

**Solarthermie-2000, Teilprogramm 2
und Solarthermie2000plus**

**Wissenschaftlich-technische Programmbegleitung
und Messprogramm (Phase 4)**

**Abschlussbericht zum Projekt 032 9601 Q
gefördert mit Mitteln des BMU**

Teil 2: Systemtechnik und Planungshinweise

Projektlaufzeit: 1.1.2007 bis 31.3.2011

Reiner Croy

Michael Mies

Ulrich Rehrmann

Hans Peter Wirth

ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH
Verbindungsstr. 19
40723 Hilden
www.zfs-energietechnik.de

März 2011

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unter dem Förderkennzeichen 032 9601 Q gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---------|---|
| 1 | Einleitung |
| 2 | Anlagen zur Trinkwassererwärmung (ohne Raumheizungsunterstützung) |
| 2.1 | Solaranlage zur Trinkwassererwärmung mit monovalentem Solarvorwärmespeicher |
| 2.2 | Solaranlage zur Trinkwassererwärmung mit bivalentem Solarvorwärm-- und Bereitschaftsspeicher |
| 2.3 | Solaranlage zur Trinkwassererwärmung mit Durchlauf-Wärmetauscher |
| 2.4 | Einbindung der Zirkulation in das Solarsystem |
| 2.4.1 | Erhöhung des solaren Deckungsanteils durch die Zirkulationseinbindung |
| 2.4.2 | Grundsätzliche Überlegungen zur Einbindung der Zirkulation |
| 2.4.3 | Einbindung der Zirkulation in Systeme mit mono- oder bivalentem Vorwärmespeicher und mit Umschaltventil im Zirkulationsrücklauf |
| 2.4.3.1 | Auslegung auf Teildeckung der Zirkulationsverluste selbst an strahlungsreichen Tagen |
| 2.4.3.2 | Auslegung auf Volldeckung der Zirkulationsverluste an strahlungsreichen Tagen |
| 2.4.4 | Einbindung der Zirkulation in Systeme mit mono- oder bivalentem Vorwärmespeicher und mit separatem Wärmetauscher |
| 2.4.5 | Einbindung der Zirkulation in Systeme mit Durchlauf-Wärmetauscher |
| 2.5 | Legionellenschutzschaltung für Anlagen mit mono- und bivalentem Vorwärmespeicher |
| 2.5.1 | Erwärmung des Vorwärmespeichers über die Bereitschaftsspeicher-Ladepumpe |
| 2.5.2 | Erwärmung des Vorwärmespeichers über den Zirkulationsvorlauf |
| 3 | Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung |
| 4 | Solare Nahwärme |
| 4.1 | Vierleiternetze |
| 4.2 | Dreileiternetze |
| 5 | Hinweise zur Dimensionierung und zu einzelnen Komponenten des Solarsystems |
| 5.1 | Warmwasserverbrauch als Grundlage für die Kollektorfeldauslegung |
| 5.2 | Dimensionierung des Solarspeichers |
| 5.2.1 | Solarpufferspeicher in Anlagen zur Trinkwassererwärmung |
| 5.2.2 | Solarpufferspeicher in Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Kombianlagen) |
| 5.3 | Eckdaten zur Dimensionierung des Kollektorfeldes |
| 5.3.1 | Anlagen zur Trinkwasservorwärmung |
| 5.3.2 | Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung |
| 5.4 | Verschaltung von Solarspeichern |
| 5.4.1 | Verschaltung bei ungesteuerter Durchströmung |
| 5.4.1.1 | Be- und Entladung parallel |
| 5.4.1.2 | Be- und Entladung in Reihe |
| 5.4.2 | Verschaltung bei gesteuerter Durchströmung |
| 5.5 | Vergleich der Kollektorkennlinie mit der Leistungsfähigkeit des Kollektorkreises |

| | |
|-------|---|
| 5.6 | Dimensionierung und Überprüfung von Plattenwärmetauschern |
| 5.6.1 | Berechnung von Wärmetauschern |
| 5.6.2 | Auslegung von Wärmetauschern |
| 5.6.3 | Kontrolle der Effizienz von Wärmetauschern |
| 5.6.4 | Überprüfung des Anschlusses von Wärmetauschern |
| 6 | Literatur |

1 Einleitung

Dieser Bericht gibt einen Überblick über die Systemtechnik von Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und solar unterstützenden Nahwärmesystemen aus den Programmen Solarthermie-2000, Teilprogramm 2 und Solarthermie2000plus. In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten Ergebnisse aus dem projektbegleitenden Forschungsprojekt zusammengefasst. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Solaranlagen, die mit Kurz- bis Mittelzeitspeichern in Wärmenetze eingebunden sind (nicht mit saisonalen Speichern).

Dabei wird in kompakter Form auf die Anlagentechnik und die System- und Komponentenauslegung eingegangen. Weiterhin werden Hinweise gegeben, wie anhand von Messwerten die Funktions- und Leistungsfähigkeit von Kollektorkreisen und Wärmetauschern überprüft und bewertet werden kann.

Es werden nur solche Systemvarianten aufgeführt, die sich im Förderkonzept Solarthermie-2000 bewährt haben. Dies heißt nicht, dass nicht auch andere Varianten vorstellbar sind, die eine gute Systemeffizienz sichern. In /5/ sind weitere Varianten zu finden, allerdings ohne Erläuterung von Betriebserfahrungen mit diesen Systemen. Die gezeigten Systemschemata beschreiben lediglich das Systemprinzip und sind zur Übersichtlichkeit stark vereinfacht, sie enthalten nicht die notwendigen Armaturen.

In den Förderkonzepten Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus wurden keine solchen Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung (sog. Kombianlagen) realisiert, die als Inselsysteme die Wärmeverbraucher Trinkwasser, Zirkulation und Raumheizung mit ihren einzelnen Verbrauchskreisen getrennt unterstützen. Lediglich aus dem Verbundprojekt "Kombianlagen" /7/, liegen erste Erfahrungen mit zwei Anlagen vor.

Da im Verbundprojekt die Betreuungszeit der Kombianlagen zu kurz und die Anzahl der Varianten zu gering war, um abgesicherte Praxisempfehlungen aussprechen zu können, wird in diesem Bericht nur ein kurzer allgemeiner Überblick gegeben. Ansonsten wird bei Kombianlagen auf die in den Projekten bereits veröffentlichte Literatur verwiesen, in denen aber nur grundsätzliche Hinweise gegeben werden, die beim Aufbau von Kombianlagen zu beachten sind (Prinzip der getrennten Rücklaufleitungen) /7/.

Planungs- und Dimensionierungshinweise die auf abgesicherten Betriebserfahrungen beruhen, können zu den zahlreichen möglichen Varianten von Kombianlagen nicht gegeben werden, zumal dazu auch die Integration von Heizkesseln in das Solarsystem mit betrachtet werden muss. Ebenso kann keine Beurteilung zum Stand der Technik von Kombianlagen gegeben werden.

Der Bericht ist so aufgebaut, dass jedes Kapitel für sich eigenständig lesbar ist, ohne Rückgriff auf vorherige Kapitel. Die dadurch an einigen Stellen auftretenden Textwiederholungen werden bewusst in Kauf genommen. Seitenumbrüche sind so gesetzt, dass die Kapitel einzeln ausgedruckt werden können. Durch die Ringbuchheftung ist es möglich einzelne Kapitel zu aktualisieren und auszutauschen wenn neue Erkenntnisse vorliegen. Auch ist es problemlos möglich den Bericht um neue Kapitel zu ergänzen, wenn z. B. neue Ergebnisse aus laufenden Projekten /11/ (Integration von Heizkesseln in Wärmeverbundsysteme mit großen Solaranlagen) oder möglichen zukünftigen Projekten (wie z. B. zum Betriebsverhalten und Optimierung von Kombianlagen) vorliegen .

Die in diesem Schlussbericht vorliegenden Informationen basieren zum großen Teil auf Erfahrungen in ausgeführten Anlagen. Durch entsprechende Verlinkungen zu den Abschlussberichten dieser Anlagen, zu Fachbeiträgen, und gezielt genannten Unterkapiteln in anderen Projektabschlussberichten, wird ein direkter Praxisbezug hergestellt.

Wenn zum Beispiel allgemein erläutert wird, wie die Leistungsfähigkeit eines Wärmetauschers anhand von Messdaten überprüft werden kann, so wird auch auf die entsprechenden Abschlussberichte einzelner Solaranlagen verwiesen, in denen dieses Prüfverfahren für eine konkrete Anlage durchgeführt wurde.

Insofern ist dieser Bericht auch ein Dokument um die zahlreichen Berichte der ZfS thematisch zuordnen zu können und einzelne Inhalte hervorzuheben.

In der pdf-Version des Berichtes sind alle Literaturangaben verlinkt, sodass entsprechende Berichte direkt aus dem Internet heruntergeladen werden können. Beim Verweis auf sehr umfangreiche Berichte wird teilweise auf bestimmte Kapitel eines Berichtes verwiesen. Dann ist der Link so gesetzt, dass sich die entsprechende pdf-Datei direkt mit dem jeweiligen Kapitel öffnet.

Die Planungshinweise finden sich auch unter

<http://www.solarwaerme-info.de/technische-informationen/zfs/>

2 Anlagen zur Trinkwassererwärmung (ohne Raumheizungsunterstützung)

2.1 Solaranlage zur Trinkwassererwärmung mit monovalentem Solarvorwärm-speicher

Die Solarwärme wird aus dem Pufferspeicher in einen mit Trinkwasser gefüllten Solarvorwärm-speicher geladen. Dies geschieht (in Grenzen) unabhängig vom Zapfvolumenstrom. Der Solarvorwärm-speicher ist in den Kaltwasserzulauf zum Bereitschaftsspeicher eingebunden. Die Nach-erwärmung erfolgt im Bereitschaftsspeicher.

