Dimensionierung der Kollektorfläche sind im Vorfeld zu klären:

- Anzahl der Personen
- Gewohnheiten der Benutzer: Werden einmal oder mehrfach täglich Duscbäder genommen?
- Werden Geschirrspüler und/oder Waschmaschine mit Warmwasser betrieben?
- Wie entwickelt sich zukünftig die Personenanzahl im Haus?
- Einschätzung des Warmwasserverbrauchs von Mietern
- Existiert im Haus eine Warmwasserzirkulationsleitung?

Normverbräuche nach VDI Richtlinie 2087, Blatt 12, die sich auf eine Warmwasserzapfentemperatur von 45 °C beziehen, können zur Vordimensionierung hinzugezogen werden. Die Normverbräuche sind in der Tabelle 6-1 dargestellt.

| Ausgangslage | Verbrauch [l/Tag/Person] | Fläche in [m ²] Flachkollektor | Fläche in [m ²] Röhrenkollektor |
|---------------------------|-----------------------------|---|--|
| Grundausstattung | | 1 | 0,75 |
| Haus mit Zirkulationsltg. | | 3 | 2 |
| Geringer Verbrauch | 30 l | 0,75 | 0,50 |
| Mittlerer Verbrauch | 40 l | 1,00 | 0,75 |
| Gehobener Verbrauch | 50 l | 1,25 | 1,00 |

Hinweis: Die Vorgaben des DVGW-Arbeitsblattes W 551 bzgl. der thermischen Desinfektion sind zu beachten.

Lt. dem Informationsblatt 17-2 von März 2011 des BDH werden die Verbräuche mit folgenden Werten angegeben: gering 20–30 l, mittel 30–50 l, hoch 50–70 l.

Zur Dimensionierung des Speichers wird zunächst der Tagesbedarf sämtlicher Personen im Haushalt ermittelt. Für eine an die Warmwasserversorgung angeschlossene Spül- und/oder Waschmaschine werden ca. 30–50 l/Tag dazugerechnet. Die Fa. Viessmann macht in ihrem Planungshandbuch die Angabe 10 l von 60 °C pro Spülmaschinengang und 20 l von 60 °C pro Waschgang. Als Daumenregel wird für die Dimensionierung des Speichers der 1,5 bis 2-fache Tagesbedarf vorgesehen, mindestens jedoch 50 l pro m² Kollektorfläche. [BDH]

Die Dimensionierung der Kollektorfläche erfolgt ebenfalls als Daumenregel in Bezug auf die Speichergröße. Pro 100 l Speichervolumen werden lt. BDH und lt. Viessmann Planungshandbuch 1,5 m² Flachkollektor bzw. 1,0 m² Röhrenkollektorfläche zu Grunde gelegt.

Grundlage für diese Anhaltswerte ist eine maximale Abweichung vom Azimut von 45° und einem Neigungswinkel von 25–55°. Bei größeren Abweichungen können Mindererträge durch etwas vergrößerte Kollektorflächen ausgeglichen werden.

In der Literatur findet man in Bezug auf die Deckungsrate, Kollektorfläche, Speichervolumen etc. einige Daumenregeln, die in der nachfolgenden Tabelle 6-2 zusammengefasst sind. Auch die Faustformeln zur Anlagenauslegung auf der Internetseite der Energieagentur NRW befinden sich in der Größenordnung der von BINE angegebenen überschlägigen Auslegung.

Tabelle 6-2: Daumenregeln unterschiedlicher Bezugsquellen bei solarer TWW

| | | | BINE | BDH | ASUE | Viessmann |
|-------------------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------|------|--------|-----------|
| Deckungsanteil am WW-Bedarf: | Jahresmittel: | % | 60 | 60 | ca. 60 | 60 |
| Kollektorfläche (Netto): | Flach-K. | m ² /Person | 1 - 1,5 | - | 1,5 | - |
| | Röhren-K. | m ² /Person | 0,8 | - | 1 | - |
| | Flach-K. | m ² /100 l Speicher | - | 1,5 | - | 1,5 |
| | Röhren-K. | m ² /100 l Speicher | - | 1 | - | 1 |
| Speichervolumen: | WW-Verbrauch | l/d/Person | - | - | - | |
| | niedrig | l/d/Person | 30 | - | - | 30 |
| | mittel | l/d/Person | 40 | - | - | - |
| | hoch | l/d/Person | 50 | - | - | - |
| | Volumen | l | 1,5 - 2 facher Tagesbedarf | - | - | - |
| | Flach-K. | l/m ² Kollektor | 50 - 60 | 66,7 | - | - |
| | Röhren-K. | l/m ² Kollektor | - | 100 | - | - |
| WW-Temperatur: | | °C | 45 | 45 | k. A. | 60 |

6.2. Dimensionierung von Solaranlagen zur Trinkwarmwassererwärmung mit Heizungsunterstützung und „Daumenregeln“

Solare Kombi-Anlagen unterstützen ganzjährig die Warmwassererzeugung und gleichzeitig während der Übergangsperioden und im Winter die Heizung. Zur Realisierung stehen eine Vielzahl von Anlagensystemen mit unterschiedlichen Speichern und hydraulischen Schaltungen zur Verfügung (siehe Kapitel 5.6). Eine Kombianlage eignet sich insbesondere für Gebäude mit niedrigem Heizenergiebedarf, also Neubauten oder energetisch sanierte Gebäude. Der Deckungsanteil am Heizenergiebedarf ist vom Energiestandard des Gebäudes abhängig, je geringer der Heizwärmebedarf, desto höher ist der Deckungsanteil.

Vorteilhaft sind außerdem niedrige Heizkreistemperaturen. Die Dimensionierung ist eine Gratwanderung zwischen einem möglichst hohen Deckungsanteil des Heizwärmebedarfs (große Kollektorfläche) und nicht zu große sommerliche Überschüsse. Für ein modernes Einfamilienhaus liefert eine Kombianlage ca. einen solaren Ertrag von 20–25 % des Gesamtwärmebedarfs. Zur Deckung des restlichen Wärmebedarfs ist eine vollwertige Heizung, beispielsweise ein Brennwertgerät notwendig.

Einflussfaktoren für die Auslegung von Kombianlagen:

- Gebäudestandort, Klimabedingungen
- Gewünschte solare Deckung für Trinkwarmwasser und Heizung
- Anzahl der Personen, Warmwasserbedarf
- Dämmwerte der Gebäudehülle und Gebäudeheizwärmebedarf
- Geplante Vor- und Rücklauftemperaturen
- Kollektortyp, Ausrichtung und Neigung
- Welche Speichervolumina können im Haus untergebracht werden?

Die Auslegung von Kombi-Solaranlagen ist infolge der Vielzahl von Einflussfaktoren im Vergleich zu solaren Trinkwarmwasseranlagen aufwendiger. Lt. BDH reichen Faustformeln zur Auslegung nicht mehr aus, es werden Planungshilfsmittel und PC-Programme zur Auslegung und Detailoptimierung empfohlen. Trotzdem findet man in der Literatur auch für die kombinierten Solaranlagen Daumenregeln zur Auslegung, die nachfolgend in Tabelle 6-3 zusammengestellt sind:

Tabelle 6-3: Anhaltswerte unterschiedlicher Bezugsquellen bei solarer TWW + Hzg.

| | | | BINE | dena |
|---|---------------|--|----------|---------|
| Deckungsanteil am Heizenergiebedarf: | Jahresmittel: | % | 10-40 | 20-30 |
| Kollektorfläche (Netto): | Flach-K. | m ² / 4 - 6 Personen | 10-20 | - |
| | Röhren-K. | m ² / 4 - 6 Personen | - | - |
| | Flach-K. | m ² /10 m ² Wohnfläche | - | 0,9-1 |
| | Röhren-K. | m ² /10 m ² Wohnfläche | - | 0,5–0,8 |
| Speichervolumen: | WW-Verbrauch | l/d/Person | - | ca. 90 |
| | Volumen | l | 500-1500 | - |
| | Flach-K. | l/m ² Kollektor | 50-80 | 50 |
| | Röhren-K. | l/m ² Kollektor | 70-100 | |
| WW-Temperatur: | | °C | 45 | 45 |

6.3. Komplettsysteme für den Neubau

Für den Neubau bietet sich der Einbau eines fast ausschließlich aufeinander abgestimmten Systems an. Wird nur eine Komponente geändert, ist eine komplette Überprüfung aller Komponenten durch einen Fachmann erforderlich.

Viele Gasgerätehersteller, aber auch Solaranlagenhersteller bieten Komplettsysteme sowohl nur zur Warmwasserbereitung als auch zur Warmwasser- und Raumheizungsversorgung an. Die weitgehend vorgefertigten Systeme tragen zur Verringerung von Installationsfehlern bei. Beispielhaft gibt Abbildung 6-1 ein handelsübliches System zur solaren Trinkwarmwassererwärmung wieder.



Abbildung 6-1: Komplettsystem Solar des Herstellers Brötje, Typ BSK 15

Das Komplettpaket mit dem Brötje BSK 15 mit integriertem Solarspeicher ist aufeinander abgestimmt, alle Komponenten befinden sich in kompakter Bauweise in einem Gerät. Das System besteht aus:

- 1x Brötje BSK 15
- 1x Absperrset Durchgangsform für Gas und Heizung
- 2x Solimpeks Wunder CLS-H 2108 Flachkollektoren
- 1x Aufdachmontageset für je 2 Kollektoren
- 1x Ausdehnungsgefäß 12 l
- 1x Wandhalter für Ausdehnungsgefäß
- 1x Solarflüssigkeit 20 l
- 1x Diverses Kleinzubehör

6.4. Beschreibung der Hottgenroth Auslegungssoftware

Das Programm GetSolar wird über das im Bereich gebäudetechnischer Berechnungswerkzeuge tätige Softwarehaus ETU vertrieben.

6.4.1. Grundlagen der Auslegung mit GetSolar

GetSolar verfügt über einen Auslegungsassistenten, der in wenigen klar strukturierten Dialogfenstern zu einer ausgewogen dimensionierten Solaranlage führt. Die ersten zwei Dialoge klären den Namen und Standort sowie den gewünschten Kollektortyp sowie Kollektorneigung und -südabweichung. Je nachdem, ob nur Angaben zum Trinkwarmwasserbedarf oder auch zum Jahresheizwärmebedarf gemacht werden, optimiert GetSolar die Auslegung für eine einfache Kollektoranlage oder eine solare Kombianlage. Der Jahresheizwärmebedarf und die Nennleistung der Heizung stehen dabei in einem unmittelbaren Zusammenhang, wobei auch die Auslegungstemperatur (niedrigste Außentemperatur in der Heizperiode) und die Heizgrenztemperatur (Außentemperatur, bei deren Überschreitung nicht mehr geheizt wird) eine Rolle spielen. Die Auslegung der Trinkwarmwasser-Solaranlage zielt auf eine 100-prozentige Deckung im Sommer, wobei das Speichervolumen für den zweifachen Tagesbedarf ausgelegt wird. Durch mehrfache Simulationsrechnungen mit automatischer Anpassung der Kollektorfläche versucht GetSolar, diesem Optimum für den gegebenen Standort, Kollektor und Verbrauch möglichst nahe zu kommen. Dabei ergibt sich für die Nur-Trinkwarmwasser-Auslegung unter den gegebenen Eingangsparametern ein typischer spezifischer Kollektor-Jahresertrag von z. B. 350 kWh/m². Dieser dient als Referenzwert für die Auslegung der solaren Kombianlage. In mehrfacher Simulationsrechnung einer solaren Kombianlage – Kombi-Pufferspeicher oder Pufferspeicher mit Frischwassererwärmer, je nach voreingestelltem Anlagentyp – vergrößert GetSolar die Kollektorfläche, bis der spezifische Kollektor-Jahresertrag knapp über dem der Trinkwarmwasser-Solaranlage liegt (Vgl. Horn, 2008).

6.4.2. Beispielauslegung einer Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung

Auf Basis des Warmwasserbedarfs eines Standard 4-Personenhaushaltes wird eine Beispielauslegung für eine Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung durchgeführt. Der Warmwasserbedarf wird auf 140 l pro Tag angesetzt. Bei einer Aufheizung von 10 °C auf 55 °C resultiert daraus ein täglicher Warmwasserenergiebedarf von 7,33 kWh. Inklusive der Verluste für Speicherung, Verteilung und Übergabe ergibt sich daraus der jährliche Energiebedarf zur Warmwasserbereitstellung von 2889 kWh.

Bei der Auslegung besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Anlagenperipherie aus einer Vielzahl von Speichertypen sowie deren hydraulischer Einbindung zu bilden. Abbildung 6-2 zeigt das Anlagenschema, welches der Auslegungsassistent vorschlägt. Die Solaranlage besteht aus Flachkollektoren und einem bivalenten Solarspeicher.

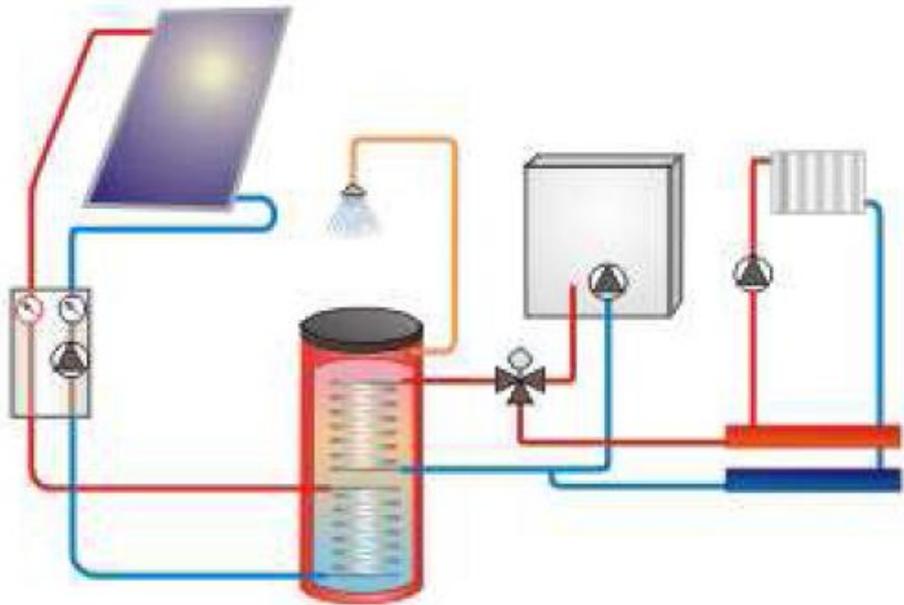


Abbildung 6-2: Hydraulikschema der Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung

Nach der Eingabe der Eingangsdaten ergibt sich die folgende Konfiguration (siehe Tabelle 6-4).

Tabelle 6-4: Auslegungsparameter der Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung

| Parameter | |
|---------------------------|---|
| Standort: | Essen |
| Warmwasserbedarf | 140 l/d |
| Energiebedarf (10°C-55°C) | 7,33 kWh/d |
| Kollektortyp: | 3 Flachkollektoren |
| Aperturfläche: | 6,84 m ² |
| Neigung: | 45° |
| Kennlinie: | $\eta_{a0} = 0,784$ $a_1 = 3,391 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $a_2 = 0,0170 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$ [Solar Keymark] |
| Südabweichung: | 0° |
| Speichertyp: | Bivalenter Solarspeicher |
| Volumen: | 300 l |

Mit den obigen Auslegungsparametern wurde eine Simulation über den Zeitraum eines Jahres durchgeführt. Die Ergebnisse zur Deckungsrate des Trinkwarmwasserenergiebedarfs und der Wirkungsgrad des Gesamtsystems werden in der Abbildung 6-3 als Monatswerte und als Jahresdurchschnittswert dargestellt.

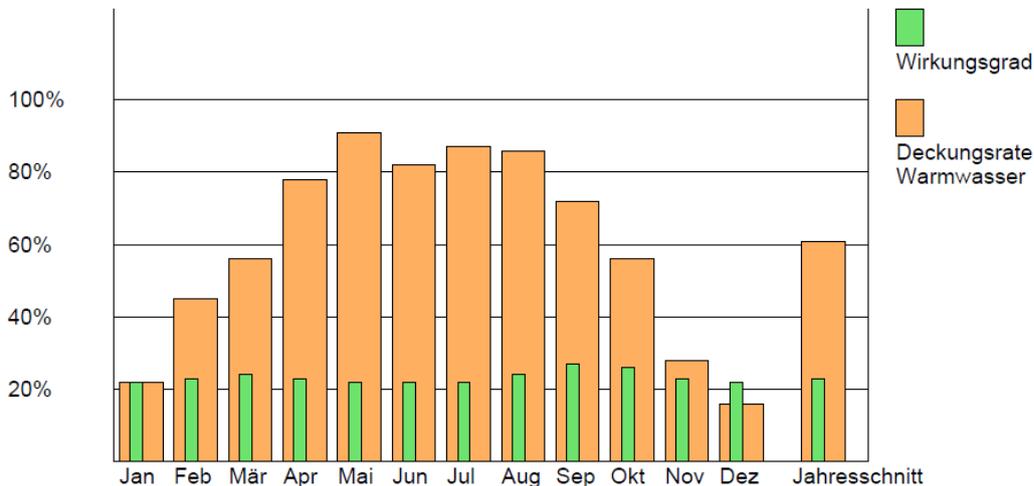


Abbildung 6-3: Simulationsergebnisse der Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung

Der spezifische Kollektor-Jahresertrag liegt nach der Simulation bei ca. 256 kWh/m²_{AP}. Daraus resultiert der Solarertrag für Warmwasser von 1750 kWh sowie die Deckungsrate des Trinkwarmwasserenergiebedarfs im Jahresschnitt von ca. 60 %. Der Wirkungsgrad des Gesamtsystems liegt in Summe bei 23 %.

6.4.3. Beispielauslegung einer Solaranlage zur kombinierten Heizungsunterstützung

Für die Beispielauslegung der solaren Kombianlage werden zwei identische Gebäude mit unterschiedlichen Energiestandards verwendet. Zum einen ein Einfamilienhaus nach den Vorgaben der EnEV 2009 und zum anderen ein Bestandsbau nach Daten von 1978.

Die Daten und die Energiekennwerte beider Gebäudetypen werden in die Berechnungsmaske übertragen und führen zu einem Auslegungsvorschlag. Die Abbildung 6-4 zeigt das Hydraulikschema der solaren Kombianlage.

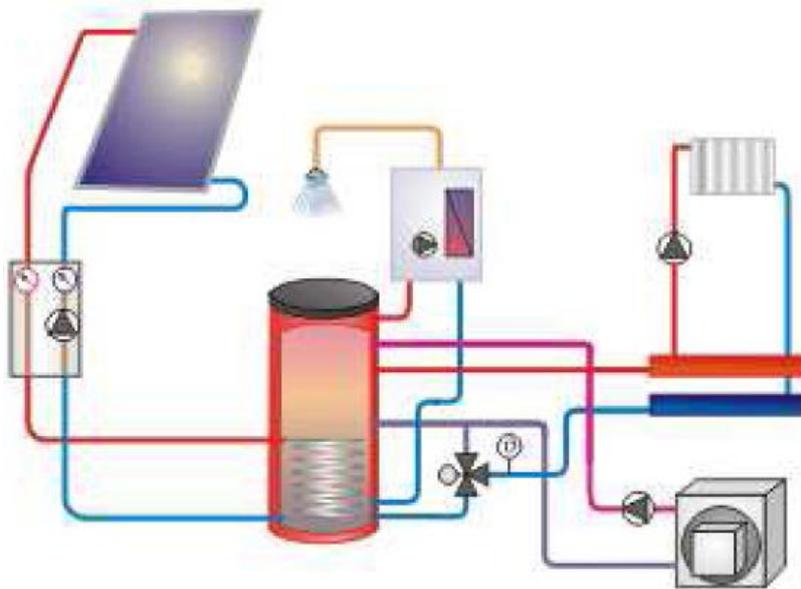
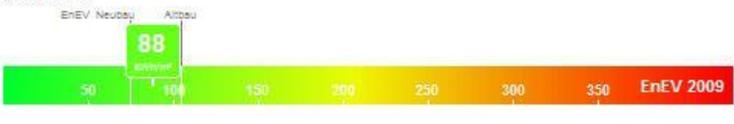


Abbildung 6-4: Hydraulikschema der solaren Kombianlage

Tabelle 6-5 fasst die wesentlichen Energie- und Gebäudedaten sowie die Auslegungsparameter der solaren Kombianlage zusammen.

Tabelle 6-5: Energie-, Gebäude- und Anlagendaten zur Auslegung der solaren Kombianlage

| Energiekennwerte | Gebäude- und Anlagendaten/ |
|--|--|
| Gebäudestandard: EnEV 2009 | |
| <p>Gesamtbewertung Primärenergiebedarf 88 kWh/m²a</p>  | <p>Standort: Essen</p> <p>Wohnfläche: 160 m²</p> <p>Nutzfläche: 216 m²</p> <p>Heizung: Gas-Brennwert</p> <p>Kollektortyp: Flachkollektor</p> <p>Kollektorfläche: 13,68 m²</p> <p>Speichervolumen: 1486 l</p> <p>Speichertyp: Pufferspeicher + Frischwassermodul</p> |
| <p>Gebäudehülle Heizwärmebedarf 48 kWh/m²a</p>  | |
| <p>Anlagentechnik Anlagenaufwandszahl e_p = 1,44</p>  | |
| <p>Umweltwirkung CO₂-Emission 20 kg/m²a</p>  | |
| Gebäudestandard: 1978 | |
| <p>Gesamtbewertung Primärenergiebedarf 188 kWh/m²a</p>  | <p>Standort: Essen</p> <p>Wohnfläche: 160 m²</p> <p>Nutzfläche: 216 m²</p> <p>Heizung: Gas-Brennwert</p> <p>Kollektortyp: Flachkollektor</p> <p>Kollektorfläche: 13,68 m²</p> <p>Speichervolumen: 1486 l</p> <p>Speichertyp: Pufferspeicher + Frischwassermodul</p> |
| <p>Gebäudehülle Heizwärmebedarf 137 kWh/m²a</p>  | |
| <p>Anlagentechnik Anlagenaufwandszahl e_p = 1,26</p>  | |
| <p>Umweltwirkung CO₂-Emission 42 kg/m²a</p>  | |

Aufbauend auf den dargestellten Daten erfolgt eine Simulation über den Zeitraum eines Jahres. Die Simulationsergebnisse für den Neubau sind in der Abbildung 6-5 dargestellt.

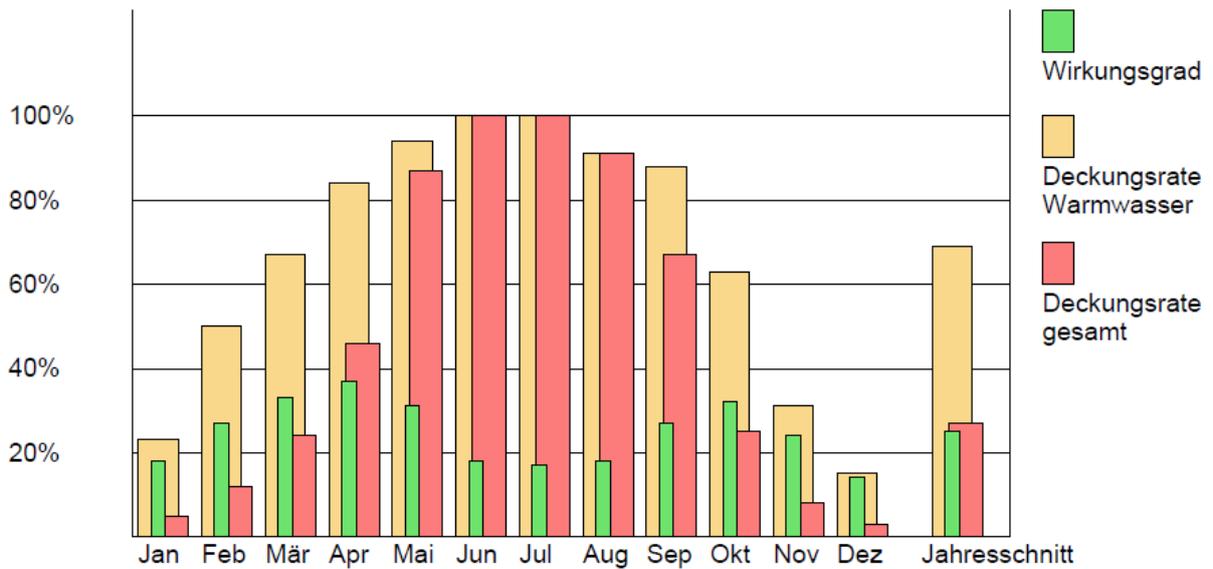


Abbildung 6-5: Simulationsergebnisse der solaren Kombianlage / Neubau EnEV 2009

Der spezifische Kollektorsertrag liegt bei dieser Anlage bei 279 kWh/m². Es ergibt sich eine Gesamtdeckungsrate für Heizung und Warmwasser von 27,1 %. Einzeln betrachtet liegt die Deckungsrate für Heizung bei 12,5 % sowie 69,2 % für Warmwasser.

Die Simulationsergebnisse für den Bestandsbau 1978 werden in der Abbildung 6-6 aufgezeigt.

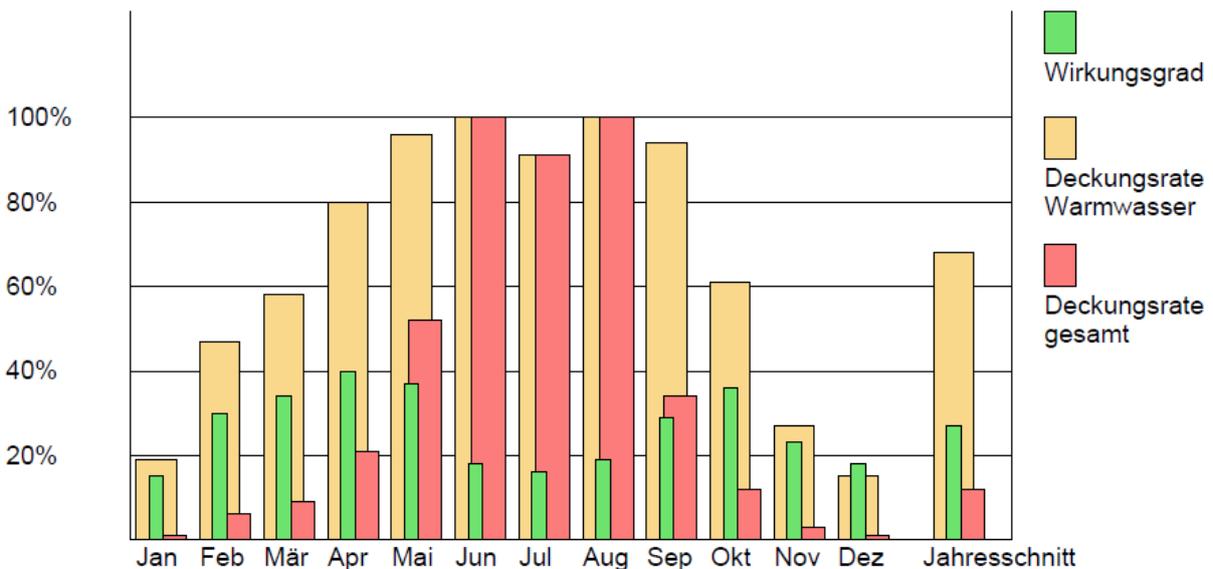


Abbildung 6-6: Simulationsergebnisse der solaren Kombianlage / Bestandsbau 1978

Bei dieser Anlage kann aufgrund des höheren Heizwärmebedarfs nur eine Gesamtdeckungsrate für Warmwasser und Heizung von 12,3 % (Deckung Warmwasser 68 %, Deckung Heizung 6 %) erzielt werden. Jedoch erhöht sich der spezifische Kollektorertrag auf 299 kWh/m², da bei gleicher Kollektorfläche häufiger Heizwärme abgenommen werden kann.

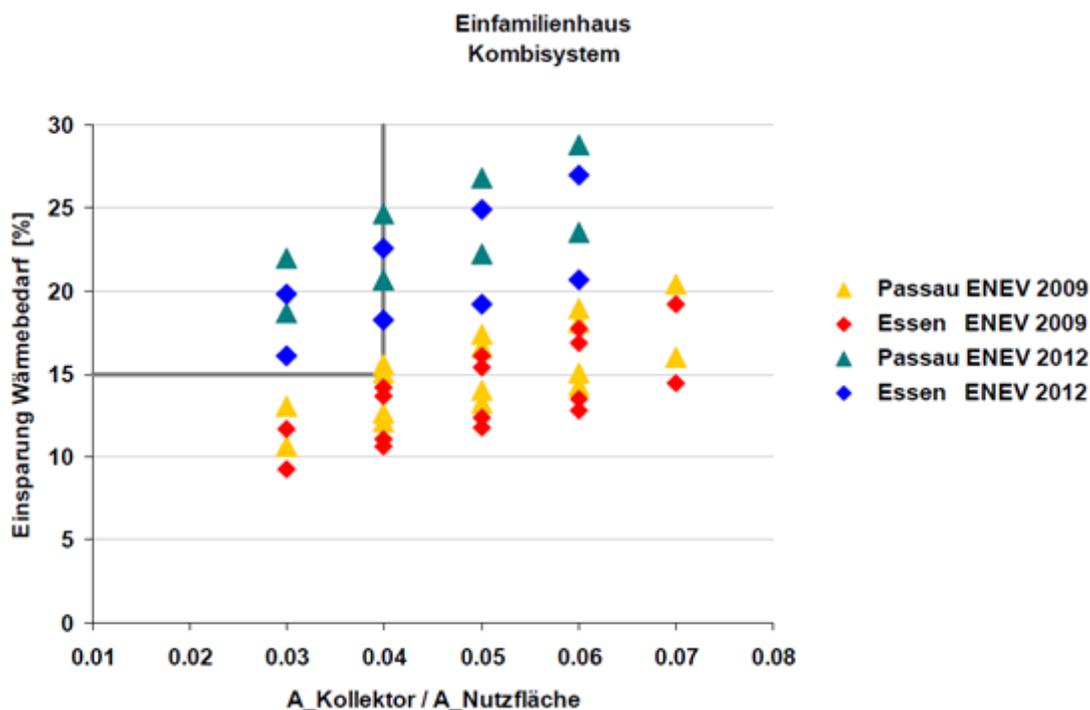
6.5. Auslegung nach Vorgaben aus dem EEWärmeG

Das Erneuerbare- Energien- Wärmegesetz dient nicht als Auslegungshilfe oder Planungsvorgabe, sondern definiert einzig eine Nutzungspflicht für erneuerbare Energien. Zur Erfüllung der Nutzungspflicht unter Verwendung von solarer Strahlungsenergie wird gefordert, dass der Wärmeenergiebedarf zu mindestens 15 % daraus gedeckt wird. Pauschal gilt dieser Anteil als erreicht, wenn 4 % bei Wohngebäuden mit höchstens zwei Wohneinheiten der Gebäudenutzfläche als Aperturfläche installiert sind.

Häufig führen diese pauschalen Angaben zu der falschen Annahme, dass mit diesem Flächenschlüssel der geforderte Deckungsanteil von 15 % erreicht wird. Dem ist jedoch nicht so. Eine Vielzahl von Einflüssen bestimmen den Deckungsanteil einer solarthermischen Anlage (siehe Tabelle 6-6 und Abbildung 6-7).

Tabelle 6-6: Auszug aus den Ergebnissen der Simulationsberechnungen für das Kombisystem im Einfamilienhaus [Fraunhofer]

| Standort | ENEV | Konfiguration | Flächenverhältnis $A_{\text{Kollektor}}/A_N$ | Einsparung Wärmebedarf [%] |
|----------|------|-----------------|---|----------------------------------|
| Passau | 2009 | FK_1000 | 0.06 | 15.0 |
| Passau | 2009 | VRK_direkt_700 | 0.04 | 15.0 |
| Essen | 2009 | VRK_direkt_700 | 0.05 | 15.4 |
| Essen | 2009 | VRK_direkt_1000 | 0.04 | 14.2 |
| Passau | 2012 | FK_700 | 0.03 | 18.6 |
| Passau | 2012 | FK_700 | 0.04 | 20.7 |
| Essen | 2012 | FK_700 | 0.03 | 16.1 |
| Essen | 2012 | FK_700 | 0.04 | 18.3 |



In

Abbildung 6-7: Ergebnisse der Simulationsberechnungen für das Kombisystem im Einfamilienhaus [Fraunhofer]

In der Tabelle 6-7 wird die Mindest-Aperturfläche für ein Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 160 m² berechnet.

Tabelle 6-7: Mindest-Aperturfläche nach den Vorgaben aus dem EEWärmeG

| | |
|---|--------------------------|
| Wohnfläche | 160 m² |
| Beheiztes Gebäudevolumen | 675 m ³ |
| Nutzfläche | 216 m ² |
| Umrechnungsschlüssel 0,04 m ² Aperturfläche je m ² Nutzfläche | |
| Mindest-Aperturfläche | 8,64 m ² |

Aufgrund der Bandbreite an Auslegungshinweisen unterschiedlicher Quellen, der Vielzahl an unterschiedlichen Systemen und der Ergebnisse aus Abbildung 6-7 wurde eine Parameteranalyse in mehreren Schritten durchgeführt, die im Folgenden beschrieben ist.

7. Analyse und Bewertung der Kriterien für eine optimale Dimensionierung

7.1. Regelwerksanalyse

Die Abkürzungen der Verordnungen und Gesetze in dem Energiesektor wirken nicht nur auf viele Bauherren oft verwirrend. Daher an dieser Stelle zunächst eine Aufklärung der Bedeutungen und Funktionen der Verordnungen und Gesetze.

Weiterhin werden wesentliche Normen und Richtlinien genannt, die für Solaranlagen relevant sind und Bedeutung bei der Planung und Installation finden.

7.1.1. EEWärmeG

Das EEWärmeG (Erneuerbare- Energien- Wärmegesetz) ist ein deutsches Bundesgesetz, das den Einsatz von erneuerbaren Energien im Wärme- und Kältesektor beschleunigen soll. Das EEWärmeG schreibt vor, dass Bauherren seit dem 1. Januar 2009 in Neubauten einen Teil des Wärme- bzw. Kältebedarfes aus erneuerbaren Energien decken müssen. Das EEWärmeG griff dem Europäischen Parlament und dem Rat vor, welches erst im April 2009 mit der Richtlinie 2009/28/EG unter anderem eine Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien bei der Wärme- bzw. Kälteerzeugung den Mitgliedsstaaten auferlegt hat.

Das EEWärmeG verpflichtet Bauherren von neu zu errichtenden Gebäuden mit einer Nutzfläche größer 50 m², einen bestimmten Anteil des Wärmeenergiebedarfes durch die Nutzung erneuerbarer Energien zu decken. [EEWärmeG §3 Abs.1] Ausgenommen von dieser Nutzungspflicht sind im Sinne des EEWärmeG Gebäude wie Ställe, fliegende Bauten, offene Hallen und Kirchen. Ebenfalls werden sämtliche Gebäude von der Nutzungspflicht befreit, welche nach dem Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz zum Emissionshandel verpflichtet sind. [EEWärmeG §4] Zur Deckung des Anteils aus erneuerbaren Energien gibt es einige Möglichkeiten. Im Sinne des EEWärmeG gelten Geothermie, Umweltwärme, solare Strahlungsenergie und Biomasse als erneuerbare Energien und führen mit den entsprechenden Nutzungsanteilen zur Erfüllung der Nutzungspflicht. Sofern solare Strahlungsenergie zur Nutzung vorgesehen ist, versteht sich die Nutzungspflicht des EEWärmeG als erfüllt, wenn der Wärmeenergiebedarf zu 15 % aus solarer Strahlungsenergie gedeckt wird. [EEWärmeG §5 Abs.1] Laut Anlage 1 des EEWärmeG führt zum einen ein bestimmtes Flächenverhältnis zwischen Nutzfläche des Gebäudes und Kollektorfläche zur Einhaltung der Forderung (Tabelle 7-1) und zum anderen die Zertifizierung der Kollektoren mit dem europäischen Prüfzertifikat „Solar-Keymark“.

Tabelle 7-1: Flächenschlüssel zur Erfüllung der Anforderungen aus dem EEWärmeG

| Gebäudetyp | Flächenschlüssel |
|-----------------------------|---|
| Ein- und Zweifamilienhäuser | 0,04 m ² Apertur/m ² Nutzfläche |
| Mehrfamilienhäuser | 0,03 m ² Apertur/m ² Nutzfläche |

Die Nutzungspflicht erneuerbarer Energien gilt ebenfalls als erfüllt, wenn entsprechende Ersatzmaßnahmen getroffen werden. Darunter zählen Ersatzmaßnahmen wie Abwärmenutzung, KWK-Nutzung, Wärmeenergieeinsparungen und die Deckung des Wärmeenergiebedarfes aus Nah- bzw. Fernwärmenetzen unter entsprechenden Bedingungen.

7.1.2. EnEG

Das Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG) wurde mittlerweile zum dritten Mal seit 1976 geändert. Ziel dieses Energieeinsparungsgesetzes ist es, eine Gesetzesgrundlage für die Erstellung von Verordnungen über die Anforderungen, Beschaffenheiten und Ausführungen der Anlagentechnik in Gebäuden auf Bundesebene zu schaffen. Auf dieser Gesetzesgrundlage basiert die Energieeinsparverordnung EnEV, auf die im folgenden Kapitel eingegangen wird.

7.1.3. EnEV

Die Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung) kurz EnEV ist ein Teil des deutschen Baurechts. Sie formuliert für Gebäude und Bauprojekte Mindestanforderungen an die gesamte Effizienz der Energienutzung. Die erste Fassung löste die nebeneinander geltende Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagenverordnung am 1. Februar 2002 ab und fasste die genannten Verordnungen zusammen. Die EnEV bildet im Verbund mit anderen Gesetzen und Verordnungen eine wichtige rechtliche Grundlage, um die Klimaschutzziele der Bundesregierung – Reduzierung der CO₂-Emissionen um 40 % gegenüber 1990 bis zum Jahr 2020 – zu erreichen.

Die EnEV bezieht sich auf sämtliche Neubauten und Bestandsgebäude im Sanierungsfall, die unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden und für Anlagen und Einrichtungen der Heizungs-, Kühl-, Raumluft- und Beleuchtungstechnik sowie der Warmwasserversorgung von Gebäuden. Ausgenommen von dieser Verordnung ist der Energieeinsatz für Produktionsprozesse. [EnEV § 1]

Innerhalb der EnEV wird das Zusammenspiel von Anlagentechnik und Gebäudehülle gekoppelt, so dass nicht wie in den vorherigen Verordnungen der Nutzenergiebedarf betrachtet und bewertet wird, sondern der benötigte Endenergiebedarf bzw. über Umrechnungsfaktoren der Primärenergiebedarf. Diese

Vorgehensweise ist im Sinne einer ganzheitlichen Effizienzbeurteilung angebracht und sinnvoll, weil Verluste innerhalb des Energietransports und die Effizienz der Vorketten berücksichtigt werden. Zusammengefasst bedeutet dies, dass die gesamte Nutzung der Energie beurteilt wird und dass zur Einhaltung des maximalen Primärenergiebedarfes (Grenzwertes) unterschiedlichste Möglichkeiten bestehen. Dabei korrelieren Maßnahmen zur Verbesserung der Anlagentechnik und der Gebäudehülle.