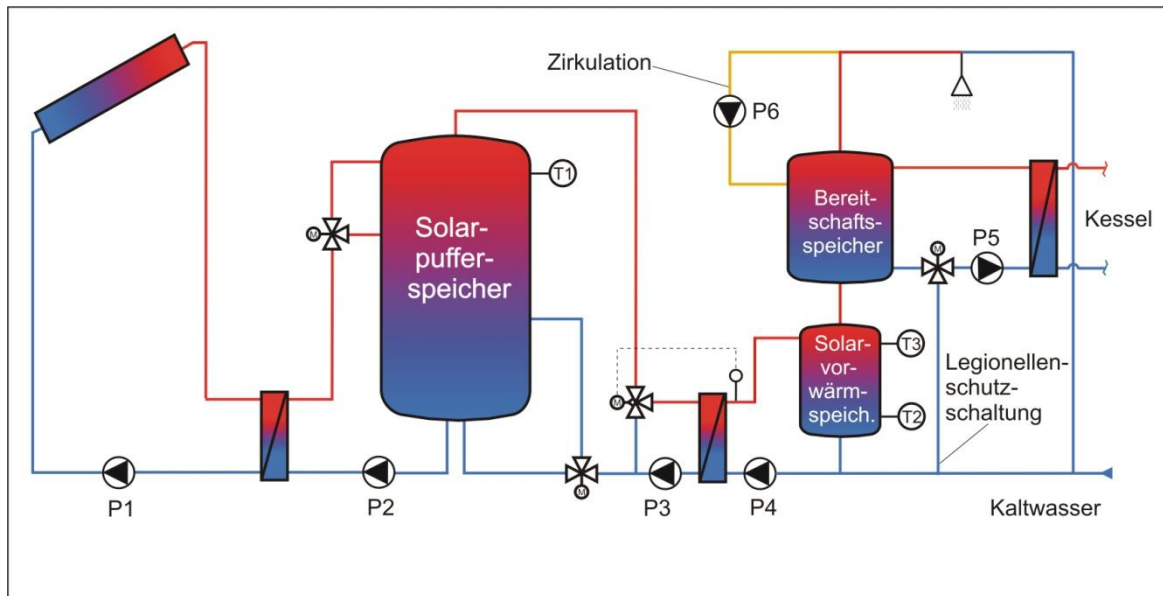


Bild 2.1 - 1: System mit monovalentem Solarvorwärm-speicher

Vorteile:

- Es sind keine Veränderungen am bestehenden konventionellen System notwendig.
- Vorhandene konventionelle Bereitschaftsspeicher können weiter betrieben werden; ebenso konventionell beheizte Nachheiz-Durchlaufsysteme wenn sie in der Leistung regelbar sind.
- Die Entladung des Pufferspeichers ist in Grenzen (je nach Volumen des Vorwärm-speichers) unabhängig vom momentanen Trinkwarmwasserverbrauch möglich. Dadurch wird die Kapazität zur Speicherung von Solarenergie um das Vorwärm-speichervolumen vergrößert.
- Der Puffer-Entladewärmetauscher kann relativ klein und preisgünstig gehalten werden.
- Die Entladeregulierung ist einfach und kostengünstig mit ΔT -Reglern zu realisieren (s. Hinweise).
- Der Druckabfall im Puffer-Entladewärmetauscher wird über eine Pumpe (P4) gedeckt. Der Ent-lade-WT verursacht also im Pfad des gezapften Wassers keinen Druckabfall.
- An beiden Seiten des Entlade-WTs liegen definierte Strömungsverhältnisse vor. Dies vereinfacht die Auslegung des Wärmetauschers (s. Kap. 5.6) gegenüber dem bei einer Durchlaufer-wärmung mit unstetigem Zapfvolumenstrom.
- Eine Einbindung der Trinkwarmwasserzirkulation ist leicht und kostengünstig zu realisieren, indem der Zirkulationsrücklauf über ein Umschaltventil in die Mitte des Vorwärm-speichers geführt wird (s. Kap. 2.4.3). Dieser Vorteil relativiert sich jedoch dadurch, dass wir mit dieser Art der Zirkulationseinbindung schlechte Erfahrungen gemacht haben (nicht dicht schließende Ventile).

Nachteile:

- Gegenüber Systemen mit Durchlauferwärmung (s. Kap. 2.3) sind zusätzlich ein Vorwärm-speicher und eine Ladepumpe (P4) erforderlich. Zum Schutz vor Legionellenwachstum muss der Vorwärm-speicher vom Kessel einmal pro Tag auf 60 °C erwärmt werden, sofern dies nicht durch den Solarpufferspeicher erfolgt ist (s. Legionellenschutzschaltung, Kap. 2.5).

- Der solare Vorwärmespeicher verursacht Wärmeverluste, von denen ein Teil durch die tägliche 60 °C-Erwärmung entsteht.
- Im Vorwärmespeicher können Mischtemperaturen auftreten, so dass bei einer Warmwasserzapfung zeitweise höhere Temperaturen als die des Kaltwassers zum Entladewärmetauscher gelangen.
- Eine geschichtete Einspeisung des Rücklaufs aus dem Entladewärmetauscher in den Pufferspeicher ist zweckmäßig, weil in diesem Rücklauf Temperaturen knapp oberhalb der Kaltwassertemperatur und fast 60 °C auftreten können.
- Der Stromverbrauch steigt durch die zusätzliche Pumpe P4 auf der Trinkwasserseite des Entladewärmetauschers etwas an.

Hinweise

- In der hier dargestellten Legionellenschutzschaltung mit einem Umschaltventil und der Bereitschaftspeicher-Ladepumpe (vergl. Kap. 2.5.1) erfolgt eine Durchströmung des Vorwärmespeichers von oben nach unten. Damit wird sichergestellt, dass dann, wenn im Vorwärmespeicher unten 60 °C erreicht sind, diese 60 °C auch oben anliegen, der Speicher also durchgeladen ist. Bei Legionellenschutzschaltungen über den Zirkulationsvorlauf (vergl. Kap. 2.5.2) ist dies problematischer.
- Die Regelung zur Beladung des Vorwärmespeichers erfolgt häufig durch eine Temperaturdifferenzabfrage mit nur zwei Fühlern, zwischen dem Solarpufferspeicher oben und dem Vorwärmespeicher unten. Möglich ist jedoch auch eine 3-Fühler-Regelung mit einem Temperaturfühler im Solarpufferspeicher oben und zwei Fühlern im Vorwärmespeicher (Einschaltfühler oben; Ausschaltfühler unten). Welche Variante eingesetzt werden sollte kann sich an der Art der Legionellenschutzschaltung orientieren, die entweder nur einen oder zwei Fühler im Vorwärmespeicher benötigt.

Eine Beladeregulierung mit zwei Fühlern im Vorwärmespeicher führt zu verlängerten Lauf- und Abschaltzeiten der Pumpen P3 und P4, da das Vorwärmespeichervolumen als Schalthysterese genutzt wird.

Die Einstellwerte der folgenden Regelbeschreibungen gelten beispielhaft für Wärmetauscher mit einem mittl. log. ΔT von 4 K. Sie sollten im Einzelfall an die tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden.

Regelung mit einem Temperaturfühler im Vorwärmespeicher

P3 und P4 ein

wenn $T1 > T2 + 7 \text{ K}$ und

wenn $T2 < 56 \text{ °C}$

P3 und P4 aus

wenn $T1 < T2 + 4 \text{ K}$ oder

wenn $T2 > 60 \text{ °C}$

Regelung mit zwei Temperaturfühlern im Vorwärmespeicher

P3 und P4 ein

wenn $T1 > T3 + 7 \text{ K}$ und

wenn $T3 < 56 \text{ °C}^1)$

P3 und P4 aus

wenn $T1 < T2 + 5 \text{ K}$ oder

wenn $T2 > 60 \text{ °C}$

¹⁾ eine Einschaltbedingung von T3 deutlich unter 60 °C muss einstellbar sein (es darf z. B. nicht eingestellt sein: $T3 < 59 \text{ °C}$, da sonst die Entladepumpen häufig ein- und ausschalten würden).