Die EnEV formuliert als Hauptkriterium einen maximalen Jahres-Primärenergiebedarf des gesamten Gebäudes. Dieses wird über ein virtuelles Referenzgebäude mit gleicher Geometrie, gleicher Ausrichtung und Gebäudenutzfläche berechnet. Dazu liegen konkrete Richtwerte für sämtliche Bauteile und Verbraucher vor. [EnEV § 3 Abs. 1]

7.1.4. DIN EN 12977

Die europäische Norm DIN EN 12977 legt im ersten Teil Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit von kleinen und großen kundenspezifisch gefertigten thermischen Solaranlagen für Heizung und Kühlung mit einem flüssigen Wärmeträgermedium im Kollektorkreis fest, die für den Einsatz in Wohngebäuden und Gebäuden ähnlicher Nutzung vorgesehen sind. Eine kundenspezifisch gefertigte Anlage kann sowohl zur reinen Warmwasserunterstützung als auch zur kombinierten Warmwasser- und Heizungsunterstützung sein. Der Unterschied zwischen einer kundenspezifischen und einer vorgefertigten Solaranlage liegt in der Zusammenstellung der Komponenten. Bei einer vorgefertigten Solaranlage wird diese Zusammenstellung vom Hersteller übernommen, wobei eine kundenspezifische Anlage vom Fachplaner zusammengestellt wird und eventuell sogar Komponenten unterschiedlicher Hersteller verwendet werden. Die DIN EN 12977 befasst sich im ersten Teil mit den Anforderungen an den Entwurf kundenspezifisch gefertigter Anlagen. In den weiteren Teilen zwei bis fünf werden Prüfverfahren genannt und beschrieben, mit dessen Ergebnissen es möglich ist, die Festlegungen aus dem ersten Teil zu überprüfen.

Teil 2: Prüfverfahren für die Charakterisierung der Wärmeleistung und die Voraussage der zu erwartenden Anlagenleistung.

Teil 3: Prüfverfahren zur Bestimmung aller Kennwerte, um das thermische Verhalten des Warmwasserspeichers in einer kundenspezifischen Solaranlage zu beschreiben. (Alternativ: DIN EN 12897)

Teil 4: Prüfverfahren für die Beschreibung der Leistung des thermischen Speichers.

Teil 5: Prüfverfahren für die Leistung, Genauigkeit, Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit der Regeleinrichtungen.

Das Prüfverfahren des RAL, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., beinhaltet die ersten drei Teile der DIN EN 12977 als auch die alternativ genannte DIN EN 12897.

7.1.5. DIN EN 13203

Die DIN EN 13203 befasst sich mit gasbeheizten Geräten zur Warmwasserbereitung, im dritten Teil der DIN EN 13203 werden diese mit solarer Unterstützung behandelt. In dem im Dezember 2010 herausgegebenen überarbeiteten dritten Teil dieser Norm werden die Anforderungen und Prüfmethode sowie Kriterien zur Bewertung des Energieverbrauchs eines vorgefertigten solarunterstützten Gasgerätes definiert.

7.1.6. DIN EN 15316 T 4-3

Diese Norm stammt aus einer Reihe von Normen, in der es um die Berechnung der Energieanforderung und Nutzungsgrade von Heizungsanlagen in Gebäuden geht.

Der Teil 4-3 behandelt speziell thermische Solaranlagen und stellt Verfahren zur Berechnung der erforderlichen Energieaufnahme sowie zur Berechnung der Wärmeverluste und des Hilfsenergieverbrauchs derartiger Anlagen vor. Die Berechnungen beruhen auf Leistungskenngrößen der zum System gehörenden Produkte.

Dieses Verfahren kann dazu verwendet werden, vorhandene Systeme zu überprüfen oder zu optimieren. Dadurch kann beispielsweise eine mögliche Energieeinsparung durch Hinzufügen einer Solaranlage zu einem bestehenden Wärmeerzeugersystem bestimmt werden.

7.1.7. VDI 6002 Blatt 1

Schwerpunktmäßig behandelt diese vom VDI herausgegebene Richtlinie die solare Trinkwarmwassererwärmung für Mehrfamilienhäuser. Angenommen wird eine Kollektorfläche die größer als 20 m² ist. Die Richtlinie ist jedoch genauso gut für kleine Anlagen von Ein- bis Zweifamilienhäusern geeignet, da sich die Aussagen in den meisten Fällen decken. Sollten doch mal Abweichungen vorliegen, wird darauf hingewiesen. Die Richtlinie gibt einen sehr detaillierten Einblick in die Systemtechnik und die Komponentenauslegung. Sie erklärt, welche Aspekte bei jedem Bauteil bei der Auslegung zu berücksichtigen sind. Somit sind alle wichtigen und planungsrelevanten Daten in einem Dokument zusammengefasst. Vor dem Hauptteil werden noch einführende Informationen zu den Solarkollektoren, deren Bauart und Kennwerte genannt. Darüber hinaus befasst sich ein Kapitel mit einer vereinfachten Wirtschaftlichkeitsberechnung. Eine ausführliche Berechnung soll im Rahmen der VDI 2067 Blatt 40 mit dem Titel „Energieaufwand der Erzeugung – Solaranlagen“ noch folgen. Das letzte Kapitel setzt sich mit der Abnahme, der Instandhaltung und

dem Betrieb der Solaranlage auseinander. Im Anhang befinden sich noch zu verschiedenen Themen einige Beispielrechnungen.

7.1.8. EN ISO 9488

Die internationale Organisation für Normung schaffte mit dieser Norm einheitlich grundlegende Begriffe und entsprechendes Vokabular für Solaranlagen. Das Vokabular ist in folgende Abschnitte aufgeteilt:

- Geometrie der Sonnenbahn
- Begriffe und Größen für die Strahlung
- Strahlungsmessung
- Strahlungseigenschaften und Strahlungsvorgänge
- Innen- und Außenklima
- Kollektortypen
- Kollektortypen und entsprechende Größen
- Systemtypen
- Weitere Systemkomponenten und entsprechende Größen
- Nicht solarspezifische Begriffe

7.2. Analyse zur Bestimmung der sensitiven Parameter

Zur Identifizierung der Wirkbeziehungen und der Effizienzeinflüsse zwischen den Systemparametern einer solarthermischen Anlage wird für verschiedene Systeme im Einfamilienhausbereich eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Die Sensitivitätsanalyse erfolgt in 5 aufeinander folgenden Schritten jeweils für einen Bestandsbau nach Energiestandard von 1978 und einen Neubau nach den Anforderungen der EnEV 2009. Die Analyse orientiert sich an der in Abbildung 7-1 dargestellten Vorgehensweise.

Die Sensitivitätsanalyse erhebt nicht den Anspruch einer allgemeingültigen Dimensionierungsvorlage. Sie liefert grundlegende Erkenntnisse über die Zusammenhänge von ökonomischen und ökologischen Einflüssen der Anlagenparameter.

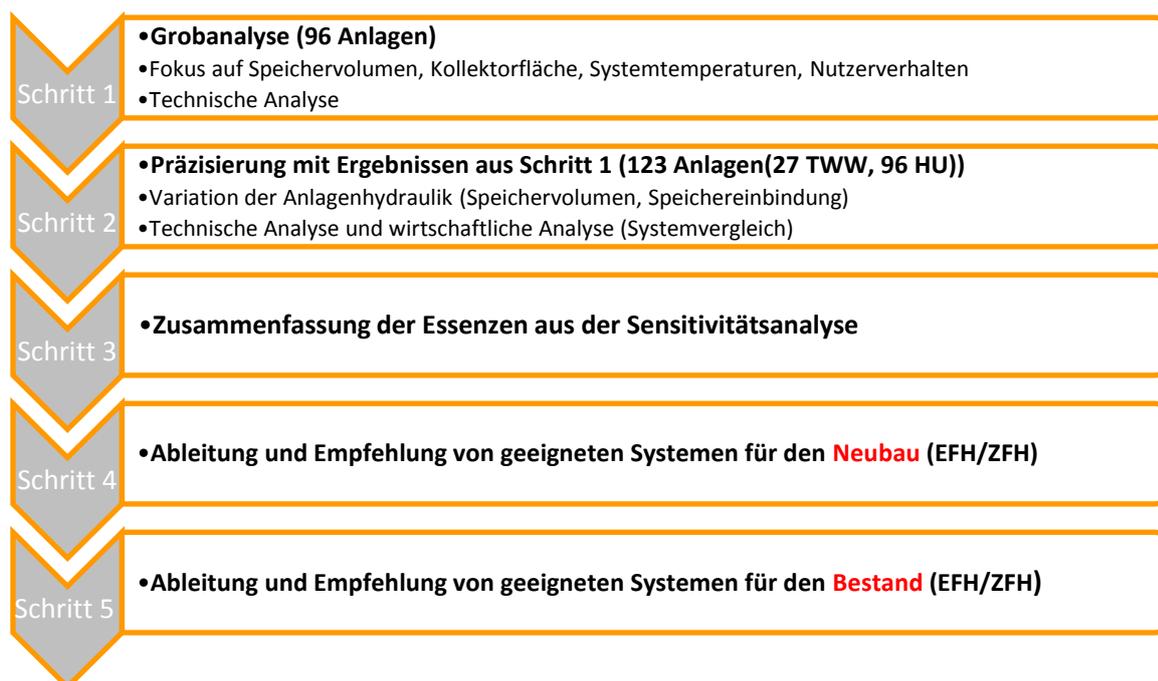


Abbildung 7-1: Vorgehensweise der Sensitivitätsanalyse

In Schritt 1 erfolgt zunächst eine Grobanalyse ohne eine Fokussierung auf einzelne Parameter. Die Ergebnisse aus Schritt 1 führen zu einer Präzisierung mit dem Fokus auf die Anlagenhydraulik, insbesondere das Speichervolumen und die hydraulische Verschaltung. Im Schritt 2 wird neben der technischen Analyse auch eine wirtschaftliche Analyse durchgeführt. In der wirtschaftlichen Analyse werden die Ergebnisse unter ökonomischen Gesichtspunkten betrachtet und entsprechende Kennwerte gebildet.

Die technische Analyse beleuchtet die energetisch relevanten Einflüsse der Parameter von Anlagentypen

- zur solaren Trinkwassererwärmung und
- zur solaren Heizungsunterstützung.

In Schritt 3 werden die Ergebnisse aus den Simulationen von insgesamt 219 Solarthermieanlagen zusammengefasst. Aus der Vielzahl der Simulationen resultiert ein theoretisches Abbild der gängigsten Praxisanlagen im Ein- und Zweifamilienhausbereich. Die Ergebnisse der theoretischen Analyse werden in ganzheitliche Handlungsempfehlungen für geeignete Systeme im Neubau (Schritt 4), als auch im Bestand (Schritt 5) übertragen.

7.2.1. Sensitivitätsanalyse, Schritt 1

Der Schritt 1 dient als Ausgangsbasis der folgenden Sensitivitätsanalyse. Durch die Variation der Kollektorfläche (6,84/13,68/22,8 m²), des Pufferspeichervolumens

(250/500/1000/1500 l) und der Anpassung der Vorlauftemperatur der Heizung als auch der Trinkwarmwasserauslauftemperatur (je 55 / 40°C) folgen 96 Anlagenkonfigurationen, welche in Kombination mit dem bereits definierten Einfamilienhaus (nach Standard der EnEV 2009, siehe Tabelle 6-5) simuliert werden.

Sämtliche Berechnungsergebnisse sind in der 3-dimensionalen Darstellung in Abbildung 7-2 zusammengefasst. Auf der x-Achse sind die Kollektorflächen über dem täglichen Warmwasserbedarf (70/140 l) aufgetragen. Die z-Achse stellt das Speichervolumen über den Systemtemperaturen dar. Als Bewertungsgröße wird die solare Deckungsrate am Wärmeenergiebedarf¹ des Gebäudes herangezogen. Diese ist auf der y-Achse aufgetragen. Somit kann für beliebige Anlagenkonfigurationen eine Deckungsrate abgelesen werden.

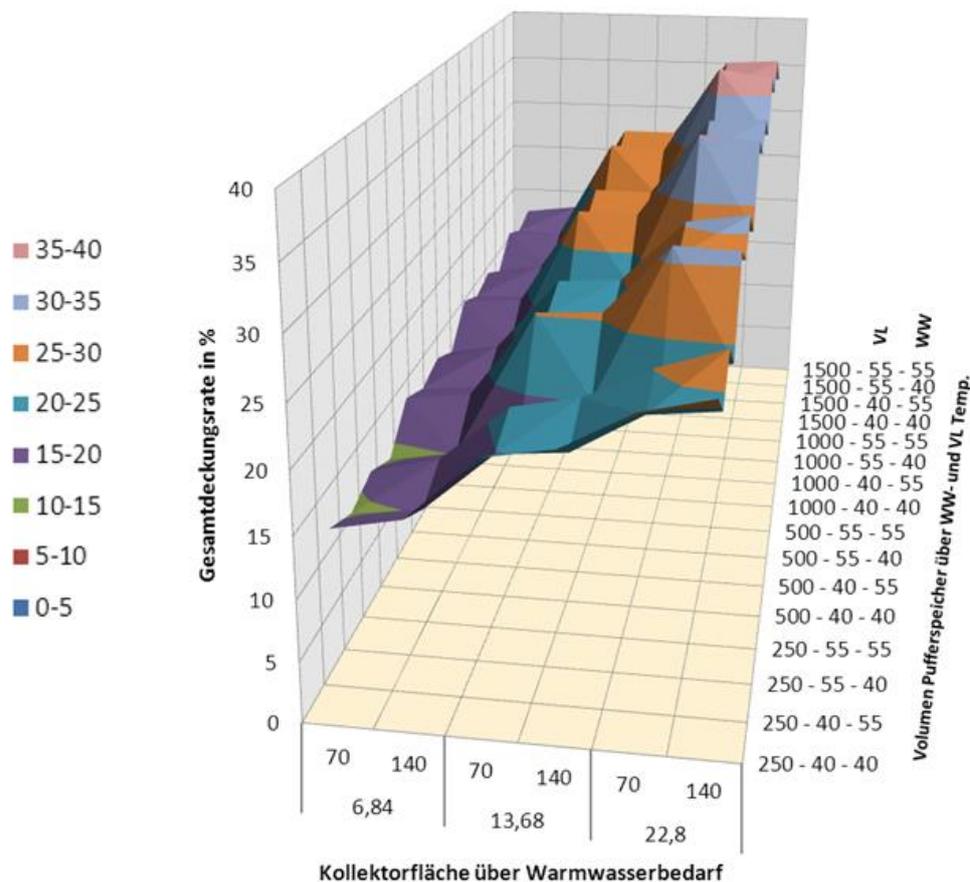


Abbildung 7-2: Darstellung der Sensitivitätsanalyse

Im Durchschnitt liegt die solare Deckungsrate von sämtlichen Anlagenkonfigurationen bei ca. 24 %. Im schlechtesten Fall beträgt der Anteil der solaren Energie am Wärmeenergiebedarf des Einfamilienhauses ca. 14 %, während im besten Fall ca. 37 % solare Deckungsrate erzielt werden können. Die enorme

¹ ... jeweils einschließlich der Aufwände für Übergabe, Verteilung und Speicherung jährlich benötigte Wärmemenge.

Schwankungsbreite von 23 Prozentpunkten unterstreicht die Komplexität des Gesamtsystems.

Die stärksten Auswirkungen auf die solaren Deckungsraten gehen von der Kollektorfläche und dem Speichervolumen aus. Mit steigender Kollektorfläche nimmt auch der Effizienzeinfluss der einzelnen Parameter zu. Insbesondere bei großen Solaranlagen (22,8 m² Kollektorfläche) sollte auf ein angemessenes Speichervolumen geachtet werden.

Sämtliche Anlagenkonfigurationen basieren auf einer Anlagenhydraulik bestehend aus einem Pufferspeicher mit einem externen Frischwassermodul. Da in der Praxis jedoch verschiedene Anlagenhydrauliken angetroffen werden (siehe Kapitel 5.6), müssen die Anlagen auch unter hydraulischen Aspekten betrachtet werden.

7.2.2. Sensitivitätsanalyse, Schritt 2

Die Ergebnisse aus Schritt 1 führen zu einer detaillierten Betrachtung der Zusammenhänge zwischen der Anlagenhydraulik und der Dimensionierung der Kollektorfläche. Im Schritt 2 wird die Sensitivitätsanalyse dem entsprechend um die Bewertung der Anlagenhydraulik erweitert.

Aus der Kombination der Systemparameter ergibt sich ein Spektrum aus 27 Anlagen, welche nur zur solaren Warmwasserbereitung betrieben werden. Die Anlagen zur Heizungsunterstützung werden separat betrachtet. Die Tabelle 7-2 zeigt die entsprechenden Systemparameter der Anlagen zur solaren Trinkwassererzeugung.

Tabelle 7-2: Systemparameter der Sensitivitätsanalyse, nur Warmwasserbereitung

| Systemparameter | Variationsschritte | | |
|--|--------------------------|--|---|
| Variante 1 (nur TWW) | | | |
| Aperturfläche (FK) in m ² | 4,56 | 6,84 | 13,68 |
| Speichervolumen in l (exkl. 150 l TWW Speicher) | 150 | 250 | 400 |
| Hydraulische Speicheranbindung | Bivalenter Solarspeicher | 1 Bivalenter Solarspeicher + 150 l Vorwärm-Solarspeicher | (Kaskade) 1 Vorwärm-Solarspeicher + 150 l TWW-Speicher |
| Warmwasserbedarf in l/d | 140 | | |
| Warmwassertemperatur in °C | 55 | | |

In der Tabelle 7-3 sind die Systemparameter der Anlagen zur solaren Heizungsunterstützung dargestellt.

Tabelle 7-3: Systemparameter der Sensitivitätsanalyse, solare Heizungsunterstützung Neubau /Bestand

| Systemparameter | Variationsschritte | | | |
|--|--|-----|--|------------------------------------|
| Variante 2 (TWW + Heizung.) | | | | |
| Kollektorfläche (FK) in m ² | 13,68 | | 22,8 | |
| Speichervolumen in l (exkl. 150 l TWW Speicher) | 200 | 400 | 750 | 1500 |
| Hydraulische Speicheranbindung | Pufferspeicher + Frischwassermodul + Rücklaufanhebung bei ausreichender Temperatur | | Pufferspeicher + Frischwassermodul + Rücklauf fest | TWW (150 l) + Pufferspeicher |
| Warmwasserbedarf in l/d | 140 | | | |
| Warmwassertemperatur in °C | 55 | | 40 | |
| Systemtemperaturen Neubau Heizung t _{VI} /t _{RL} in °C | 55/40 | | 40/30 | |
| Systemtemperaturen Bestand Heizung t _{VI} /t _{RL} in °C | 70/55 | | 55/40 | |

Aus der Kombination resultieren 96 Kombianlagen zur solaren Heizungsunterstützung.

Inklusive der 27 Anlagen zur Trinkwarmwassererzeugung ergeben sich 123 Solaranlagen. Diese werden erneut auf Basis der Referenzgebäude, Neu- und Bestandsbau (siehe Tabelle 6-5) für den Zeitraum eines Jahres simuliert. In den Tabellen 7-4 und 7-5 sind die betrachteten Anlagenhydrauliken der Anlagen zur Heizungsunterstützung und zur reinen Trinkwarmwasserbereitung dargestellt.

Tabelle 7-4: Hydraulikschemen der Solaranlagen zur Trinkwarmwasserbereitung

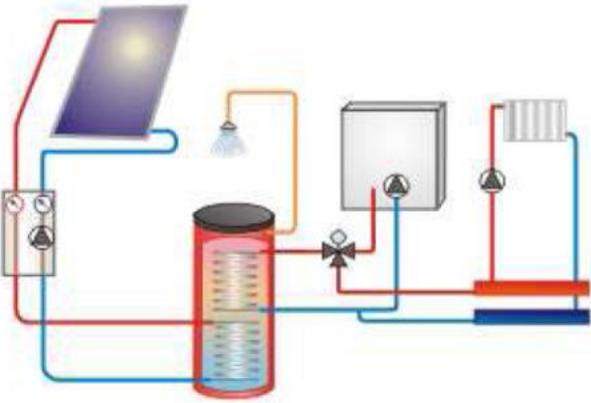
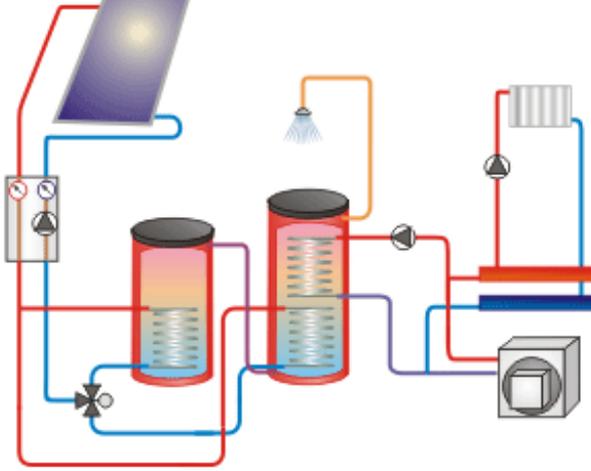
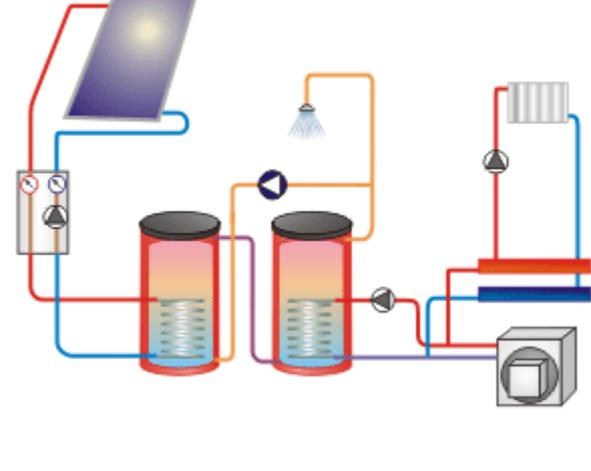
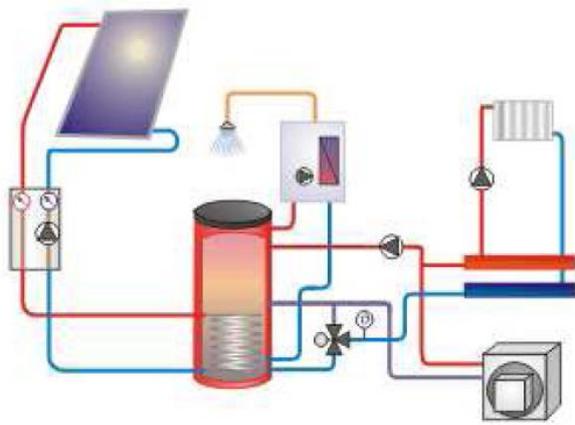
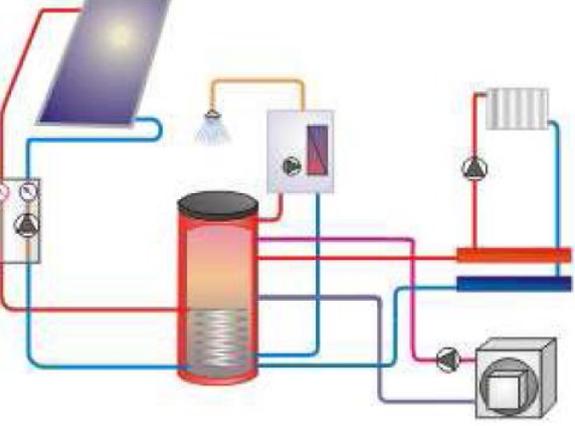
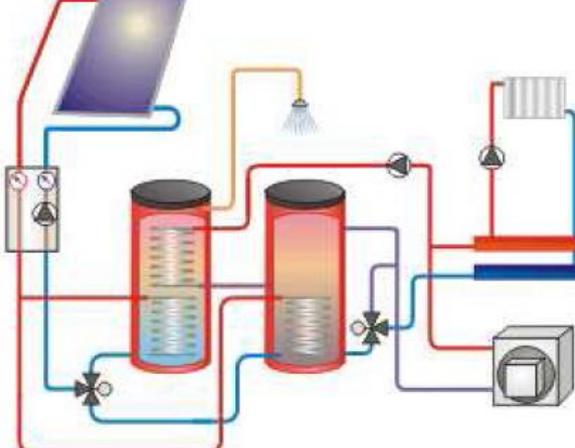
| Hydraulikschema | Anlagenbeschreibung |
|---|---|
|  | <p>1. Bivalenter Solarspeicher (nur TWW)</p> |
|  | <p>2. Bivalenter Solarspeicher + (150 l fest) Vorwärm-Speicher-Solarspeicher (nur TWW)</p> |
|  | <p>3. (Kaskade) Vorwärm-Solarspeicher + (150 l fest) TWW-Speicher (konventionelle beheizt) (nur TWW)</p> |

Tabelle 7-5: Hydraulikschemen der Solaranlagen zur Heizungsunterstützung

| Hydraulikschema | Anlagenbeschreibung |
|---|---|
|  | <p>4. Pufferspeicher mit externem Frischwasserwärmetauscher inkl. Rücklaufanhebung bei ausreichender Speichertemperatur unten</p> |
|  | <p>5. Pufferspeicher mit externem Frischwasserwärmetauscher, Vorlauf fest, Rücklauf fest</p> |
|  | <p>6. Zweispeichervariante, TWW-Speicher (150 l fest) + Pufferspeicher</p> |

7.2.2.1. Ergebnisse „solare Anlagen zur Trinkwarmwasserbereitung“

Die Abbildungen 7-3, 7-4 und 7-5 veranschaulichen den Einfluss der Kollektorflächen und der Speichervolumina auf die solaren Deckungsraten am Wärmeenergiebedarf (primäre y-Achse). Zusätzlich zur Deckungsrate des Wärmeenergiebedarfs ist auf der sekundären y-Achse die Primärenergieeinsparung aufgetragen. Die absoluten solaren Erträge verlaufen bei sämtlichen Anlagen zwischen 1400 bis 2600 kWh pro Jahr.

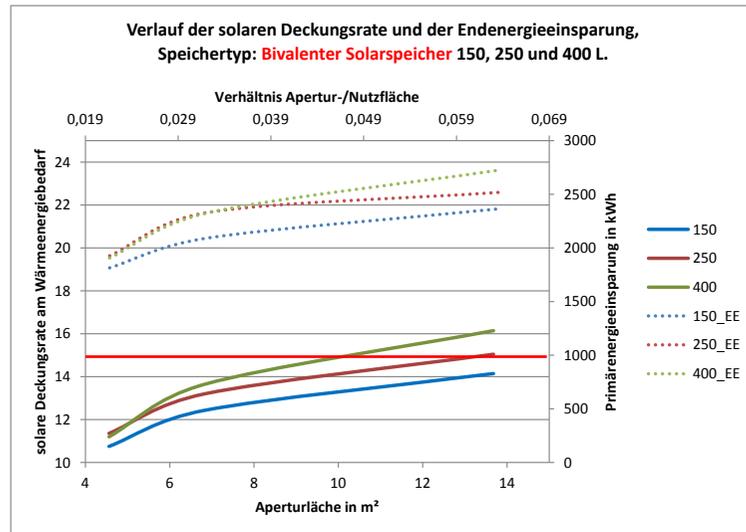


Abbildung 7-3:
 Solare Deckungsrate und Endenergieeinsparung über Aperturfläche

EE = Energieeinsparung

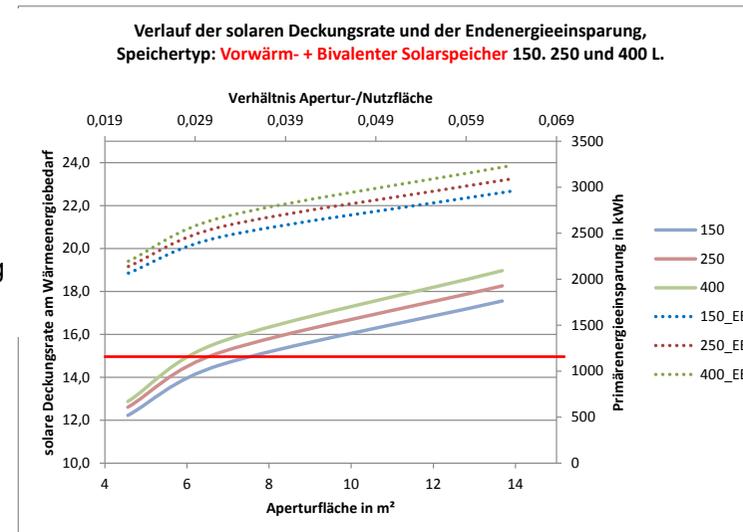


Abbildung 7-4: Solare Deckungsrate und Endenergieeinsparung über Aperturfläche

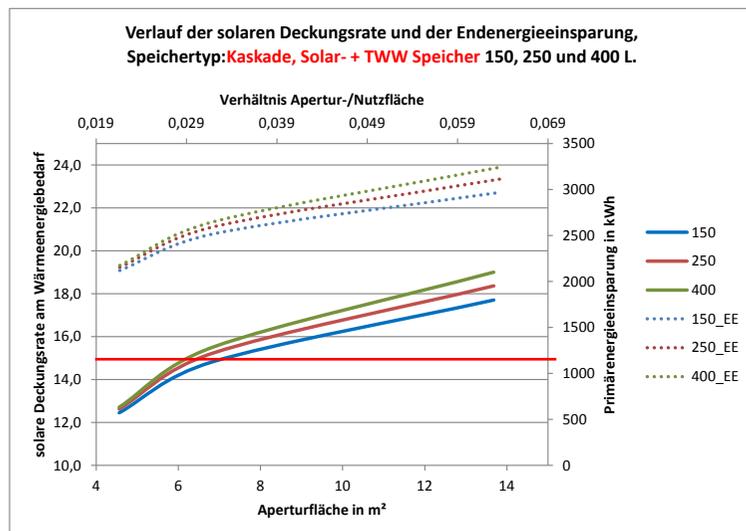


Abbildung 7-5:
 Solare Deckungsrate und Endenergieeinsparung über Aperturfläche

Es ergeben sich solare Deckungsraten am Wärmeenergiebedarf zwischen 10 bis 19 % und Primärenergieeinsparungen bis zu 3250 kWh (sekundäre y-Achse). Aus der CO₂-Bewertung ergibt sich eine durchschnittliche Einsparung von 470 kg pro Jahr, maximal ist mit den Anlagen zur solaren Trinkwarmwassererwärmung eine CO₂-Reduktion von 616 kg im Jahr möglich.

Im Vergleich zum Deckungsanteil am Wärmeenergiebedarf liegt die Deckungsrate am Trinkwarmwasserenergiebedarf zwischen 51–82 %, im Durchschnitt bei dem Wert von 66 % (typischer Wert bei Auslegung mit 100 - prozentiger Deckung im Sommer).

Aus den Abbildungen geht hervor, dass selbst mit Anlagen zur reinen solaren Trinkwarmwassererwärmung der Anforderungswert des EEWärmeG erfüllt werden kann. Insgesamt erfüllen mehr als ein Drittel der simulierten Anlagen diese Anforderungen (15 % Deckungsrate).

7.2.3. Ergebnisse „solare Anlagen zur Heizungsunterstützung“

Die Abbildungen 7-7 bis 7-17 stellen die Simulationsergebnisse der Solarthermieanlagen zur Heizungsunterstützung dar. Als Bewertungskriterien sind die Einflüsse der Anlagenhydraulik (hydraulische Speichereinbindung, Speichervolumina), der Aperturflächen und des Gebäudetyps (Bestandsbau, Neubau) angeführt. Die Darstellungen erfolgen differenziert für jedes Speichersystem.

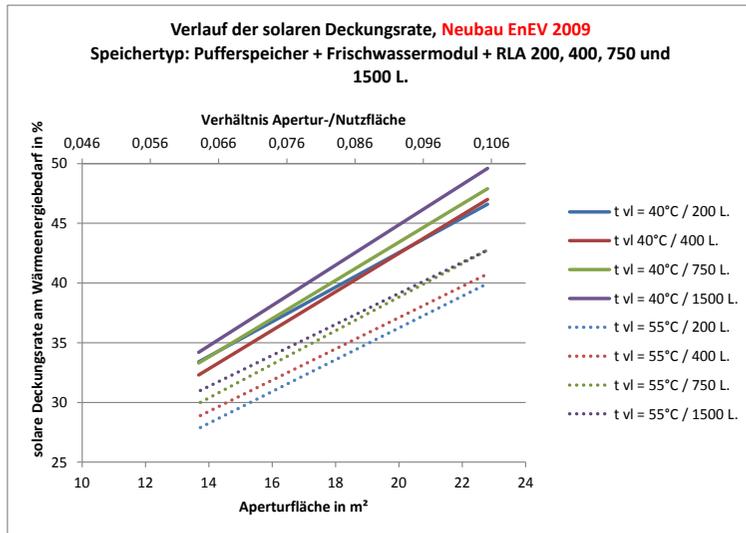


Abbildung 7-7:
 Neubau, solare
 Deckungsrate
 über
 Aperturfäche

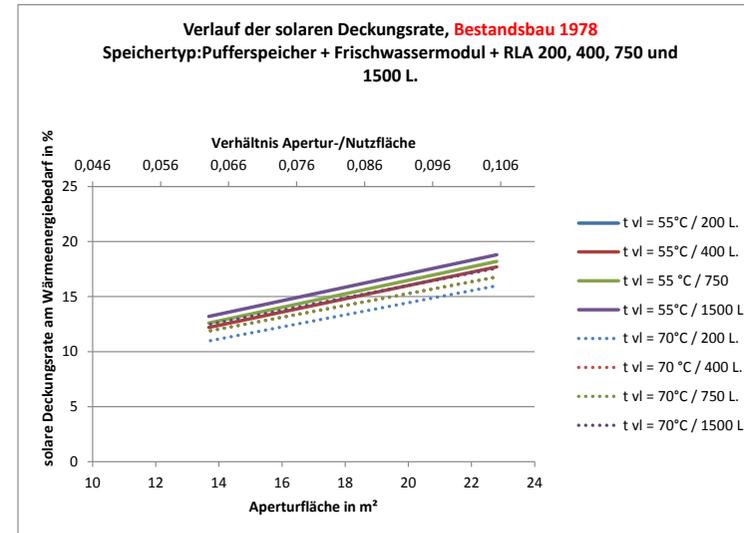


Abbildung 7-6:
 Bestandsbau, solare
 Deckungsrate über
 Aperturfäche

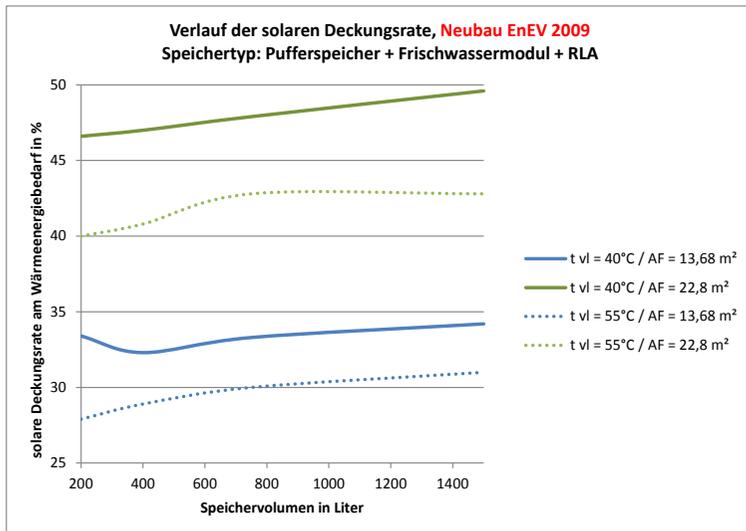


Abbildung 7-9:
 Neubau, solare
 Deckungsrate
 über
 Speichervolumen

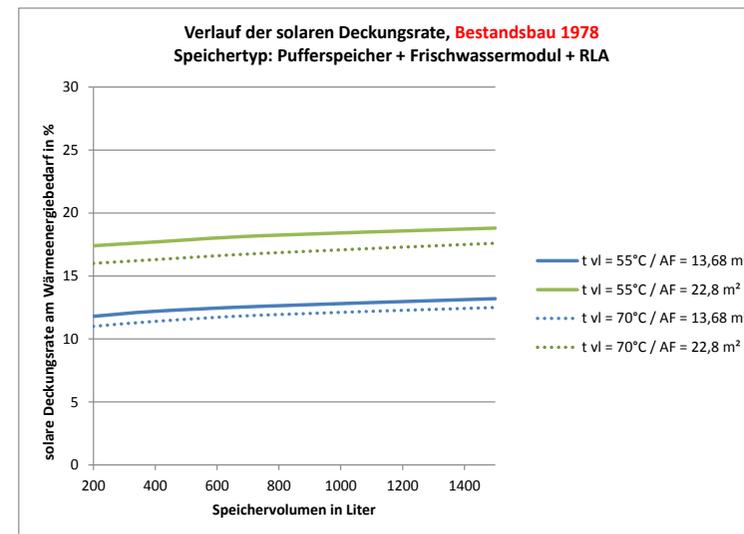


Abbildung 7-8:
 Bestandsbau, solare
 Deckungsrate über
 Speichervolumen

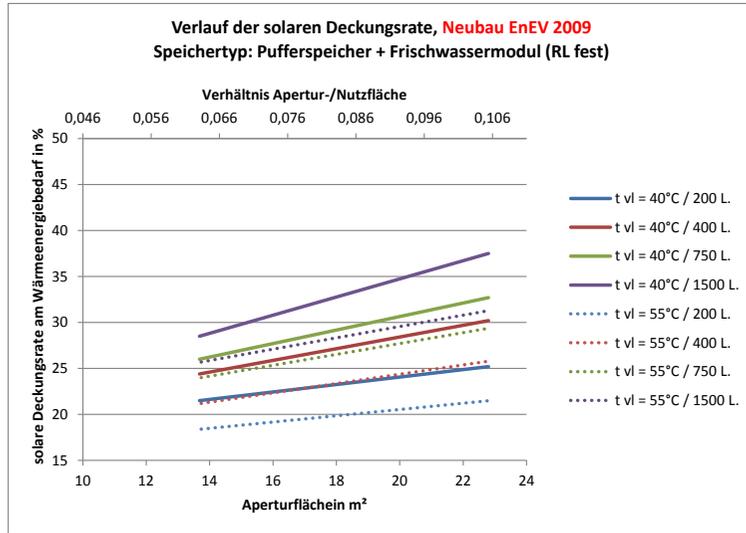


Abbildung 7-11:
 Neubau, solare
 Deckungsrate
 über
 Aperturfäche

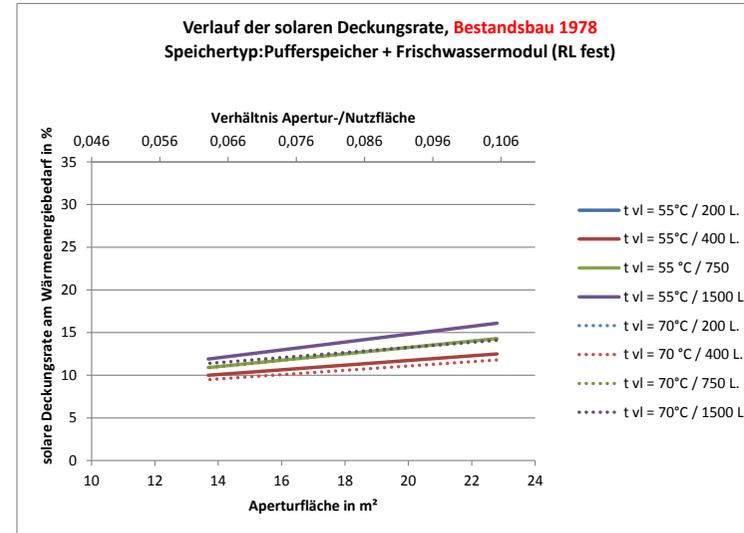


Abbildung 7-10:
 Bestandsbau,
 solare
 Deckungsrate
 über Aperturfäche

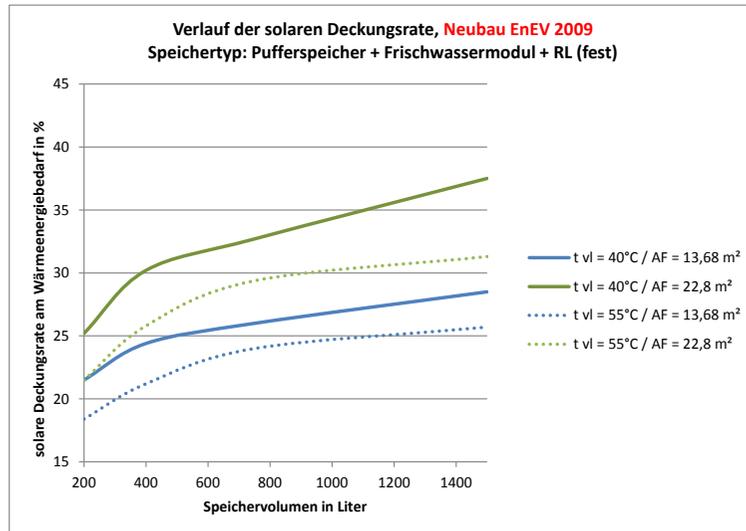


Abbildung 7-12:
 Neubau, solare
 Deckungsrate über
 Speichervolumen

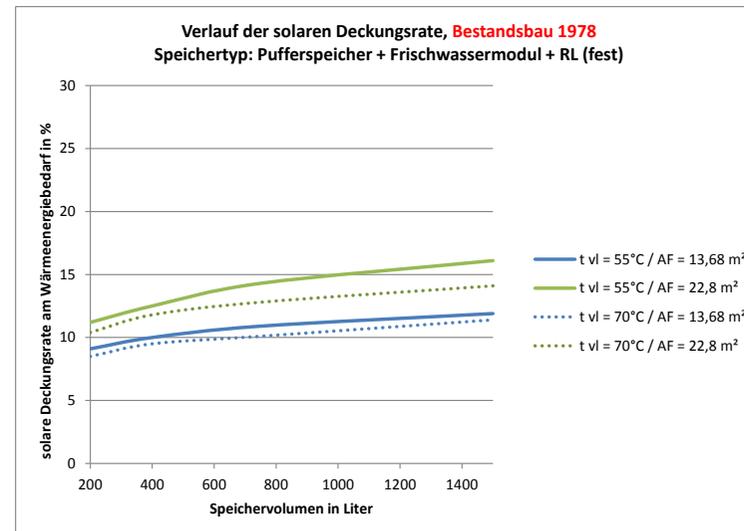


Abbildung 7-13:
 Bestandsbau, solare
 Deckungsrate über
 Speichervolumen

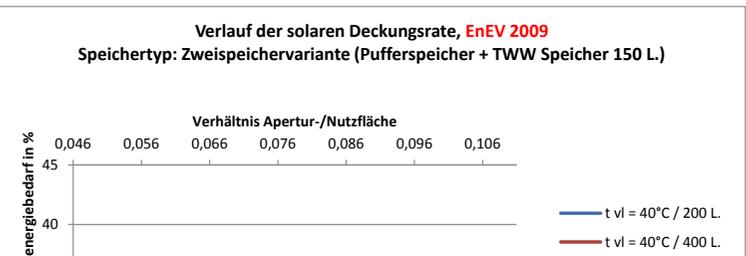


Abbildung 7-15:
 Neubau, solare
 Deckungsrate über
 Aperturfäche

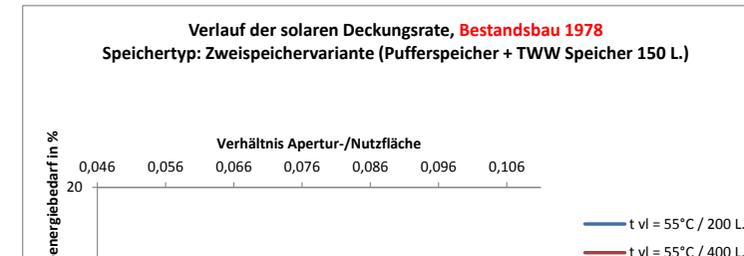


Abbildung 7-14:
 Bestandsbau,
 solare
 Deckungsrate
 über
 Aperturfäche

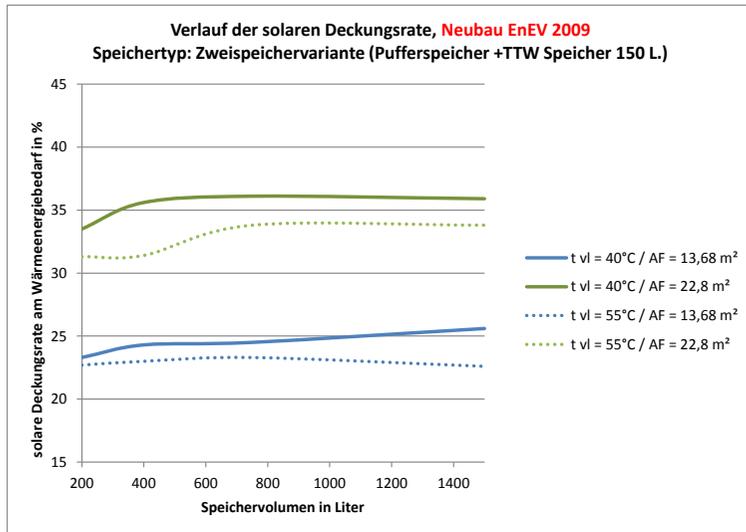


Abbildung 7-17:
 Neubau, solare
 Deckungsrate
 über
 Speichervolumen

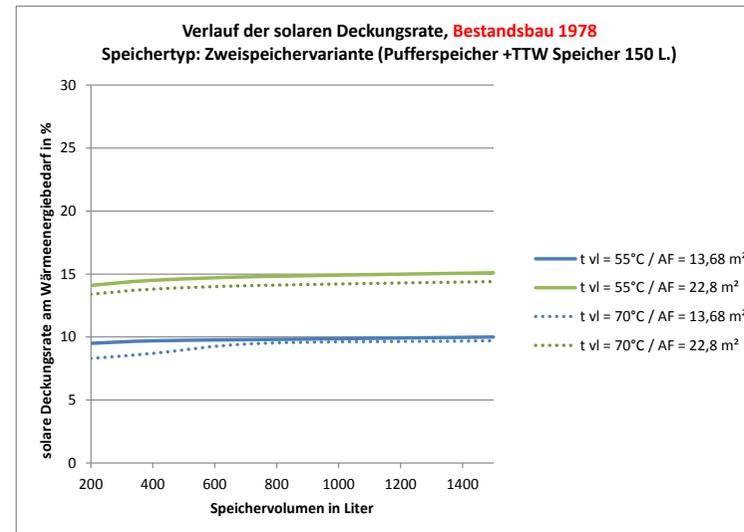


Abbildung 7-16:
 Bestandsbau,
 solare
 Deckungsrate über
 Speichervolumen

Nachfolgend sind die zentralen Ergebnisse der einzelnen Speichersysteme aufgezeigt. Eine komprimiertere Darstellung liegt in Tabelle 7-6 vor.

System Pufferspeicher + Frischwassermodul + Rücklaufanhebung

Die Abbildungen Abbildung 7-6 bis Abbildung 7-9 zeigen die Ergebnisse für das System bestehend aus einem Pufferspeicher mit externen Frischwassermodul und Rücklaufanhebung bei ausreichender Wassertemperatur im unteren Pufferspeicherbereich (siehe Tabelle 7-5, Nummer 4).

Für die Simulationen im Neubau ergeben sich bei diesem System Deckungsraten am Wärmeenergiebedarf von 28 bis zu 49 %, im Mittel bei 38 %. Weiterhin ist bei den Deckungsraten ein deutlicher Einfluss der Systemtemperaturen der Heizung zu erkennen. Eine Reduzierung der Vorlauftemperatur von 55 °C um 15 Kelvin führt im Durchschnitt bereits zu einer Steigerung der solaren Deckungsrate von ca. 5 %. Die Vorlauftemperatur hat zudem Auswirkungen auf den Einfluss der Speichervolumina (siehe Abbildung 7-8). Ab einem Speichervolumen von ca. 750 l und einer Vorlauftemperatur von 55 °C führt eine Speichervergrößerung nicht mehr zu Steigerungen der solaren Deckungsrate.

Wird als Simulationsgrundlage der Bestandsbau von 1978 herangezogen, liegen die Deckungsraten des Wärmeenergiebedarfs zwischen 11 bis 19 %. Es ist zu erkennen, dass der Einfluss der Speichervolumina geringer ausfällt als bei gleicher Anlage im Neubau. Eine Erhöhung des Speichervolumens von 200 auf 1500 l führt maximal zu einer Steigerung der solaren Deckungsrate von 1,5 Prozentpunkten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass auf Grund des höheren Wärmebedarfs häufiger eine Gleichzeitigkeit zwischen solarem Angebot und einer Wärmenachfrage gegeben ist.

Um die Auswirkungen zunehmender Kollektorfläche zu quantifizieren wurde der Gradient ermittelt. Im Neubau verläuft der Gradient deutlich steiler, hier führt die Steigerung um einem Quadratmeter Aperturfläche zu einer Steigerung der Deckungsrate von ca. 1,5 Prozentpunkten, hingegen nur 0,5 Prozentpunkte im Bestandsbau. Unter der Berücksichtigung, dass der Wärmeenergiebedarf im Bestandsbau ca. dem dreifachen des Wärmeenergiebedarfs im Neubau entspricht, relativiert sich dieser Sachverhalt. Die Zunahme der Kollektorflächen hat für den Bestands- bzw. Neubau quantitativ betrachtet ähnliche Auswirkungen zur Folge.

Die niedrigen Systemtemperaturen im Neubau führen zu höheren Kollektorauslastungen. Der spezifische Kollektorertrag ist eine wesentliche Beurteilungsgröße für die Auslastung, Dimensionierung und Betriebsweise der Anlage. Je höher der Wert, desto mehr Energie bringt die Kollektoranlage in das System ein. Der spezifische Kollektorertrag ist dann besonders hoch, wenn die Kollektorfläche entsprechend dem Nutzungsschwerpunkt optimal ausgerichtet und verschattungsfrei ist. Das Einstrahlungsoptimum muss dabei nicht das Ertragsoptimum sein. [Viessmann] Dieser Zusammenhang geht aus der Betrachtung

der spezifischen Kollektorerträge hervor. Im Neubau ist die Kollektorauslastung aufgrund der geringeren Systemtemperaturen im Durchschnitt um 20 kWh/m² höher. Der spezifische Kollektorertrag liegt im Mittel aus allen Simulationen für Neubau und Bestand bei 280 kWh/m²a, maximal können 348 kWh/m²a der solaren Einstrahlung genutzt werden.

System Pufferspeicher + Frischwassermodul (Rücklauf fest)

Kongruent zu der Darstellung des Systems aus Pufferspeicher mit Frischwassermodul und Rücklauf Temperaturanhebung erfolgt in den Abbildungen Abbildung 7-11 bis 7-12 die Darstellung der Simulationsergebnisse für das System bestehend aus Pufferspeicher mit Frischwassermodul (siehe Tabelle 6-5, Nummer 3). Der wesentliche Unterschied besteht hier in der Anordnung des Heizungsrücklaufs zum Pufferspeicher. Der Rücklauf zum Pufferspeicher ist entgegen der vorherigen Variante fest im unteren Bereich des Pufferspeichers eingebunden.

Für den Neubau liegen die solaren Deckungsraten zwischen 18 bis 38 %, im Mittel bei 26 %. Der Einfluss der Systemtemperaturen verhält sich qualitativ wie bei dem System mit Rücklauf Temperaturanhebung und geht im Neubau bei 15 K Temperaturabsenkung mit einer durchschnittlichen Deckungsratensteigerung von 4 Prozentpunkten einher. Die Zunahme des Speichervolumens wirkt sich bei dieser Variante deutlicher aus, insbesondere bei reduzierter Vorlauf Temperatur und großer Kollektorfläche. Die Kollektorauslastung liegt im Neubau im Durchschnitt bei 206 kWh/m²a, maximal bei 290 kWh/m²a sowie im Bestand durchschnittlich bei 215 kWh/m²a und maximal ebenso bei 290 kWh/m²a. Die Simulationen ergeben für den Bestand Deckungsraten von 8 bis 16 %.

System Pufferspeicher + TWW Speicher (150 l)

Das System Pufferspeicher + TWW Speicher besteht aus zwei in Reihe geschalteten Speichern, wobei das Volumen für den TWW-Speicher in den Simulationen auf 150 l festgesetzt ist. Die Darstellung der Simulationsergebnisse erfolgt in den Abbildungen 7-14 bis 7-17.

Die Simulationen ergeben für den Neubau Deckungsraten von 22 – 36 % (Bestand 8 – 15 %). Die Abbildungen 7-16 und 7-17 veranschaulichen den Einfluss des Speichervolumens. Im Neubau ist bei einer Vorlauf Temperatur von 40 °C schon ab einem Speichervolumen von 400 l eine Stagnation der solaren Deckungsrate zu erkennen. Mit Zunahme der Vorlauf Temperatur verschiebt sich dieser Punkt auf ein Speichervolumen von ca. 750 l. Im Bestand wird deutlich, dass das Speichervolumen in den gewählten Bereichen nahezu keinen Einfluss auf die solaren Deckungsraten hat. Die durchschnittliche Kollektorauslastung liegt für Neubau und Bestand jeweils bei 213 kWh/m²a.

7.2.4. Wirtschaftliche Analyse

Die energetisch relevanten Parameter ergeben nur im Zusammenhang mit einer wirtschaftlichen Bewertung eine Basis für eine vollständige Beurteilung von verschiedenen Solarthermiekonzepten im System Ein- bzw. Zweifamilienhaus. Die energetische Effizienz steht dabei unmittelbar mit den Kosten für die solare Wärmeherzeugung in Verbindung, wobei das energetische Optimum nicht dem ökonomischen Optimum entsprechen muss.

In Anlehnung an die VDI Richtlinie 2067 werden folglich die solaren Wärmegestehungskosten ermittelt. Die Ergebnisse dienen nicht als eine allgemeingültige Kostenangabe, sondern als Vergleichswert zwischen den dargestellten Anlagenkonfigurationen.

Zur Ermittlung der solaren Wärmegestehungskosten wird zunächst aus den Investitionskosten der Solaranlagen (inkl. Planungskosten und Mehrwertsteuer) sowie einem festgeschriebenen Zinssatz von 4 % und einer Laufzeit von 20 Jahren die jährliche Annuität berechnet. Die Investitionskosten basieren auf den aktuellen Marktpreisen für Brennwert + Solarsysteme. Da nur ein Vergleich der Kosten für die solar erzeugte Wärme angestrebt wird, erfolgt keine Berücksichtigung der Investitionskosten für die jeweilige Brennwerteinheit. Die jährliche Annuität wird zudem um den durch Solarthermie substituierten Brennstoffbedarf reduziert und anschließend durch den simulierten jährlichen solaren Wärmeertrag geteilt.

$$\text{solare Nutzwärmekosten [€/kWh]} = \frac{\text{jährliche Annuität [€/a]}}{\text{jährlicher Solarertrag (Nutz) [kWh/a]}}$$

In diesem Näherungswert sind keine Kosten für die Instandhaltung und die Betriebskosten (elektrische Hilfsenergie) enthalten. Auch mögliche Fördermechanismen bleiben aufgrund deren Unstetigkeit zunächst nicht berücksichtigt.

Die Abbildung 7-18 zeigt die solaren Wärmegestehungskosten geordnet nach den verschiedenen Anlagentypen. Für die Anlagen zur solaren Trinkwarmwasserherzeugung ergibt sich eine Preisbandbreite von 12 bis 22 ct/kWh. Im Neubau liegen die solaren Wärmegestehungskosten je nach Anlagenauslegung und Betriebsweise 8,8 bis 29 ct/kWh sowie zwischen 10 bis 22 ct/kWh für die simulierten Solaranlagen im Bestandsbau.

Die enorme Bandbreite der solaren Wärmegestehungskosten unterstreicht erneut die Komplexität des Gesamtsystems „Brennwert plus Solar“. Unterschiedliche Dimensionierungsansätze führen zu niedrigeren oder höheren solaren Deckungsraten und wirken sich auf die solaren Wärmegestehungskosten aus.

Solare Wärmegestehungskosten

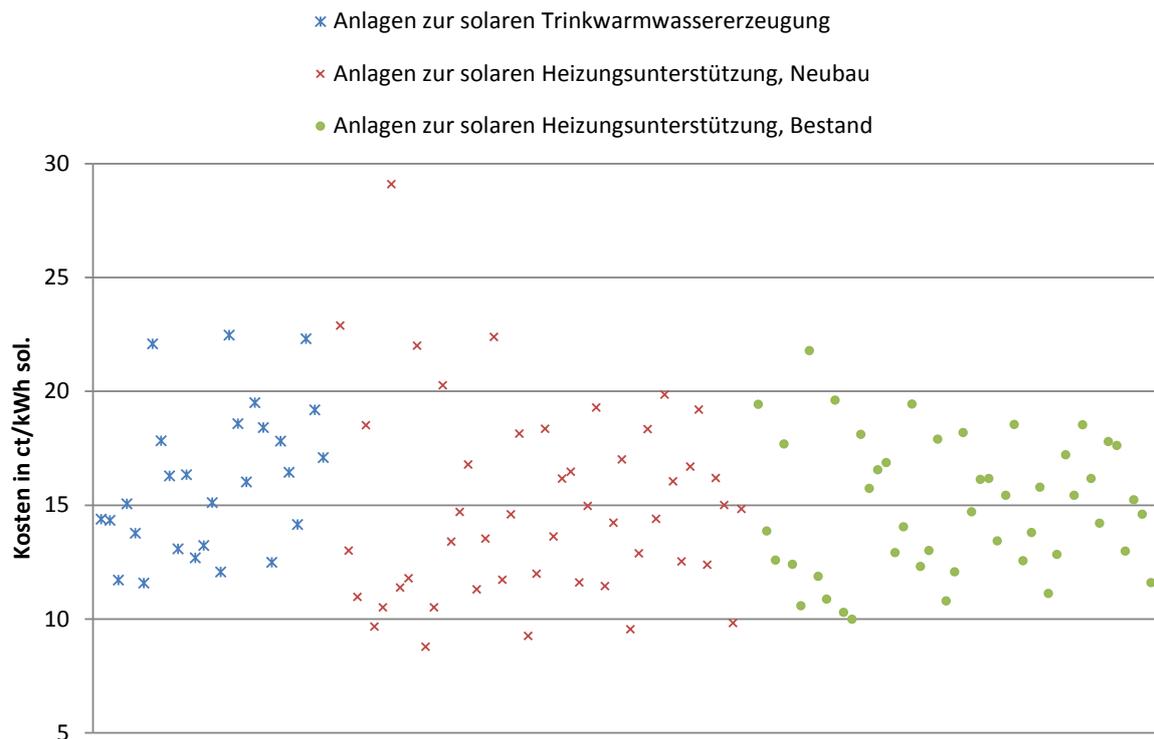


Abbildung 7-18: Solare Wärmegestehungskosten der verschiedenen Anlagentypen (solare TWW, solare Heizungsunterstützung Neubau/Bestand)

Bei der Dimensionierung und dem Betrieb von Solarthermieanlagen kann grundsätzlich nach einem ökonomischen und ökologischen Optimum verfahren werden. Die nachstehenden Abbildungen 7-19 bis 7-30 geben Aufschluss darüber, wie sich z. B. der Nutzeranspruch an eine hohe solare Deckungsrate auf die Kosten für die solare Wärmeerzeugung auswirkt. Der Zusammenhang zwischen Kosten für die solare Wärmeerzeugung und den Verläufen der Deckungsraten macht es möglich, Grenzwerte abzuleiten, ab denen eine weitere Effizienzsteigerung wirtschaftlich nicht mehr sinnvoll ist.

Wie bei der energetischen Bewertung wird zunächst anhand der verschiedenen Speichersysteme differenziert. Die Darstellung der Wärmegestehungskosten erfolgt für die Anlagen zur solaren Heizungsunterstützung, für Neu- und Bestandsbauten. Unter den Diagrammen ist jeweils der Verlauf der solaren Deckungsraten dargestellt.

In den Abbildungen 7-19 bis 7-30 werden die solaren Wärmegestehungskosten den Verläufen der Deckungsraten gegenübergestellt.

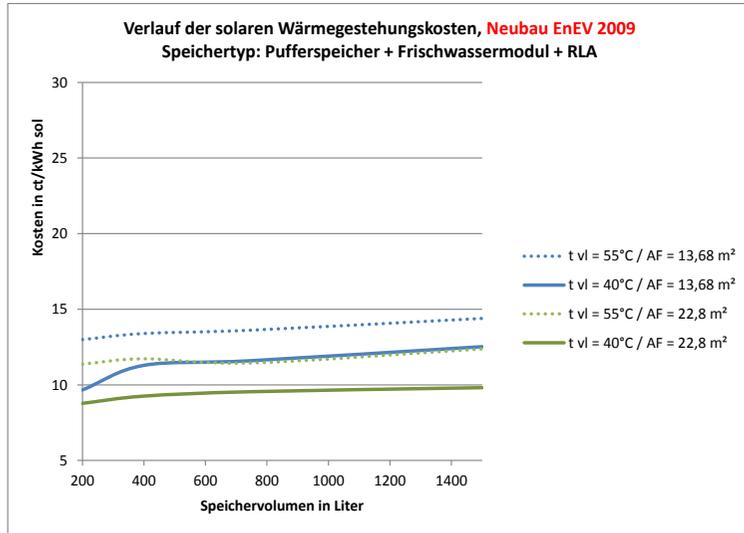


Abbildung 7-20:
 Neubau, solare
 Wärmegestehungs-
 kosten über
 Speichervolumen

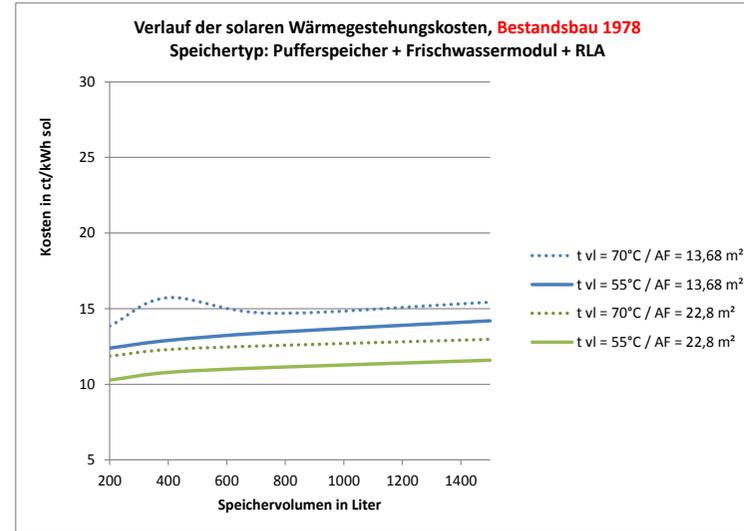


Abbildung 7-19:
 Bestandsbau,
 solare
 Wärmegestehungsk-
 osten über
 Speichervolumen

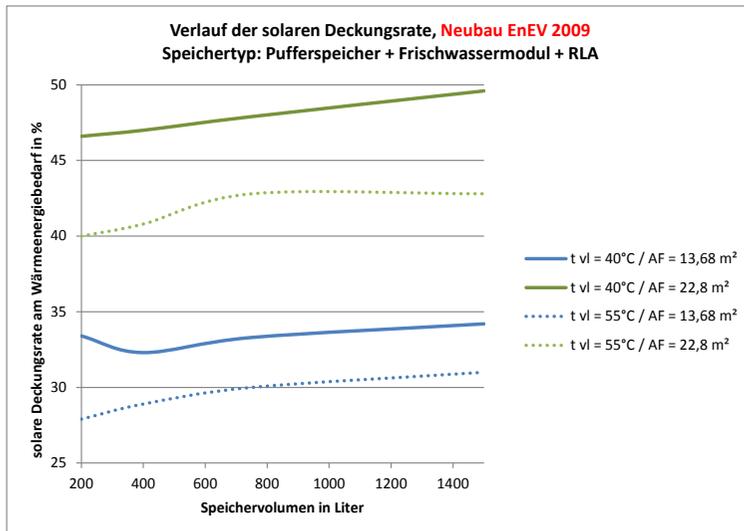


Abbildung 7-21:
 Neubau, solare
 Deckungsrate
 über
 Speichervolumen

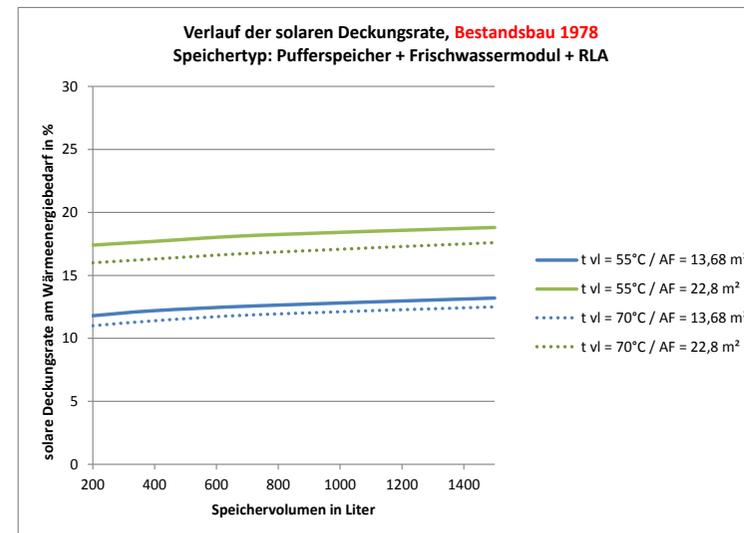


Abbildung 7-22:
 Bestandsbau,
 solare
 Deckungsrate über
 Speichervolumen

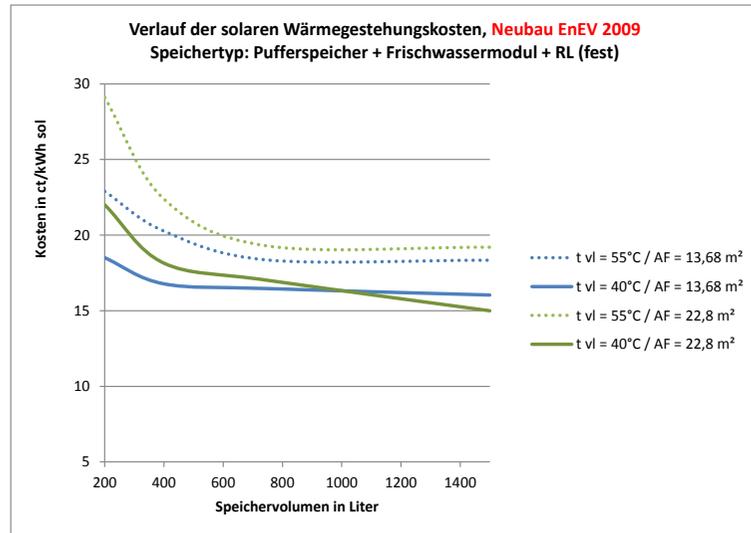


Abbildung 7-24:
 Neubau, solare
 Wärmegestehun
 gs-kosten über
 Speichervolumen

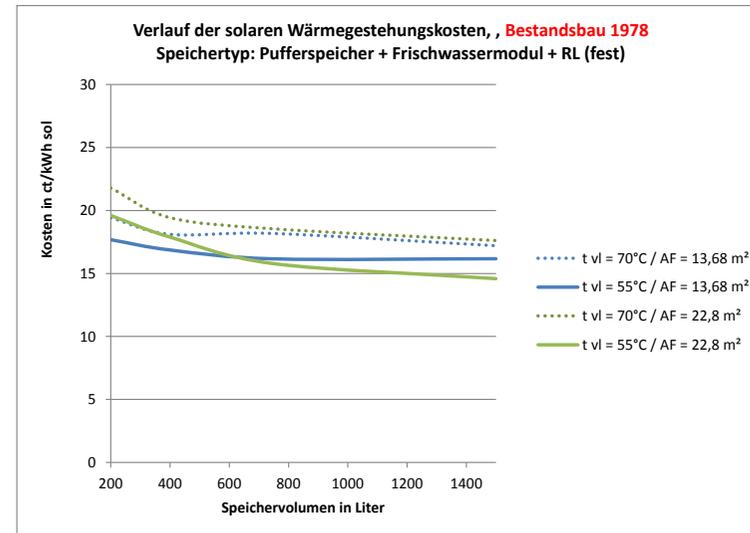


Abbildung 7-23:
 Bestandsbau,
 solare
 Wärmegestehun
 gs-kosten über
 Speichervolumen

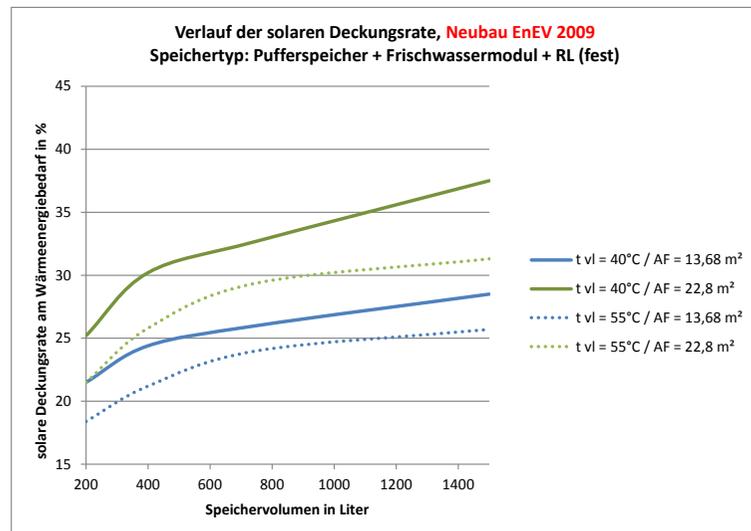


Abbildung 7-25:
 Neubau, solare
 Deckungsrate über
 Speichervolumen

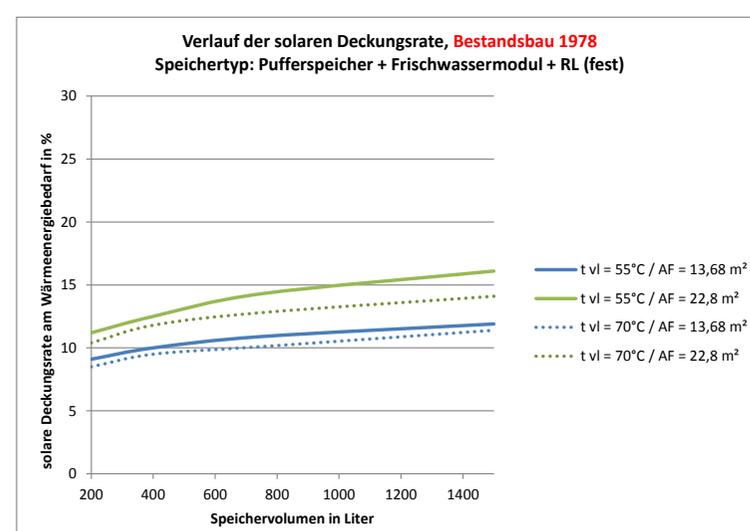


Abbildung 7-26:
 Bestandsbau,
 solare
 Deckungsrate über
 Speichervolumen

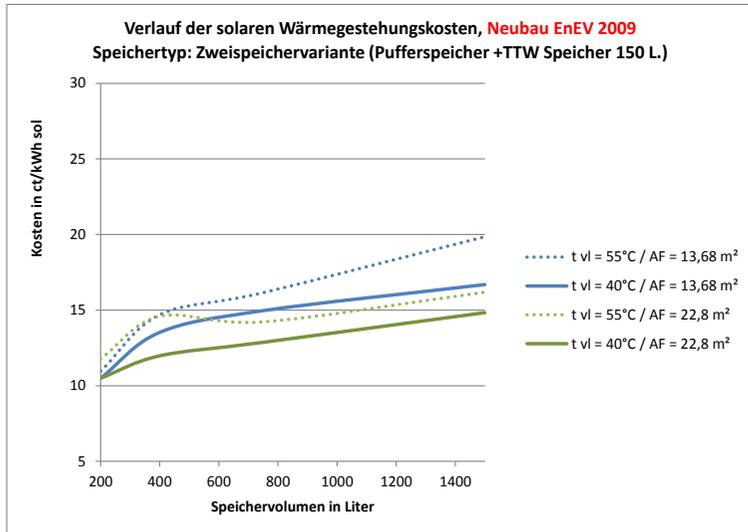


Abbildung 7-28:
 Neubau, solare
 Wärmegestehungs-
 kosten über
 Speichervolumen

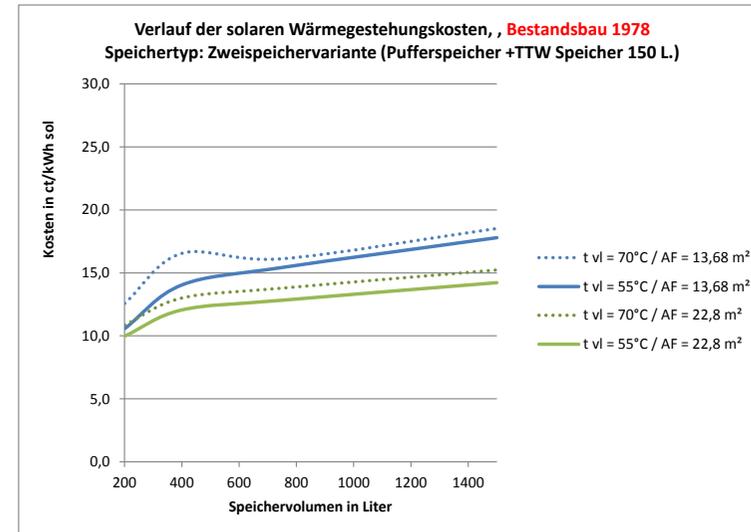


Abbildung 7-27:
 Bestandsbau,
 solare
 Wärmegestehungs-
 kosten über
 Speichervolumen

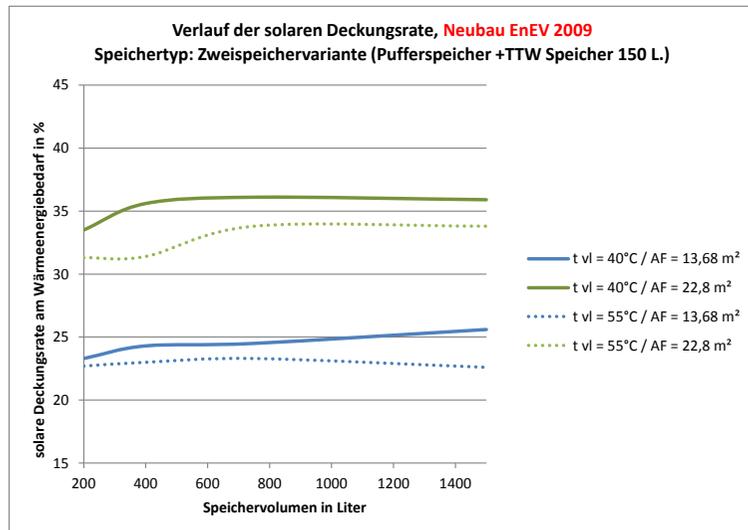


Abbildung 7-29:
 Neubau, solare
 Deckungsrate
 über
 Speichervolumen

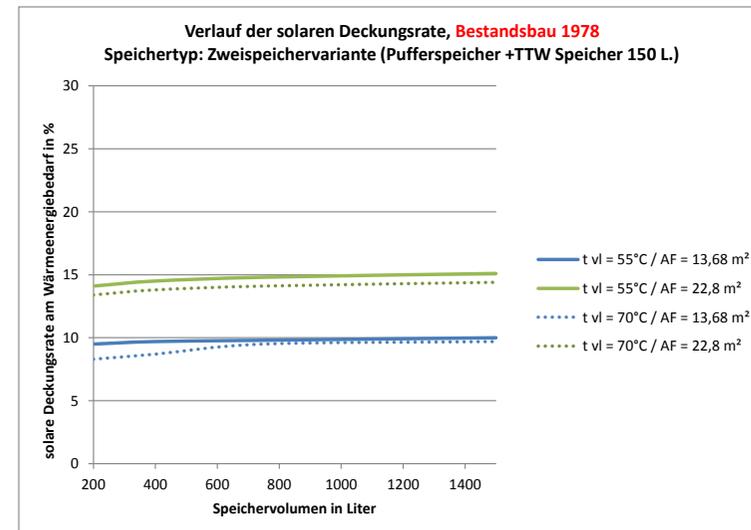


Abbildung 7-30:
 Bestandsbau,
 solare
 Deckungsrate über
 Speichervolumen

System Pufferspeicher + Frischwassermodul+ Rücklaufanhebung

In den Abbildungen 7-19 bis 7-21 werden die solaren Wärmegegestehungskosten den Verläufen der Deckungsraten gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass die Kosten mit steigenden Deckungsraten zunehmen. Die Kosten belaufen sich im Neubau auf durchschnittlich 11,3 ct/kWh. Die Reduzierung der Vorlauftemperatur geht mit der Reduzierung der Wärmegegestehungskosten von 2,5 ct/kWh einher.

Der durchschnittliche Preis der solaren Wärme liegt im Bestandsbau bei 12,8 ct/kWh. Auch im Bestand führt eine Reduzierung der Vorlauftemperatur zur Reduzierung der Kosten von 1,6 ct/kWh.

System Pufferspeicher + Frischwassermodul (Rücklauf fest)

Im System bestehend aus Pufferspeicher mit Frischwassermodul ohne Rücklaufanhebung ergibt sich qualitativ ein anderer Verlauf der solaren Wärmegegestehungskosten. Dies wird bei Betrachtung der Abbildungen 7-23 und 7-24 deutlich. Die solaren Wärmegegestehungskosten fallen zunächst stark ab, ab einem Speichervolumen von 750 l verlaufen die Preiskurven flacher. Die solaren Deckungsraten hingegen steigen ab diesem Speichervolumen stetig an. Daraus geht hervor, dass die Investition in zusätzliches Speichervolumen zur Erhöhung der solaren Deckungsrate nahezu kostenneutral verläuft. Die Wärmegegestehungskosten liegen im Neubau im Durchschnitt bei 19,4 ct/kWh. Gegenüber dem System mit Rücklaufanhebung liegt eine Abweichung von 8,1 ct/kWh vor. Im Bestandsbau liegen die Wärmegegestehungskosten im Mittel bei 17,8 ct/kWh.

System Pufferspeicher + TWW Speicher (150 l)

Bei Betrachtung der Abbildungen 7-28 bis Abbildung 7-29 ergibt sich wiederum ein gegenteiliges Bild gegenüber dem System „Pufferspeicher mit Frischwassermodul ohne Rücklaufanhebung“. Im Neubau stagnieren die solaren Deckungsraten, abhängig von der Vorlauftemperatur, sobald ein bestimmtes Speichervolumen erreicht ist, z. B. bei einer Vorlauftemperatur von 55 °C bei und einem Speichervolumen von 750 l. Die zugehörige Kostenkurve steigt jedoch weiter an. Hier führt eine Steigerung des Speichervolumens nicht zu einer Effizienzsteigerung, sondern nahezu nur zur Erhöhung der solaren Wärmegegestehungskosten.

Im Bestand ist dieser Sachverhalt noch deutlicher ausgeprägt. Die Kosten der solaren Wärme liegen für Neu- und Bestandsbau bei durchschnittlich 14 ct/kWh.

7.2.5. Zusammenfassung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die Simulationen der verschiedenen Systeme zeigen teils unterschiedlichste Auswirkungen der betrachteten Parameter, zum einen auf die energetische Effizienz der Solarthermieanlagen und zum anderen auf die zugehörigen solaren Wärmegestehungskosten, s. Tabelle 7-6a und 7-6b).