- Das Volumen des Vorwärmers sollte ca. 10 % des täglichen Zapfverbrauchs betragen. Sein Volumen liegt damit in der Regel bei 30 bis 50 % des Bereitschaftsspeichers (wenn dieser nicht überdimensioniert ist).
- Obwohl die Rücklaufemperatur zu den Kollektoren etwas höher ist als bei Durchlauferhitzersystemen (nicht immer reine Kaltwassertemperatur im Rücklauf zum Entladewärmetauscher), liegt die Effizienz des Vorwärmersystems nahe bei der des Durchlauferhitzersystems (Kap. 2.3). Voraussetzungen sind ein gut abgestimmtes Vorwärmerspeichervolumen, eine gute Speicherdämmung und eine Auslegung des Entladewärmetauschers auf eine kleine mittlere log. Temperaturdifferenz von 4 bis 5 K (vgl. Kap. 5.6.2).
- Aufgrund der Erfahrungen in Solarthermie-2000 bevorzugt die ZfS bei großen Anlagen Vorwärmerspeichersysteme gegenüber Durchlauferhitzersystemen. Uns ist nicht bekannt, ob inzwischen ausgereifte Durchlauferhitzersysteme am Markt sind die diese Einschätzung hinfällig machen.
- Um ein zu starkes Verkalken des Entladewärmetauschers zu vermeiden, wird eine Rücklaufbeimischung auf der Pufferspeicherseite installiert, die die Temperatur im WT begrenzt. Der zugehörige Temperaturfühler kann am WT-Ausgang auf der Trinkwasserseite oder auch im Einlauf der Pufferseite montiert werden. Eine Montage auf der Pufferseite führt dort zu klar definierten Maximaltemperaturen, aber zu nicht eindeutigen Warmwassertemperaturen. Bei der von uns empfohlenen Montage auf der Trinkwasserseite wird direkt auf die gewünschte Warmwassertemperatur geregelt.

weiterführende Informationen:

- Berichte von Solarthermie-2000-Anlagen mit monovalentem Vorwärmerspeicher
 - /13/ [Abschlussbericht Solaranlage Wohngebäude München](#)
 - /15/ Langzeiterfahrung (11-Jahresbericht) Solaranlage Wohngebäude München
 - /23/ [Abschlussbericht Solaranlage Altenheim Leipzig ^{2\)} ^{3\)}](#)
 - /24/ [Langzeiterfahrung \(10-Jahresbericht\) Solaranlage Altenheim Leipzig ^{2\)} ^{3\)}](#)
 - /26/ [Abschlussbericht Solaranlage in den Wohnhochhäusern Frankfurt ^{3\)}](#)
- ²⁾ Umbau der Anlage von "Nachheizung im Entladekreis des Pufferspeichers" auf Anlage mit Vorwärmerspeicher
- ³⁾ Regelung mit zwei Temperaturfühlern im Vorwärmerspeicher
- Bericht mit detaillierten Informationen zu diesem Systemtyp
 - /1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L; Kapitel 8.1.1.5](#)

2.2 Solaranlage zur Trinkwassererwärmung mit bivalentem Solarvorwärm- und Bereitschaftsspeicher

Die Solarwärme wird aus dem Pufferspeicher in einen mit Trinkwasser gefüllten bivalenten Speicher geladen, der im unteren Teil als solarer Vorwärmerspeicher und im oberen Teil als konventionell aufgeheizter Bereitschaftsspeicher dient. Die Ladung erfolgt (in Grenzen) unabhängig vom Zapfvolumenstrom. Der Systemaufbau ist ähnlich wie der mit monovalentem Solarvorwärmerspeicher (s. Kap. 2.1).

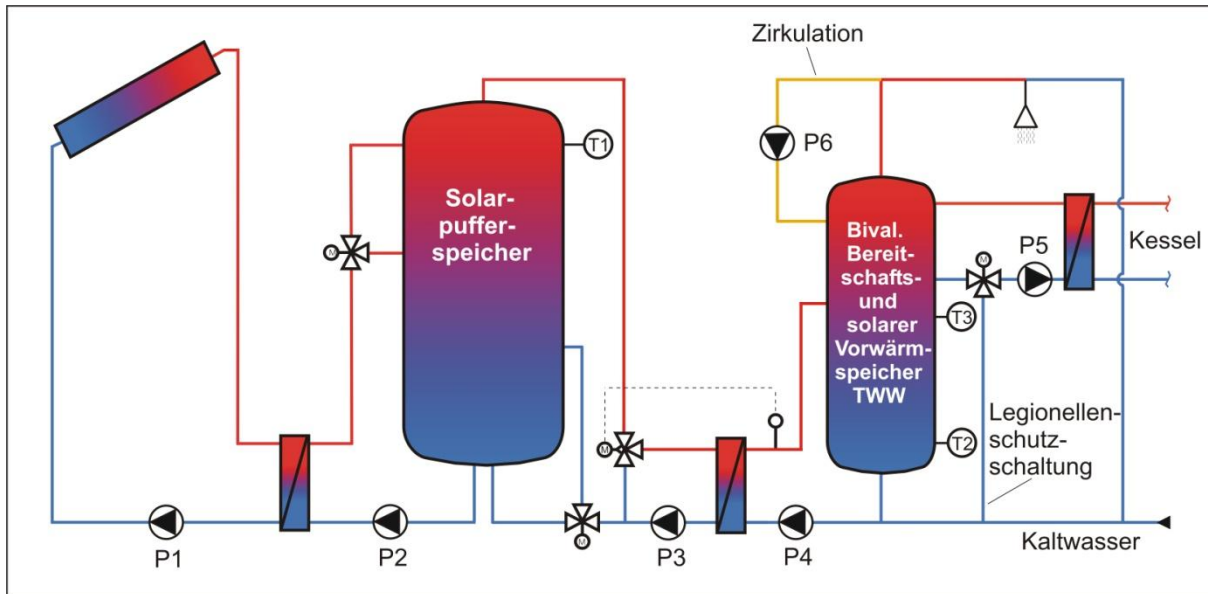


Bild 2.2 - 1: System mit bivalentem Solarvorwärm- und Bereitschaftsspeicher

Vorteile:

- Ein einziger Speicher ist in der Regel kostengünstiger als zwei Speicher mit in der Summe etwa gleichem Volumen.
- Die Entladung des Pufferspeichers ist in Grenzen (je nach Volumen des Vorwärmerspeichers) unabhängig vom momentanen Trinkwarmwasserverbrauch möglich.
- Der Puffer-Entladewärmetauscher kann relativ klein und preisgünstig gehalten werden.
- Der Druckabfall im Puffer-Entladewärmetauscher wird über eine Pumpe (P4) gedeckt. Der Entlade-WT verursacht also im Pfad des gezapften Wassers keinen Druckabfall.
- An beiden Seiten des Entlade-WTs liegen definierte Strömungsverhältnisse vor. Dies vereinfacht die Auslegung des Wärmetauschers (s. Kap. 5.6.2) gegenüber dem bei einer Durchlauferwärmung mit unzeitigem Zapfvolumenstrom.
- Wenn der solare Vorwärmteil über die Solltemperatur im Bereitschaftsteil erwärmt werden darf (z. B. Vorwärmteil 62 °C, Bereitschaftsteil 60 °C) bleibt der Kessel auch dann ausgeschaltet, wenn nicht gezapft wird, da das solar erwärmte Wasser durch Auftrieb in den Bereitschaftsteil gelangt. So kann ein Teil der Verluste des Bereitschaftsteils solar gedeckt werden. Beim System mit monovalentem Vorwärmerspeicher (s. Kap. 2.1) muss der Kessel auch ohne Zapf- und Zirkulationsverbrauch einschalten, um diese Verluste zu decken. In der Praxis ist dieser Vorteil aber eher gering.
- Eine Teildeckung der Zirkulationsverluste ist unter den o. g. Bedingungen auch dann möglich, wenn nicht gezapft wird. In der Praxis ist dieser Vorteil aber eher gering.
- Eine Einbindung der Trinkwarmwasserzirkulation ist leicht und kostengünstig zu realisieren, indem der Zirkulationsrücklauf über ein Umschaltventil in die Mitte des Vorwärmerspeichers geführt wird (s. Kap. 2.4.3). Dieser Vorteil relativiert sich jedoch dadurch, dass wir mit dieser Art der Zirkulationseinbindung schlechte Erfahrungen gemacht haben (nicht dicht schließende Ventile).

Nachteile:

- Das System ist für die kostengünstige Nachrüstung in bestehende konventionelle Anlagen ungeeignet – es sei denn, vorhandene Bereitschaftsspeicher sollen ausgetauscht werden oder es soll von Trinkwassererwärmung über Durchlauferwärmung mit Wärmetauscher (Frischwasserstation) auf Erwärmung über Bereitschaftsspeicher umgerüstet werden.
- Gegenüber Systemen mit Durchlauferwärmung sind zusätzlich ein größerer Trinkwasserspeicher und eine Ladepumpe (P4) erforderlich. Zum Schutz vor Legionellenwachstum muss der Vorwärm Speicher vom Kessel einmal pro Tag auf 60 °C erwärmt werden, sofern dies nicht durch den Solarpufferspeicher erfolgt ist (Legionellenschutzschaltung, Kap. 2.5).
- Der solare Vorwärm Speicherbereich verursacht Wärmeverluste, von denen ein Teil durch die 60 °C-Erwärmung entsteht.
- Im Vorwärm Speicher können Mischtemperaturen auftreten, so dass bei einer Warmwasserzapfung zeitweise höhere Temperaturen als die des Kaltwassers zum Entladewärmetauscher gelangen.
- Die notwendige schlanke Bauform erfordert bei großen Speichern eine große Raumhöhe. Oft ist dies nicht gegeben. Eine Aufteilung auf mehrere parallel durchströmte kleinere bivalente Speicher wird nicht empfohlen (Problem: Gleichmäßigkeit der Speichertemperaturen, sorgfältiger und dauerhaft zu kontrollierender Strömungsabgleich, s. Kap. 5.4.1.1).
- Durch Verwirbelungen und Wärmeleitung kann es leicht zur Verschleppung von konventioneller Wärme vom oberen Bereitschaftsteil in den unteren solaren Vorwärmteil kommen. Dadurch wird die Rücklauf Temperatur zum Entladewärmetauscher (und in der Folgekette die Rücklauf Temperatur zu den Kollektoren) erhöht und die Solarsystemeffizienz sinkt.
- Eine geschichtete Einspeisung des Rücklaufs aus dem Entladewärmetauscher in den Pufferspeicher ist wegen der Gefahr einer Erhöhung der Rücklauf Temperatur zum Entladewärmetauscher dringender geboten als bei monovalentem Vorwärm Speicher.
- Der Stromverbrauch steigt durch die zusätzliche Pumpe P4 auf der Trinkwasserseite des Entladewärmetauschers etwas an.