Tabelle 7-6a: Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse im Bestand

| Speichersystem | Kollektor- Aperturfläche m ² | Vorlauf- temperatur °C | solarer Deckungsanteil am Wärmebedarf | | | spezifische Kollektorauslastung | | | solare Wärmegestehungskosten | | | CO ₂ -Einsparung | |
|--|---|------------------------------|--|-----------------|------------------|------------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|------------------|
| | | | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | min. (200 l) | max. (1500 l) |
| Pufferspeicher + Frischwasser- modul + Rücklauf- anhebung | 13,7 | 70 | 11,7 | 11,0 | 12,5 | 281 | 261 | 304 | 14,9 | 11,9 | 15,7 | 830 | 980 |
| | | 55 | 13,2 | 11,8 | 13,2 | 299 | 280 | 321 | 13,2 | 12,4 | 14,2 | 887 | 1.031 |
| | 22,8 | 70 | 16,6 | 16,0 | 17,6 | 241 | 228 | 256 | 12,4 | 11,9 | 13,0 | 1.188 | 1.353 |
| | | 55 | 18,0 | 17,4 | 18,8 | 260 | 249 | 275 | 10,9 | 10,3 | 11,6 | 1.289 | 1.444 |
| Pufferspeicher + Frischwasser- modul | 13,7 | 70 | 9,9 | 8,5 | 11,4 | 237 | 203 | 277 | 18,2 | 17,2 | 19,4 | 653 | 899 |
| | | 55 | 10,5 | 9,1 | 11,9 | 252 | 217 | 289 | 16,7 | 16,2 | 17,7 | 694 | 934 |
| | 22,8 | 70 | 12,3 | 10,4 | 14,1 | 177 | 149 | 206 | 19,3 | 17,6 | 21,8 | 786 | 1.096 |
| | | 55 | 13,5 | 11,2 | 16,1 | 195 | 161 | 234 | 17,0 | 14,6 | 19,6 | 845 | 1.240 |
| Pufferspeicher + Trinkwarm- wasserspeicher | 13,7 | 70 | 9,0 | 8,3 | 9,7 | 215 | 198 | 230 | 15,9 | 12,6 | 18,5 | 637 | 739 |
| | | 55 | 9,7 | 9,5 | 10,0 | 231 | 225 | 237 | 14,5 | 10,6 | 17,8 | 719 | 759 |
| | 22,8 | 70 | 14,0 | 13,4 | 14,4 | 198 | 191 | 205 | 13,2 | 10,9 | 15,2 | 1.003 | 1.077 |
| | | 55 | 14,6 | 14,1 | 15,1 | 208 | 201 | 215 | 12,3 | 10,0 | 14,2 | 1.051 | 1.125 |

Tabelle 7-7b: Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse im Neubau

| Speichersystem | Kollektor- Aperturfläche m ² | Vorlauf- temperatur °C | solarer Deckungsanteil am Wärmebedarf | | | spezifische Kollektorauslastung | | | solare Wärmegestehungskosten | | | CO ₂ -Einsparung | |
|--|---|------------------------------|--|-----------------|------------------|------------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|------------------|
| | | | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | min. (200 l) | max. (1500 l) |
| Pufferspeicher + Frischwasser- modul + Rücklauf- anhebung | 13,7 | 55 | 29,5 | 27,9 | 31,0 | 294,0 | 272,0 | 318,0 | 13,6 | 13,0 | 14,4 | 862 | 1.022 |
| | | 40 | 33,3 | 32,3 | 34,2 | 330,0 | 317,0 | 348,0 | 11,3 | 9,7 | 12,5 | 1.021 | 1.110 |
| | 22,8 | 55 | 41,8 | 40,0 | 42,8 | 249,0 | 234,0 | 264,0 | 11,7 | 11,4 | 12,4 | 1.217 | 1.390 |
| | | 40 | 47,7 | 46,6 | 49,6 | 285,0 | 272,0 | 304,0 | 9,3 | 8,8 | 9,8 | 1.403 | 1.584 |
| Pufferspeicher + Frischwasser- modul | 13,7 | 55 | 22,3 | 18,4 | 25,7 | 223,0 | 179,0 | 265,0 | 20,0 | 18,3 | 22,9 | 583 | 858 |
| | | 40 | 25,1 | 21,5 | 28,5 | 250,0 | 210,0 | 290,0 | 16,9 | 16,0 | 18,5 | 647 | 939 |
| | 22,8 | 55 | 27,0 | 21,5 | 31,3 | 161,0 | 117,0 | 194,0 | 22,5 | 19,2 | 29,1 | 673 | 1.034 |
| | | 40 | 31,4 | 25,2 | 37,5 | 138,0 | 147,0 | 230,0 | 18,0 | 15,0 | 22,0 | 781 | 1.214 |
| Pufferspeicher + Trinkwarm- wasserspeicher | 13,7 | 55 | 22,9 | 22,6 | 23,3 | 222,0 | 219,0 | 226,0 | 15,4 | 11,0 | 19,9 | 704 | 704 |
| | | 40 | 24,4 | 23,3 | 25,6 | 236,0 | 225,0 | 247,0 | 13,9 | 10,5 | 16,7 | 722 | 792 |
| | 22,8 | 55 | 32,6 | 31,3 | 33,8 | 190,0 | 182,0 | 197,0 | 14,2 | 11,8 | 16,2 | 956 | 1.035 |
| | | 40 | 36,2 | 33,5 | 36,1 | 205,0 | 195,0 | 210,0 | 12,5 | 10,5 | 14,8 | 1.020 | 1.095 |

In den Tabelle 7-6a und b sind die energetischen und ökonomischen Bewertungskriterien der Solarthermieanlagen zur Heizungsunterstützung komprimiert dargestellt. Es wird deutlich, dass die geringsten Wärmegestehungskosten mit 8,8 ct/kWh bei dem System „Pufferspeicher + Frischwassermodule + Rücklaufanhebung“ vorliegen (Neubau). Zudem wird deutlich, dass in diesem System auch die solare Deckungsrate am Wärmeenergiebedarf mit 49,6 % am höchsten ist. Demnach liegt neben dem ökonomischen Optimum auch ein energetisches Optimum bei diesem System vor. Es muss erwähnt werden, dass die geringsten solaren Wärmegestehungskosten bei diesem System mit einem Speichervolumen von 200 Liter und die höchste Deckungsrate bei einem Speichervolumen von 1500 Litern erzielt werden. Die Unterteilung auf weitere Speichervolumina ist für eine komprimierte Darstellung nicht zielführend, daher wird mit Verweis auf die Abbildungen 7-20 bis 7-30 darauf verzichtet. Ferner wird bei Betrachtung der Tabelle 7-6 die Temperatursensibilität der Speichersysteme deutlich. Eine Reduzierung der Vorlauftemperatur führt in jedem Fall zu einer Effizienzsteigerung und zu einer Reduzierung der solaren Wärmegestehungskosten.

Die spezifischen solaren Wärmegestehungskosten der Tabelle 7-6 können für den Systemvergleich der unterschiedlichen Anlagenkonfigurationen herangezogen werden.

Für das System mit den geringsten spezifischen solaren Wärmegestehungskosten sowie den höchsten solaren Deckungsraten erfolgt in der

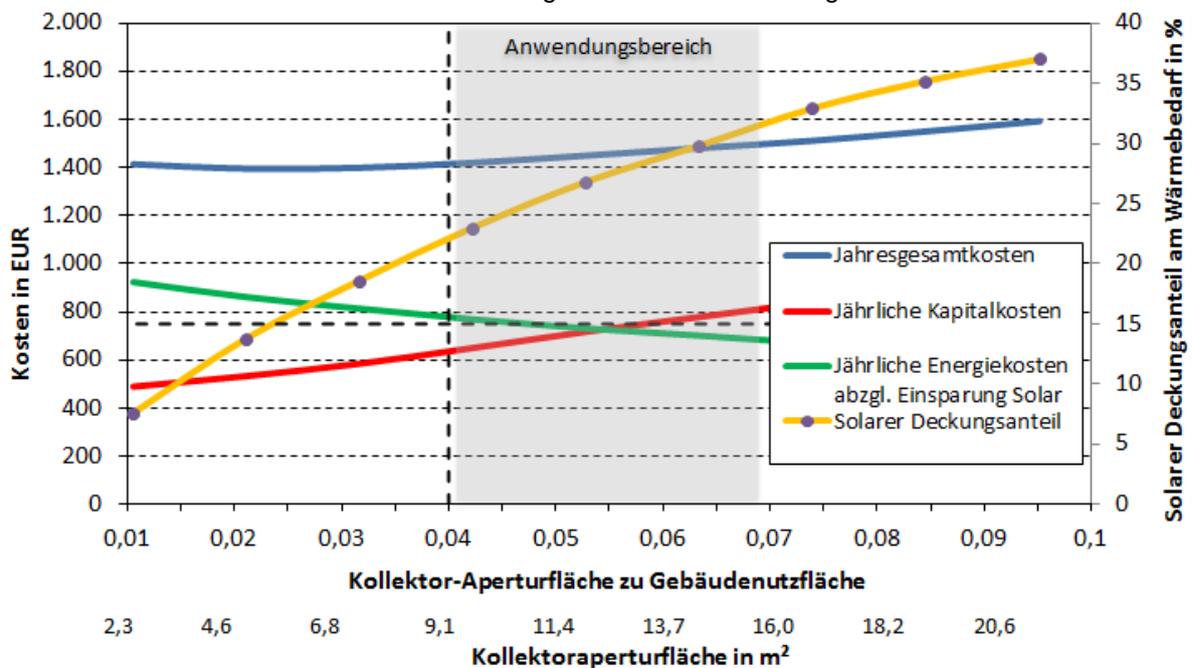


Abbildung 7-31 die Darstellung der Jahresgesamtkosten.

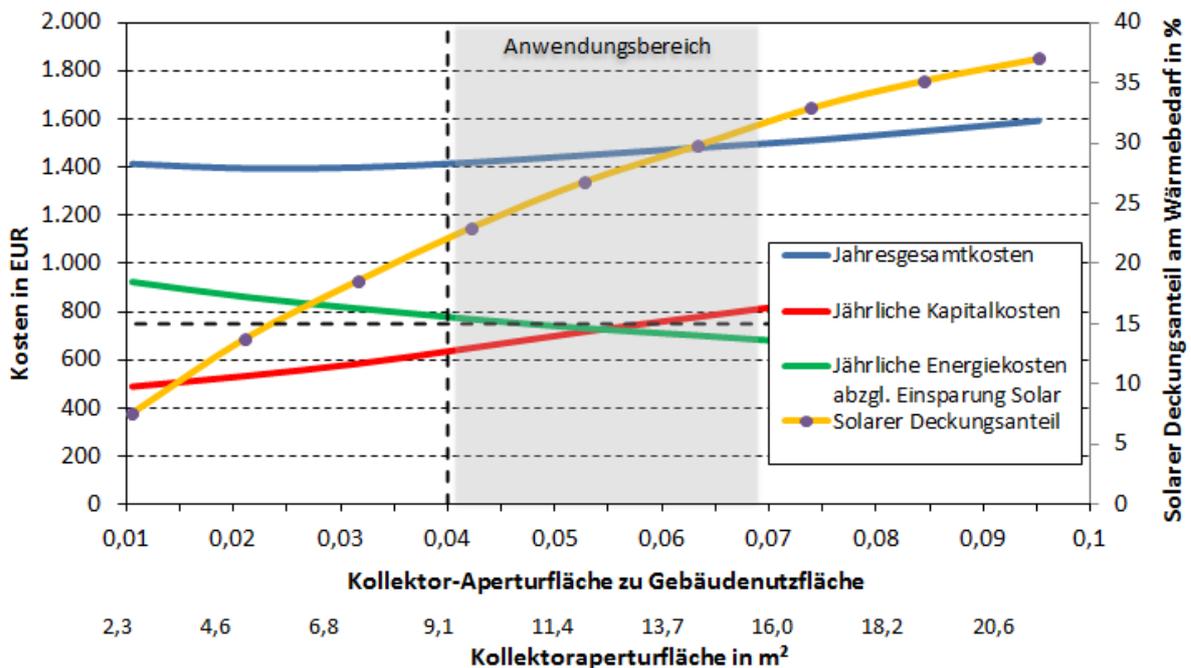


Abbildung 7-31: Verlauf der Energie-, Kapital- und Jahresgesamtkosten im System Pufferspeicher (200 Liter) mit Frischwassermodul und Rücklaufanhebung

Es sind die Kapital- sowie die Energiekosten über der Kollektorfläche aufgetragen. Die Jahresgesamtkosten sind als Summenlinie aus den Kapital- und Energiekosten aufgezeichnet. Da eine exakte Angabe der Jahresgesamtkosten aufgrund des flachen Verlaufes ungeeignet ist, werden die Jahresgesamtkosten auf den orange gekennzeichneten Bereich erweitert. Die Jahresgesamtkosten liegen dann theoretisch bei einer Anlagendimensionierung von ca. 3 – 8,5 m² Kollektorfläche. Die Abweichungen in diesem Bereich sind unter Berücksichtigung der Höhe der Investitionskosten vernachlässigbar. Es wird ersichtlich, dass auch eine Solaranlage mit der Auslegung nach dem vorgegebenen Flächenschlüssel des EEWärmeG im Bereich der geringsten Jahresgesamtkosten liegt.

Nachfolgend werden die wesentlichen Essenzen aus der Sensitivitätsanalyse dargestellt.

- Die Simulation zeigt eine Übereinstimmung hinsichtlich des energetischen und ökonomischen Maximums bei einem System.
- Sämtliche Systeme reagieren sensibel auf die Systemtemperaturen. Die Reduzierung der Vorlauftemperatur führt bei jedem betrachteten System zu einer Effizienzsteigerung und zur Kostensenkung.
- Besonders in niedrigen Temperaturbereichen (z. B. Neubau mit Fußbodenheizung) führt eine Anhebung des Heizungsrücklaufs zu Steigerungen der solaren Deckungsrate, bei gleichzeitiger Möglichkeit zur Reduzierung des Speichervolumens.

- Die Auswirkungen des Speichervolumens variieren je nach hydraulischer Einbindung des Speichers
 - Im System mit Rücklaufanhebung kann das Speichervolumen in vielen Fällen ohne Effizienzeinbußen deutlich reduziert werden (siehe z. B. Abbildungen 7-20 bis 7-21).
 - Im System ohne Rücklaufanhebung kann das Speichervolumen kostenneutral erhöht werden (siehe z. B. Abbildungen 7-24 bis 7-25).
 - Bei dem simulierten Zweispeichersystem kann eine reduzierte Kapazität für die Kollektorfläche (z. B. durch begrenzte Dachfläche) nicht durch höheres Speichervolumen kompensiert werden (siehe Abbildung 7-4).

7.2.6. Ableitung und Empfehlung von geeigneten Systemen für den Neubau und Bestand (EFH/ZFH), Schritt 4/5

Kombinierte Systeme aus Brennwerttechnik und Solarthermie eignen sich besonders im Neubaubereich zur Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen an die Nutzung von regenerativen Energien. Die Potenziale dieser Systeme können jedoch nur dann optimal ausgeschöpft werden, wenn der Betrieb einer Solarthermieanlage bereits im frühen Planungsstadium des Bauobjektes berücksichtigt wird.

Die Sensitivitätsanalyse hat die Temperatursensibilität der verschiedenen Solarthermieanlagen bestätigt. Die Reduzierung der Vorlauftemperatur von z. B. 55 °C auf 40 °C führt im Durchschnitt bereits zu einer Steigerung der solaren Deckungsrate von ca. 5 Prozentpunkten. Während der Planungsphase sollten daher unbedingt Flächenheizungssysteme mit niedrigen Systemtemperaturen (z. B. Fußbodenheizung) berücksichtigt werden.

Im System bestehend aus Pufferspeicher + Frischwassermodul und Rücklauftemperaturanhebung kann das Speichervolumen ohne deutliche Effizienzeinbußen reduziert werden. Für einen typischen Neubau reichen bei diesem System dann bereits 200 l Speichervolumen sowie ca. 9 m² Kollektorfläche zur Erfüllung der Anforderungen des EEWärmeG. In dieser Konstellation liegt die Deckungsrate am Wärmeenergiebedarf eines Neubaus (EnEV 2009) mit 160 m² Wohnfläche bereits bei 19 %. Das reduzierte Speichervolumen ermöglicht zudem eine platzsparende „Unit-Bauweise“. Zahlreiche Hersteller bieten bereits Brennwert + Solarsysteme in kompakter Bauweise an (siehe Abbildung 7-32).

Aufgrund der geringen Stellfläche (kein separater Heizungsraum, kein separater Pufferspeicher, etc.) lassen sich die Unit-Systeme in nahezu allen Wohnobjekten integrieren. Die entfallenden Platzhemmnisse steigern die Akzeptanz von Brennwert-Solarsystemen, da in vielen Fällen insbesondere der erhöhte Platzbedarf ein Ausschlusskriterium darstellt.



Abbildung 7-32: Platzsparende, kompakte Bauweise „Unit-Bauweise“ von Brennwert+Solarsystemen

(Quelle: Brötje, Vaillant)

Es muss festgehalten werden, dass aufgrund der unterschiedlichen Sensitivitäten zwischen den verschiedenen Parametern keine allgemeingültige Systemempfehlung erfolgt. Die Auslegung nach Anhaltswerten wird aufgrund der Komplexität nur in Einzelfällen zu ausgewogenen ökologischen und ökonomischen Ergebnissen führen. Für den Neubaubereich werden daher lediglich Handlungsempfehlungen für die Randbedingungen (Heizflächen, Systemtemperaturen, ggf. hydraulische Anbindung) formuliert. Die Randbedingungen sollten in jedem Fall in Kombination mit dem Anlagensystem sowie den örtlichen Gegebenheiten mit geeigneter Software simuliert und optimiert werden.

Insbesondere im Bestand erschwert sich die Formulierung von Empfehlungen, da hier die wesentlichen Randbedingungen für eine Solarthermieanlage (Systemtemperaturen, Azimut, Dachneigung, Dachfläche, etc.) bereits vorgegeben sind. Auch hier muss für den Einzelfall eine Simulation mit sämtlichen bekannten Parametern durchgeführt werden. Auf Basis der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse ist bei der Simulation ein besonderes Augenmerk auf das tatsächliche Temperaturniveau des Heizsystems zu richten. Eine stufenweise Senkung der Heizkurve ist in diesem Zusammenhang empfehlenswert.

Bemerkung:

Die Sensitivitätsanalyse wurde auf Basis der Berechnungssoftware GetSolar aus dem Hause Hottgenroth durchgeführt. Bei den Simulationen kommt es ab einem A/V-Verhältnis (> 0,07) zu Abweichungen gegenüber dem tatsächlich zu erwartenden Solarertrag. Dies ist dadurch zu begründen, dass beim "Solaren Heizen", also dem Übergang von Solarwärme aus dem Pufferspeicher in die thermische Kapazität des Gebäudes, eventuelle Sättigungseffekte von GetSolar nicht berücksichtigt werden können. Die Abbildung 7-33 zeigt die Auswirkungen auf die solare Deckungsrate. Es sind die Ergebnisse der GetSolar Simulation mit fehlender Sättigung, sowie eine Korrektur mit angepasster Sättigung gegenübergestellt. Der Vergleich der GetSolar Ergebnisse mit den korrigierten Werten ergibt im Bereich der durchgeführten Sensitivitätsanalyse (graue Fläche) eine maximale Abweichung von 6 %. Die Abweichung steigt mit zunehmendem A/V-Verhältnis, wobei berücksichtigt werden muss, dass es sich dann nicht mehr um eine praxisrelevante Anlagendimensionierung handelt. Im üblichen Bereich (Flächenschlüssel EEWärmeG 0,04) gibt es keine Abweichungen.

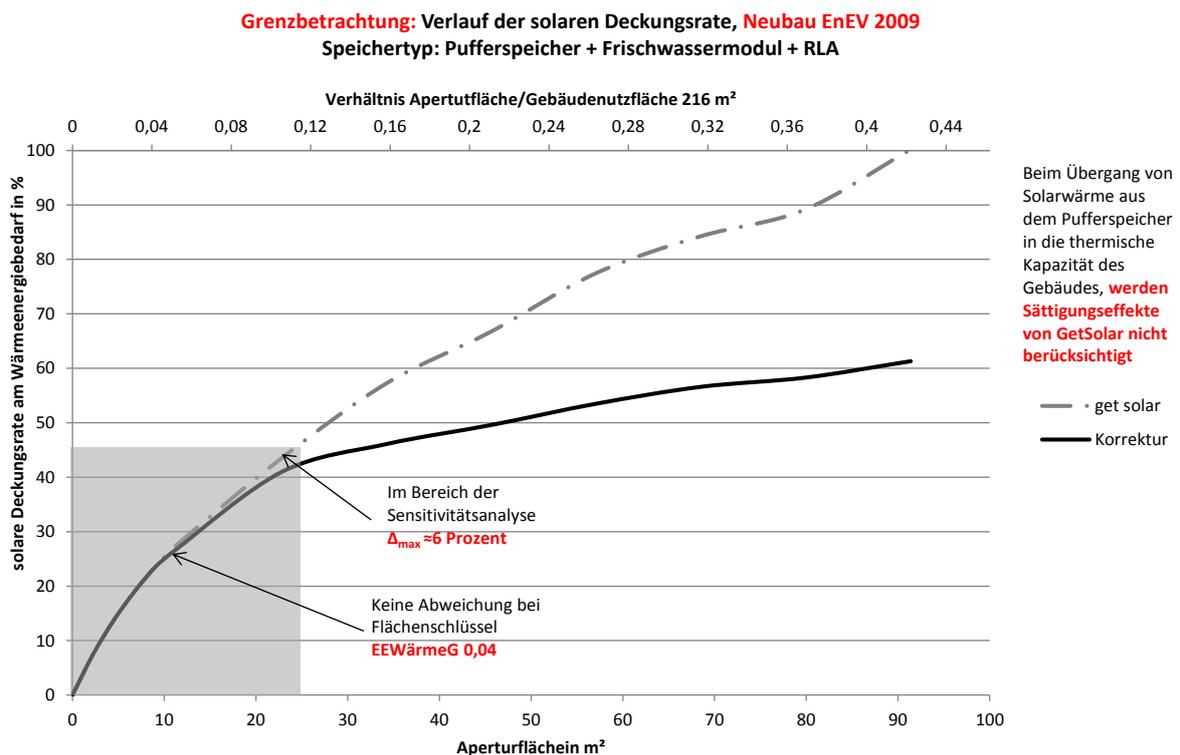


Abbildung 7-33: Grenzbetrachtung der solaren Deckungsrate, Abweichungen im Bereich der Sensitivitätsanalyse

7.3. Varianzen bei der Auslegung von Solarthermie-Anlagen

Für die Dimensionierung von solarthermischen Anlagen gibt es wie im Kapitel 6 dargestellt unterschiedlichste Möglichkeiten. Grundsätzlich lassen sich die Anlagen in einer Spannbreite zwischen dem wirtschaftlichen und dem energetischen Optimum betreiben. Den Herstellern und Planungsorganen obliegt die Aufgabe, eine den Ansprüchen des Kunden zugeschnittene Auswahl der Komponenten zu treffen. Dazu sind die Dimensionierungen entsprechend anzupassen.

Zur Ermittlung der Branchenposition zur Auslegung von solarthermischen Anlagen, wurden unterschiedlichste Hersteller und Planungsorgane befragt. In einem Workshop wurde das Ziel kommuniziert. Durch eine Auslegung anhand derselben Eingangsparameter stellten die Teilnehmer ihre Ergebnisse zum Vergleich zur Verfügung. Als einheitliche Eingangsparameter dienen:

Gebäudedaten Allgemein:

| | |
|-------------|--------------------|
| Wohnfläche | 160 m ² |
| Nutzfläche | 216 m ² |
| Heizungstyp | Radiatoren 55/40 |
| Azimut | 0° |
| Neigung | 45° |
| Standort | Essen |

Gebäude EnEV 2009 Neubau:

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| Heizwärmebedarf absolut | 10424 kWh/a |
| Heizwärmebedarf spezifisch | 48 kWh/a*m ² |

Gebäude Standard 1978 Bestand:

| | |
|----------------------------|--------------------------|
| Heizwärmebedarf absolut | 29627 kWh/a |
| Heizwärmebedarf spezifisch | 137 kWh/a*m ² |

Standardbedingungen für die Nutzung:

| | |
|------------------|---------|
| Warmwasserbedarf | 140 l/d |
| Zapftemperatur | 55 °C |

Die Ergebnisse daraus sind in Abbildung 7-34 und Abbildung 7-35 jeweils für die Anlagen mit solarer Heizungsunterstützung in zwei unterschiedlichen Referenzgebäuden dargestellt.

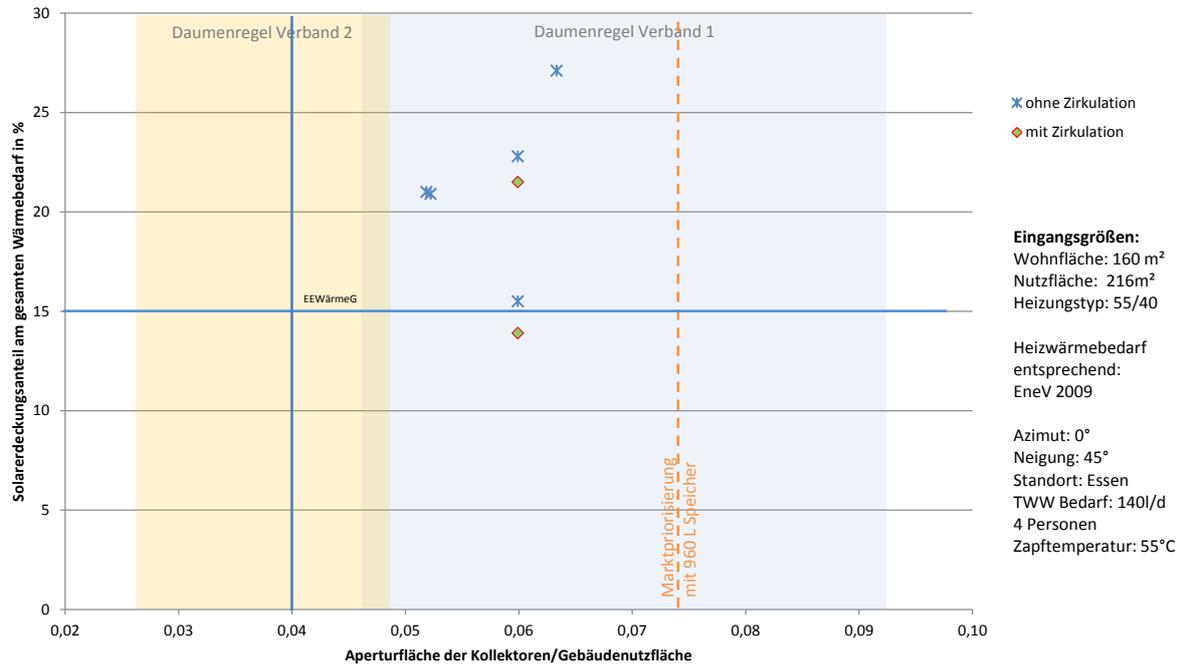


Abbildung 7-34: Planungsvarianzen im EnEV 2009 Gebäude

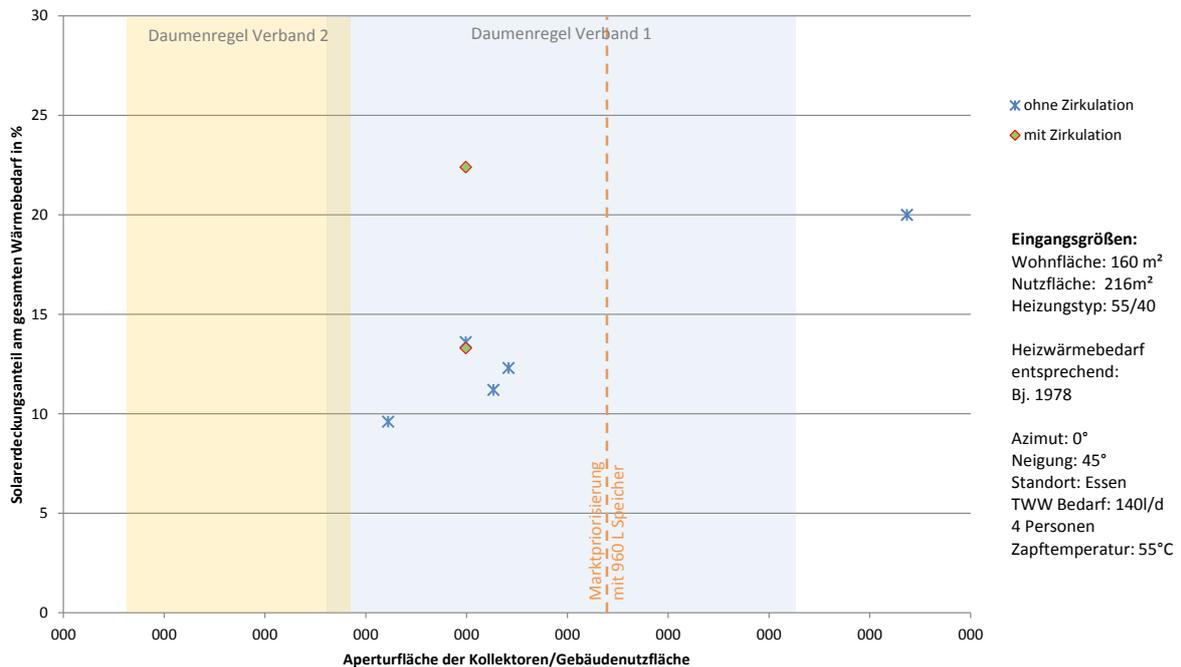


Abbildung 7-35: Planungsvarianzen im 1978er Gebäude

Eine deutliche Streuung der Auslegungsergebnisse ist zu erkennen. Diese Abweichungen sind belegt durch unterschiedliche Auswahl der Komponenten. Eine Abweichung der Ergebnisse durch Verwendung verschiedener Simulationsprogramme ist zu vernachlässigen.

Im EnEV 2009-er Gebäude erfüllen sechs von sieben Anlagen das EEWärmeG, im 1978er Gebäude dagegen erreichen nur zwei Anlagen mehr als 15 % Solardeckungsanteil am gesamten Wärmebedarf. Weiterhin wird der Auslegungsbereich von Daumenregeln zwei verschiedener Verbände verdeutlicht. Diese Bereiche haben nur einen geringen gemeinsamen Auslegungsbereich.

Durch eine weitere Betrachtung der Varianzen bei Anlagen zur reinen solaren Trinkwarmwasserbereitung sind Abweichungen des solaren Deckungsanteils von bis zu zehn Prozentpunkten aufgetreten.

7.4. Bewertung

7.4.1. Analyse des Energieausweises

Der Energieausweis liefert Daten zur Energieeffizienz eines Gebäudes. Die Angaben im Energieausweis erlauben einen Vergleich mit typischen anderen Gebäuden. Der Energieausweis gibt Anhaltspunkte für eine grobe Schätzung des zukünftigen Energieverbrauches.

Für die Errichtung von Neubauten ist die Ausstellung von Energieverbrauchs- bzw. Energiebedarfsausweisen bereits seit 1995 vorgeschrieben. Bei der Vermietung oder dem Verkauf haben potenzielle Mieter oder Käufer seit dem 1. Juli 2008 das Recht, die Vorlage eines Energieausweises vom Eigentümer zu fordern. Bis Anfang 2009 galt diese Regelung ausschließlich für Gebäude, die bis 1965 gebaut wurden. Zukünftige Mieter oder Käufer können diese Informationen in ihre Kaufentscheidung einfließen lassen.

Die Erstellung eines Energieausweises kann auf zwei unterschiedlichen Wegen geschehen. Zum einen ist es möglich, eine Berechnung nach anerkannten Regeln der Technik durchzuführen, um einen berechneten Energiebedarf als Grundlage zu verwenden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, anhand der genutzten Energie der vergangenen drei Jahre einen verbrauchsorientierten Energieausweis zu erstellen. Beide Verfahren sind anerkannt [EnEV], unterscheiden sich jedoch teilweise stark. Das Nutzerverhalten beeinflusst den verbrauchsorientierten Energieausweis sehr, hingegen wird das Nutzerverhalten bei dem bedarfsorientierten Energieausweis ausgeblendet. Bei der Erstellung eines bedarfsorientierten Energieausweises können ebenfalls unterschiedliche Verfahren angewendet werden, welche ebenfalls zu Varianzen führen.

Die EnEV ermöglicht eine Berücksichtigung von Solarerträgen bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs von Gebäuden. Es können sowohl die Trinkwarmwassererwärmung als auch die Heizungsunterstützung angerechnet werden. Der Einbau einer Kombi-Anlage zur Trinkwarmwassererwärmung und Heizungsunterstützung wird dadurch wirtschaftlich attraktiver. Beim Einsatz einer

Solaranlage verringert sich die nach DIN V 4701-10 berechnete Anlagenaufwandzahl
Im Anhang der DIN V 4701-10 sind wohnflächenbezogene Standardwerte hinterlegt.

Damit eine solare Trinkwarmwassererwärmung im Energieausweis Berücksichtigung findet, ist beispielsweise bei einer Gebäudenutzfläche von 150 m² eine Kollektorfläche von 5 m² erforderlich. In Deutschland wird als Flächen-Bezugsgröße die Gebäudenutzfläche und nicht die Wohnfläche verwendet. Als Daumenwert lt. EnEV entsprechen 100 m² Wohnfläche ca. 135 m² Nutzfläche.

Für die Berücksichtigung einer solaren Heizungsunterstützung im Energieausweis werden zwei Möglichkeiten unterschieden:

Bei unbekanntem flächenbezogenen Wärmegewinn der Solaranlage kann nach EnEV / DIN V 4701-10 Abschnitt 5.1.4.1.1 von einem 10-prozentigen Deckungsbeitrag ausgegangen werden, wenn die Kollektorfläche mindestens das 1,8-fache der Kollektorfläche zur Trinkwarmwassererwärmung beträgt. Liegt die Kollektorfläche zur Trinkwarmwassererwärmung zwischen 4 bis 6 m², muss die Mindestfläche zur Heizungs-unterstützung zwischen 7,2 und 10,8 m² betragen.

Werden mit Hilfe dokumentierter Rechenergebnisse anerkannter Simulationsprogramme höhere Deckungsbeiträge ermittelt, so können auch diese im Energieausweis berücksichtigt werden.

8. Grundzüge zum Schulungskonzept

Auf Basis der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln wurden die wesentlichen Punkte zur optimierten Gestaltung von Brennwert plus Solaranlagen für ein Schulungskonzept zusammengefasst.

8.1. Auslegungsregeln bei der Planung von solaren Trinkwarmwasseranlagen

Nachfolgend sind Empfehlungen zur Planung von solaren Trinkwasseranlagen aufgeführt:

- Beachtung der Nutzungspflicht des EEWärmeG (15 %-ige Deckung des Wärmeenergiebedarfs)
- Ermittlung des Warmwasserbedarfs (Anzahl Personen, Komfortaspekt)
- Temperaturniveau des Warmwassers
- Ermittlung des Speichervolumens
- Auswahl der Anlagenperipherie, weitgehend bivalenter Speicher
- Angabe von Standort, Dachneigung, Ausrichtung, Wohnfläche etc.
- Ziel: 60 %-iger Deckungsanteil des jährlichen Energiebedarfs zur Trinkwarmwassererwärmung
- Wahl des Kollektortyps, (Röhrenkollektoren für TWW nicht zweckmäßig)
- Berechnung der Aperturfläche
- Berechnung der Deckungsrate des Trinkwarmwasserenergiebedarfs und des Wirkungsgrades des Gesamtsystems
- Lt. BINE reicht eine Grobdimensionierung mit „Daumenregeln“ für EFH und ZFH aus

8.2. Auslegungsregeln bei der Planung von heizungsunterstützten Solaranlagen

Nachfolgend sind Empfehlungen zur Planung von heizungsunterstützten Solaranlagen aufgeführt:

- Beachtung der Nutzungspflicht des EEWärmeG (15 %-ige Deckung des Wärmeenergiebedarfs)
- Deckungsanteil am Heizenergiebedarf ist abhängig vom Energiestandard des Gebäudes, je geringer der Heizwärmebedarf, desto höher der Deckungsanteil
- solarer Ertrag von ca. 20–25 % des Gesamtwärmebedarfs
- Wahl des Kollektortyps
- Betriebsart der Solaranlage (High Flow, Low Flow, Matched Flow)
- Art der Trinkwarmwasserbereitung
- Platzangebot für Speicheraufstellung

- niedrige Heizkreistemperaturen sind vorteilhaft
- Verwendung von PC-Programmen zur Auslegung und Detailoptimierung empfohlen

8.3. Praxistipps bei der Installation von Solaranlagen

Bei der Planung und Installation sowie beim Betrieb von Solaranlagen kann eine Vielzahl von Fehlerquellen auftreten. Nachfolgend werden Installationshinweise und Praxistipps zur Fehlervermeidung dargelegt.

Um Optimierungsmöglichkeiten zu empfehlen, ist die Betrachtung von häufig aufgetretenen Defekten an Solaranlagen hilfreich. Eine Datenquelle resultiert aus einer umfangreichen Fragebogenaktion aus dem Jahr 1997 mit Ergänzungen bis 1999 aus dem Zukunftsinvestitionsprogramm ZIP.

Die Defekte sind nach der Häufigkeit ihres Auftretens sortiert. Die farbliche Markierung der Balken ermöglicht die Zuordnung zu den angegebenen Komponenten. Es konnten an einem einzelnen System mehrere Mängel gleichzeitig auftreten. Der häufigste Fehler, die Leckage am Kollektorkreis, trat meist an ungeeigneten Schlauchverbindungen zwischen den Kollektoren oder an Ventilen, Pumpen oder Regelungsfühlerstutzen auf. Ein mit Wasser dicht wirkendes System ist bei Füllung mit einem Wasser-Glykol-Gemisch nicht unbedingt ebenfalls dicht, was mit der hohen Kriechfähigkeit des Glykols zusammen hängt. Durch diese Leckagen sammelt sich Luft in den oberen Systembauteilen, die nur über geeignete Entlüfter oder wirksamer Luftabscheider, die an den richtigen Stellen eingebaut sein müssen, abgeführt werden kann. Kann die Luft nicht entweichen, besteht die Möglichkeit der Korrosion bei Stahl- oder Aluminiumkollektoren. Luft im Kollektorkreis behindert den Wärmeträgerdurchsatz und verschlechtert somit die Systemeffizienz.

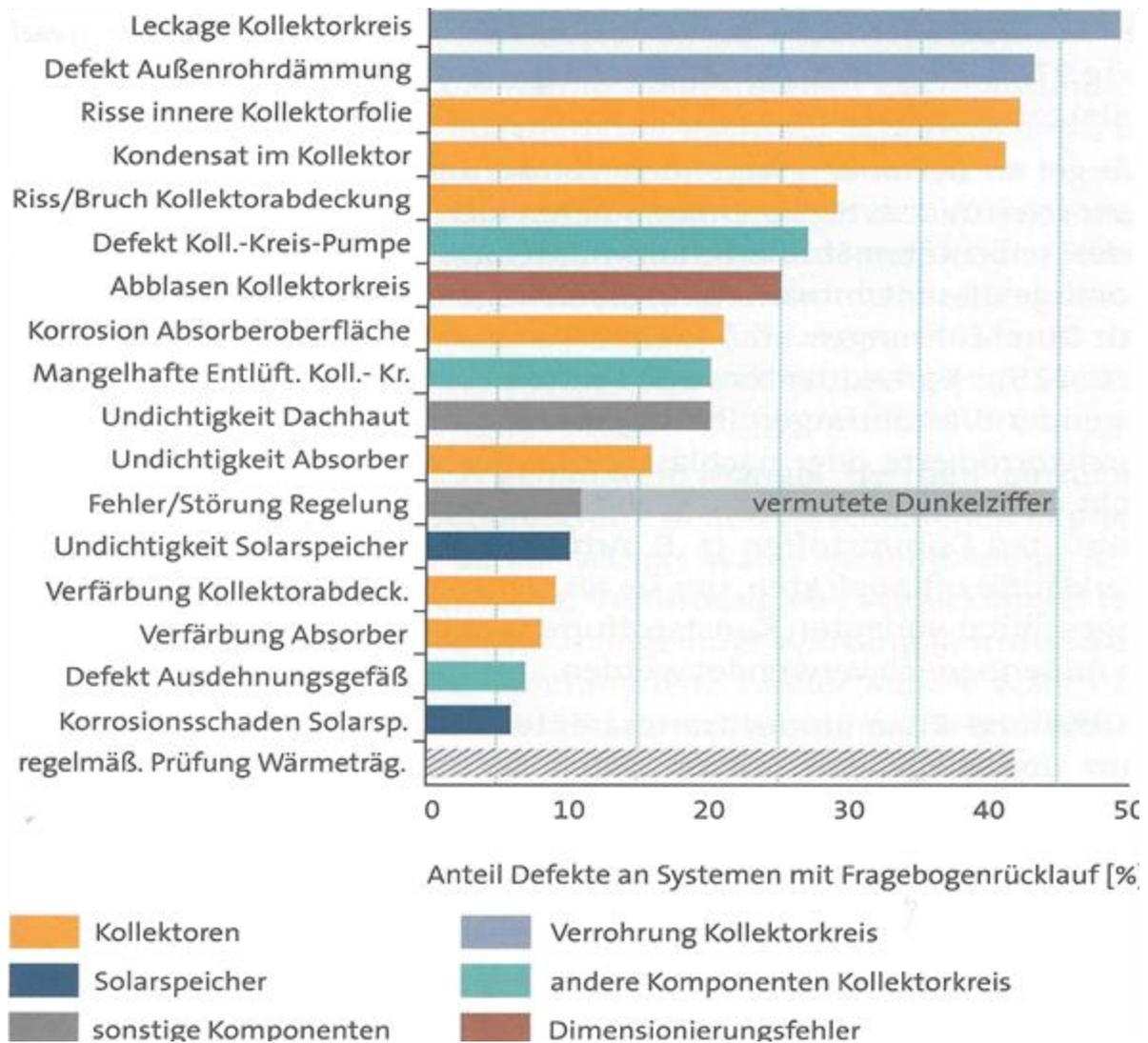


Abbildung 8-1: Häufigkeit von Defekten an den Solarsystemen des Zukunftsinvestitionsprogramm, Stand 2000 [Solarpraxis]

Fehler bei der Installation von Solaranlagen können durch Hinweise auf mögliche Fehlerquellen innerhalb von Schulungen der Installateure am effektivsten vermieden werden. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über typische Installationsfehler aller Arten von Solaranlagen. (aus www.energieberatung.ibs-hlk.de)

Tabelle 8-1: Mögliche Installationsfehler bei Solaranlagen

| Installationsfehler | Maßnahmen |
|---|--|
| <p>Luft im Solarkreis, hervorgerufen durch Spülen und Befüllen mit ungeeigneten Pumpen über einen zu geringen Zeitraum. Die Folgen sind u. a. schwankende Systemdrücke, Geräusche des Leitungssystems und Leistungseinbußen aufgrund des schlechten Wärmeübergangs in den Kollektoren. Ergänzt wird dieser Mangel durch falsch platzierte (nicht am höchsten Punkt) sowie ungeeignete (automatische) Entlüftungssysteme.</p> | <p>Geeignet sind Pumpen mit großen Volumenströmen und hohen Druckdifferenzen.</p> |
| <p>Veränderter Wärmeträger durch hohe Kollektortemperatur bei Stillstand, Nachfüllen mit Wasser oder falscher Befüllung</p> | <p>Regelmäßige Kontrolle bei der Wartung, z. B. optisch: Braunfärbung; chemisch: pH-Wert Messung: < 7 reduziert sich der Frostschutz!</p> |
| <p>Unzureichende Wärmedämmung bei Dach- und Mauerdurchbrüchen sowie der Speicheranschlüsse bewirkt höhere Wärmeverluste und weniger Solarertrag</p> | <p>Isolierung sämtlicher Leitungen im Heizungsraum sowie des Solarkreises und der Anschlüsse und Armaturen am Speicher</p> |
| <p>Wärmeverluste durch Fehlzirkulation bei fehlender oder defekter Schwerkraftbremse sowie bei horizontalen Anschlüssen zum Speicher</p> | <p>Möglichst mit Bogen nach unten anschließen, oder Installation von Schwerkraftbremsen zur Vermeidung wärmeverlustreicher Mikrozirkulationen</p> |
| <p>Mangelnde Fühlermontage durch falsche Fühlerposition bzw. schlechter thermischer Kontakt, kann falsches Regelverhalten hervorrufen</p> | <p>Auf Sorgfalt bei der Montage Hinweisen, da alle Steuer- und Regelungsvorgänge mit geringen Temperatur-Schaltdifferenzen arbeiten.</p> |
| <p>Ungeeignete Zirkulationsanbindung durch Einbringung von ca. 40 grädigen Trinkwarmwassers in die unteren Speicherregionen, die Schichtung wird beeinflusst, Solarertragsminderung</p> | <p>Zumindest bei den Standard-Steuerungen der Zirkulationspumpe mit Zeitschaltuhren ist bei längeren Laufzeiten der Zirkulationspumpe eine spezielle Verrohrung erforderlich.</p> |
| <p>Fehlender Trink-WW-Mischer, durch das Schichtungsverhalten im Speicher kann die Maximaltemperatur des WW deutlich überschritten werden, Verbrühungsgefahr</p> | <p>Um die Verbrühungsgefahr zu verhindern, ist der Einbau eines Trink-WW-Mischers zwingend geboten, z. B. ein thermostatisches Mischventil am WW-Abgang. Zudem sichert er auch die Materialeigenschaften der TWW-Leitungen ab.</p> |

Zu diesen genannten Installationsfehlern können bei heizungsunterstützten (HU) Solaranlagen weiterhin die in Tabelle 8-2 genannten Fehler auftreten.

Tabelle 8-2: Mögliche Installationsfehler bei heizungsunterstützten Solaranlagen

| Installationsfehler | Maßnahmen |
|--|--|
| <p>Falsche Positionierung des 3-Wege-Ventils, Bei HU-Anlagen dient das 3-W-Ventil zum Einbringen solarer Wärme in das Heizungssystem.</p> | <p>Effizienz ist nur gegeben, wenn es an der kältesten Rücklaufleitung montiert ist, um einen frühzeitigen und längeren Energiegewinn zum Ermöglichen.</p> |
| <p>Fehlende Schutzfunktion der Regelung. Bei HU-Anlagen treten häufiger hohe Temperaturen und Stillstandszeiten auf. Der Solarkreis sollte bei hohen Systemtemperaturen nicht anlaufen können. Die max. Speichertemperatur von in d. R. 95°C darf nicht überschritten werden.</p> | <p>Kühlfunktionen sollten bis zu einem bestimmten Temperaturniveau zwar aktiviert, aber bei leistungsstarken Kollektoren nicht überschätzt werden.</p> |
| <p>Fehlende Abblasleitung, Fatale Folgen für Leib und Leben kann die fehlende Abblasleitung und Ableitung in ein geeignetes Gefäß haben. Das Ansprechen des Sicherheitsventils bei unzulässigem Überdruck (Membranriss im Ausdehnungsgefäß) führt zum Austritt von Flüssigkeit oder Dampf.</p> | <p>Unbedingt eine geeignete Abblasleitung installieren.</p> |
| <p>Größe und Anschluss Ausdehnungsgefäß (MAG) Das MAG muss neben der Volumenänderung des flüssigen Wärmeträgers auch das vollständige Volumen der Verrohrung des Absorbers aufnehmen können. Bei Dampfbildung während der Stillstandsphase kann die Flüssigkeit im Absorber durch den Dampf vollständig in die Leitungen gedrückt werden. Durch einen falschen Anschluss des MAG von unten steigt die thermische Last der Membran durch steigende Temperatur und es sammelt sich Luft unter der Membran. Diese kann nicht entfernt werden. Es kommt zu Druckschwankungen.</p> | <p>MAG richtig dimensionieren: Bei einer Unterdimensionierung des MAG wird u. a. das Sicherheitsventil abblasen. Das ist aber nur bei unzulässigem Anlagenüberdruck zulässig, und nicht schon in der Stillstandsphase (z. B. Sommerurlaub).</p> |

Die Inbetriebnahme eines Solarsystems ist insbesondere für die Betriebssicherheit der Anlage mit Sorgfalt durchzuführen.

8.4. Optimierungsmöglichkeiten und Fehlervermeidung beim Betrieb

8.4.1. Wartung

Dem Anlagenbetreiber sollte auf jeden Fall ein Wartungsvertrag (ca. 30 – 50 €) nahe gelegt werden, damit alle ein bis zwei Jahre folgende regelmäßige Überprüfungen durchgeführt werden:

- Allgemeiner Zustand der Solaranlage
- Zustand der Opferanode - sofern vorhanden
- Ist Luft im System?
- Zustand des Wärmeträgers - ist Frostsicherheit gegeben?
- Sind die Wärmetauscher verkalkt?

Die Wartung einer Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung bzw. mit Heizungsunterstützung unterscheidet sich nicht, allerdings in bei der heizungsunterstützten Solaranlage eine Überprüfung noch wichtiger, da die Anlagenkomponenten einer stärkeren thermischen Belastung ausgesetzt sind.

8.4.2. Probleme bei Stillstandszeiten

Bei Sonneneinstrahlung kann es aufgrund eines vollen Speichers, eines technischen Defektes oder Stromausfalls zu einem Anlagenstillstand, auch als Stagnation bezeichnet, kommen. Dadurch wird ein Temperaturanstieg im Kollektor hervorgerufen, bei dem Temperaturen erreicht werden, die oberhalb des Siedepunktes der Solarflüssigkeit liegen. Stagnation kann sowohl bei solaren Trinkwarmwasseranlagen als auch bei heizungsunterstützten Solaranlagen auftreten. Diese sind prinzipiell häufiger erhöhten thermischen Belastungen ausgesetzt, es können sich Stillstandstemperaturen bis 200°C einstellen. Höchste Systemdrücke und damit Temperaturbelastungen treten an klaren Tagen mit wechselnder Bewölkung auf. Um die Belastungen für die Anlage so gering wie möglich zu halten, sind vom Hersteller, Planer und Installateur Fachkenntnisse über die genauen Vorgänge beim Stillstand erforderlich.

Bei thermisch strapazierten Solaranlagen kann ein Versagen der Solarflüssigkeit in Stillstandszeiten der Solarpumpe auftreten, was Korrosionsschäden und bzw. oder Verengungen durch Anbacken von Additiven oder gecrackten Komponenten des Fluids zur Folge haben kann. Durch die Überhitzung des verwendeten Glykols wird dieses gespalten und bzw. oder zu organischen Säuren oxidiert. Dadurch sinkt die Reservealkalität im Medium ab und bewirkt häufig ein Absinken des pH-Wertes. Ein pH-Wert unterhalb des Neutralpunktes birgt das Risiko eines mittel- bis langfristigen Korrosionsschadens (IEA-SHC Task 26/Hafner).

Die bei einer Stagnation auftretenden Probleme und Gegenmaßnahmen sind in Tabelle 8-3 angegeben.

Tabelle 8-3: Probleme und Maßnahmen bei Stagnation

| Stagnationsprobleme | Gegenmaßnahmen |
|---|--|
| <p>1. Verstopfungen im Kollektor, Verengung der Rohrquerschnitte: (reversible Auflösbarkeit von Korrosionsschutz-Inhibitoren auf Salzbasis ist bei hohen Stillstandstemperaturen nicht mehr gewährleistet). Damit verringert sich die Kollektorleistung.</p> <p>2. Öffnen des Überdruckventils trotz einer richtigen Auslegung des Ausdehnungsgefäßes</p> <p>3. Kondensationsschläge</p> <p>4. Frühzeitige Alterung des Wärmeträgers und dadurch verursachte Ablagerungen. Diese können nicht entfernt werden. Es kommt zu Druckschwankungen.</p> | <p>1. Kollektorverschaltung (seriell statt parallel).</p> <p>2. Abfluss der Flüssigkeit aus allen Absorberbereichen frei nach unten durch Schwerkraft (Anschlüsse von unten)</p> <p>3. Wahl des Systemdruckes</p> <p>4. Dimensionierung des Ausdehnungsgefäßes</p> <p>5. Art der Leitungsführung von wärmebeaufschlagten Absorber- oder Sammlerrohren (Länge der horizontalen Rohre, Rohrsenken)</p> <p>6. Auswahl und Zusammensetzung des Wärmeträgermediums, Maßnahmen zur Vermeidung zu früher Alterung</p> <p>7. Anordnung der Rücklaufgruppe</p> <p>8. Speicheraufstellung (nicht oberhalb der Unterkante Kollektoranschluss)</p> |

Wird die Solaranlage auch noch zur Heizungsunterstützung (HU) genutzt, so treten zusätzlich weitere Fehlerquellen auf.

- Bei Hochleistungskollektoren mit einer Stillstandstemperatur > 240°C ist eine mangelnde Temperaturbeständigkeit der beteiligten Komponenten anzumerken.
- Die verwendeten Materialien halten den auftretenden Temperaturen im Kollektorbereich nicht stand.
- Die Dampfleistung, besonders bei Kollektoren mit geringen K-Werten, wird häufig unterschätzt.
- Die Dampfmenge ist abhängig von der Dauer des Siedens der Solarflüssigkeit, je länger die Stagnation, desto mehr Dampfvolumen.
- Der Dampf kann über zweistellige Meterlängen in das System transportiert werden, was zu temperaturbedingten Schädigung an entfernten Stellen führt

- (www.energieberatung.ibs-hlk.de). [BDH]

8.4.3. Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme ist für die Betriebssicherheit einer Solaranlage äußerst wichtig. Bei der Inbetriebnahme wird der Solarkreis befüllt, gespült und abgedrückt. Während dieser Zeit darf der Kollektor keine Wärme liefern, es darf keine Einstrahlung stattfinden bzw. der Kollektor muss abgedeckt sein.

1. Befüllen und Spülen: Vorzugsweise mit einer Spül- und Befüllereinheit mit leistungsstarker Pumpe und großem Vorratsbehälter. Strömungsgeschwindigkeit > 0,4 m/s, mind. 20 Minuten lang, um Zunder etc. herauszuspülen.
2. Abdrücken: 90 % des Anlagendrucks (Ansprechdruck des Sicherheitsventils – 10 %), mindestens 30 Minuten
3. Druckverhältnis: Als Anlagenbetriebsdruck wird ein Überdruck von 0,7–1,5 bar zuzüglich 0,1 bar pro Meter statischer Höhe zwischen Manometer und höchstem Anlagenpunkt vorgesehen. Zu geringer Druck fördert stagnationsbedingte Dampfbildung.
4. Entlüften: Sorgfältige Entlüftung der Anlage ist unbedingt erforderlich, erkennbar an einer konstanten Anzeige des erforderlichen Volumenstroms und an einem stabilen Druck während des Pumpenbetriebs. Erneute Entlüftung nach einigen Betriebswochen wird empfohlen.
5. Volumenstrom: Einstellung des erforderlichen Volumenstroms im Solarkreis durch die Wahl der richtigen Pumpenstufe, Herstellerangaben beachten!
6. Dokumentation: Die (nach der allgemein anerkannten Regeln der Technik vorgeschriebene) Dokumentation muss sichtbar aufgehängt werden. Besonders die Hinweise bei Druckabfall, Störungsmeldungen, Abblasen des Sicherheitsventils etc. sollten in Anlagennähe sichtbar sein. Die Druckprobe der hydraulischen Kreise muss mit Datum und Unterschrift schriftlich festgehalten werden.
7. Bei der Inbetriebnahme von Speichern ist auf eine genaue Einstellung der Bereitschaftstemperatur zu achten; zu hohe Temperaturen schmälern den solaren Ertrag und fördern verstärkten Kalkausfall.

Detaillierte Praxistipps sind im Informationsblatt Nr. 34 des BDH enthalten.

8.5. Schulungsangebote

Bereits seit vielen Jahren und auch immer noch in der Gegenwart werden Lehrgänge zum Thema Solaranlagen angeboten und durchgeführt.

Der Lehrgang „Fehlervermeidung und Fehlersuche“ in thermischen Solaranlagen der Handwerkskammer Osnabrück-Emsland wird mit folgender Zielsetzung angeboten:

Das Seminar befähigt die Teilnehmer, die Einbindung thermischer Solaranlagen in das Heizungs- und Regelungssystem zu erstellen, vorhandene Anlagen zu überprüfen und zu optimieren, damit eine hohe Anlagensicherheit und Effizienz im Betrieb gewährleistet sind. Weiterhin lernen die Teilnehmer, Gebäudeschäden durch falsche Ausführung zu verhindern, indem Fehler bei der Montage der Kollektoren in die Gebäudehülle bzw. die Dachhaut erkannt werden und somit vermieden werden können.

Dieses Seminar beinhaltet folgende Themen:

Kollektormontage

- In unterschiedlicher Form (Aufdach- und Indachmontage, Flachdachmontage mit Tragekonstruktion) unter Berücksichtigung der Gebäudeabdichtung

Kollektoren

- Kollektorbauarten
- Kollektorenhydraulik, Volumenströme, Anschlussarten
- Anlagensicherheit mit und ohne Frostschutzmittel

Leitungen und Sicherheitskomponenten

- Zugelassene Materialarten
- Zugelassene Verbindungstechniken
- Dämmstoffe und Isoliersysteme
- Sicherheitsarmaturen
- Pumpen

Regelungstechnik

- Regler mit festem oder variablem Volumenstrom
- Fühleranordnung im Solarsystem
- Verbindungen mit nachgeschaltetem Heizungssystem

Hydraulik

- Speicheranbindung, Speicherladetechnik
- Schichtenspeicher
- Warmwassererzeugung durch Frischwassermodul

Unfallverhütung

- Sichere Ausführung der Montagearbeiten auf dem Dach

Aus: www.hwk-os-el.de/uni/modules/sem/resources/pdf/1389.pdf

Es werden weitere Schulungen angeboten, z. B. von:

- Berufsförderungswerk der Gebäude- und Energietechnikhandwerke e. V. (B10 Aufbauseminar für das SHK-Handwerk) zur „SHK-Fachkraft Solarthermie“. Es wird ein bundeseinheitliches Zertifikat des ZVSHK ausgestellt. Nähere Informationen unter www.berufsfoerderungswerk.org

9. Praxisanlage im Versuchshaus

Das Gas- und Wärme-Institut verfügt über ein Versuchshaus, in dem die Möglichkeit besteht, eine Brennwert-Solaranlage unter praxisnahen Versuchsbedingungen zu testen. Das Versuchshaus entspricht einem Einfamilienhaus, das nach der Wärmeschutzverordnung von 1995 gebaut wurde.

Als marktgängige Versuchsanlage wurde eine Solaranlage mit Heizungsunterstützung mit folgenden wesentlichen Daten installiert:

- Brennwertkessel Eco-Therm Plus WBG 15 E, 2,9 – 15 kW NWB
- 6 Flachkollektoren, Typ Brötje FK 26 W; 12,9 m² Gesamtabsorberfläche
- Pufferspeicher SPZ 800, 800 l Speicher mit externer Frischwasserstation

9.1. Versuchsanlage

Abbildung 9-1 zeigt das Schema der Versuchsanlage.

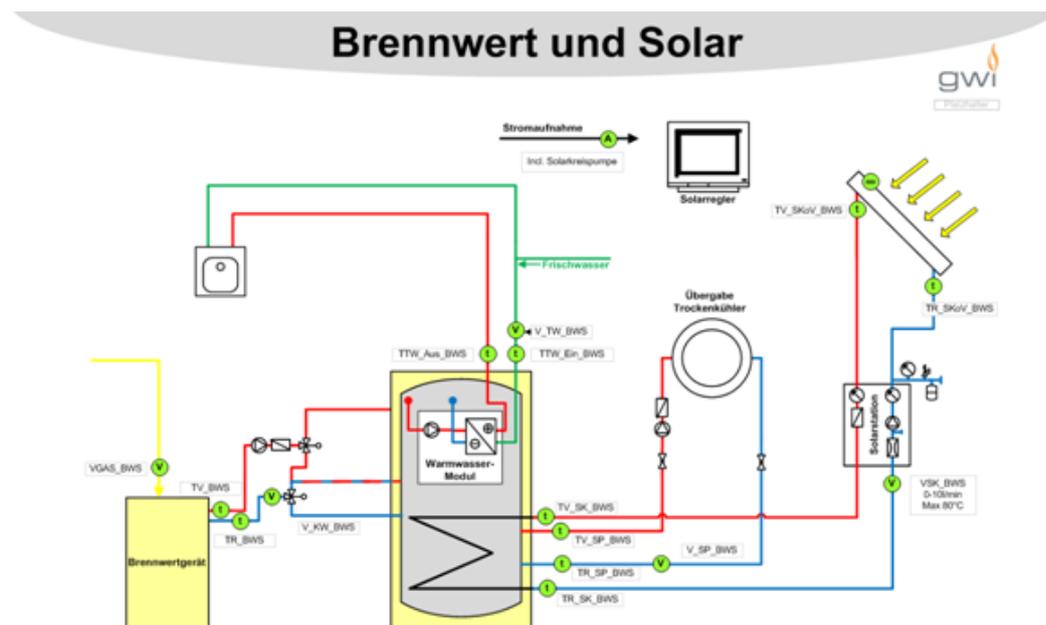


Abbildung 9-1: Schema der Versuchsanlage

Ein im Erdgeschoss installierter wandhängender Brennwertkessel speist bei Bedarf Wärme in den 800 Liter Pufferspeicher ein, entweder in die Mitte des Speichers, wenn die Heizung Wärme anfordert oder im oberen Bereich für den Warmwasserbedarf. Wird Warmwasser angefordert, so wird dieses in einem externen, außen am Pufferspeicher angebrachten Warmwasserwärmetauscher mit dem warmen Wasser aus dem oberen Bereich des Pufferspeichers erwärmt. Trinkwarmwasserzapfungen können über die Datenerfassung nach gewünschten Zapfprofilen erfolgen.

Die 6 Flachkollektoren sind bodenstehend in Freiaufstellung als Einfeldanlage mit je einem Vor- und Rücklauf direkt angeschlossen. Sie sind mit einem Neigungswinkel von 45° direkt nach Süden ausgerichtet. Die Entfernung bis zum Speicher beträgt ca. 30 m. Aufgrund dieser Leitungslänge werden die Vor- und Rücklauftemperaturen des Kollektorkreises sowohl am Kollektorein- und austritt als auch am Speicherein- und austritt gemessen, so dass durch die Leitungslänge entstehenden Verluste berücksichtigt werden können. Die Solarstation mit der Solarpumpe und dem Ausdehnungsgefäß befinden sich am Pufferspeicher bzw. in unmittelbarer Umgebung davon. Der Heizwärmebedarf kann mit Hilfe eines Trockenkühlers beliebig vorgegeben werden.

Folgende Messwerte werden mit einer Messdatenerfassung alle 13 s erfasst und sowohl als diskrete Messwerte als auch als gemittelte Werte (Mittelwert über 1,2 Minuten) gespeichert:

- Vor- und Rücklauftemperaturen am Brennwertkessel, Kollektor außen und Keller, Speicher-Trockenkühler, externer Frischwasserwärmetauscher
- Volumenströme: Kollektorkreislauf, Trockenkühlerkreislauf, Warmwasserzapfmenge, Brennwertkesselkreislauf, Gasverbrauch
- Stromaufnahme der Solarkreispumpe
- Strahlungsintensität

Die Bildschirmanzeige ist beispielhaft für einen sonnigen Tag ohne Warmwasserentnahme in Abbildung 9-2 aufgeführt.

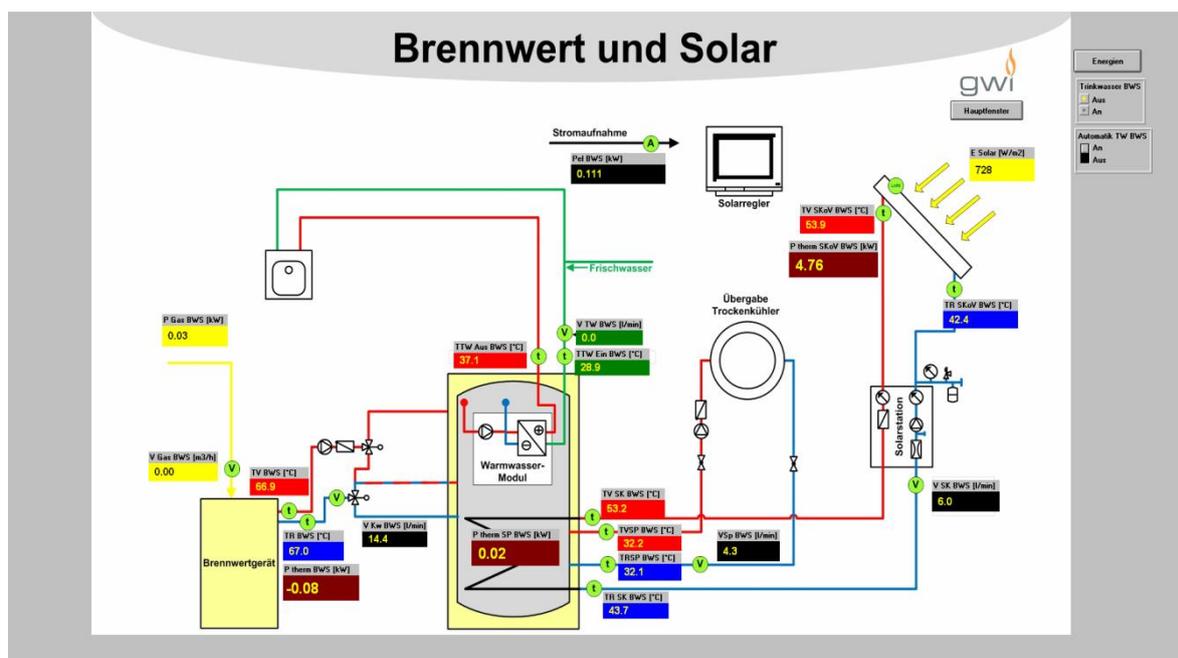


Abbildung 9-2: Bildschirmanzeige der Versuchsanlage Brennwert und Solar

9.2. Versuchsergebnisse

9.2.1. Anlage im Standard-Heizbetrieb

Die Abbildung 9-4 bis Abbildung 9-6 zeigen den Verlauf verschiedener Messwerte über 24 Stunden, beispielhaft für den 02. August 2011. Hierbei handelte es sich um einen sonnigen Tag mit einer Höchsttemperatur von 27 °C. Der Brennwertkessel war dabei auf Standard-Heizbetrieb zwischen 6:00 und 22:00 Uhr eingestellt. Es wurden Warmwasserzapfungen nach dem in Abbildung 9-3 dargestellten Profil mit einer Auslauftemperatur von ca. 45 °C durchgeführt. Die Zapfmengen mit jeweiliger Zapfdauer und der Warmwassertemperatur sind in

Tabelle 9-1 angegeben. Die 15 -minütigen Warmwasserentnahmen stellen Duschbäder dar.

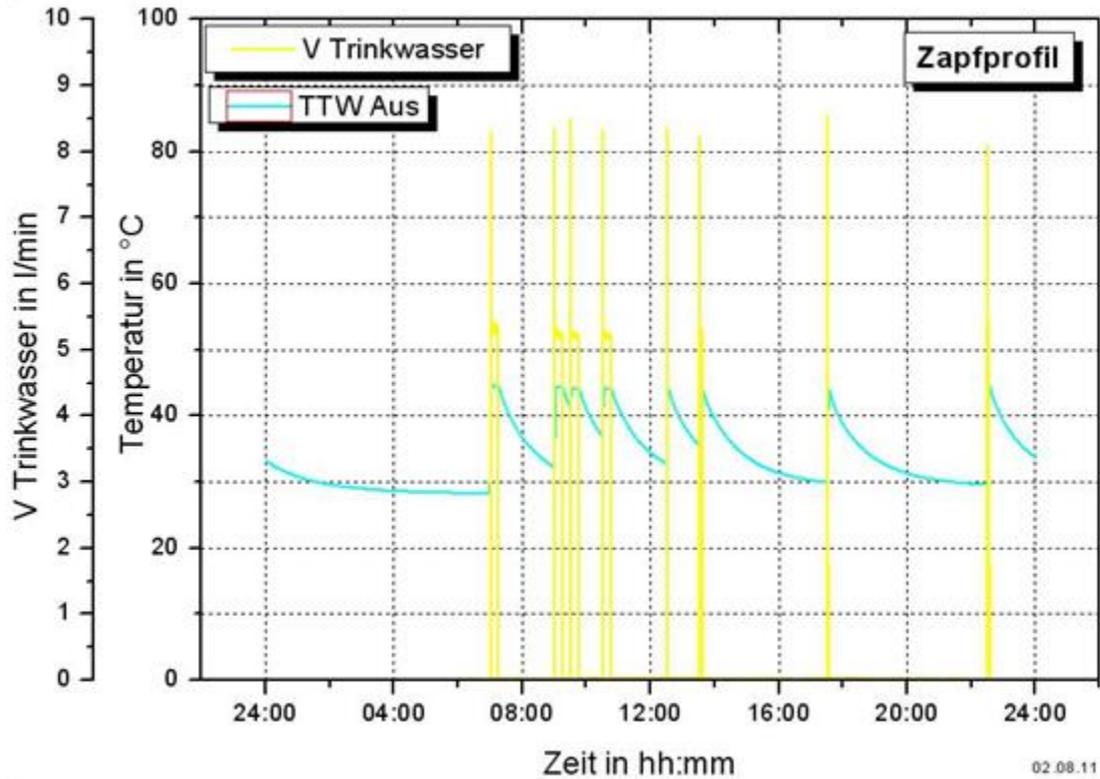


Abbildung 9-3: Warmwasser-Zapfprofil

Tabelle 9-1: Zapfzeiten mit Zapfmengen und Warmwassertemperatur

| Zapfzeiten | Zapfmenge in l | WW-Temperatur in °C |
|---------------------|----------------|---------------------|
| 07:00:31 – 07:15:14 | 76,4 | 44,6 |
| 09:00:28 – 09:15:23 | 76,5 | 44,4 |
| 09:30:30 – 09:45:22 | 75,9 | 44,3 |
| 10:30:33 – 10:45:16 | 75,9 | 44,3 |
| 12:30:32 – 12:31:22 | 6,0 | 44,4 |
| 13:30:26 – 13:35:15 | 26,2 | 44,1 |
| 17:30:25 – 17:31:16 | 6,0 | 44,5 |
| 22:30:35 – 22:33:19 | 16,0 | 44,6 |

Abbildung 9-4 gibt einen Überblick über verschiedene Messdaten am 02. August 2011. Aufgrund der Einstellung des Standard-Heizbetriebs zwischen 6:00 und 22:00 Uhr stellte sich ein ständiger Volumenstrom im Kesselkreislauf von 14 l/min ein, was an der orangenen Linie zu erkennen ist.

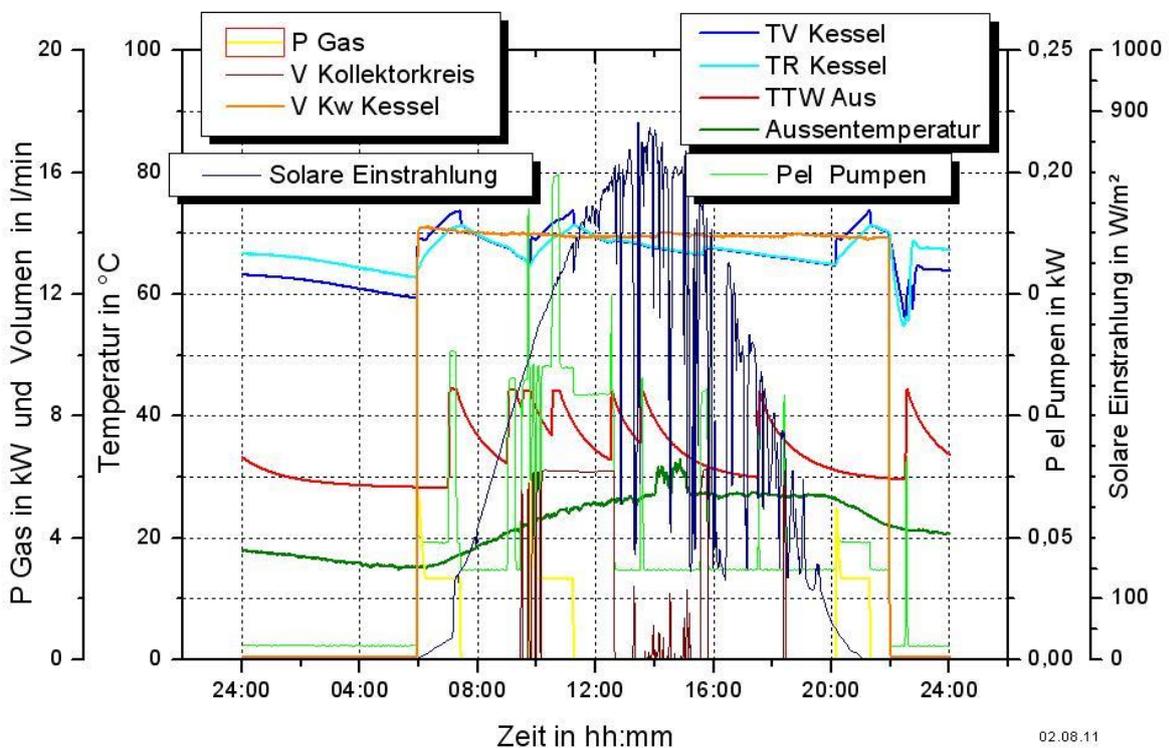


Abbildung 9-4: Verlauf verschiedener Messdaten am 02. August 2011

Der Verlauf der solaren Einstrahlung wird durch die dunkelblaue Linie wieder gegeben, die Außentemperatur stellt die dunkelgrüne Linie dar. Die höchste Intensität der Sonneneinstrahlung fand zwischen 12:30 und 15:30 Uhr mit Werten um die 800 W/m² statt. Die maximale Außentemperatur betrug 31,7 °C. Das Brennwertgerät ist an diesem Tag drei Mal in Betrieb gegangen, was an dem gelben Kurvenverlauf zu erkennen ist, der die vom Brenner abgegebene Leistung darstellt. Direkt um 06:00 Uhr, nach dem Ende der Nachtabsenkung bzw. dem Beginn des Heizungsbetriebs hat sich der Brenner eingeschaltet. Nach einem kurzen Anlauf bis zu einer Leistung von 6 kW modulierte der Brenner für ca. 1,5 Stunden bei 2,4 kW. Um 09:50 Uhr startete der Brenner erneut mit einem ähnlichen Betriebsverhalten, die dritte Brennerlaufzeit gegen 20 Uhr war um ca. 20 Minuten kürzer. Der Brenner schaltete jeweils bei einer Vorlauftemperatur von 73,7 °C ab. Der durch den Brennerbetrieb hervorgerufene Anstieg der Kesselvorlauftemperatur ist an dem blauen Kurvenverlauf deutlich zu erkennen, die Kesselrücklauftemperatur wird durch die türkisfarbene Linie aufgezeichnet. Die rote Linie, die Temperatur des gezapften Warmwassers, verdeutlicht die Zapf-Vorgänge. Bei jedem abrupten Anstieg auf 45 °C wurde warmes Wasser entnommen. Die braune Linie gibt den Volumenstrom im Kollektorkreis an. Insbesondere die mehrfachen Peaks ab 09:30 Uhr zeigen einen Ein- und Aus-Betrieb des Kollektorkreises an. Ab ca. 10 Uhr bis 12:30 Uhr lief die Pumpe im Kollektorkreis dauerhaft, während dieser Zeit betrug der Volumenstrom konstant 6,2 l/min. Durch die mehrfachen 15-minütigen Warmwasser-Zapfungen musste der Speicher nachgeladen werden, was durch die Nutzung der Solarenergie erfolgte. Die hellgrüne Linie gibt die Höhe des Stromverbrauchs der Pumpen der gesamten Anlage an. Die Höhe des Stromverbrauchs richtet sich nach dem zum Teil gleichzeitigen Betrieb der einzelnen Pumpen. In Abbildung 9-5 ist der gleiche Kurvenverlauf mit den anderen Volumenströmen nochmals dargestellt. Hier sind die unterschiedlichen Stufen des Pumpenstromverbrauchs besser zu erkennen. Aus diesen Messwerten können die in Tabelle 9-2 angegebenen Verbräuche der einzelnen Pumpen ermittelt werden.

Tabelle 9-2: Leistungsaufnahme der Pumpen

| Pumpe | Leistungsaufnahme in W |
|--------------------|------------------------|
| Standby | 5,8 |
| Brennwertgerät | 11,5 |
| Trinkwasserstation | 78 |
| Kollektorkreis | 73,5 |
| Heizkreislauf | 37 |

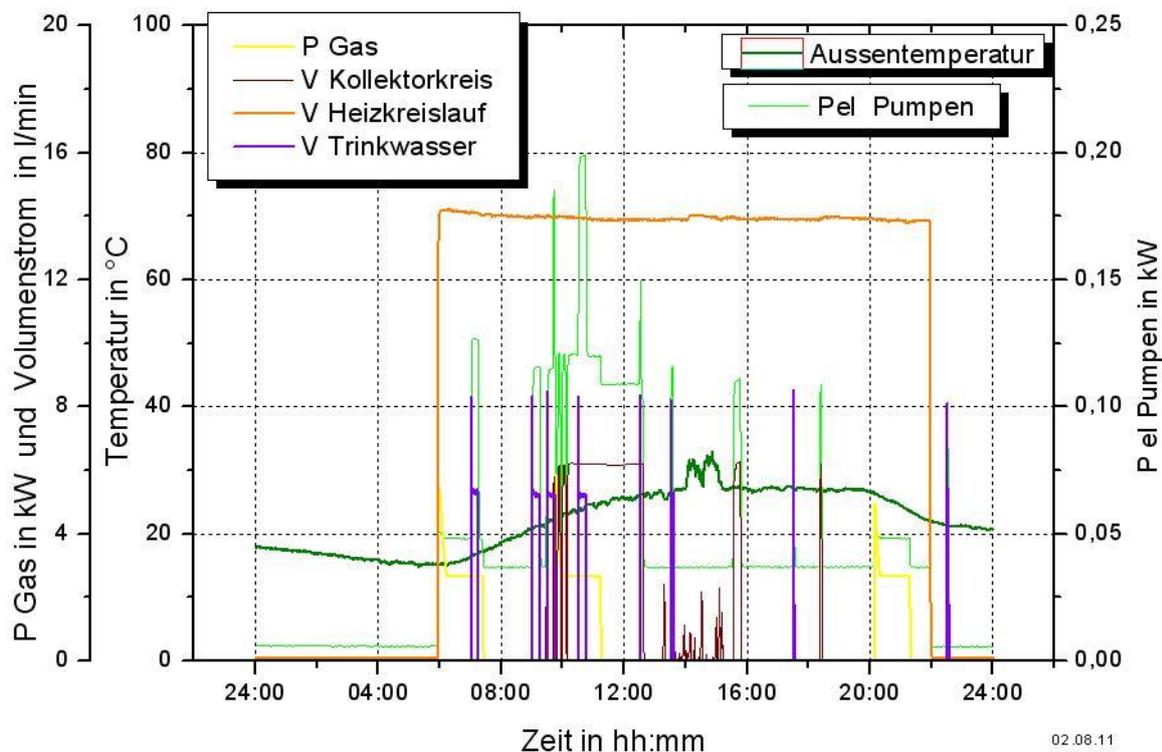


Abbildung 9-5: Verlauf der unterschiedlichen Volumenströme am 02. August 2011

Neben der solaren Einstrahlung (blaue Linie) sind in Abbildung 9-6 auch die Vor- und Rücklauf-temperaturverläufe (rote und cyan dunkel Linien) im Solarkreis dargestellt.