Hinweise

- In der hier dargestellten Legionellenschutzschaltung mit einem Umschaltventil und der Bereitschaftsspeicher-Ladepumpe (vergl. Kap. 2.5.1) erfolgt eine Durchströmung des Vorwärmteils von oben nach unten. Damit wird sichergestellt, dass dann, wenn im Vorwärmteil unten 60 °C erreicht sind, diese 60 °C auch im oberen Vorwärmteil anliegen, der Vorwärmteil also durchgeladen ist. Bei Legionellenschutzschaltungen über den Zirkulationsvorlauf (vergl. Kap. 2.5.2) ist dies problematischer.
- Bezüglich der Regelung zur Beladung des bivalenten Vorwärm Speichers gelten sinngemäß die Anmerkungen zur Regelung von monovalenten Vorwärm Speichern (Kap. 2.1). Der Fühler im monovalenten Vorwärm Speicher oben, befindet sich nun jedoch am oberen Ende des solaren Vorwärm Bereichs.
- Das Volumen des bivalenten solaren Vorwärmteils sollte etwas größer sein als ein monovalenter Vorwärm Speicher, weil sein effektives Volumen durch eine nie ganz zu verhindernde Verwirbelung und Wärmeleitung im Speicher etwas geringer ist. Ca. 50 bis 60 % des Bereitschaftsteils scheinen zweckmäßig.
- Die Volumenströme aus der konventionellen Nachheizung und Zirkulation dürfen die Schichtung im Solarteil nicht wesentlich stören, damit nur wenig konventionell erzeugte Wärme in den Solarteil gelangt. Bivalente Speicher sollten daher schlank sein (Höhe zu Durchmesser mindestens 3:1). Zudem sollten die Volumenströme möglichst niedrig gehalten werden, was in der Praxis oft nicht eingehalten wird.
- Der Kessel darf nur den oberen Teil des Speichers erwärmen. Der Einschaltfühler für den Kessel sitzt wie üblich etwas unterhalb des Speicherdeckels, der Ausschaltfühler muss etwa in der Höhe des Auslaufs zum Kessel hin (untere Begrenzung des Bereitschaftsvolumens) platziert werden, keinesfalls jedoch im Speicher unten.

- Um ein zu starkes Verkalken des Entladewärmetauschers zu vermeiden, wird eine Rücklaufbeimischung auf der Pufferspeicherseite installiert, die die Temperatur im WT begrenzt. Der zugehörige Temperaturfühler kann am WT-Ausgang auf der Trinkwasserseite oder auch im Einlauf der Pufferseite montiert werden. Eine Montage auf der Pufferseite führt dort zu klar definierten Maximaltemperaturen, aber zu nicht eindeutigen Warmwassertemperaturen. Bei der von uns empfohlenen Montage auf der Trinkwasserseite wird direkt auf die gewünschte Warmwassertemperatur geregelt.
- Das System bietet nur geringe Vorteile gegenüber dem mit monovalentem solaren Vorwärm-speicher (Kap. 2.1). Es birgt aber ein erhebliches Gefahrenpotenzial für eine Effizienzvermin-derung des Solarsystems. Wir empfehlen diese Systemvariante deshalb nur eingeschränkt. Ei-gene Erfahrungen mit diesem System liegen der ZfS nicht vor.

weiterführende Informationen:

- Bericht einer Solarthermie-2000-Anlage mit bivalentem Vorwärm-speicher

/28/ [Abschlussbericht \(FH Offenburg\) Solaranlage Hegau Klinikum Singen](#)
das System wurde von vier bivalenten Vorwärm-speichern auf zwei monovalente Vor-wärm-speicher und zwei monovalente Bereitschaftsspeicher umgebaut

- Bericht mit detaillierten Informationen zu diesem Systemtyp

/1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L \(2009\); Kapitel 8.1.1.6](#)

2.3 Solaranlage zur Trinkwassererwärmung mit Durchlauf-Wärmetauscher

Aus dem Pufferspeicher wird nur dann Wärme an das Trinkwasser übertragen wenn Trinkwasser gezapft wird. Das gezapfte Wasser wird ähnlich wie bei einem Durchlauferhitzer erwärmt. Die Nacherwärmung erfolgt in einem separaten Bereitschaftsspeicher. Für eine optimale Wärmeübertragung an das Trinkwasser, muss der Fördervolumenstrom der Entladepumpe (P3) optimal an den schwankenden Zapfvolumenstrom angepasst sein.

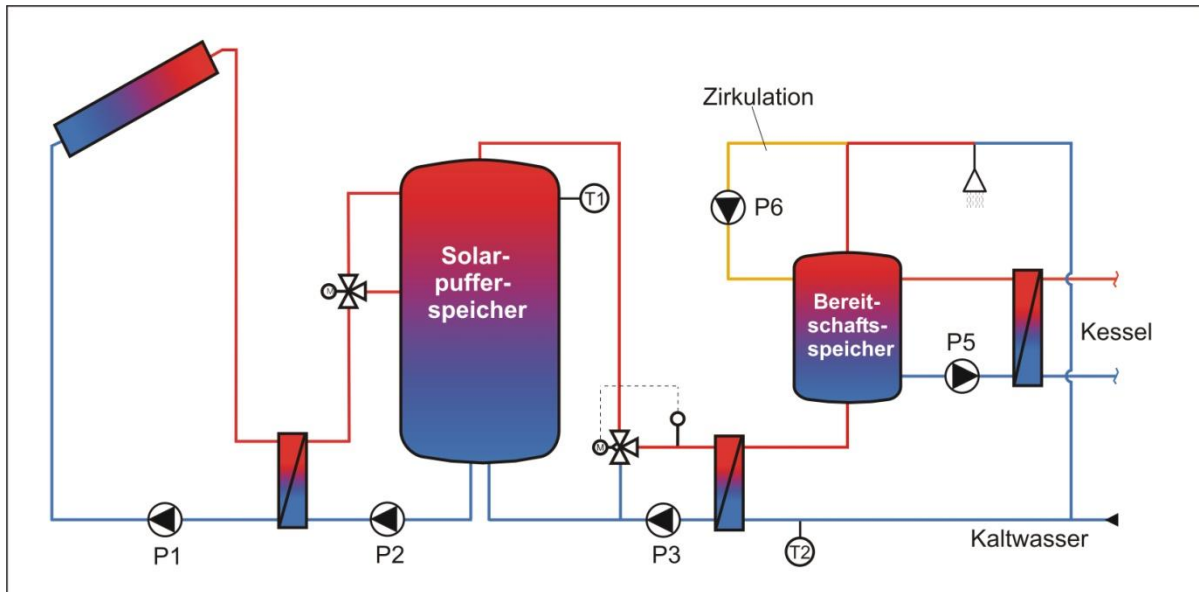


Bild 2.3 - 1: System mit Durchlauf-Wärmetauscher

Vorteile:

- Es sind keine Veränderungen am bestehenden konventionellen System notwendig. Einfache kostengünstige Einbindung in das bestehende Trinkwassernetz.
- Vorhandene Bereitschaftsspeicher können weiter betrieben werden; ebenso konventionelle Nachheiz-Durchlaufsysteme wenn sie in der Leistung regelbar sind.
- In der Regel ist kein zusätzlicher Aufwand für Trinkwasserhygiene erforderlich (im Gegensatz zu Systemen mit solarem Vorwärmespeicher, s. Kap. 2.1). Ausnahme: Trinkwasserinhalt des Wärmetauschers und der Verrohrung bis zum Bereitschaftsspeicher > 3 l.
- Gute Voraussetzung für optimalen Solarertrag. Da der Entladewärmetauscher direkt vom Kaltwasser angeströmt wird, gelangt bei korrekter Regelung des Puffer-Entlade-Volumenstroms und richtiger Dimensionierung des Entladewärmetauschers ein gut abgekühlter Rücklauf in den Pufferspeicher. Eine temperaturgeschichtete Einspeisung des Entladekreis-Rücklaufs in den Puffer ist deshalb nicht erforderlich.
- Geringerer Strombedarf als Vorwärmespeichersysteme, da nur eine zusätzliche Solarpumpe (P3) erforderlich.

Nachteile:

- Ohne besondere Maßnahmen ist eine Deckung der Zirkulationsverluste nur dann in geringem Umfang möglich, wenn im Entladewärmetauscher eine Erwärmung des Trinkwassers über die Solltemperatur im Bereitschaftsspeicher zugelassen wird. Zur Deckung der Zirkulationsverluste ist in der Regel zweiter Entladewärmetauscher erforderlich (s. Hinweise).
- Die drehzahlgesteuerte Regelung der Entladepumpe P3 ist nicht trivial und nur mit größerem Messaufwand (hohe zeitliche Auflösung) zu kontrollieren (siehe /9/).
- Bei großem dynamischem Bereich des Zapfvolumenstroms (von Null bis zu mehreren m³/h) ist u. U. ein zweiter Wärmetauscher erforderlich (Kaskadenschaltung). Es ist abzuwägen ob auf die solare Deckung von hohen Zapfspitzen verzichtet wird.

- Hoher Druckabfall im Wärmeübertrager kann dazu führen, dass der Druck im Warmwassernetz erheblich unter den Druck im Kaltwassernetz abfällt. Dadurch Gefahr von Fehl-Überströmungen aus dem Kaltwassernetz in das Warmwassernetz an Mischstellen von Warm- mit Kaltwasser (vor allem bei hohem Zapfvolumenstrom).
- Verkalkt oder verschmutzt der WT, so erhöht dies den Druckabfall (vgl. oben). Dies kann zu Störungen der Warmwasserversorgung führen.

Hinweise

- In Solarthermie-2000-Anlagen traten sehr häufige Probleme mit der Regelung auf, aufgrund mangelhafter Anpassung des Volumenstroms der Entladepumpe P3 an den Zapfvolumenstrom. Die Entladung des Pufferspeichers und die Erwärmung des Trinkwassers waren dadurch nicht optimal. Folgende Bedingungen müssen vom Regler erfüllt werden (Einstellwerte beispielhaft, gilt für WT mit mittl. log. ΔT von 5 K).

P3 ein

wenn $T_1 > T_2 + 7 \text{ K}$ und

wenn Zapfvolumenstrom > Mindestvolumenstrom von P3

Anpassung des Fördervolumenstroms von P3 an den Zapfvolumenstrom

P3 aus

wenn $T_1 < T_2 + 5 \text{ K}$ oder

wenn Zapfvolumenstrom < Mindestvolumenstrom von P3

Der Prototyp eines Reglers, mit dem die Regelbedingungen durch je einen Volumenstromzähler im Entladekreis und in der Kaltwasserleitung eingehalten werden, wurde im Rahmen eines Solarthermie-2000-Forschungsprojektes entwickelt (siehe Literaturhinweise). Viele Regler arbeiten jedoch ausschließlich mit Temperaturfühlern. Da heutzutage zahlreiche Hersteller Frischwasserstationen mit Durchlauferwärmung des Trinkwassers anbieten, deren Regelung bezüglich dieser Anpassung auch denselben Anforderungen wie an eine Entladeregulierung standhalten müssen, erwartet die ZfS, dass inzwischen geeignete Entladeregler am Markt verfügbar sind, die den Entladevolumenstrom optimal an den Zapfvolumenstrom anpassen. Erfahrungen dazu liegen uns jedoch nicht vor.

- Die Anbindung der Zirkulation an die Kaltwasserleitung zur solaren Deckung von Zirkulationsverlusten, wird wegen der damit verbundenen Erhöhung der Eintrittstemperatur in den WT in der Regel nicht empfohlen.
Eine derartige Anbindung halten wir nur dann für denkbar, wenn der Zapf- und Zirkulationsvolumenstrom getrennt werden, indem die Zirkulation bei Zapfung abgeschaltet wird und nur in Zapfpausen eingeschaltet ist. Dann kann dies eine preiswerte Lösung zur Deckung von Zirkulationsverlusten sein. Eine geschichtete Einspeisung des Entladekreis-Rücklaufs in den Solarpufferspeicher ist dann aber erforderlich. Erfahrungen mit einer derartigen Variante liegen der ZfS nicht vor. Hygienische Aspekte bei Abschaltung der Zirkulation (DVGW W551, W553) sind zu beachten.
- Die Auslegung des Wärmetauschers erfordert eine besondere Sorgfalt. Insbesondere der maximal zulässige Druckverlust bei hohen Zapfspitzen und eine gleichzeitig gute Wärmeübertragung bei niedrigen Durchflüssen sind zu beachten. Wir empfehlen die Auslegung von einem Wärmetauscherhersteller durchführen zu lassen.
- Die Kaskadierung (Parallelschaltung) von mehreren Wärmetauschern ist eine denkbare und von Herstellern angebotene Lösung, um größere Zapfspitzen bei akzeptablem Druckverlust erwärmen zu können. Erfahrungen hierzu liegen der ZfS nicht vor.

- Um ein zu starkes Verkalken des Entladewärmetauschers zu vermeiden, wird eine Rücklaufbeimischung im Entladekreis des Pufferspeichers installiert, die die Temperatur im WT begrenzt. Der zugehörige Temperaturfühler sollte - wie dargestellt - im WT-Einlauf montiert werden. Eine Montage am WT-Ausgang auf die Trinkwasserseite (wie bei Vorwärmerspeichersystemen), wird nicht empfohlen, da dies aufgrund des schwankenden Zapfvolumenstroms und der Trägheit bei der Wärmeübertragung zu Regelungsproblemen (Aufschwingung) und zu einer Überhitzung auf der Primärseite (Kalkausfällung) führen kann.

weiterführende Informationen:

- Berichte von Solarthermie-2000-Anlagen mit Durchlauferwärmung

/15/ [Solaranlage in der Jugendherberge Saarbrücken ^{1\)}](#)

/16/ [Langzeiterfahrung \(12-Jahre\) Solaranlage in der Jugendherberge Saarbrücken ^{1\)}](#)

/17/ [Solaranlage im Städtischen Klinikum Solingen ^{2\)}](#)

/18/ [Langzeiterfahrung \(10-Jahre\) Solaranlage im Städt. Klinikum Solingen ^{2\)}](#)

/21/ [Solaranlage im Altenheim Hans-Sieber-Haus München ^{2\)}](#)

/22/ [Langzeiterfahrung \(7-Jahres\) Solaranlage im Altenheim Hans-Sieber-Haus München ^{2\)}](#)

/29/ [Solaranlage im Studentendorf Freiburg Vauban \(Bericht FH Offenburg\) ^{2\)}](#)

¹⁾ Umbau der Entladeregulung auf den beschriebenen Prototypen

²⁾ die in dieser Anlage eingesetzte Entladeregulung ist nur eingeschränkt zu empfehlen

- Berichte mit detaillierten Informationen

/1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L; Kapitel 8.1.1.4](#)

/9/ [Entladeregulung mit Anpassung des Volumenstroms der Entladepumpe an den Zapfvolumenstrom \(13. Symposium Thermische Solarenergie; 2003\)](#)

2.4 Einbindung der Zirkulation in das Solarsystem

Durch die Einbindung der Trinkwarmwasserzirkulation in das Solarsystem kann ein höherer solarer Deckungsanteil erzielt werden - zwar nicht in dem Maße wie bei einer Heizungsunterstützung - sie ist bei begrenzter Kollektorfläche jedoch eine interessante Systemerweiterung.

2.4.1 Erhöhung des solaren Deckungsanteils durch die Zirkulationseinbindung

Tabelle 2.4.1 - 1 basiert auf Simulationsrechnungen und soll ein Gefühl geben, wie hoch der solare Deckungsanteil bei unterschiedlich ausgelegten Solaranlagen ohne Heizungsunterstützung ansteigt.

Der Energiebedarf für die Trinkwarmwasserzirkulation wurde variiert von halb so hoch wie für Zapfenergie, genauso hoch und als Extremfall um Faktor 3 höher als die Zapfenergie.

Der jährliche Raumwärmebedarf wurde nach mittelmäßig gedämmten Gebäuden (etwa WSchVO 95) und Niedrigenergiehausstandard unterschieden (100 bzw. 50 kWh pro m² Wohnfläche).

Folgende solare Deckungsanteile werden angegeben:

- solarer Deckungsanteil an Zapfenergie
- solarer Deckungsanteil, an Zapfenergie + Zirkulationsenergie
- solarer Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf des Gebäudes

Das Solarsystem wurde in drei Varianten gerechnet (eine ohne, zwei mit Zirkulationseinbindung):

- Solaranlage mit monovalentem Vorwärmespeicher ohne Einbindung der Zirkulation (Kap. 2.1)
Auslegung: Trinkwasservorwärmanlage
- Solaranlage mit monovalentem Vorwärmespeicher; Einbindung mit Umschaltventil im Zirkulationsrücklauf; Teildeckung der Zirkulationsverluste selbst an strahlungsreichen Tagen (Kap. 2.4.3.1)
Auslegung: das Solarsystem wird moderat vergrößert um Faktor 1,5 (maximal 1,8 ist sinnvoll) gegenüber der Auslegung als Trinkwasservorwärmanlage
- Solaranlage mit monovalentem Vorwärmespeicher; Einbindung mit separatem Wärmetauscher; Volldeckung der Zirkulationsverluste an strahlungsreichen Tagen (Kap. 2.4.3.2)
Auslegung: das Solarsystem wird stark vergrößert um Faktor 2,6 (Faktor 2 bis 3 ist sinnvoll) gegenüber der Auslegung als Trinkwasservorwärmanlage.
Je nach Zirkulationsenergiebedarf liegt hier die Grenze der zweckmäßigen Solarsystemvergrößerung bei ca. Faktor 3. Bei einer weiteren Vergrößerung ist es energetisch und betriebswirtschaftlich günstiger eine Heizungsunterstützung zu integrieren.

| Verhältnis Zirkulations- zu Zapfenergie | Solarer Deckungsanteil an Zapfenergie | Solarer Deckungsanteil an Zapf- und Zirkulationsenergie | Solarer Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf; spez. Jahresheizenergie 100 kWh/m ² _{WF} | Solarer Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf des Gebäudes; spez. Jahresheizenergie 50 kWh/m ² _{WF} |
|--|---------------------------------------|---|---|---|
| 1 Auslegung: Trinkwasservorwärmanlage, Solaranlage mit monovalentem Vorwärmespeicher ohne Einbindung der Zirkulation | | | | |
| 145/290 kWh/d | 35 % | 24 % | 4 % | 6 % |
| 290/290 kWh/d | 35 % | 18 % | 4 % | 6 % |
| 870/290 kWh/d | 35 % | 9 % | 3 % | 4 % |
| 2 Auslegung: leicht überdimensioniert gegenüber Trinkwasservorwärmanlage (Faktor 1,5) Einbindung der Zirkulation mit Umschaltventil im Zirkulationsrücklauf Teildeckung der Zirkulationsverluste selbst an strahlungsreichen Tagen, keine Heizungsunterstützung | | | | |
| 145/290 kWh/d | 47 % | 32 % | 5 % | 9 % |
| 290/290 kWh/d | 47 % | 24 % | 5 % | 8 % |
| 870/290 kWh/d | 47 % | 12 % | 4 % | 6 % |
| 3 Auslegung: stark überdimensioniert gegenüber Trinkwasservorwärmanlage (Faktor 2,6) Einbindung der Zirkulation mit separatem Wärmetauscher Volldeckung der Zirkulationsverluste an strahlungsreichen Tagen, keine Heizungsunterstützung | | | | |
| 145/290 kWh/d | (66 %) ¹⁾ | (41 %) ¹⁾ | (7 %) ¹⁾ | (12 %) ¹⁾ |
| 290/290 kWh/d | 66 % | 33 % | 7 % | 11 % |
| 870/290 kWh/d | 66 % | 16 % | 5 % | 8 % |