Zusätzlich sind nochmals an den gelben Kurven die Brennerlaufzeiten, an der türkisfarbenen Linie die Warmwasser-Zapfungen und an der braunen Linie der Betrieb der Solarkreispumpe zuerkennen. Der Betrieb der Solarkreispumpe zwischen 10 und 12:30 Uhr mit einer Spreizung zwischen Kollektorvorlauf- und Rücklauf-temperatur von ca. 8 – 12 °C ist in diesem Diagramm nochmals deutlich zu sehen. Nach Abschaltung der Solarkreispumpe stiegen die Vor- und Rücklauf-temperaturen am Sonnenkollektor aufgrund der hohen solaren Einstrahlung sprunghaft auf mehr als 160 °C an. Um die Bauteile im Solarkreis vor zu hohen Temperaturen zu schützen, schaltete sich die Solarkreispumpe erst wieder ein, nachdem die solare Einstrahlung deutlich gesunken war.

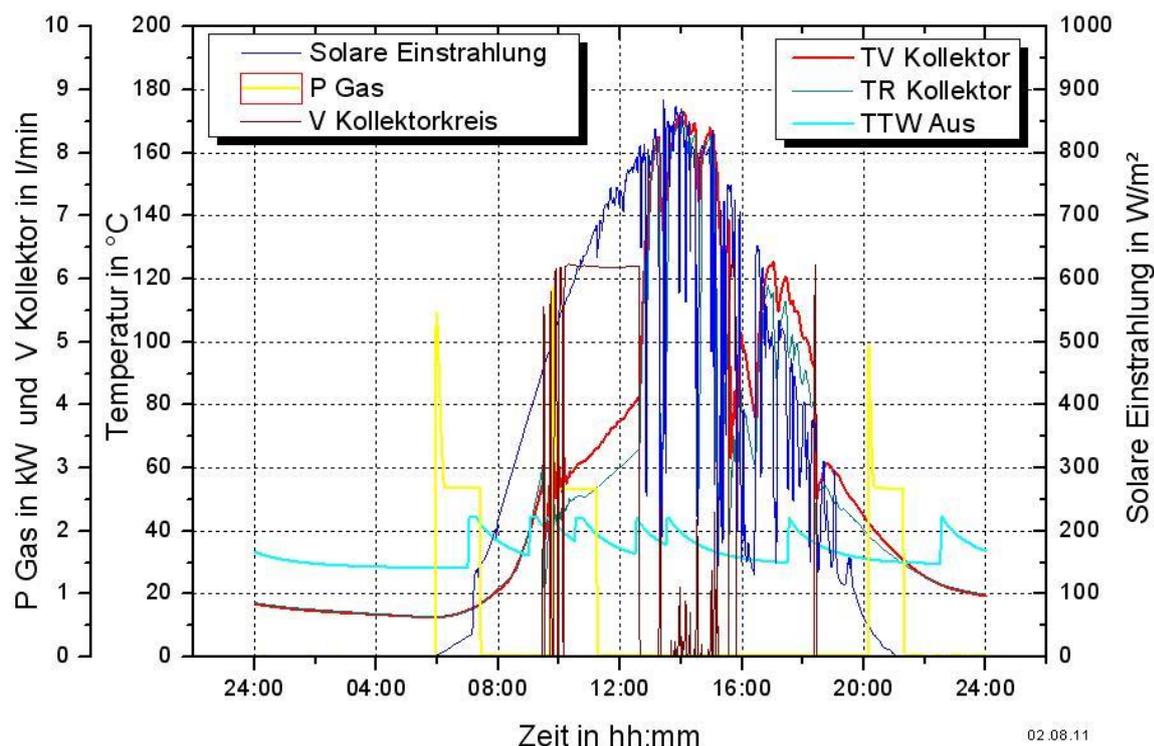


Abbildung 9-6: Verlauf von Messdaten im Kollektorkreis am 02. August 2011

9.2.2. Anlage im Trinkwarmwasserbetrieb

Vergleichsweise wurde die Versuchsanlage im Trinkwassermodus betrieben. Die Messergebnisse vom 01. Oktober 2011, ein sonniger und warmer Tag mit einer maximalen Außentemperatur von 25 °C, sind in den Abbildung 9-7 und Abbildung 9-8 dargestellt. Die Diagramme zeigen, dass weder der Brennwertkessel noch die Pumpe im Heizkreislauf an diesem Tag in Betrieb gegangen sind. Es wurde Warmwasser nach dem in Kapitel 9.2.1 beschriebenen Warmwasser-Zapfprofil entnommen. Die Zapfungen sind an der rot dargestellten Auslaufftemperatur des warmen Wassers sichtbar, bei jedem Anstieg der Temperatur auf ca. 45 °C erfolgte eine Wasserentnahme. Der für jede Zapfung benötigte Pumpenstrom der Trinkwasserpumpe ist an den hellgrünen Peaks bis ca. 84 W sichtbar. Schaltet sich zusätzlich gleichzeitig die Solarkreispumpe hinzu, erhöhen sich die Peaks auf ca. 155 W, was zwischen ca. 10 und 14 Uhr vier Mal der Fall ist. Der dunkelblaue Kurvenverlauf gibt die solare Einstrahlung wieder, die beträgt maximal ca. 550 W/m² während der Mittagszeit von 12 bis 14 Uhr. Die Warmwasserentnahmen in den Vormittagsstunden konnten durch den Pufferspeicher erfolgen, eine Speicheraufladung erfolgte bereits während der dritten Wasserentnahme. Die solar gewonnene Wärme wurde bereits vor 10 Uhr mehrmals genutzt. Der Speicher wurde durch den dauerhaften Betrieb des Kollektorkreises bis ca. 14:30 Uhr wieder

aufgeladen. Der Anstieg der Kesselvor- und Rücklaufemperatur (blaue und türkisfarbenen Kurve) während dieser Zeit macht dies ebenfalls deutlich.

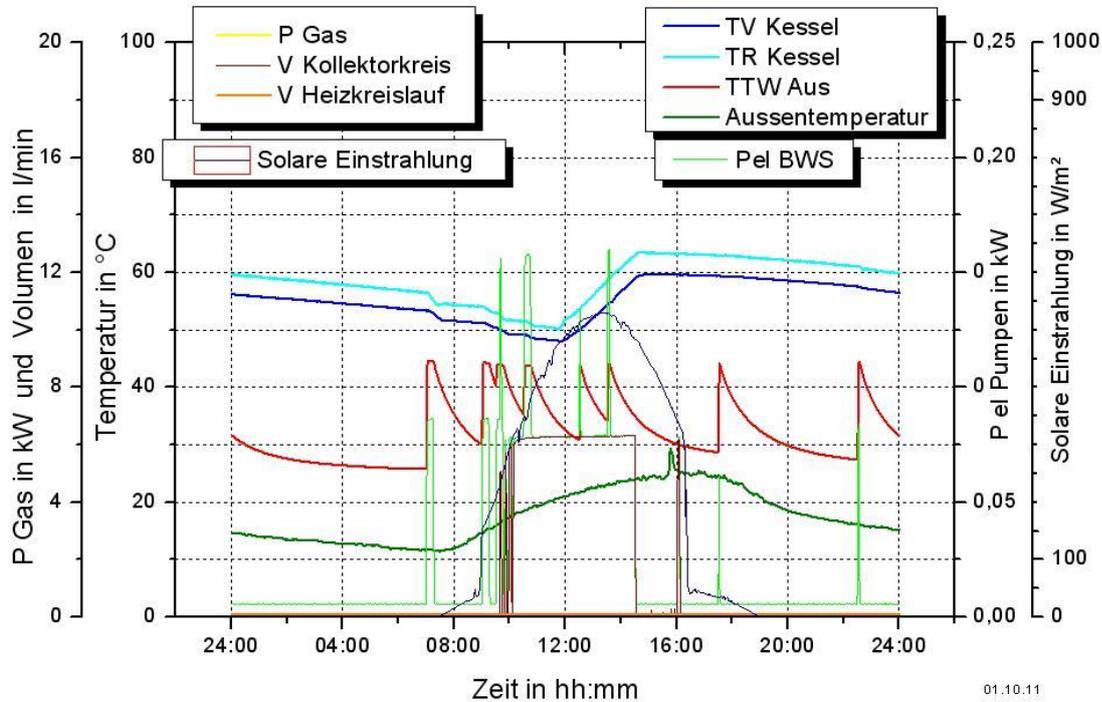


Abbildung 9-7: Verlauf verschiedener Messdaten am 01. Oktober 2011, Trinkwasserbetrieb

In Abbildung 9-8 sind neben der solaren Einstrahlung und dem Volumenstrom im Kollektorkreis auch die Vor- und Rücklaufemperaturverläufe an den Kollektoren dargestellt. Die Warmwasserentnahmen sind an der türkis angegebenen Warmwasser-Auslaufterperatur ersichtlich. Gas wurde nicht verbraucht. Während des Betriebs der Kollektorkreispumpe ist ein deutlicher Temperaturunterschied zwischen Ein- und Austrittstemperatur am Kollektor erkennbar. Nach Stillstand der Kollektorkreispumpe gegen 14:30 Uhr steigen die Temperaturen am Kollektor sprunghaft an, bis auf ca. 160 °C. Erst nach Absinken der Kollektortemperaturen gegen 16 Uhr schaltet sich die Solarkreispumpe wieder ein.

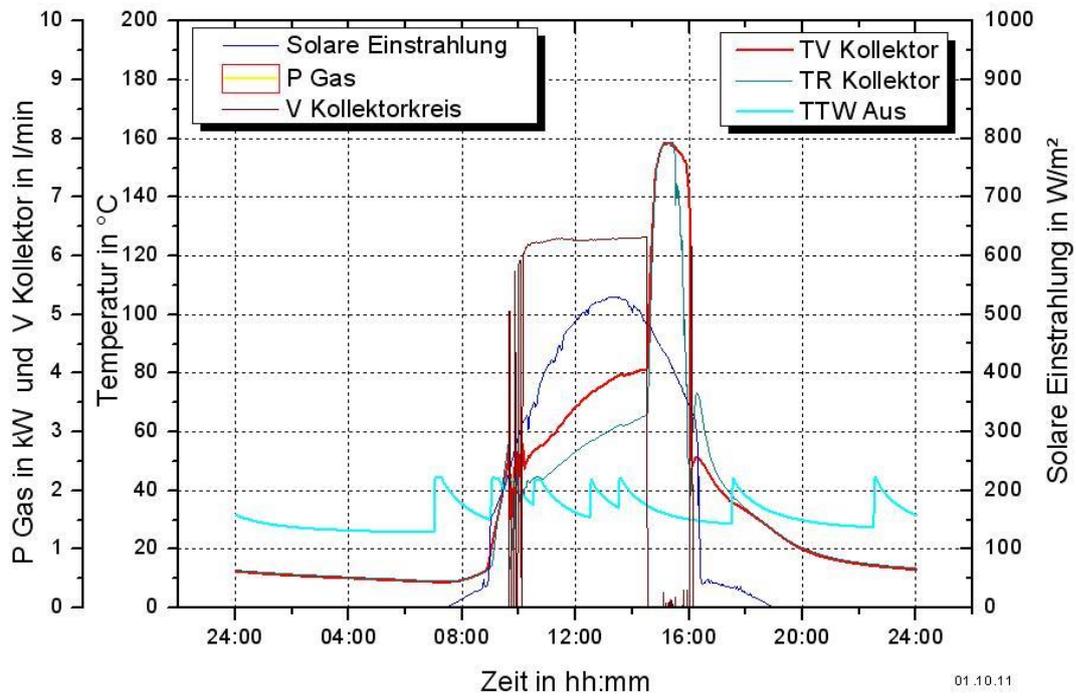


Abbildung 9-8: Verlauf von Messdaten im Kollektorkreis am 01. Oktober 2011

10. Zusammenfassung

Die Solarthermie eignet sich insbesondere im Neubaubereich zur Erfüllung des EEWärmeG (Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz), das seit dem 1. Januar 2009 bei der Wärmeversorgung von Gebäuden im Bereich Solarthermie eine 15 %-ige Nutzung von erneuerbaren Energien fordert. Außerdem ist die Nutzung der solaren Wärme CO₂-frei und spart wertvolle Brennstoffe. Die Brennwerttechnologie ist eine von technischer Seite etablierte Standardtechnologie mit nach wie vor bestehenden Optimierungsmöglichkeiten in Kombination mit Solarthermie, sowohl für die Einbindung solarer Trinkwarmwassererwärmung als auch insbesondere mit Heizungsunterstützung.

Ziel dieses Projektes ist die Zusammenführung, Kategorisierung, Bewertung und Weiterentwicklung der Kriterien für eine optimale Dimensionierung und Anwendung in Abhängigkeit der Randbedingungen durch die Anlagen- und Gebäudetechnik. Als Projektrahmen gilt der EFH und ZFH-Bereich jeweils als Bestand und Neubau.

Die Recherche über Förderprogramme von solarthermischen Anlagen ergibt Möglichkeiten zur Förderung der Installation von Solaranlagen auf Bestandsgebäuden durch das BAFA im Rahmen des Marktanzreizprogramms (Zuschuss) sowie durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) im Programm 152 „Energieeffizient Sanieren“ (Kredit). Im Neubaubereich werden Solaranlagen bei energieeffizienten KfW-Effizienzhäusern 70 (Kredit), 55 oder 40 oder eines Passivhauses (Kredit + Tilgungszuschuss) gefördert. Weiterhin stellen einige Bundesländer für eine Heizungssanierung ebenfalls Fördermittel bereit. Auch bieten viele Stadtwerke bzw. Gasversorgungs-Unternehmen bei einem Energieträgerwechsel von Öl, Strom, Kohle oder Flüssiggas auf Erdgas-Brennwerttechnik in Kombination mit Solarthermie eine Förderung zusätzlich zur staatlichen Förderung an.

Die Bundesregierung sieht in ihrem Energiekonzept die energetische Sanierung des Gebäudebestands als eine sehr wichtige Maßnahme zur Minderung des fossilen Energieverbrauchs an. Bis 2020 soll der Wärmebedarf von Bestandsgebäuden um 20 % sinken, bis 2050 sogar um 80 %. Ziel ist mindestens eine Verdoppelung der Sanierungsrate von 1 auf 2 % sowie eine Heizungsmodernisierungsrate von 3,5 auf 7 %. Die Betrachtung der Marktentwicklung der Solarthermie zeigt jedoch einen deutlichen Rückgang der installierten Solaranlagen seit 2008. In 2010 hat sich der Ausbau der Solarthermie verlangsamt, es wurde rund 26 % weniger Kollektorfläche neu zugebaut als im Vorjahr. Gründe hierfür sind:

- Verunsicherung der Eigentümer durch instabile Förderbedingungen (Förderstopp im Marktanzreizprogramm vom 04. Mai bis 12. Juli 2010)
- Solarstromförderung verdrängt Öko-Wärme-Investitionen
- Politisches Zögern bei steuerlichen Anreizen

- Propagierung neuer Technologien ruft Abwarten bei den Eigentümern hervor

Die Zusammenstellung der Komponenten solarthermischer Anlagen wie Kollektoren, Speicher, Steuerungs- und Regelungselemente und Bauteile im Solarkreislauf, die Erläuterung der Kollektorkennwerte sowie die Beschreibung der Systeme zur Trinkwassererwärmung und zur Heizungsunterstützung geben einen umfassenden Überblick zum Thema Solarthermie.

Bei der Betrachtung der Kriterien für eine optimale Dimensionierung für solare Trinkwasseranlagen und heizungsunterstützte Solaranlagen wird zunächst die Vorgehensweise, d.h. die Gesichtspunkte und die Wahl der Zielgröße bei der Auslegung dargelegt. Die dabei verwendeten unterschiedlichen Daumenregeln sind tabellarisch aufgeführt. Mit der Auslegungssoftware „GetSolar“ von Hottgenroth werden Beispielauslegungen simuliert und dabei der Wirkungsgrad, der solare Deckungsanteil für Warmwasser und bei den heizungsunterstützten Anlagen auch die Gesamtdeckungsrate berechnet. Weiterhin wird die gesetzliche Auslegung nach dem EEWärmeG vorgestellt. Damit ein Tenor der Branche zur Auslegung von solarthermischen Anlagen ermittelt werden konnte, wurden Hersteller und Planungsorgane befragt. Durch eine Auslegung anhand derselben Eingangsparameter stellen die Teilnehmer ihre Ergebnisse zum Vergleich zur Verfügung. Die Ergebnisse werden jeweils für Anlagen mit solarer Heizungsunterstützung in zwei unterschiedlichen Referenzgebäuden (Bestand und Neubau) dargestellt.

Es ergibt sich eine deutliche Planungsvarianz, zum einen bei der Größe der Aperturfläche und zum anderen zeigen sich erhebliche Unterschiede bei der solaren Deckungsrate am gesamten Wärmebedarf. Diese Abweichungen sind belegt durch unterschiedliche Auswahl der Komponenten. Eine Abweichung der Ergebnisse durch Verwendung verschiedener Simulationsprogramme ist zu vernachlässigen. Weiterhin wird der Auslegungsbereich von Daumenregeln zwei verschiedener Verbände verdeutlicht. Diese Bereiche haben nur einen geringen gemeinsamen Auslegungsbereich.

Eine Regelwerksrecherche macht die Bedeutungen und Funktionen der Verordnungen und Gesetze bezüglich Solarthermie deutlich. Das EEWärmeG schreibt seit 2009 für Neubauten vor, erneuerbare Energien zu nutzen. Mit Solarthermie wird das EEWärmeG mit einer Deckung von 15 % des Wärmeenergiebedarfs erfüllt. Diese Forderung kann zum einen durch ein bestimmtes Flächenverhältnis (0,04) zwischen Nutzfläche des Gebäudes und Kollektorfläche und zum anderen durch die Zertifizierung der Kollektoren mit dem europäischen Prüfzertifikat „Solar- Keymark“ eingehalten werden. Ersatzmaßnahmen wie z. B. Wärmeenergieeinsparungen werden ebenfalls akzeptiert.

Eine wichtige rechtliche Grundlage zu Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung bildet die EnEV (2009), die für Gebäude und Bauprojekte Mindestanforderungen an die gesamte Effizienz der Energienutzung formuliert. Sie fordert als Hauptkriterium einen maximalen Jahres-Primärenergiebedarf des gesamten Gebäudes für Neubauten und Bestandsgebäude im Sanierungsfall. Weiterhin werden wesentliche Normen und Richtlinien genannt, die für Solaranlagen relevant sind und Bedeutung bei der Planung und Installation finden.

Zur Identifizierung der Wirkbeziehungen und der Effizienzeinflüsse zwischen den Systemparametern einer solarthermischen Anlage wird für verschiedene Systeme im Einfamilienhausbereich eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Mit der Auslegungssoftware GetSolar werden Berechnungen zum Einfluss der Dimensionierungs-Kriterien wie Aperturfläche, Speichergröße, Systemtemperaturen sowie der hydraulischen Einbindung auf die solare Deckungsrate am Wärmeenergiebedarf durchgeführt. Die Sensitivitätsanalyse erfolgt in 5 sukzessiven Schritten, sowohl für solare Anlagen zur Trinkwarmwasserbereitung als auch zur Heizungsunterstützung, jeweils für einen Neubau nach EnEV 2009 und für ein Bestandsgebäude mit Dämmstandard von 1978. Bei den solaren Anlagen zur Heizungsunterstützung werden drei verschiedene hydraulische Speicher-einbindungen betrachtet.

In Schritt 1 erfolgt zunächst eine Grobanalyse ohne eine Fokussierung auf einzelne Parameter. Durch die Variation der Kollektorfläche (6,84 / 13,68 / 22,8 m²), des Pufferspeichervolumens (250 / 500 / 1000 / 1500 l) und der Anpassung der Vorlauftemperatur der Heizung als auch der Trinkwasserauslauftemperatur (je 55 / 40°C) ergeben sich 96 Anlagenkonfigurationen, welche in Kombination mit einem bereits definierten Einfamilienhaus (nach Standard der EnEV 2009, schrittweise simuliert werden.

Die Ergebnisse aus Schritt 1 führen zu einer detaillierten Betrachtung der Zusammenhänge zwischen der Anlagenhydraulik und der Dimensionierung der Kollektorfläche und des Speichervolumens. Im Schritt 2 wird die Sensitivitätsanalyse entsprechend um die Bewertung der Anlagenhydraulik erweitert.

Schritt 3, die Zusammenfassung der Essenzen der Sensitivitätsanalyse, zeigt teils unterschiedlichste Auswirkungen der verschiedenen Parameter, zum einen Auswirkungen auf die Effizienz der Solarthermieanlagen und zum anderen auf die zugehörigen Kosten der solaren Wärme-gestehung.

Die energetischen und ökonomischen Bewertungskriterien der Solarthermieanlagen zur Heizungsunterstützung sind in Tabelle 7-6 komprimiert dargestellt. Es wird deutlich, dass die geringsten Wärme-gestehungskosten mit 8,8 ct/kWh bei dem System „Pufferspeicher + Frischwassermodul + Rücklaufanhebung“ vorliegen. Zudem wird deutlich, dass in diesem System auch die solare Deckungsrate am

Wärmeenergiebedarf mit 49,6 % am höchsten ist. Demnach liegt bei diesem System neben dem ökonomischen Optimum auch ein energetisches Optimum vor.

Ferner wird die Temperatursensibilität der Speichersysteme deutlich. Eine Reduzierung der Vorlauftemperatur führt in jedem Fall zu einer Effizienzsteigerung und zu einer Reduzierung der solaren Wärmegestehungskosten.

Folgende wesentlichen Essenzen ergeben sich aus der Sensitivitätsanalyse:

- Die Simulation liefert eine Kongruenz hinsichtlich energetischen und ökonomischen Maximums bei einer Anlage.
- Sämtliche Systeme reagieren sensibel auf die Systemtemperaturen. Die Reduzierung der Vorlauftemperatur führt bei jedem betrachteten System zu einer Effizienzsteigerung und zur Kostensenkung.
- Besonders in niedrigen Temperaturbereichen (z. B. Neubau mit Fußbodenheizung) führt eine Anhebung des Heizungsrücklaufs zu Steigerungen der solaren Deckungsrate, bei gleichzeitiger Möglichkeit zur Reduzierung des Speichervolumens.
- Die Auswirkungen des Speichervolumens variieren je nach hydraulischer Einbindung des Speichers
 - Im System mit Rücklaufanhebung kann das Speichervolumen in vielen Fällen ohne Effizienzeinbußen deutlich reduziert werden.
 - Im System ohne Rücklaufanhebung kann das Speichervolumen kostenneutral erhöht werden.
 - Bei dem simulierten Zweispeichersystem kann eine reduzierte Kapazität für die Kollektorfläche (z. B. durch begrenzte Dachfläche) nicht durch höheres Speichervolumen kompensiert werden.

Als Schritt 4 und 5 können folgende Ableitungen und Empfehlungen für geeignete Systeme für den Neubau und Bestand gegeben werden:

Kombinierte Systeme aus Brennwert und Solarthermie eignen sich besonders im Neubaubereich zur Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen an die Nutzung von regenerativen Energien. Die Potenziale dieser Systeme können jedoch nur dann optimal ausgeschöpft werden, wenn der Betrieb einer Solarthermieanlage bereits im frühen Planungsstadium des Bauobjektes berücksichtigt wird.

Die Sensitivitätsanalyse hat die Temperatursensibilität der verschiedenen Solarthermieanlagen bestätigt. Die Reduzierung der Vorlauftemperatur von z. B. 55 °C auf 40 °C führt im Durchschnitt bereits zu einer Steigerung der solaren Deckungsrate von ca. 5 %. Während der Planungsphase sollten daher Flächenheizungssysteme mit niedrigen Systemtemperaturen (z. B. Fußbodenheizung) berücksichtigt werden.

Insbesondere im Bestand erschwert sich die Formulierung von allgemeingültigen Empfehlungen, da hier die wesentlichen Randbedingungen für eine Solarthermieanlage (Systemtemperaturen, Azimut, Dachneigung, Dachfläche, etc.) bereits vorgegeben sind.

Generell führen Auslegungen nach „Daumenregeln“ aufgrund der Komplexität nur in Einzelfällen zu ausgewogenen ökologischen und ökonomischen Ergebnissen. Es wird daher für den Neubau als auch für den Bestand eine Simulation auf Basis der bekannten Randbedingungen sowie der meteorologischen Daten empfohlen. Basierend auf den Ergebnissen der Sensitivitätsanalyse ist bei der Simulation ein besonderes Augenmerk auf das tatsächliche Temperaturniveau des Heizsystems zu richten. Eine stufenweise Senkung der Heizkurve im Bestand ist in diesem Zusammenhang empfehlenswert.

Als Konzept für Schulungen zum Thema Solarthermie wurden Optimierungsmöglichkeiten zu den Themen Planung, Installation und Betrieb von Solaranlagen zusammengestellt.

Dazu gehören Auslegungsregeln bei der Planung von solaren Trinkwasseranlagen:

- Beachtung der Nutzungspflicht des EEWärmeG (15 %-ige Deckung des Wärmeenergiebedarfs)
- Ermittlung des Warmwasserbedarfs (Anzahl Personen, Komfortaspekt)
- Temperaturniveau des Warmwassers
- Ermittlung des Speichervolumens
- Auswahl der Anlagenperipherie, weitgehend bivalenter Speicher
- Angabe von Standort, Dachneigung, Ausrichtung, Wohnfläche etc.
- Ziel: 60 %-iger Deckungsanteil des jährlichen Energiebedarfs zur Trinkwassererwärmung
- Wahl des Kollektortyps, (Röhrenkollektoren für TWW nicht zweckmäßig)
- Berechnung der Aperturfläche
- Berechnung der Deckungsrate des Trinkwasserenergiebedarfs und des Wirkungsgrades des Gesamtsystems
- Lt. BINE reicht eine Grobdimensionierung mit Daumenregeln für EFH und ZFH aus

Auslegungsregeln bei der Planung von heizungsunterstützten Solaranlagen:

- Beachtung der Nutzungspflicht des EEWärmeG (15 %-ige Deckung des Wärmeenergiebedarfs)
- Deckungsanteil am Heizenergiebedarf ist abhängig vom Energiestandard des Gebäudes, je geringer der Heizwärmebedarf, desto höher der Deckungsanteil
- solarer Ertrag von ca. 20-25 % des Gesamtwärmebedarfs
- Wahl des Kollektortyps
- Betriebsart der Solaranlage (High Flow, Low Flow, Matched Flow)
- Art der Trinkwasserbereitung

- Platzangebot für Speicheraufstellung
- niedrige Heizkreistemperaturen sind vorteilhaft
- Verwendung von PC-Programmen zur Auslegung und Detailoptimierung empfohlen

Für den effizienten Betrieb einer Solaranlage ist die Beachtung der Einstellmöglichkeiten der Regelung hervorzuheben.

Im Versuchshaus (Einfamilienhaus nach WSchV 95) des GWI wurde eine praxisnahe Solaranlage, d. h. mit Heizungsunterstützung, Pufferspeicher mit externer Frischwasserstation, Flachkollektoren und Brennwertkessel installiert. Die Messdatenerfassung erfasst im 13 Sekunden-Takt folgende Messwerte:

- Vor- und Rücklauftemperaturen am Brennwertkessel, Kollektor außen und Keller, Speicher-Trockenkühler, externer Frischwasserwärmetauscher
- Volumenströme: Kollektorkreislauf, Trockenkühlerkreislauf, Warmwasserzapfmenge, Brennwertkesselkreislauf, Gasverbrauch
- Stromaufnahme der Solarkreispumpe
- Strahlungsintensität

Mit der Praxisanlage können folgende Kennwerte gebildet werden:

- Solare Einstrahlung (Globalstrahlung)
- Solarer Ertrag
- Erdgasbezug des Brennwertkessels
- Laufzeit der Solarpumpe/ Stromverbrauch der Solarpumpe
- Stillstandszeiten (Kollektorschutzfunktion)

Mit der Praxisanlage werden Daten zur Verifizierung von Modellrechnungen mit dem Simulationsprogramm Modelica erfasst. Ferner wird sie zur Technologie-demonstration und Schulung genutzt.

11. Literaturverzeichnis

- [KfW] Kreditanstalt für Wiederaufbau, Informationen aus www.kfw.de, Stand März 2011
- [BAFA] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Informationen aus www.bafa.de, Stand März 2011
- [GASAG] GASAG, Berliner Gaswerke AG, Informationen aus www.gasag.de/Privatkunden/Foerderung
- [dena] Deutsche Energie-Agentur [www.dena.de]
- [BSW] BSW Solar, Bundesverband Solarwirtschaft, [Faktenblatt Solarwärme.pdf]
- [Erneuerbare Energien] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [www.erneuerbare-energien.de]
- [BINE] BINE Informationsdienst „Solare Wärme – Vom Kollektor zur Hausanlage“, FIZ Karlsruhe und Solarpraxis AG
- [EEWärmeG] EEWärmeG Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz) 01.2009
- [BDH] Bundesindustrieverband Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., Broschüre: „Effiziente Systeme und erneuerbare Energien“
- [BMU] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Anwendungshinweise zum Vollzug des EEWärmeG (Hinweis 2/2010)
- [EWärmeG] EWärmeG Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Erneuerbare-Wärme-Gesetz – EWärmeG) 11. 2007
- [UVM] Information von www.uvm.baden-wuerttemberg.de;
Stand 03.2011
- [EnEV] EnEV Energieeinsparverordnung 2009

- [ASUE] ASUE Arbeitskreise Haustechnik und Energiedienstleistungen
„Die EnergieEinsparVerordnung EnEV 2009“
- [HeizkV] HeizkV 2009 Verordnung über Heizkostenabrechnung
- [VDI 2067] VDI 2067 09.2000
- [DVGW] DVGW-TRGI 2008: Technische Regel für
Gasinstallationen, Arbeitsblatt G 600, April 2008
- [LEW] LEW Verteilnetz GmbH, KWKG-Vergütungen 01.2011
- [Solarpraxis] Langzeiterfahrung Solarthermie: Wegweiser für das erfolgreiche
Planen und Bauen von Solaranlagen; Dr. Felix A. Peuser; Karl-
Heinz Remmers; Martin Schnauss, Solarpraxis, Berlin, März 2001
- [Viessmann] Planungshandbuch Solarthermie, Viessmann-Werke GmbH und
Co KG Allendorf (Eder), 2008

A Anhang

Fördermöglichkeiten

Energieeffizient Sanieren - Technische Mindestanforderungen

Nachfolgend ist ein Auszug aus dem Merkblatt „Energieeffizient Sanieren, Anlage - Technische Mindestanforderungen“, Bestellnummer 600 000 1778 aufgeführt: [www.kfw.de/kfw/de/Inlandsfoerderung/Programmuebersicht/Energieeffizient_Sanieren_-_Kredit_Einzelmassnahmen]

Sanierung zum KfW-Effizienzhaus:

Gefördert werden Sanierungsmaßnahmen, die dazu beitragen, das energetische Niveau eines KfW-Effizienzhauses zu erreichen sowie der Ersterwerb von entsprechenden KfW-Effizienzhäusern nach erfolgter energetischer Sanierung. Zum Nachweis des energetischen Niveaus sind der Jahres-Primärenergiebedarf (Q_p) und der auf die Wärme übertragende Umfassungsfläche des Gebäudes bezogene Transmissionswärmeverlust ($H'T$) und die des entsprechenden Referenzgebäudes ($Q_p \text{ REF}$; $H'T \text{ REF}$) nach der Energieeinsparverordnung (EnEV2009) Anlage 1, Tabelle 1 von einem Sachverständigen zu ermitteln.

Berechnung des KfW-Effizienzhauses

Es sind die Rechenvorschriften des § 3 EnEV2009 anzuwenden.

Austausch der Heizung:

Als Austausch der Heizung gilt der Einbau von Heizungstechnik auf Basis der Brennwerttechnologie, Kraft-Wärme-Kopplung und Nah- / Fernwärme (einschließlich der unmittelbar dadurch veranlassten Maßnahmen).

In diesem Zusammenhang ist durch den Fachunternehmer zu prüfen, ob die Heizungsflächen für einen dauerhaften Brennwertbetrieb geeignet sind.

Alle, d. h. auch die in Geräten eingebauten Pumpen müssen Hocheffizienzpumpen der Effizienzklasse A mit einem Maximum der kleinsten einstellbaren Pumpenkennlinie von 200 mbar sein. Die Auslegung der Anlagen muss der Gebäudeheizlast entsprechen, d. h. Überdimensionierungen sind zu vermeiden.

Gefördert werden der Einbau von:

Brennwertkesseln mit Öl oder Gas als Brennstoff (Brennwerttechnik verbessert nach DIN V 4701-10)

Niedertemperaturkesseln über 50 KW mit nachgeschaltetem Brennwertwärmetauscher

Wärmegeführte Anlagen zur Versorgung mit Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung auf Grundlage fossiler Energie (Blockheizkraftwerk, Brennstoffzellen)

Wärmeübergabestationen und Rohrnetz bei Erstanschluss von Nah- und Fernwärme.

Nachfolgend genannte Anlagen können bei der Erneuerung der Heizungsanlage nur mitgefördert werden, sofern dies in Ergänzung zum Einbau einer der o. g. Heizungsanlagen erfolgt:

Biomasseanlagen: automatisch beschickte Zentralheizungsanlagen, die ausschließlich mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Hierzu zählen Holzpellets, Holz hackschnitzel, Biokraftstoffe, Biogas

Holzvergaser-Zentralheizungen mit Leistungs- und Feuerungsregelung (Kesselwirkungsgrad unter Vollast mindestens 90 %)

Wärmepumpen (nach DIN V 4701-10)
Bei der Finanzierung von Wärmepumpen gilt für die

Sole-/Wasser- und Wasser-/Wasser-Wärmepumpen eine Jahresarbeitszahl von mindestens 4,31

Luft-Wasser-Wärmepumpen eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,71

gasmotorischen angetriebenen Wärmepumpen eine Jahresarbeitszahl von mindestens 1,31

solarthermische Anlagen

Die Anlagen müssen, mit Ausnahme von Speichern und Luftkollektoren, mit einem geeigneten Funktionskontrollgerät bzw. einem Wärmemengenzähler ausgestattet sein.

Solarkollektoren sind nur förderfähig, sofern sie das europäische Prüfzeichen Solar Keymark in der Fassung Version 8.00 - Januar 2003 tragen oder die Anforderungen des Umweltzeichens RAL-UZ 73 erfüllen.

Förderfähig sind auch die zur vollen Funktion der im Programm geförderten Anlage erforderlichen sonstigen Maßnahmen, wie die Schornsteinanpassung oder die

Erneuerung von Heizkörpern und Rohrleitungen, die Dämmung von Rohrleitungen, die Entsorgung alter Heizkessel, der Einbau von Pufferspeichern, Steuerungs- und Regelungstechnik, der neue Fußbodenaufbau bei einem vorgesehenen Einsatz einer Fußbodenheizung sowie der hydraulische Abgleich der Anlage laut EnEV2009.

- Auszug aus:
www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/vorschriften/energie_ee_richtlinie_15_03_2011.pdf:
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt vom 11. März 2011

Allgemeine Vorschriften für die Förderung von Solarkollektoranlagen

Förderfähig sind Solarkollektoranlagen:

- a) zur Warmwasserbereitung (nur als Innovationsförderung nach Nummer 8.3),
- b) zur Raumheizung,
- c) zur kombinierten Warmwasserbereitung und Raumheizung,
- d) zur Bereitstellung von Prozesswärme,
- e) zur solaren Kälteerzeugung und
- f) die die Wärme überwiegend einem Wärmenetz zuführen. Solaranlagen mit Kollektoren ohne transparente Abdeckung auf der Frontseite sind nicht förderfähig (z. B. Schwimmbadabsorber). Die Anlagen müssen, mit Ausnahme von Speicher- und Luftkollektoren, mit einem geeigneten Funktionskontrollgerät bzw. einem Wärmemengenzähler ausgestattet sein. Bei Vakuumröhrenkollektoren ab 20 m² oder Flachkollektoren ab 30 m² ist mindestens ein Wärmemengenzähler im Kollektorkreislauf erforderlich. Thermische Solaranlagen können nur gefördert werden, wenn ein Nachweis vorgelegt wird, dass der eingesetzte Solarkollektortyp nach EN 12975 geprüft wurde und unter Testbedingungen ein jährlicher Kollektorertrag von mindestens Q_{kol} 525 kWh/m² bei einem solaren Deckungsanteil von 40 % erreicht wird³) und durch eine Bescheinigung einer nach EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Prüfstelle nachgewiesen wurde sowie die Kriterien des Umweltzeichens RAL-UZ 73 in der geltenden Fassung erfüllt sind (Nachweis durch Herstellererklärung). Solarkollektoren, für die ab dem Jahr 2007 eine Prüfung nach EN 12975 erfolgt ist oder erfolgt, sind nur förderfähig, sofern sie das europäische Prüfzeichen Solar Keymark tragen. Ab dem Jahr 2010 ist für Solarkollektoren, die mit einer Flüssigkeit als Wärmeträgermedium betrieben werden, eine Zertifizierung nach dem europäischen Prüfzeichen Solar Keymark Fördervoraussetzung. Abweichend hiervon ist eine Förderung von Solarkollektoren mit Luft als Wärmeträgermedium (Luftkollektoren) möglich, wenn die Kollektoren mit einer transparenten Abdeckung auf der Frontseite versehen sind und durch ein nach ISO 17025 akkreditiertes

Prüfinstitut in Anlehnung an EN 12975 geprüft wurden. Hierbei müssen die Wärmeleistung bestimmt und die Prüfungen für die Zuverlässigkeit bestanden werden. 8.2 Solarkollektoranlagen zur kombinierten Warmwassererwärmung und Raumheizung zeichnen sich dadurch aus, dass die von der Sonne gelieferte Wärme effektiv der Raumheizung des Gebäudes zugeführt werden kann. Sie müssen eine Mindestkollektorfläche von 9 m² bei einem Einsatz von Flachkollektoren und 7 m² bei Vakuumröhrenkollektoren haben und mit einem ausreichenden Wärmespeicher für die Heizung ausgestattet sein. Als Pufferspeicher sind mindestens folgende Wärmespeichervolumina pro Quadratmeter Bruttokollektorfläche erforderlich:– 40 Liter (bei Flachkollektoren),– 50 Liter (bei Vakuumröhrenkollektoren),– 100 Liter (bei Solarkollektoranlagen von mehr als 40 m² Bruttokollektorfläche auf Ein- oder Zweifamilienhäusern zur kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung). Diese Angaben beziehen sich auf Wasser als Wärmespeichermedium. Bei Verwendung anderer Speichermedien ist bei der Antragstellung nach zuweisen, dass mit dem gewählten Speichervolumen eine vergleichbare Mindestspeicherkapazität erreicht wird.



„Smart Heating“: Brennwert plus Solarthermie im System Gebäude- / Anlagentechnik

G 5-03-09

Stand: 27.10.2012

- Hintergrund und Zielsetzung
- Systeme und Komponenten von Solarthermieanlagen
- Stand der Technik: Auslegung von Solarthermieanlagen
- Sensitivitätsanalyse: Bewertung von Dimensionierungskriterien
- Praxisanlage im GWI-Versuchshaus
- Schulungskonzept
- Fazit

- Die Kombination „**Brennwert + Solarthermie**“ ist die **Standardtechnologie** der Branche und gilt als Wegbereiter und Plattform für die **Integration der Erneuerbaren Energien** in die häusliche Wärmeversorgung.
- Die solare Wärme ist in Kombination mit moderner Brennwerttechnik **effizient und umweltfreundlich** nutzbar.
- Die **CO₂-Emissionen** werden mit dieser Kombination weiter **reduziert**.
- Das **EEWärmeG** verlangt eine anteilige Nutzung von Erneuerbaren Energien am Wärmeenergiebedarf (15 %).