¹⁾ wegen geringer Zirkulationsverluste ist diese Auslegung ohne Heizungseinbindung ungünstig

Tabelle 2.4.1 - 1: Solare Deckungsanteile an verschiedenen Bezugsenergien für unterschiedliche Solarsystemvarianten und unterschiedliche Relationen von Zirkulationsenergie und Zapfenergie in großen Gebäuden

2.4.2 Grundsätzliche Überlegungen zur Einbindung der Zirkulation

Ein häufig gemachter Fehler bei der Einbindung des Zirkulationsrücklaufs in das Solarsystem ist, dass die Zirkulationsrücklaufleitung an die Kaltwasserleitung angeschlossen wird. Dies führt zu einer Erhöhung der Rücklauftemperatur vom Entladewärmetauscher zum Solarpuffer mit erheblicher Reduzierung der Solarsystemeffizienz (vgl. Bild 2.4.2 - 1, linke Seite). Die richtige Einbindung zeigt Bild 2.4.2 - 1 auf der rechten Seite.

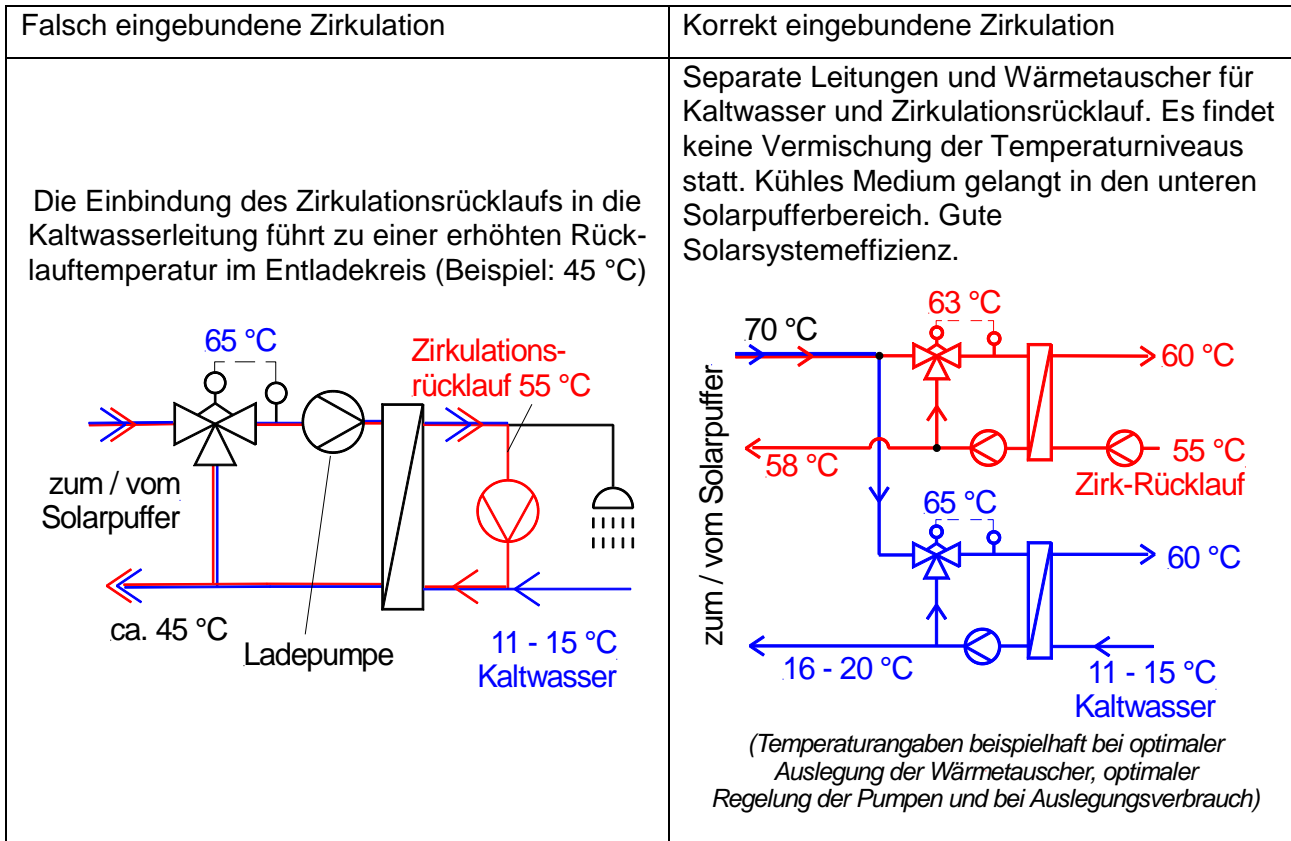


Bild 2.4.2 - 1: Falsche und richtige Einbindung des Zirkulationsrücklaufs in das Solarsystem

Vor der Einbindung der Zirkulation in ein Solarsystem sind folgende Maßnahmen durchzuführen:

- Hydraulischer Abgleich des Zirkulationsnetzes (bei Altbauten oft schwierig).
- Gute Dämmung aller Trinkwarmwasserleitungen (inkl. Zirkulationsrücklauf; bei Altbauten oft nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand durchführbar).
- Reduzierung des Zirkulationsvolumenstroms so weit, dass im Zirkulationsrücklauf keine höhere Temperatur als 55 °C erreicht wird (lt. [DVGW W551 /8/](#) gerade noch zulässig); in Altbauten oft wegen schlechten hydraulischen Abgleich nicht möglich; Gefahr, dass die am weitesten vom Speicher entfernten Zapfstellen nicht mehr ausreichend angeströmt werden.

Wichtig ist das Beachten der folgenden weiteren Betriebsbedingungen:

Fallbeispiel

- Aufheizspanne des Trinkwassers: von 10 auf 60 °C (50 K)
- Zirkulationsrücklauftemperatur: 56 °C
- Aufheizspanne des Zirkulationsrücklaufs: von 56 auf 60 °C (4 K)
die Aufheizspanne des Zirkulationsrücklaufs beträgt mit 4 K nur ein Zwölftel der Spanne bei der Kaltwassererwärmung und ist auch erheblich kleiner als bei der Heizungsunterstützung.

- Einschaltdauer der Zirkulation: 20 h/d
20 h/d ist lt. [DVGW W551 /8/](#) nur bei hygienisch einwandfreien Verhältnissen erlaubt (sonst 24 h/d)
- Tagesverbrauch an 60-gradigem Trinkwasser: 5 m³
- mittelhohe Zapfspitze: 1,2 m³/h
- Energie für Trinkwarmwasser: 290 kWh/d
- Zirkulationsverluste: 145 kWh/d (50 % der Zapfenergie)
- Zirkulationsvolumenstrom: 1,6 m³/h (bei $\Delta T = 4$ K und Laufzeit von 20 h/d)

Die Beispiele zur Zirkulationseinbindung in den folgenden Kapiteln gehen von den oben beschriebenen recht guten Bedingungen für die Zirkulation aus.

2.4.3 Einbindung der Zirkulation in Systeme mit mono- oder bivalentem Vorwärm-speicher und mit Umschaltventil im Zirkulationsrücklauf

2.4.3.1 Auslegung auf Teildeckung der Zirkulationsverluste selbst an strahlungsreichen Tagen

Die Einbindung der Zirkulation ist so konzipiert, dass selbst an strahlungsreichen Tagen nur eine Teildeckung der Zirkulationsverluste erreicht werden kann. In dem in Bild 2.4.3.1 - 1 gezeigten Beispiel, können von dem 32 m³/d großen Tages-Zirkulationsvolumen nur 19 m³/d erwärmt werden (s. Ausführungshinweise).

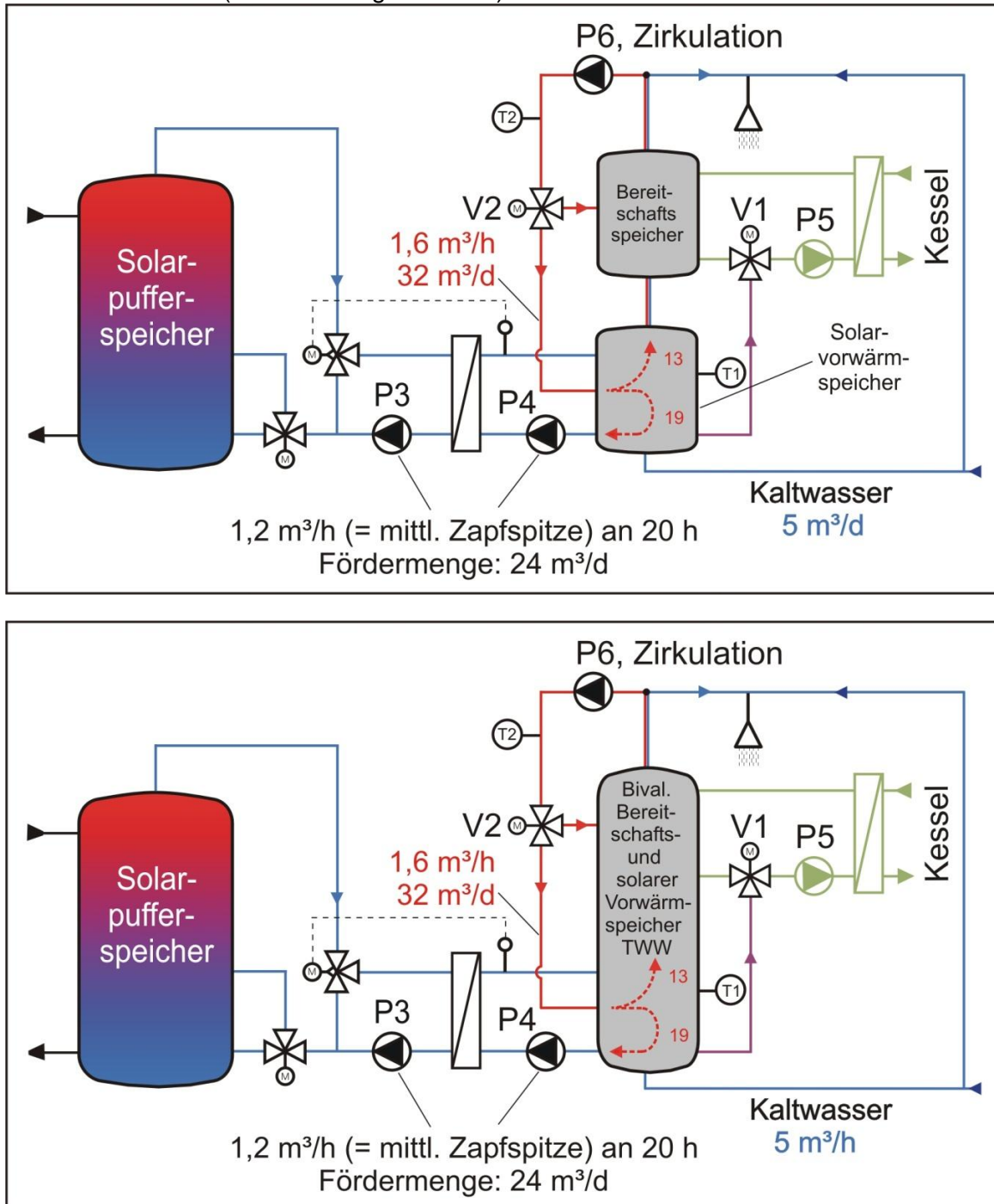


Bild 2.4.3.1 - 1: Einbindung der Zirkulation in Systeme mit mono- oder bivalentem Vorwärm-speicher und mit Umschaltventil im Zirkulationsrücklauf bei Auslegung auf Teildeckung der Zirkulationsverluste selbst an strahlungsreichen Tagen

- Der Zirkulationsrücklauf strömt über das Dreiwegeventil V2 in den solaren Vorwärm Speicher, wenn dieser wärmer ist als der Zirkulationsrücklauf ($T_1 > T_2$). Andernfalls fließt das Zirkulationsvolumen in den Bereitschaftsspeicher. Die Pufferentladepumpe P3, die Vorwärm Speicherladepumpe P4 und der Entladewärmetauscher sind nur auf die Erwärmung des Zapfvolumenstroms (Kaltwasser) ausgelegt, ohne besondere Auslegung auf die zusätzliche Deckung von Zirkulationsverlusten. Dieser Auslegungs-Zapfvolumenstrom liegt im Bereich einer mittelhohen Zapfspitze (Annahme: 1,2 m³/h, vgl. Kap. 2.4.2).

Anhand der im Bild 2.4.3.1 - 1 genannten Volumenströme wird die prinzipielle Problematik dargestellt. Die Werte gehen von dem in Kapitel 2.4.2 aufgeführten Beispiel aus. Sie hängen sehr stark ab vom Energieverbrauch der Zirkulation und den Strömungsverhältnissen. Bei anderen Randbedingungen müssen die Werte sinnvoll angepasst werden.

Ausführungshinweise:

- Das Umschaltventil V2 sollte dicht am Vorwärm Speicher sein (zur Übersichtlichkeit so nicht im Bild 2.4.3.1 - 1 dargestellt), damit in Zeiten ohne solare Zirkulationsdeckung (Normalfall), die nicht durchströmen Rohrleitungen möglichst kurz sind (Wasserhygiene). Aus hygienischen Gründen ist eine zeitgesteuerte Öffnung des Umschaltventils in Richtung Vorwärm Speicher empfehlenswert (z. B. täglich um 5:00 Uhr vor den morgendlichen Zapfspitzen 1 min lang auf).
- **solare Zirkulationsdeckung ein**
V2 in Stellung Durchgang zum Vorwärm Speicher wenn $T_2 - T_1 > 2 \text{ K}$
- **solare Zirkulationsdeckung aus**
V2 in Stellung Durchgang zum Bereitschaftsspeicher wenn $T_2 - T_1 < 1 \text{ K}$
- die geringen Temperaturdifferenzen erfordern hohe Fühlergenauigkeiten weshalb die Regelfühler sorgfältig montiert werden müssen (Tauchfühler in Speicher und Rohrleitung, Wärmeleitpaste; keine Anlegefühler).
- Solarer Deckungsanteil an den Zirkulationsverlusten
- Die Höhe des maximal erzielbaren solaren Deckungsanteils hängt wesentlich ab von den Volumenströmen die in bzw. aus dem Vorwärm Speicher strömen.
- Fallbeispiel:
 - Tagesverbrauch Warmwasser: 5,0 m³
 - mittelhohe Zapfspitze: 1,2 m³/h
 - Laufzeit Zirkulation: 20 h
 - Zirkulationsvolumenstrom: 1,6 m³/h (32 m³/d)
 - Förderleistung P3 und P4 (konstant): 1,2 m³/h (= mittelhohe Zapfspitze)
 - Fördervolumen P3 und P4: 24 m³/d bei 20 h Laufzeit
 - Zirkulationsvolumen durch Entlade-WT: 19 m³/d (24 m³/d – 5 m³/d; s. Bild 2.4.3.1 - 1)
- Da durch den Entladewärmetauscher maximal 19 m³/d des Zirkulationsvolumens strömen können, werden im Tagesmittel maximal 60 % des Zirkulationsvolumens (19 / 32) erwärmt - auch dann wenn der Solarpuffer mehr Energie liefern könnte. Selbst an strahlungsreichen Tagen ist nur eine Teildeckung der Zirkulationsenergie möglich.
- Bei derartigen Verhältnissen kann man das Solarsystem zur Erhöhung des Deckungsanteils um etwa den Faktor 1,5 bis 1,8 gegenüber einem System zur Trinkwasservorwärmung vergrößern.
- Zur Dimensionierung der Zirkulationseinbindung sollte ein Simulationsprogramm benutzt werden, da es unmöglich ist, die Auswirkungen aller speziellen Bedingungen auf ein einzelnes System in verallgemeinernden Regeln zusammenzufassen.

- Wegen der geringen Temperaturdifferenzen und des niedrigen Temperaturhubes der Zirkulationsrücklauferhöhung (z. B. 4 K von 56 °C auf 60 °C) sind Messfühler mit hoher Genauigkeit gefordert. Nur 1 K Messfehler verringert das "Erwärmungspotential" um 25 %. Die Regelfühler müssen sorgfältig und dauerhaft sicher montiert werden (Tauchfühler in Speicher und Rohrleitung, Wärmeleitpaste; keine Anlegefühler die z. B. mit Spannbändern um die Speicher befestigt werden).
- Die hohen Anforderungen an eine sorgfältige Installation erfordern, dass das System gut "durchgeplant" sein muss (z. B. Einsatz von Speichern mit Muffen für Tauchhülsen an den richtigen Stellen).
- Anstatt eines 3-Wege-Umschaltventils können auch zwei Magnetventile (je ein Ventil in die Leitung zum Vorwärm Speicher und Bereitschafts Speicher) eingebaut werden.

Vorteil:

Da nur ein Teil des Zirkulationsvolumenstroms durch den Entladewärmetauscher strömt, wird auch nur ein Teilstrom dem Kaltwasser zugemischt. Dadurch wird die Eintrittstemperatur in den Entladewärmetauscher nicht so stark erhöht, als wenn der volle Zirkulationsvolumenstrom in den Entladewärmetauscher strömen würde.

Erfahrungen der ZfS:

Die Erfahrungen mit der Zirkulationseinbindung über ein Umschaltventil oder zwei Magnetventile sind eher negativ (nicht dauerhaft dicht schließende Ventile, mangelnde Sorgfalt bei der Positionierung und Montage der Regelfühler, mangelnde Dauergenauigkeit des Regelverhaltens). Die Folge ist eine ungewollte Erwärmung des Vorwärm Speichers durch den Zirkulationsrücklauf. Ohne dauerhafte messtechnische Überwachung können wir diese Schaltung nicht empfehlen.

weiterführende Informationen:

- Bericht von einer Solarthermie-2000-Anlagen mit Vorwärm Speicher und Umschaltventil im Zirkulationsrücklauf
/25/ [Abschlussbericht Solaranlage in den Wohnhochhäusern Frankfurt](#)
- Bericht mit zahlreichen Hinweisen zur Einbindung der Zirkulation
/1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L; Kapitel 8.1.2](#)

2.4.3.2 Auslegung auf Volldeckung der Zirkulationsverluste an strahlungsreichen Tagen

Die Einbindung der Zirkulation ist so konzipiert, dass an strahlungsreichen Tagen eine Volldeckung der Zirkulationsverluste erreicht werden kann. Diese Variante wird der Vollständigkeit halber erwähnt. Uns ist keine Anlage bekannt, bei der sie zur Ausführung kam.