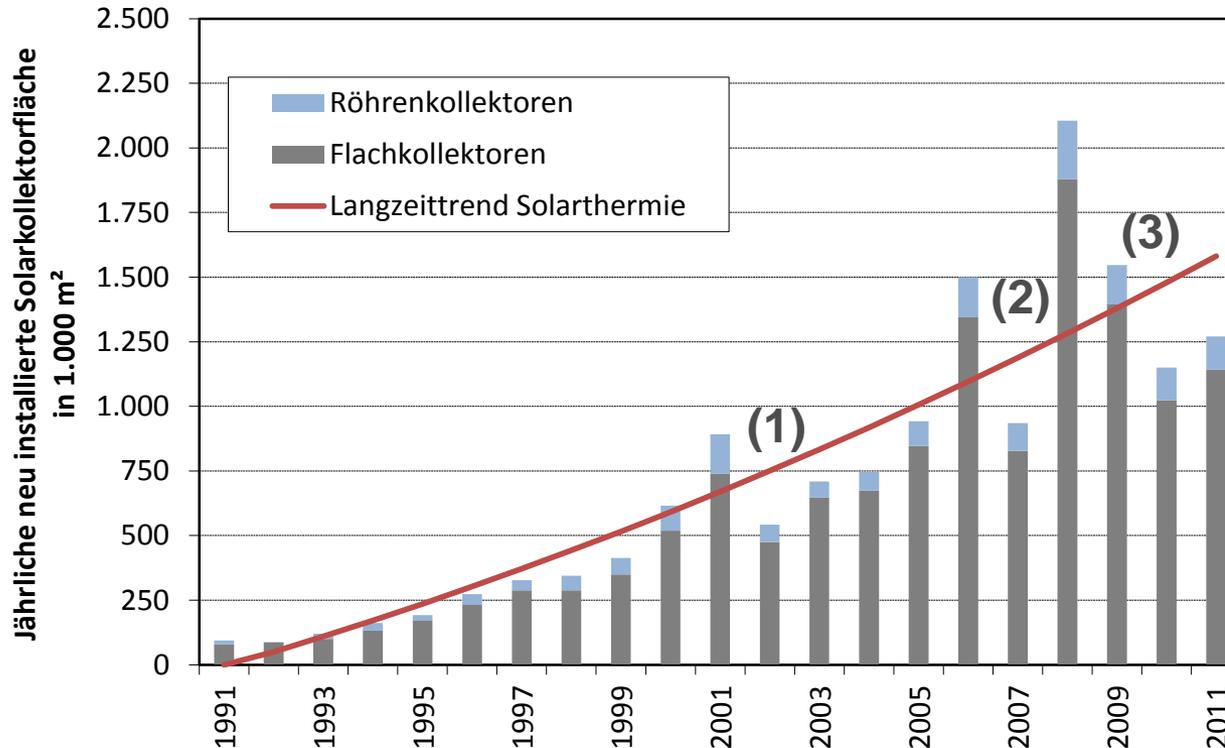
Gasbrennwertgeräte sind hocheffizient, kostengünstig und eine etablierte Technologie.

- Große Hersteller- und Gerätevielfalt.
- Hoher Marktanteil an neu verkauften Geräten (50 %), aber Marktdurchdringung erst am Anfang (ca. 20 %).
- Aktuelle Technologieschritte:
 - **Regelung**
 - **Hocheffizienzpumpen**
 - **Systemlösungen (Kompaktgeräte, integrierter Speicher)**



Die Standardbrennwerttechnologie ist ausgereift, im Zusammenwirken mit Solarthermie besteht noch Handlungsbedarf.

Solarthermie genießt einen hohen Stellenwert und guten Ruf als Erneuerbare Energiequelle.



- (1) 2001: Große Nachfrage wegen Mehrwertsteuererhöhung, aber Reduzierung der Zuschüsse auf 10 bis 15 % der Investitionskosten. 2002: Markteinbruch von 40 %.
- (2) 2006: Nachfrageboom aufgrund hoher Energiepreise, aber Reduzierung der Zuschüsse. 2007: Markteinbruch, Finanz- und Wirtschaftskrise.
- (3) Seit Mitte 2007: Erhöhung der Einzelförderung. 2009: Baupflicht (Wärmegesetz) sowie Aufstockung des MAP-Budgets. 2010: Förderstopp und Markteinbruch, 2011: Erneute Mittelaufstockung.

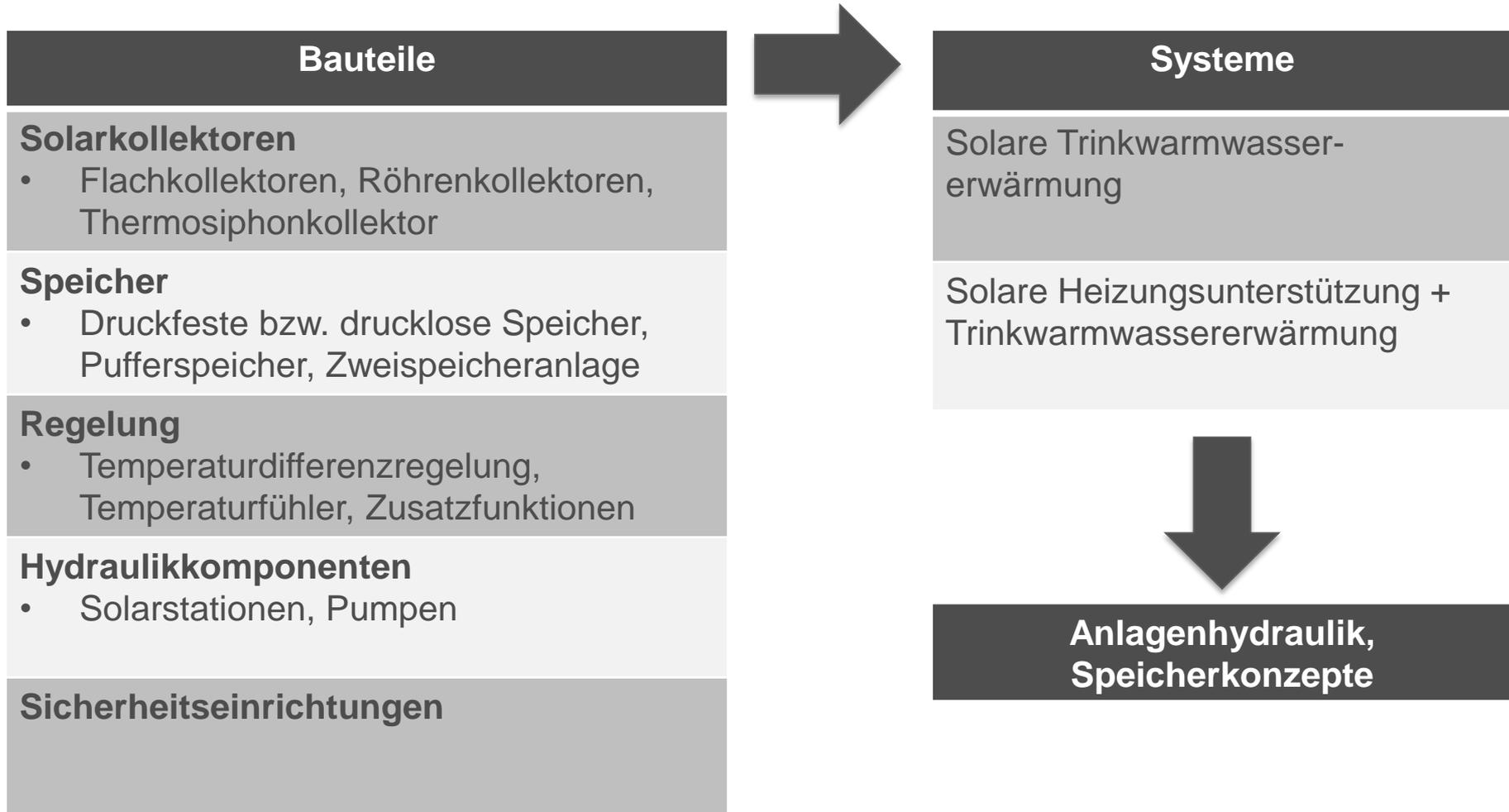
- Seit 1991 deutliche Zunahme (vgl. Langzeittrend), aber starke Abhängigkeit von Förderinstrumenten.
- Insgesamt sind ca. 1,66 Mio. solarthermische Anlagen in Betrieb.
- Für 2012 wird eine leichte Zunahme im Vergleich zu 2011 erwartet.
- Jährliche CO₂-Einsparung bei über 1,2 Mio. t / a.
- 50 % aller neu installierten Anlagen sind für kombinierte Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung.

Die Projektziele lassen sich wie folgt formulieren:

- Zusammenführung, Kategorisierung und Bewertung von solarthermischen Anlagen.
- Festlegung von Empfehlungen für die Weiterentwicklung von Planungstools für eine optimale Dimensionierung.
- Darstellung von Optimierungspotenzialen im System Brennwert und Solarthermie.
- Aufbau eines Schulungskonzeptes.

- Hintergrund und Zielsetzung
- Systeme und Komponenten von Solarthermieanlagen
- Stand der Technik: Auslegung von Solarthermieanlagen
- Sensitivitätsanalyse: Bewertung von Dimensionierungskriterien
- Praxisanlage im GWI-Versuchshaus
- Schulungskonzept
- Fazit

Zusammenführung und Kategorisierung von Bauteilen und Systemen.

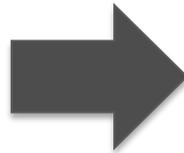


- Hintergrund und Zielsetzung
- Systeme und Komponenten von Solarthermieanlagen
- **Stand der Technik: Auslegung von Solarthermieanlagen**
- Sensitivitätsanalyse: Bewertung von Dimensionierungskriterien
- Praxisanlage im GWI-Versuchshaus
- Schulungskonzept
- Fazit

In einem Workshop wurden verschiedene Hersteller und Planungsorgane zur Auslegung von solarthermischen Anlagen befragt. Auf Basis gleicher Eingangsparameter stellten die Teilnehmer ihre Ergebnisse zum Vergleich zur Verfügung.

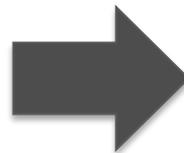
EFH-Gebäudegrunddaten

- Wohnfläche 160 m²
- Nutzfläche 216 m²
- Heizungstyp: Radiatoren (55/40 °C)
- Solaranlage: Azimut 0°, Neigung 45°
- Standort Essen
- Warmwasserbedarf 140 l/d
- Zapftemperatur 55 °C
- Vier Personen



EFH-Bestandsgebäude Standard 1978 (vor 1. WSV0)

- Absoluter, jährl. Heizwärmebedarf 29.627 kWh/a
- Spezifischer, jährl. Heizwärmebedarf 137 kWh/(m²a)



EFH-Neubau EnEV 2009

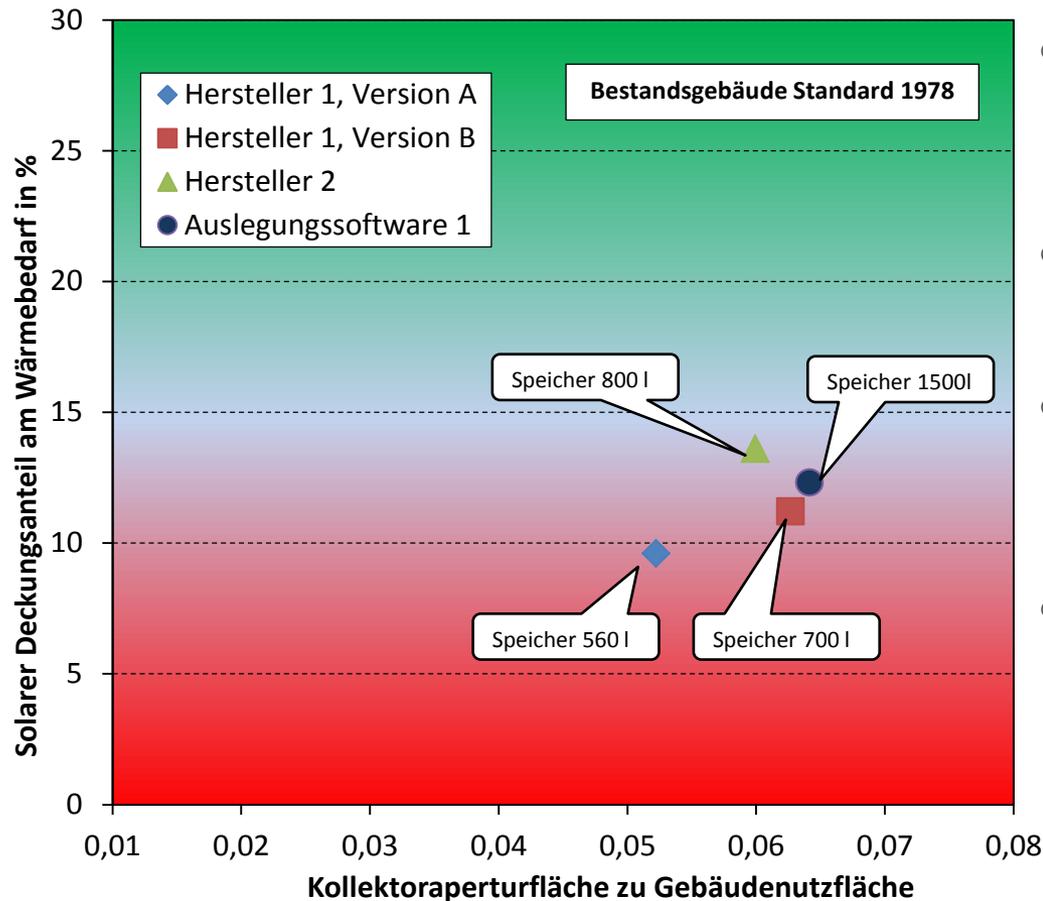
- Absoluter, jährl. Heizwärmebedarf 10.424 kWh/a
- Spezifischer, jährl. Heizwärmebedarf 48 kWh/(m²a)

Nach dem EEWärmeG (Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich) ergibt sich für die Nutzfläche von 216 m² mit dem Schlüssel von 0,04 eine Mindest-Kollektoraperturfläche von ca. 9 m².

- EFH – Einfamilienhaus
- Heizenergiebedarf nach EnEV 2009 (Neubau): 25 – 60 kWh/m²a; nach 1. WSV0 1978: 140 kWh/m²a

Bestandsgebäude Standard 1978 (vor 1. WSVO):

Die Berechnungsergebnisse zeigten für den gleichen Anwendungsfall Unterschiede beim solaren Deckungsanteil, der Speichergröße und bei der Aperturfläche.

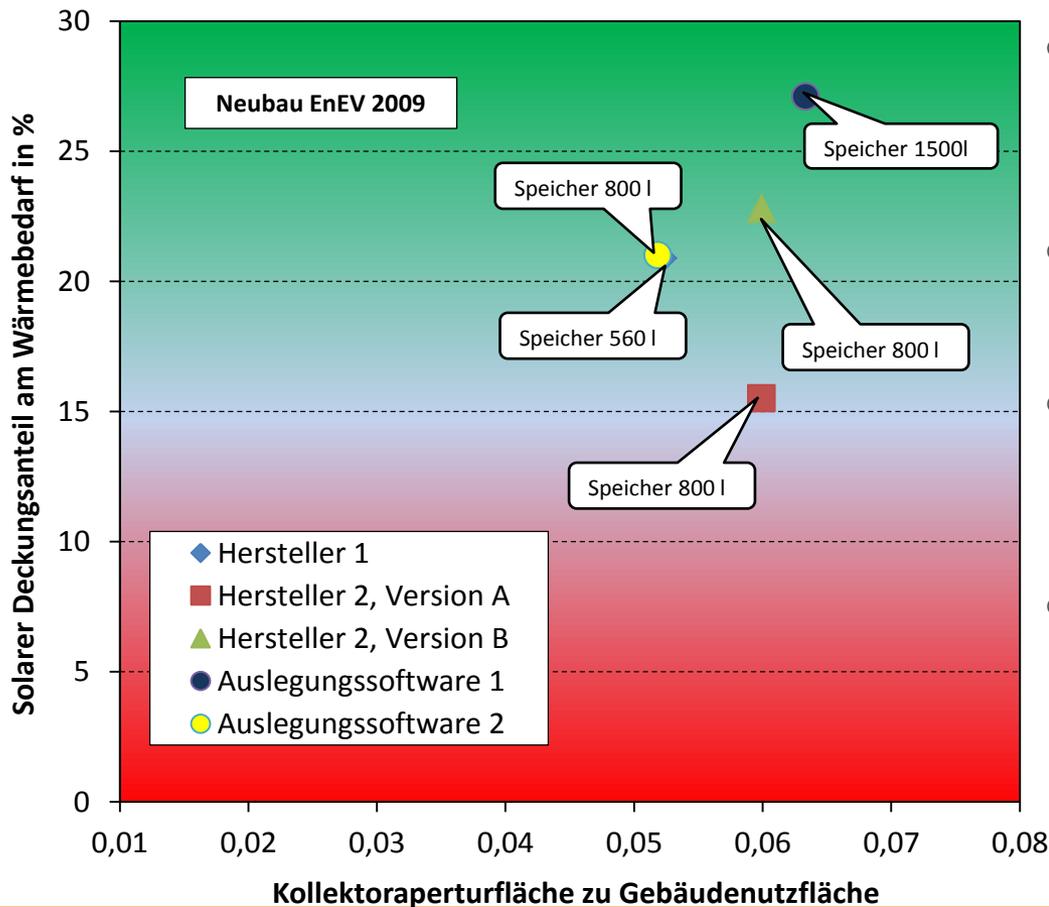


- Die berechneten Speichergrößen variieren von 560 l bis 1.500 l, die Kollektoraperturflächen von 12 m² bis 14 m².
- Die theoretisch ermittelten solaren Deckungsanteile liegen zwischen 9,6 % und 13,6 %.
- Die Anforderung des EEWärmeG*) nach einer Abdeckung von mindestens 15 % erneuerbarer Energie wird NICHT erfüllt.
- Eine Vergrößerung des Speichervolumens führt nicht zu größeren Deckungsanteilen (vgl. Hersteller 1, Version A -> B).

*) Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich, Januar 2009

Neubau EnEV 2009:

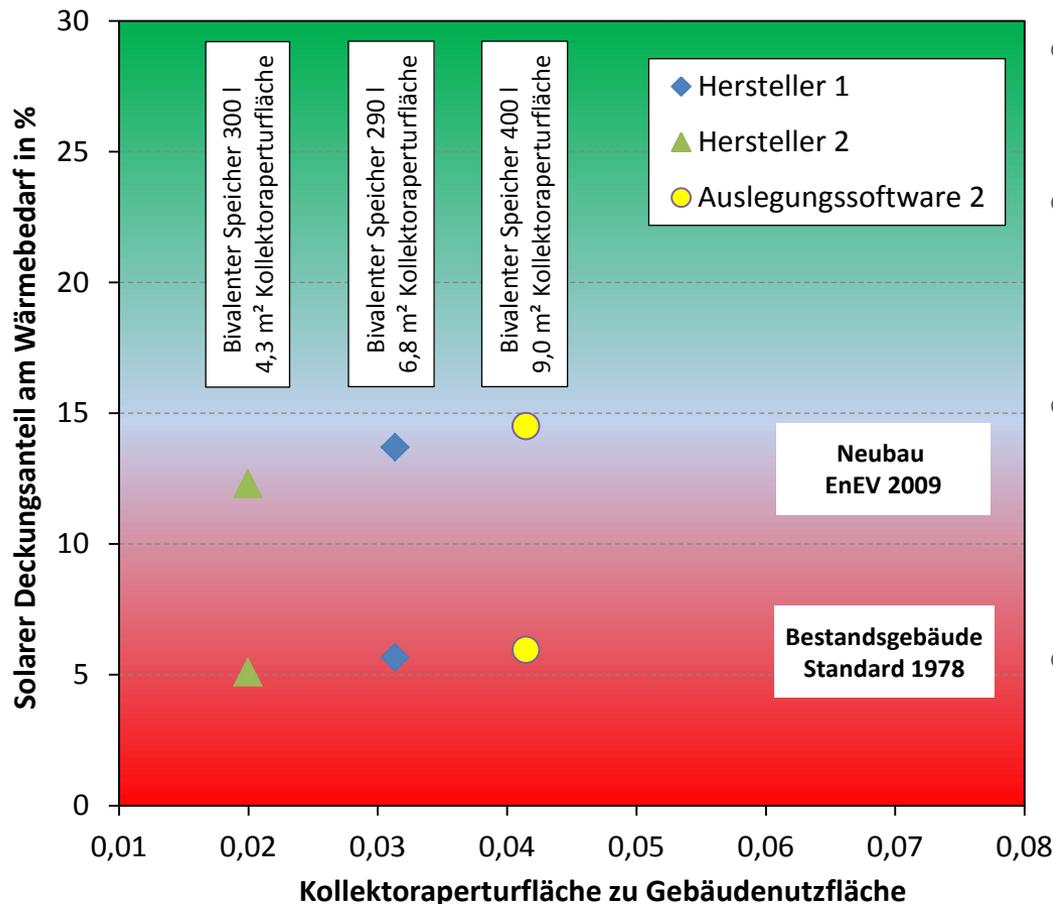
Die Berechnungsergebnisse zeigten für den gleichen Anwendungsfall Unterschiede beim solaren Deckungsanteil, der Speichergröße und bei der Aperturfläche.



- Die berechneten Speichergrößen variieren von 560 l bis 1.500 l, die Kollektoraperturflächen von 12 m² bis 14 m².
- Die theoretisch ermittelten solaren Deckungsanteile liegen zwischen 15,5 % und 27,1 %.
- Die Anforderung des EEWärmeG*) nach einer Abdeckung von mindestens 15 % erneuerbarer Energie wird erfüllt.
- Eine Vergrößerung des Speichervolumens führt nicht zwangsläufig zu größeren Deckungsanteilen.

*) Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich, Januar 2009

Neubau EnEV 2009 und Bestandsgebäude Standard 1978 (vor 1. WSVO): Die Berechnungsergebnisse zeigten für den gleichen Anwendungsfall Unterschiede beim solaren Deckungsanteil, der Speichergröße und bei der Aperturfläche.



- Die Speichergrößen variieren von 290 l bis 400 l, die Kollektoraperturflächen von 4,3 m² bis 9,0 m².
- Die solaren Deckungsanteile liegen zwischen 5,1 % und 6,0 % im Bestand sowie zwischen 12,3 % und 14,5 % im Neubau.
- Die Anforderung des EEWärmeG*) nach einer Abdeckung von 15 % erneuerbarer Energie wird nur mit solarer Trinkwarmwassererwärmung nicht erfüllt.
- Eine Vergrößerung des Speichervolumens führt nicht zu deutlich größeren Deckungsanteilen.

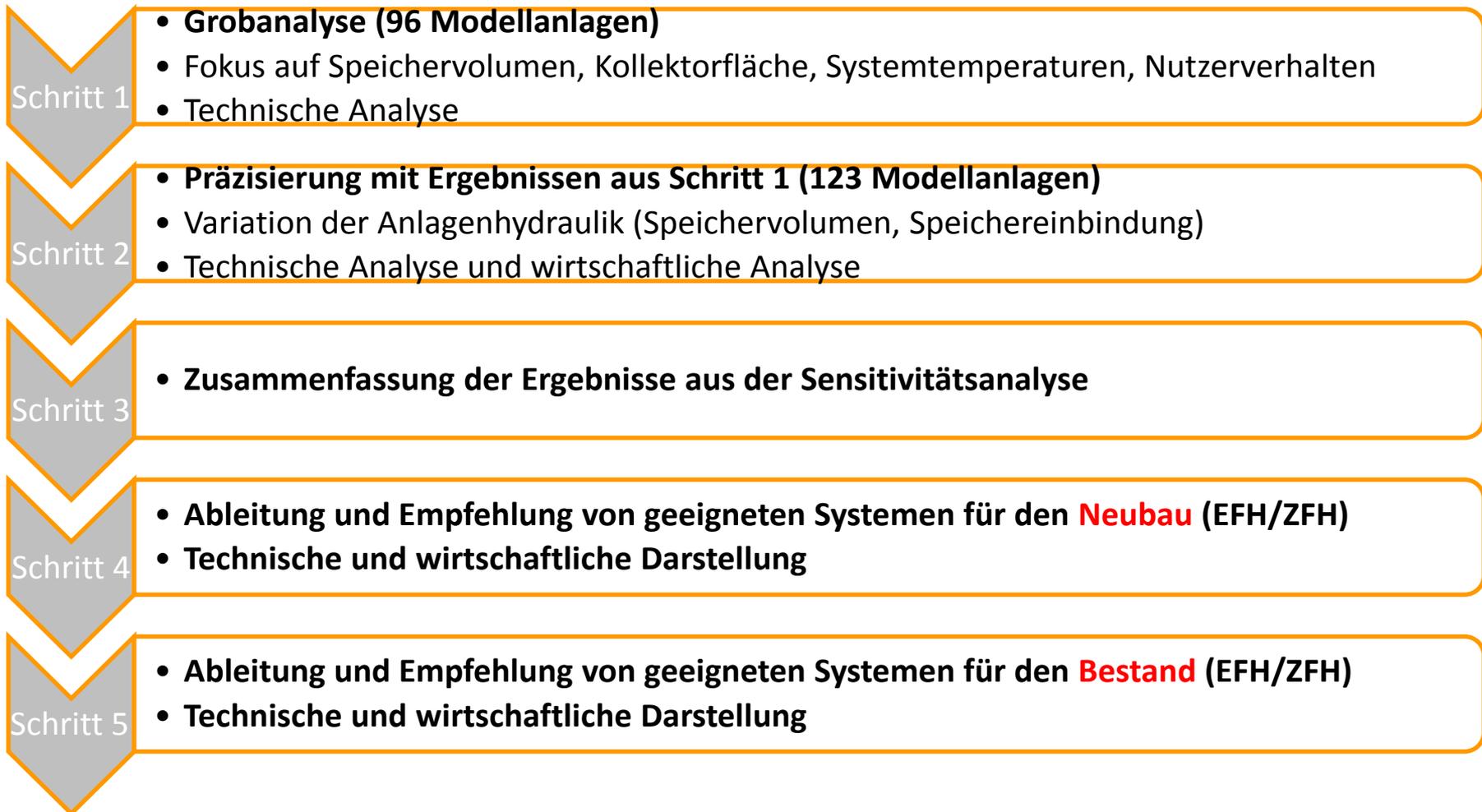
*) Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich, Januar 2009

- Hintergrund und Zielsetzung
- Systeme und Komponenten von Solarthermieanlagen
- Stand der Technik: Auslegung von Solarthermieanlagen
- **Sensitivitätsanalyse: Bewertung von Dimensionierungskriterien**
- Praxisanlage im GWI-Versuchshaus
- Schulungskonzept
- Fazit

Vorgehensweise.

- Zur Identifizierung der Einflüsse von verschiedenen Systemparametern und Bauteilen auf die Effizienz solarthermischer Anlagen wird für Systeme im Einfamilienhausbereich eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.
- Die Sensitivitätsanalyse erfolgt in 5 Schritten für ein Bestandsgebäude nach dem Standard von 1978 und einen Neubau nach den Anforderungen der EnEV 2009.

Einzelsschritte der Sensitivitätsanalyse.



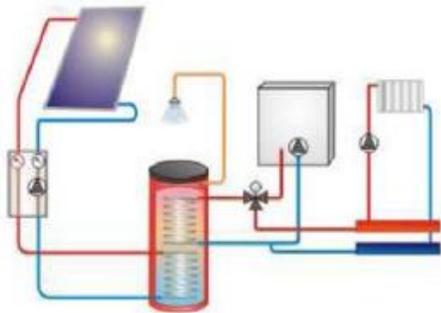
Simulation von Anlagen zur solaren Trinkwarmwassererwärmung bei Variation der

- Kollektoraperturfläche (4,5 bis 14 m²) und
- des Speichervolumens (150 bis 400 l)

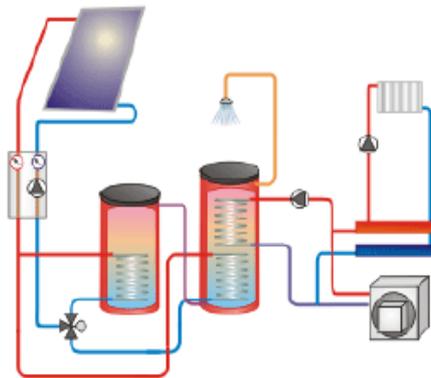
für drei verschiedene hydraulische Speicheranbindungen, s.
Abbildungen:

EFH-Gebäudegrunddaten

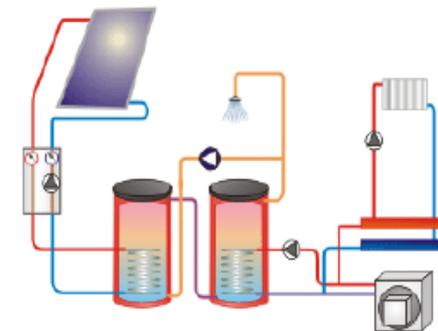
- Wohnfläche 160 m²
- Nutzfläche 216 m²
- Heizungstyp: Radiatoren (55/40 °C)
- Solaranlage: Azimut 0°, Neigung 45°
- Standort Essen
- Warmwasserbedarf 140 l/d
- Zapftemperatur 55 °C
- Vier Personen



bivalenter
Speicher



bivalenter Speicher
+
Vorwärmespeicher



Kaskadenschaltung

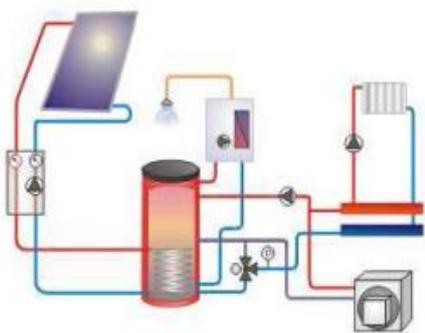
Simulation von Anlagen zur solaren Trinkwarmwassererwärmung und zusätzlicher Heizungsunterstützung bei Variation der

- Kollektoraperturfläche (14 bis 23 m²),
- des Speichervolumens (200 bis 1.500 l) und
- Systemtemperaturen (Vorlauftemperaturbereich 40 bis 70 °C, Warmwassertemperaturbereich 40 bis 55 °C)

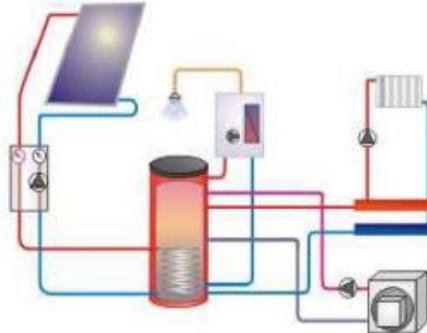
EFH-Gebäudegrunddaten

- Wohnfläche 160 m²
- Nutzfläche 216 m²
- Heizungstyp: Radiatoren (55/40 °C)
- Solaranlage: Azimut 0°, Neigung 45°
- Standort Essen
- Warmwasserbedarf 140 l/d
- Zapftemperatur 55 °C
- Vier Personen

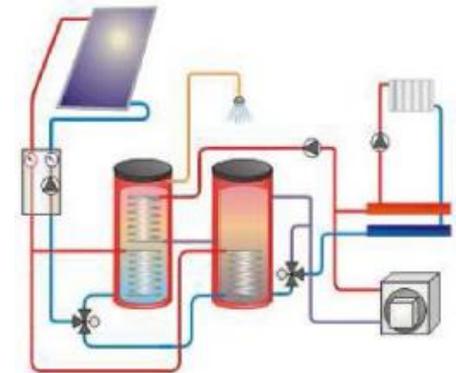
für drei verschiedene hydraulische Speicheranbindungen, s. Abbildungen:



Pufferspeicher mit externen
Frischwasserwärmeübertrager
und Rücklaufanhebung



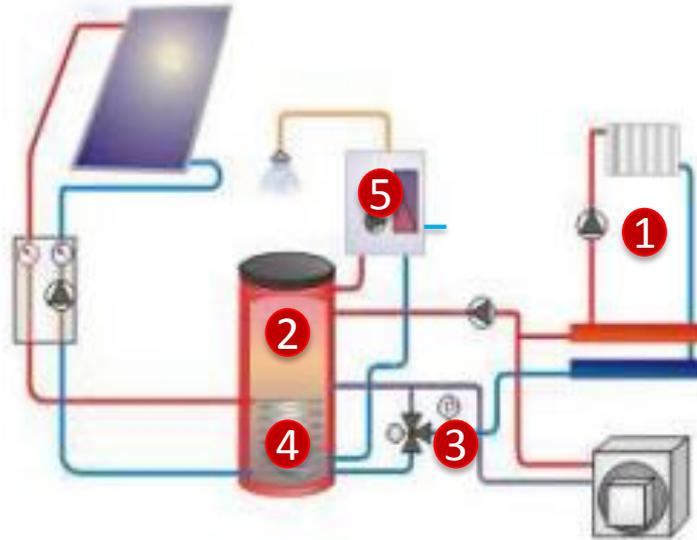
Pufferspeicher mit
externen Frischwasser-
wärmeübertrager



Zweisppeicher-
variante

Erläuterung zum Hydraulikschema einer solarthermischen Anlage mit Pufferspeicher und Rücklaufanhebung.

- Heizkreis **(1)** und Pufferspeicher **(2)** können unabhängig voneinander betrieben werden.
- Trinkwarmwassererwärmung **(5)** über Speicher: „fossil“ oder solarthermisch.



- Vergleich der Rücklauftemperatur aus dem Heizkreis **(3)** mit unterer Pufferspeichertemperatur **(4)**

- Wenn die Temperatur an der Messstelle **(3)** kleiner ist als die Temperatur an der Messstelle **(4)**, wird der Heizungsrücklauf mit Solarwärme aus dem Pufferspeicher „angehoben“. Dadurch wird vom Kessel nur die Nachheizenergie benötigt.
- Da der Speicher nur zur Rücklaufanhebung genutzt wird, herrscht bei diesen Anlagen während der Heizperiode ein niedrigeres Temperaturniveau im Speicher (geringere Wärmeverluste).

Folgende Bewertungskriterien wurden festgelegt:

- Solare Wärmegestehungskosten
- Spezifische Kollektorauslastung
- Solare Deckungsrate am Wärmebedarf

Bestandsgebäude Standard 1978 (vor 1. WSVO): Die Simulationsergebnisse weisen eine große Bandbreite hinsichtlich der Effizienz und den solaren Wärmegestehungskosten auf.

EFH-Gebäudegrunddaten

- Wohnfläche 160 m²
- Nutzfläche 216 m²
- Heizungstyp: Radiatoren (55/40 °C)
- Solaranlage: Azimut 0°, Neigung 45°
- Standort Essen
- Warmwasserbedarf 140 l/d
- Zapftemperatur 55 °C
- Vier Personen

| Speichersystem | Kollektor- Aperturfläche m ² | Vorlauf- temperatur °C | solarer Deckungsanteil am Wärmebedarf | | | spezifische Kollektorauslastung | | | solare Wärmegestehungskosten | | | CO ₂ -Einsparung | |
|---|---|------------------------------|--|-----------------|------------------|------------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|------------------|
| | | | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | min. (200 l) | max. (1500 l) |
| Pufferspeicher + Frishwasser- modul + Rücklauf- anhebung | 13,7 | 70 | 11,7 | 11,0 | 12,5 | 281 | 261 | 304 | 14,9 | 11,9 | 15,7 | 830 | 980 |
| | | 55 | 13,2 | 11,8 | 13,2 | 299 | 280 | 321 | 13,2 | 12,4 | 14,2 | 887 | 1.031 |
| | 22,8 | 70 | 16,6 | 16,0 | 17,6 | 241 | 228 | 256 | 12,4 | 11,9 | 13,0 | 1.188 | 1.353 |
| | | 55 | 18,0 | 17,4 | 18,8 | 260 | 249 | 275 | 10,9 | 10,3 | 11,6 | 1.289 | 1.444 |
| Pufferspeicher + Frishwasser- modul | 13,7 | 70 | 9,9 | 8,5 | 11,4 | 237 | 203 | 277 | 18,2 | 17,2 | 19,4 | 653 | 899 |
| | | 55 | 10,5 | 9,1 | 11,9 | 252 | 217 | 289 | 16,7 | 16,2 | 17,7 | 694 | 934 |
| | 22,8 | 70 | 12,3 | 10,4 | 14,1 | 177 | 149 | 206 | 19,3 | 17,6 | 21,8 | 786 | 1.096 |
| | | 55 | 13,5 | 11,2 | 16,1 | 195 | 161 | 234 | 17,0 | 14,6 | 19,6 | 845 | 1.240 |
| Pufferspeicher + Trinkwarm- wasserspeicher | 13,7 | 70 | 9,0 | 8,3 | 9,7 | 215 | 198 | 230 | 15,9 | 12,6 | 18,5 | 637 | 739 |
| | | 55 | 9,7 | 9,5 | 10,0 | 231 | 225 | 237 | 14,5 | 10,6 | 17,8 | 719 | 759 |
| | 22,8 | 70 | 14,0 | 13,4 | 14,4 | 198 | 191 | 205 | 13,2 | 10,9 | 15,2 | 1.003 | 1.077 |
| | | 55 | 14,6 | 14,1 | 15,1 | 208 | 201 | 215 | 12,3 | 10,0 | 14,2 | 1.051 | 1.125 |

Das System aus Pufferspeicher und Trinkwarmwasserspeicher erreicht die niedrigsten Wärmegestehungskosten (10 ct/kWh). Die Anforderungen des EEWärmeG^{*)} (15 % Erneuerbare Energie) werden **ERFÜLLT**.

- Variiert wurden Speichergrößen von 200 l bis 1.500 l.
- Solare Wärmegestehungskosten in Anlehnung an VDI 2067.

*) Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich, Januar 2009

Neubau EnEV 2009:

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass theoretisch ein deutlich größerer Deckungsanteil - als vom EEWärmeG*) gefordert - erreicht werden kann.

EFH-Gebäudegrunddaten

- Wohnfläche 160 m²
- Nutzfläche 216 m²
- Heizungstyp: Radiatoren (55/40 °C)
- Solaranlage: Azimut 0°, Neigung 45°
- Standort Essen
- Warmwasserbedarf 140 l/d
- Zapftemperatur 55 °C
- Vier Personen

| Speichersystem | Kollektor- Aperturfläche m ² | Vorlauf- temperatur °C | solarer Deckungsanteil am Wärmebedarf | | | spezifische Kollektorauslastung | | | solare Wärmegestehungskosten | | | CO ₂ -Einsparung | |
|--|---|------------------------------|--|-----------------|------------------|------------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|------------------|
| | | | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | Ø | min. (200 l) | max. (1500 l) | min. (200 l) | max. (1500 l) |
| Pufferspeicher + Frischwasser- modul + Rücklauf- anhebung | 13,7 | 55 | 29,5 | 27,9 | 31,0 | 294,0 | 272,0 | 318,0 | 13,6 | 13,0 | 14,4 | 862 | 1.022 |
| | | 40 | 33,3 | 32,3 | 34,2 | 330,0 | 317,0 | 348,0 | 11,3 | 9,7 | 12,5 | 1.021 | 1.110 |
| | 22,8 | 55 | 41,8 | 40,0 | 42,8 | 249,0 | 234,0 | 264,0 | 11,7 | 11,4 | 12,4 | 1.217 | 1.390 |
| | | 40 | 47,7 | 46,6 | 49,6 | 285,0 | 272,0 | 304,0 | 9,3 | 8,8 | 9,8 | 1.403 | 1.584 |
| Pufferspeicher + Frischwasser- modul | 13,7 | 55 | 22,3 | 18,4 | 25,7 | 223,0 | 179,0 | 265,0 | 20,0 | 18,3 | 22,9 | 583 | 858 |
| | | 40 | 25,1 | 21,5 | 28,5 | 250,0 | 210,0 | 290,0 | 16,9 | 16,0 | 18,5 | 647 | 939 |
| | 22,8 | 55 | 27,0 | 21,5 | 31,3 | 161,0 | 117,0 | 194,0 | 22,5 | 19,2 | 29,1 | 673 | 1.034 |
| | | 40 | 31,4 | 25,2 | 37,5 | 138,0 | 147,0 | 230,0 | 18,0 | 15,0 | 22,0 | 781 | 1.214 |
| Pufferspeicher + Trinkwarm- wasserspeicher | 13,7 | 55 | 22,9 | 22,6 | 23,3 | 222,0 | 219,0 | 226,0 | 15,4 | 11,0 | 19,9 | 704 | 704 |
| | | 40 | 24,4 | 23,3 | 25,6 | 236,0 | 225,0 | 247,0 | 13,9 | 10,5 | 16,7 | 722 | 792 |
| | 22,8 | 55 | 32,6 | 31,3 | 33,8 | 190,0 | 182,0 | 197,0 | 14,2 | 11,8 | 16,2 | 956 | 1.035 |
| | | 40 | 36,2 | 33,5 | 36,1 | 205,0 | 195,0 | 210,0 | 12,5 | 10,5 | 14,8 | 1.020 | 1.095 |

Das System aus Pufferspeicher, Frischwassermodul und Rücklaufanhebung weist bei Vorlauftemperaturen von 40 °C die geringsten Wärmegestehungskosten (8,8 ct/kWh), den höchsten solaren Deckungsgrad und CO₂-Einsparung auf.

- Variiert wurden Speichergrößen von 200 l bis 1.500 l.
- Solare Wärmegestehungskosten in Anlehnung an VDI 2067.

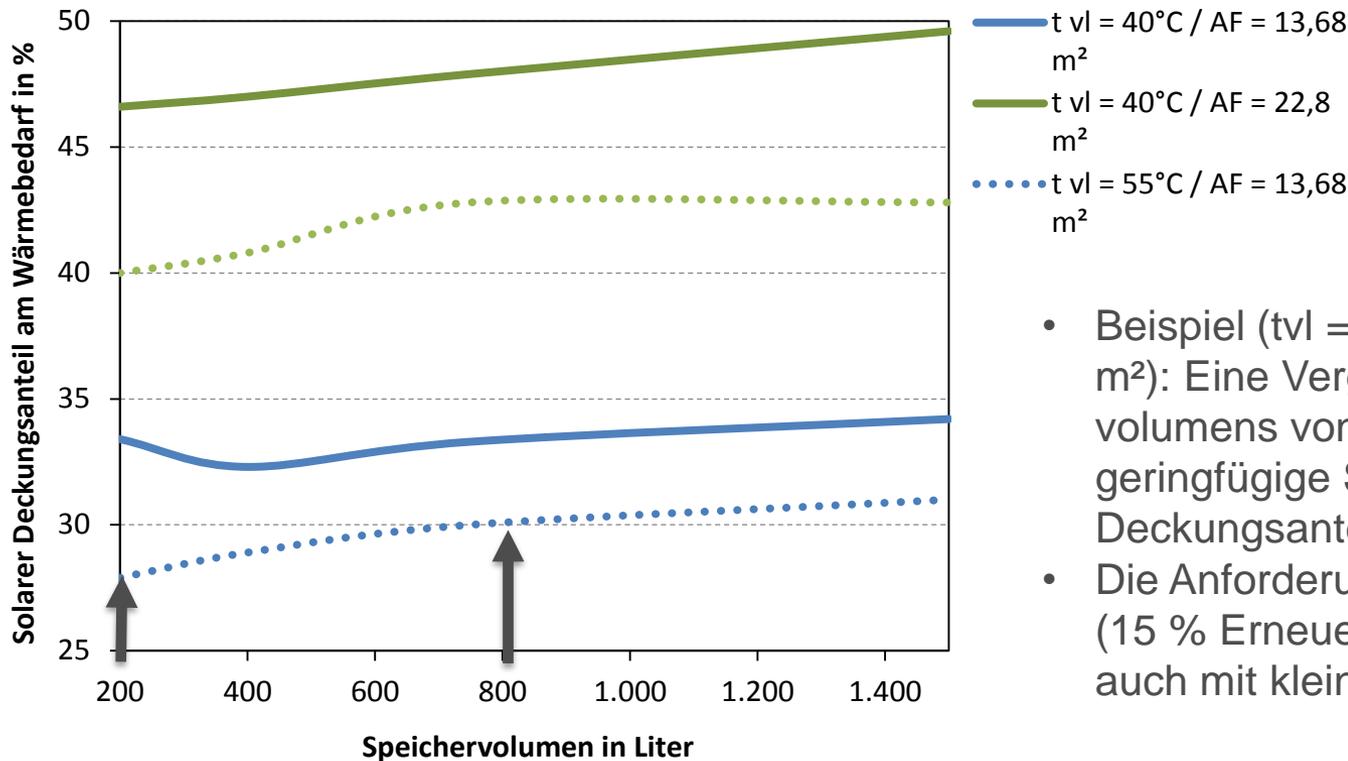
*) Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich, Januar 2009

Neubau EnEV 2009:

Im System bestehend aus Pufferspeicher, Frischwassermodul und Rücklauftemperaturenanhebung kann das Speichervolumen ohne deutliche Effizienzeinbußen reduziert werden.

EFH-Gebäudegrunddaten

- Wohnfläche 160 m²
- Nutzfläche 216 m²
- Heizungstyp: Radiatoren (55/40 °C)
- Solaranlage: Azimut 0°, Neigung 45°
- Standort Essen
- Warmwasserbedarf 140 l/d
- Zapftemperatur 55 °C
- Vier Personen



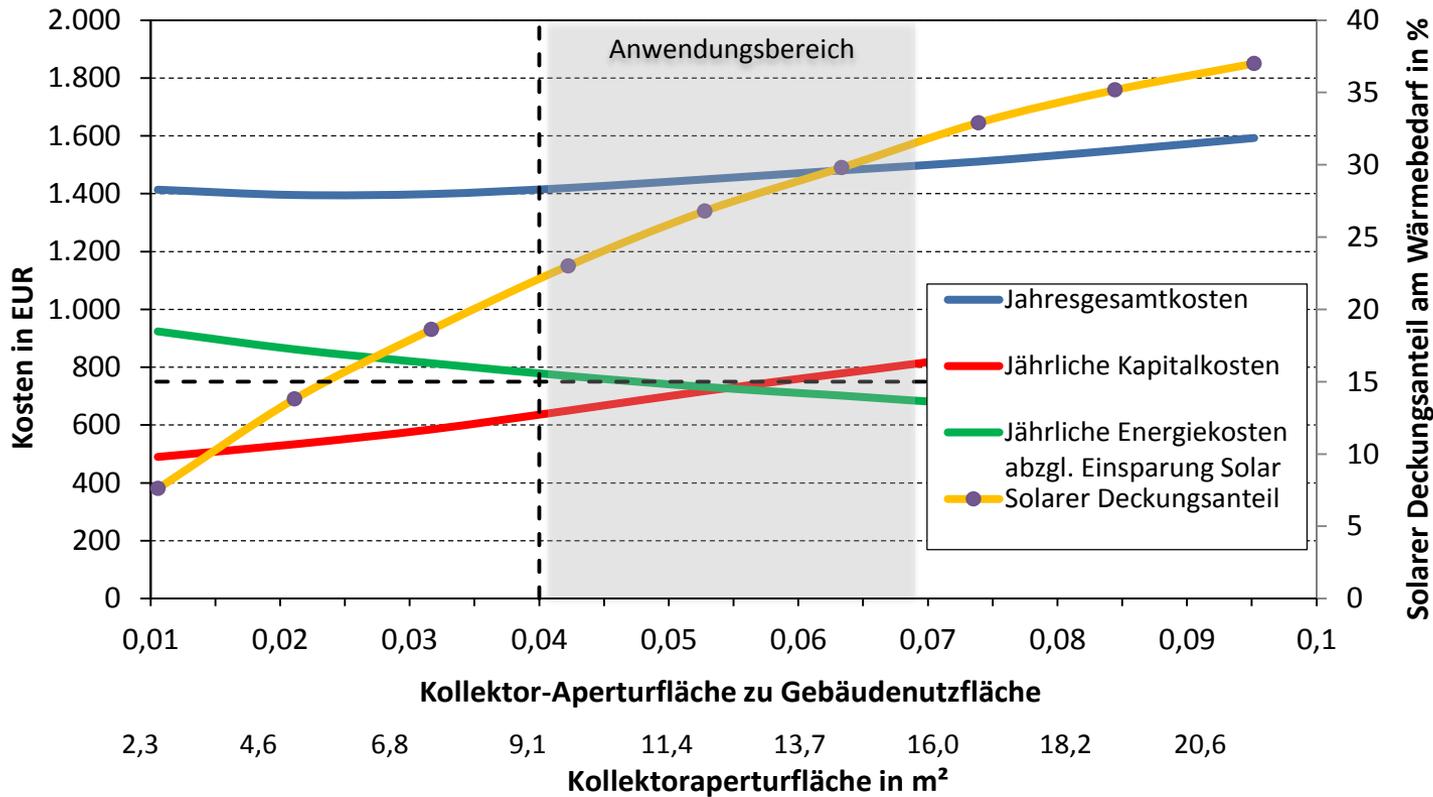
- Beispiel (t_{vl} = 55 °C und AF = 13,68 m²): Eine Vergrößerung des Speichervolumens von 200 auf 800 l ergibt eine geringfügige Steigerung des solaren Deckungsanteils von 28 % auf 30 %.
- Die Anforderungen des EEWärmeG^{*)} (15 % Erneuerbare Energie) werden auch mit kleineren Speichern erfüllt.

- Variiert wurden Speichergrößen von 200 l bis 1.500 l.
- t_{vl} – Vorlauftemperatur; AF – Kollektor-Aperturfläche.

*) Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich, Januar 2009

Neubau EnEV 2009:

Jahresgesamtkosten für das System Pufferspeicher (200 l) mit Frischwassermodul und Rücklaufanhebung.



EFH-Gebäudegrunddaten

- Wohnfläche 160 m²
- Nutzfläche 216 m²
- Heizungstyp: Radiatoren (55/40 °C)
- Solaranlage: Azimut 0°, Neigung 45°
- Standort Essen
- Warmwasserbedarf 140 l/d
- Zapftemperatur 55 °C
- Vier Personen

Auch mit einem kleinen Speicher (200 l) können die Mindestanforderungen des EEWärmeG (Flächenschlüssel 0,04 und 15 % Erneuerbare Energie) bei niedrigen Jahresgesamtkosten erfüllt werden.

Jahresgesamtkosten: Investitionskosten (aktuelle Marktpreise für Kollektoren sowie Zubehör) inkl. Planung und Mehrwertsteuer, Annuität auf Basis Zinssatz 4 % und Laufzeit 20 Jahre.

Grundsätzlich sollte eine Auslegung nach einfachen „Daumenregeln“ vermieden werden, da aufgrund der System-Komplexität nur in Einzelfällen ökologisch und ökonomisch ausgewogene Ergebnisse erzielt werden können.

- Aktuelle Planungssoftware und Tools können grundsätzlich weiterverwendet werden.
- Im Ergebnis kann ohne große Effizienzeinbußen bei der Einbindung der solaren Wärme die nächst KLEINERE Speichergröße verwendet werden.
- Für den Neubaubereich könnte das Anlagensystem bestehend aus Pufferspeicher, Frischwassermodul und Rücklaufemperaturanhebung zielführend sein, um kleinere Speichergrößen und Kollektorflächen zu verwenden.
- Für den Gebäudebestand könnte das Anlagensystem bestehend aus Pufferspeicher, Frischwassermodul und Rücklaufemperaturanhebung die Möglichkeit bieten, die Anforderungen des EEWärmeG zu erfüllen.

- Hintergrund und Zielsetzung
- Systeme und Komponenten von Solarthermieanlagen
- Stand der Technik: Auslegung von Solarthermieanlagen
- Sensitivitätsanalyse: Bewertung von Dimensionierungskriterien
- Praxisanlage im GWI-Versuchshaus
- Schulungskonzept
- Fazit

Langzeittest eines Anlagensystems Brennwert plus Solarthermie (Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung) unter praxisnahen Randbedingungen im GWI-Versuchshaus.

Kenndaten GWI-Versuchshaus am Standort Essen:

- Vollunterkellertes, freistehendes Einfamilienhaus mit 125 m² Wohnfläche im Erd- und Obergeschoss, einem Dachgeschoss und Wintergarten (Grundfläche 85 m², Nutzfläche 297 m², umbautes Volumen 930 m³)
- Wärmedämmstandard ausgeführt gemäß 3. Wärmeschutzverordnung 1995, max. Heizwärmebedarf 100 kWh/(m²a)
- Spezifischer Heizwärmebedarf ermittelt mit 70 kWh/(m²a)

Kenndaten Anlagensystem Brennwert plus Solarthermie:

(ausgewählt entsprechend den Anforderungen des GWI-Versuchshauses und der Auslegungskriterien des Herstellers)

- Brennwertgerät: Brötje Eco-Therm Plus WBG 15 E, 2,9 bis 15 kW Nennwärmebelastung
- Flachkollektoren: 6 x Brötje FK 26 W; insgesamt 12,9 m² Aperturfläche
- Pufferspeicher: SPZ 800, 800 l Speicher mit externer Frischwasserstation



- Hintergrund und Zielsetzung
- Systeme und Komponenten von Solarthermieanlagen
- Stand der Technik: Auslegung von Solarthermieanlagen
- Sensitivitätsanalyse: Bewertung von Dimensionierungskriterien
- Praxisanlage im GWI-Versuchshaus
- **Schulungskonzept**
- Fazit

Auf Basis der Projektergebnisse wurde ein Schulungskonzept erarbeitet.

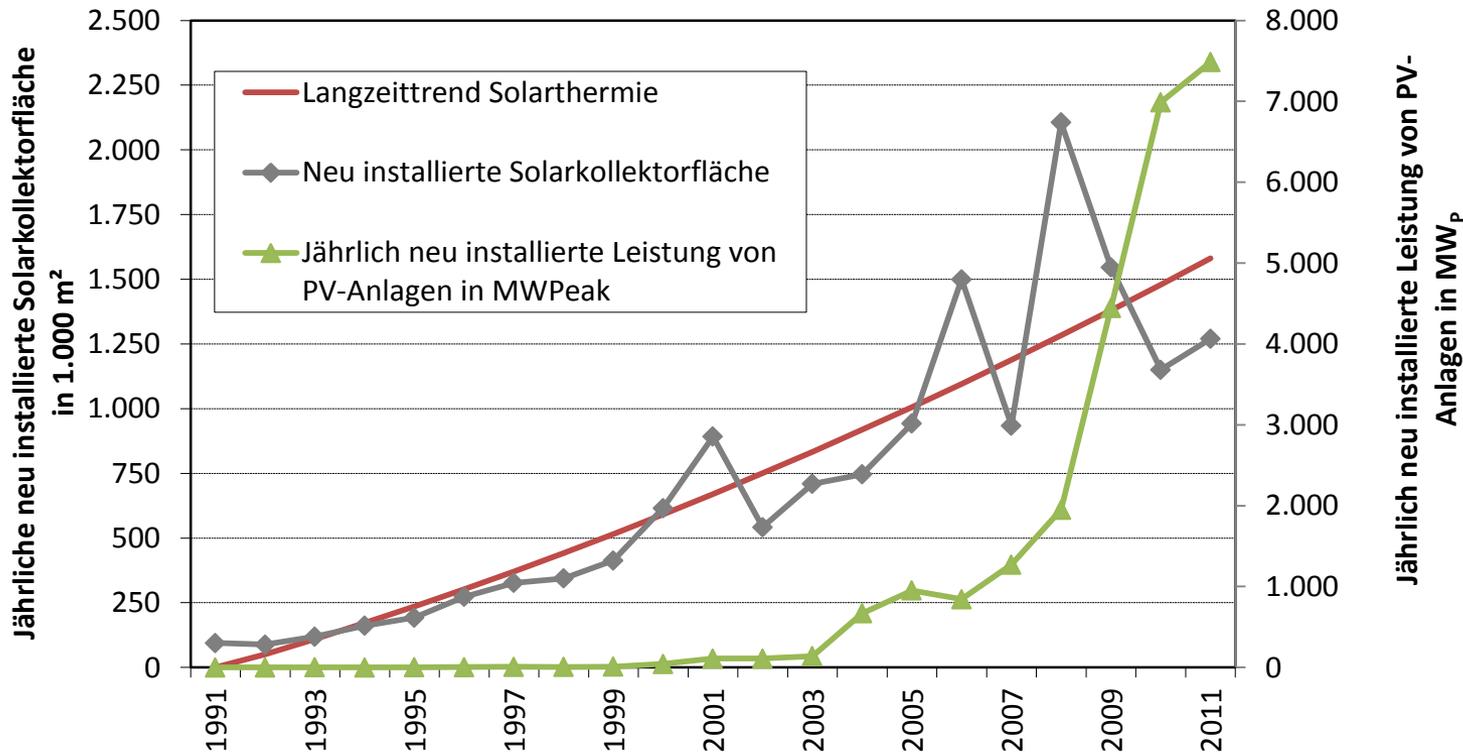
- 1. Technische Grundlagen zur Planung von solarthermischen Anlagen**
 - 1.1. Meteorologische Grundlagen
 - 1.1.1. Solare Strahlung
 - 1.1.2. Verschattungsrechnung
 - 1.1.3. Überschlägige Ertragsrechnungen
 - 1.2. Anlagentechnische Grundlagen
 - 1.2.1. Kollektoren
 - 1.2.1.1. Spezifische Kollektorgroßen
 - 1.2.1.2. Volumenströme
 - 1.2.1.3. Wärmeträgermedien
 - 1.2.2. Speicher
 - 1.2.2.1. Speichertypen
 - 1.2.2.2. Speicherladetechnik
 - 1.2.2.3. Hydraulische Speicheranbindung
 - 1.2.3. Leitungen und Sicherheitskomponenten
 - 1.2.3.1. Zugelassene Materialarten
 - 1.2.3.2. Zugelassene Verbindungstechniken
 - 1.2.3.3. Dämmstoffe und Isoliersysteme
 - 1.2.3.4. Sicherheitsarmaturen
 - 1.2.3.5. Pumpen
 - 1.2.4. Regelungstechnik
 - 1.2.4.1. Regler mit festen und variablen Volumenstrom
 - 1.2.4.2. Fühleranordnung im Solarsystem
 - 1.2.4.3. Kombination mit dem vorhandenen Heizungssystem
- 2. Hydraulische Schaltungen im System Brennwert plus Solarthermie**
 - 2.1. Erläuterung von Hydraulischen Grundsaltungen
 - 2.2. Vor- und Nachteile in jeweiligen Anwendungsfeldern
 - 2.3. Betriebsarten
- 3. Dimensionierung von Solarthermieanlagen**
 - 3.1. Dimensionierungskriterien
 - 3.1.1. Nutzerverhalten
 - 3.1.2. Warmwasser- und Heizenergiebedarf
 - 3.1.3. Systemtemperaturen
 - 3.1.4. Örtliche Gegebenheiten
 - 3.2. Anwendung von Auslegungsregeln
 - 3.3. Simulationswerkzeuge
- 4. Gesetzliche Rahmenbedingungen**
 - 4.1. Nutzungspflicht EEWärmeG
 - 4.2. Energieeinsparverordnung
 - 4.3. Zertifikate und Prüfverfahren
- 5. Praxistipps für die Planung und Installation**
 - 5.1. Planung
 - 5.2. Installationsfehler
 - 5.3. Inbetriebnahme
 - 5.4. Optimierungsmöglichkeiten
- 6. Wirtschaftlichkeit von Solarthermieanlagen**
 - 6.1. Förderbedingungen und -maßnahmen
 - 6.2. Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- 7. Pilotprojekte**
 - 7.1. Beispiele ausgeführter Anlagen
 - 7.2. Fehleranalyse
 - 7.3. Optimierungsansätze

- Hintergrund und Zielsetzung
- Systeme und Komponenten von Solarthermieanlagen
- Stand der Technik: Auslegung von Solarthermieanlagen
- Sensitivitätsanalyse: Bewertung von Dimensionierungskriterien
- Praxisanlage im GWI-Versuchshaus
- Schulungskonzept
- Fazit

- Die Technologiekombination „**Brennwert plus Solarthermie**“:
 - bietet ein **großes Potenzial zur Einkopplung von erneuerbaren Energien**,
 - ist durch die **komplexen Zusammenhänge** zwischen den Betriebsparametern (u. a. Heizkreistemperaturen), Bauteilen und Nutzerverhalten geprägt und
 - erfordert eine **umfassende Planung**.
- In **Bestandsgebäuden** kann auf Basis bekannter Planungstools eine Einbindung von mind. 15 % Erneuerbarer Energie nicht realisiert werden, für den **Neubau** sind diese aber anwendbar.
- Durch **Modifikationen in der Anlagengestaltung** (Anlagensystem bestehend aus Pufferspeicher, Frischwassermodul und Rücklauf Temperaturanhebung) können auch Bestandsanlagen so verbessert werden, dass sie das EEWärmeG erfüllen können.
- Bei Einsatz dieser neuen Anlagensysteme im **Neubaubereich** hat die Sensitivitätsanalyse (drei Systemvarianten wurden untersucht) ergeben, dass die **Kollektorflächen und Speichergrößen deutlich verkleinert** werden können.
- Bei Einsatz dieser neuen Anlagensysteme lassen sich die Wärmegestehungskosten senken, zudem ist der Platzbedarf für die benötigten Systemkomponenten geringer.

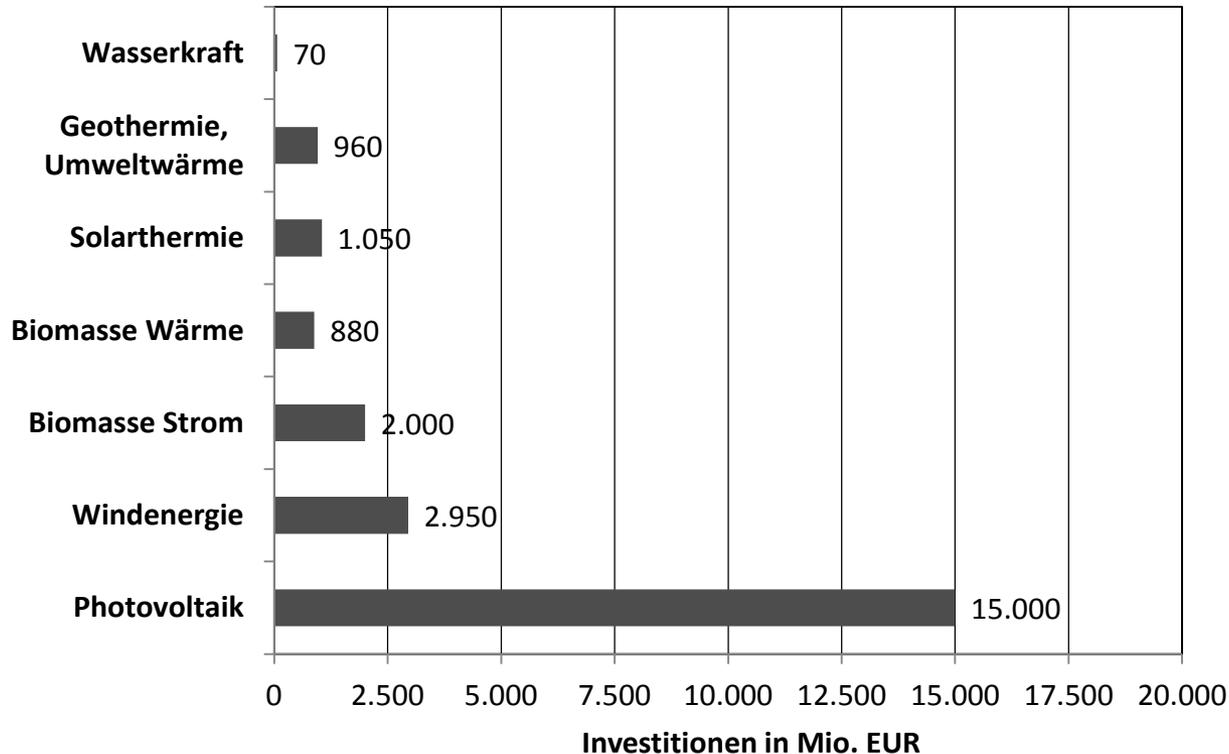
Backup

Rückgang neu installierter Solarthermie-Kollektorfläche von 2008 bis 2010 um 48 %. Starke Zunahme von neu installierten PV-Anlagen seit 2003.



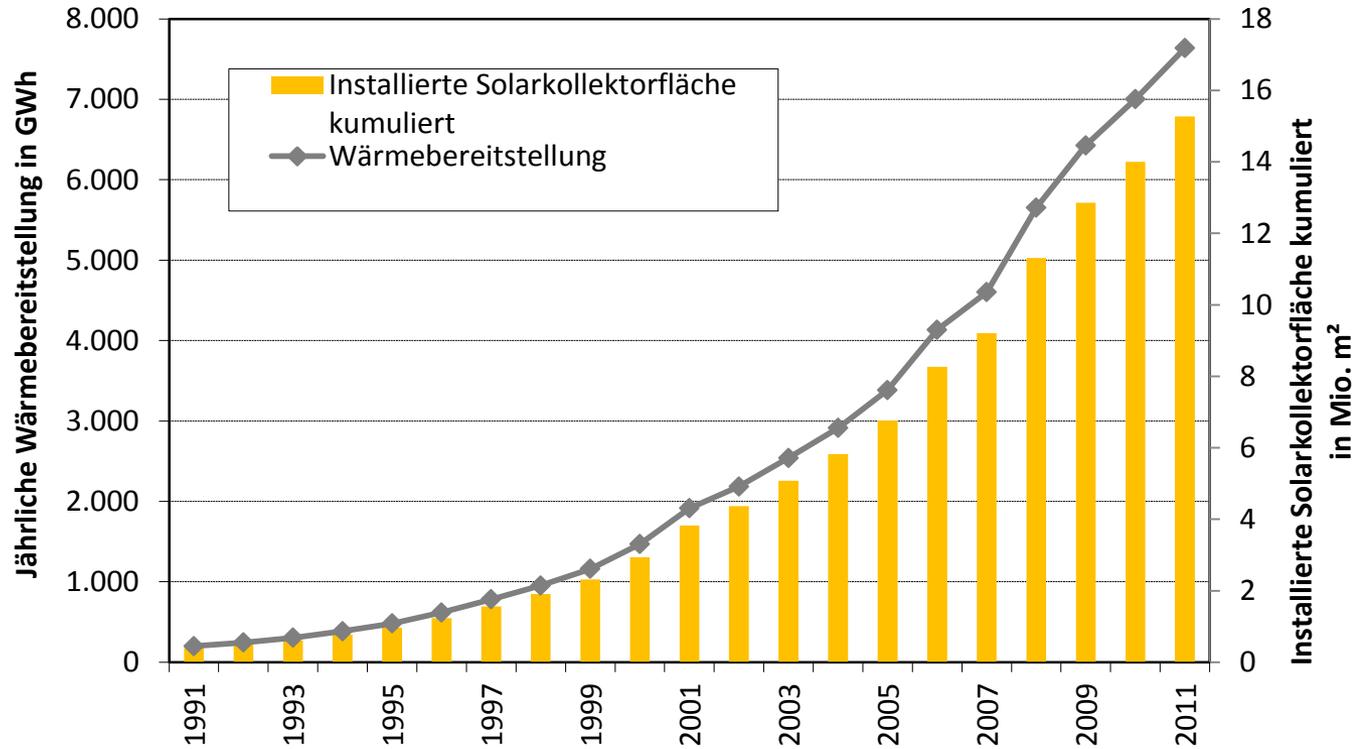
- Solarthermie trotz starker Schwankungen weiter auf Wachstumskurs (vgl. Langzeittrend).
- Zum Vergleich: PV-Anlagen stark zunehmend trotz „Dämpfer“ im Jahr 2011.

Investitionen in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien in Deutschland im Jahr 2011 (gesamt ca. 23 Mrd. EUR).

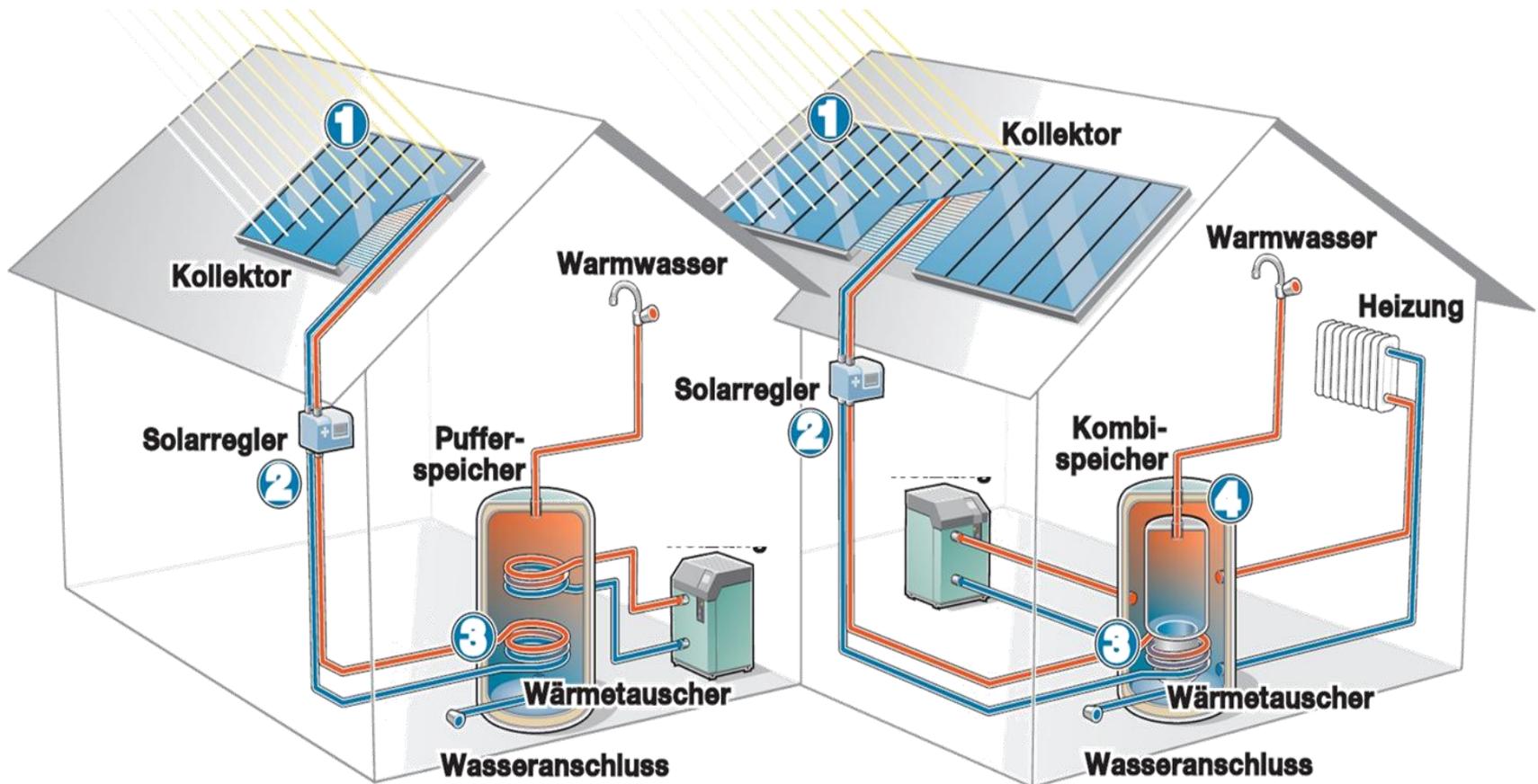


- Dargestellt sind hauptsächlich Investitionen in den Neubau, ein geringer Teil geht in die Erweiterung oder Ertüchtigung von Anlagen.

Entwicklung der Solarthermiekollektorfläche und Wärmebereitstellung aus solarthermischen Anlagen in Deutschland.



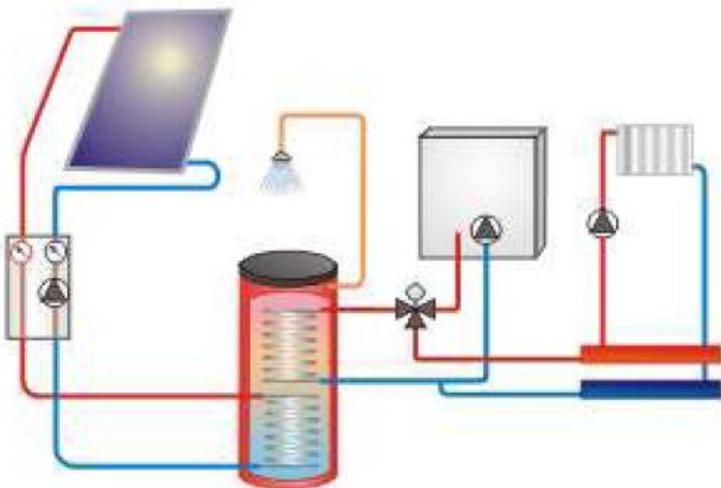
Schematische Darstellung von Systemen „Brennwert plus Solarthermie“.



Trinkwarmwasserbereitung

Trinkwarmwasserbereitung und Heizungsunterstützung

Erläuterung zum Hydraulikschema einer solarthermischen Anlage für die Trinkwarmwassererwärmung.



- Basis: Warmwasserbedarf eines Standard 4-Personenhaushaltes
- Beispielauslegung für eine Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung:
 - Warmwasserbedarf 140 l pro Tag
 - Bei einer Aufheizung von 10 °C auf 55 °C resultiert daraus ein täglicher Warmwasserenergiebedarf von 7,33 kWh / d.
 - Inklusive der Verluste für Speicherung, Verteilung und Übergabe ergibt sich daraus der jährliche Energiebedarf zur Warmwasserbereitstellung von 2.889 kWh.

Installationsfehler und Vorschläge zur Abhilfe (Teil 1/3).

| Installationsfehler | Vorschläge zur Abhilfe |
|--|---|
| <p>Wärmeverluste durch Fehlzirkulation bei fehlender oder defekter Schwerkraftbremse sowie bei horizontalen Anschlüssen zum Speicher.</p> | <p>Möglichst mit Bogen nach unten anschließen, oder Installation von Schwerkraftbremsen zur Vermeidung wärmeverlustreicher Mikrozirkulationen.</p> |
| <p>Mangelnde Fühlermontage durch falsche Fühlerposition bzw. schlechter thermischer Kontakt, kann falsches Regelungsverhalten hervorrufen.</p> | <p>Auf Sorgfalt bei der Montage achten, da alle Steuer- und Regelungsvorgänge mit geringen Temperatur-Schaltdifferenzen arbeiten.</p> |
| <p>Ungeeignete Zirkulationsanbindung durch Einbringung von ca. 40 °C warmen Trinkwarmwassers in die unteren Speicherregionen, die Schichtung wird beeinflusst, dadurch Solarertragsminderung.</p> | <p>Zumindest bei den Standard-Steuerungen der Zirkulationspumpe mit Zeitschaltuhren ist bei längeren Laufzeiten der Zirkulationspumpe eine spezielle Verrohrung erforderlich.</p> |
| <p>Fehlender Trinkwarmwasser-Mischer durch das Schichtungsverhalten im Speicher kann die Maximaltemperatur des Warmwassers deutlich überschritten werden, dadurch Verbrühungsgefahr.</p> | <p>Um die Verbrühungsgefahr zu verhindern, ist der Einbau eines Trinkwarmwasser-Mischers zwingend geboten, z. B. ein thermostatisches Mischventil am Warmwasser-Abgang. Zudem sichert dieser auch die Materialeigenschaften der Trinkwarmwasser-Leitungen ab.</p> |

Installationsfehler und Vorschläge zur Abhilfe (Teil 2/3).

| Installationsfehler | Vorschläge zur Abhilfe |
|--|--|
| Falsche Positionierung des 3-Wege-Ventils. Bei Anlagen mit Heizungsunterstützung dient das 3-Wege-Ventil zum Einbringen solarer Wärme in das Heizungssystem. | Effizienz ist nur gegeben, wenn es an der kältesten Rücklaufleitung montiert ist. |
| Unzureichende Wärmedämmung bei Dach- und Mauerdurchbrüchen sowie der Speicheranschlüsse bewirkt höhere Wärmeverluste und weniger Solarertrag. | Isolierung sämtlicher Leitungen im Heizungsraum sowie des Solarkreises und der Anschlüsse und Armaturen am Speicher. |
| Fehlende Abblaseleitung. Fatale Folgen kann die fehlende Abblasleitung und Ableitung in ein geeignetes Gefäß haben. Das Ansprechen des Sicherheitsventils bei unzulässigem Überdruck (Membranriss im Ausdehnungsgefäß) führt zum Austritt von Flüssigkeit oder Dampf. | Unbedingt eine geeignete Abblaseleitung installieren. |
| Veränderter Wärmeträger durch hohe Kollektortemperatur bei Stillstand, Nachfüllen mit Wasser oder falscher Befüllung | Regelmäßige Kontrolle bei der Wartung, z. B. optisch: Braunfärbung; chemisch: pH-Wert Messung: < 7 reduziert sich der Frostschutz! |

Installationsfehler und Vorschläge zur Abhilfe (Teil 3/3).

| Installationsfehler | Vorschläge zur Abhilfe |
|--|---|
| <p>Luft im Solarkreis hervorgerufen durch Spülen und Befüllen mit ungeeigneten Pumpen über einen zu geringen Zeitraum. Die Folgen sind u. a. schwankende Systemdrücke, Geräusche des Leitungssystems und Leistungseinbußen aufgrund des schlechten Wärmeübergangs in den Kollektoren. Ergänzt wird dieser Mangel durch falsch platzierte (nicht am höchsten Punkt) sowie ungeeignete (automatische) Entlüftungssysteme.</p> | <p>Geeignet sind Pumpen mit großen Volumenströmen und hohen Druckdifferenzen.</p> |
| <p>Größe und Anschluss Ausdehnungsgefäß (MAG) Das MAG muss neben der Volumenänderung des flüssigen Wärmeträgers auch das vollständige Volumen der Verrohrung des Absorbers aufnehmen können. Bei Dampfbildung während der Stillstandsphase kann die Flüssigkeit im Absorber durch den Dampf vollständig in die Leitungen gedrückt werden. Durch einen falschen Anschluss des MAG von unten steigt die thermische Last der Membran durch steigende Temperatur und es sammelt sich Luft unter der Membran. Diese kann nicht entfernt werden. Es kommt zu Druckschwankungen.</p> | <p>MAG richtig dimensionieren, bei einer Unterdimensionierung des MAG wird u. a. das Sicherheitsventil abblasen. Das ist aber nur bei unzulässigem Anlagenüberdruck zulässig, und nicht schon in der Stillstandsphase (z. B. Sommerurlaub).</p> |



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.
Hafenstraße 101
45356 Essen
Tel.: +49 (0) 201 3618 - 101
Fax: +49 (0) 201 3618 - 102