Der Zirkulationsrücklauf strömt über das Dreiwegeventil V2 in den solaren Vorwärm-speicher, wenn dieser wärmer ist als der Zirkulationsrücklauf ($T_1 > T_2$). Andernfalls fließt das Zirkulationsvolumen in den Bereitschaftsspeicher. Die Pufferentladepumpe P3, die Vorwärm-speicherladepumpe P4 und der Entladewärmetauscher sind auf die Erwärmung des Zapfvolumenstroms (Kaltwasser) und des vollen Zirkulationsvolumenstroms ausgelegt.

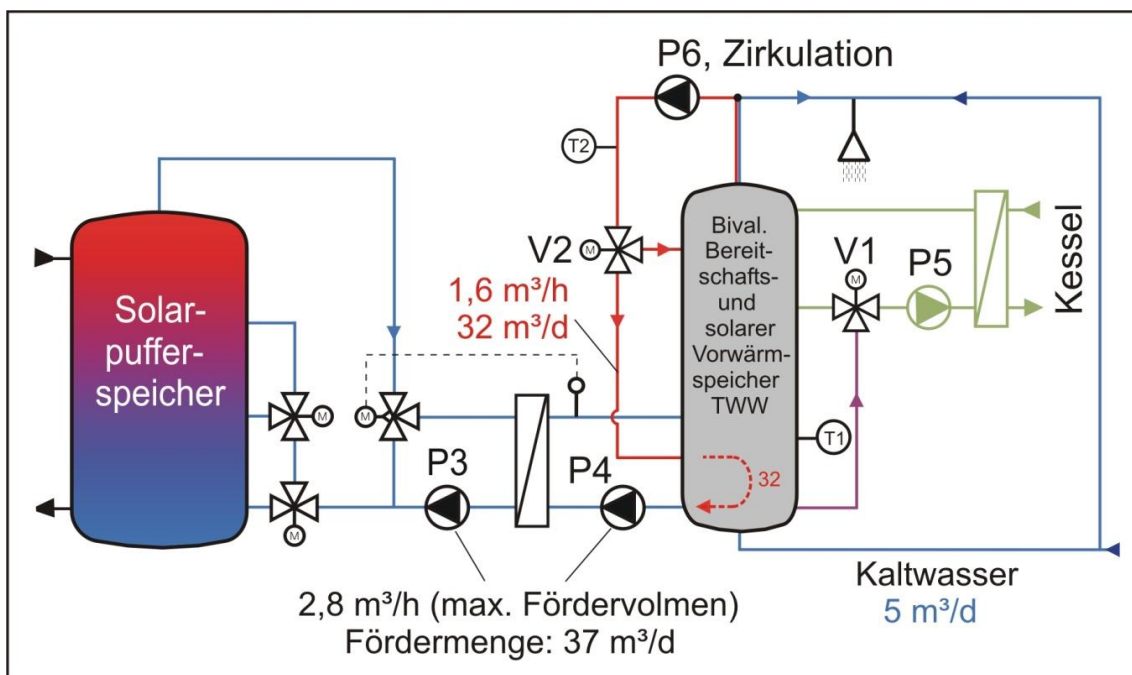
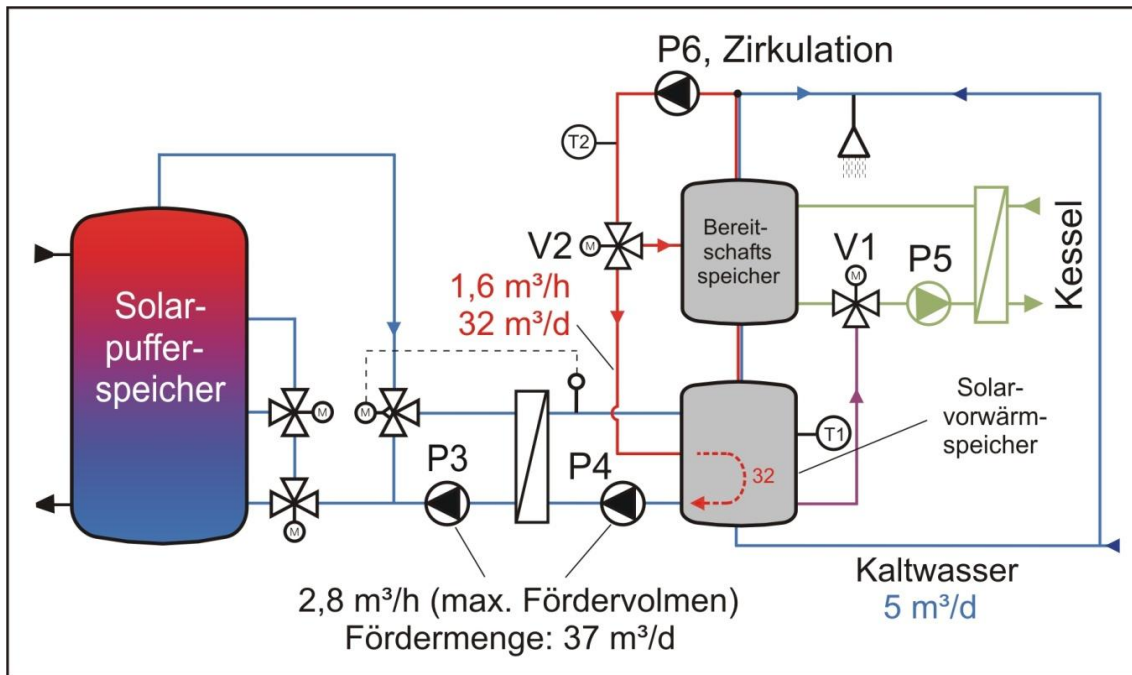


Bild 2.4.3.2 - 1: Einbindung der Zirkulation in Systeme mit mono- oder bivalentem Vorwärm-speicher und mit Umschaltventil im Zirkulationsrücklauf bei Auslegung auf Volldeckung der Zirkulationsverluste an strahlungsreichen Tagen

Anhand der im Bild 2.4.3.2 - 1 genannten Volumenströme wird die prinzipielle Problematik dargestellt. Die Werte gehen von dem in Kapitel 2.4.2 genannten Fallbeispiel aus. Sie hängen sehr stark ab vom Energieverbrauch der Zirkulation und den Strömungsverhältnissen. Bei anderen Randbedingungen müssen die Werte sinnvoll angepasst werden.

Ausführungshinweise:

- Das Umschaltventil V2 sollte dicht am Vorwärm Speicher sein (zur Übersichtlichkeit so nicht im Bild 2.4.3.2 - 1 dargestellt), damit in Zeiten ohne solare Zirkulationsdeckung (Normalfall), die nicht durchströmen Rohrleitungen möglichst kurz sind (Wasserhygiene). Aus hygienischen Gründen ist eine zeitgesteuerte Öffnung des Umschaltventils in Richtung Vorwärm Speicher empfehlenswert (z. B. täglich um 5:00 Uhr vor den morgendlichen Zapfspitzen 1 min lang auf).
- **solare Zirkulationsdeckung ein**
V2 in Stellung Durchgang zum Vorwärm Speicher
wenn $T_2 - T_1 > 2 \text{ K}$
- **solare Zirkulationsdeckung aus**
V2 in Stellung Durchgang zum Bereitschaftsspeicher
wenn $T_2 - T_1 < 1 \text{ K}$
- die geringen Temperaturdifferenzen erfordern hohe Fühlergenauigkeiten weshalb die Regelfühler sorgfältig montiert werden müssen (Tauchfühler in Speicher und Rohrleitung, Wärmeleitpaste; keine Anlegefühler).
- **Solarer Deckungsanteil an den Zirkulationsverlusten**
Die Höhe des erzielbaren solaren Deckungsanteils hängt wesentlich ab von den Volumenströmen die in bzw. aus dem Vorwärm Speicher strömen.
- Fallbeispiel:
 - Tagesverbrauch Warmwasser: 5,0 m³
 - mittelhohe Zapfspitze: 1,2 m³/h
 - Laufzeit Zirkulation: 20 h
 - Zirkulationsvolumenstrom: 1,6 m³/h (32 m³/d)
 - Förderleistung P3 und P4 (3-stufig): 1,2, 1,6 und 2,8 m³/h
(s. Erläuterung übernächster voller •Spiegel punkt)
 - Fördervolumen P3 und P4: 37 m³/d bei 20 h Laufzeit (32 + 5 m³/d)
 - Zirkulationsvolumen durch Entlade-WT: 32 m³/d (s. Bild 2.4.3.2 - 1)
- Da nun das volle Zirkulationsvolumen durch den Entladewärmetauscher strömt, kann an strahlungsreichen Tagen das gesamte Zirkulationsvolumen erwärmt werden. Bei derartigen Verhältnissen kann man das Solarsystem zur Erhöhung des Deckungsanteils um etwa den Faktor 2 bis 3 gegenüber einem System zur Trinkwasservorwärmung vergrößern.
- Die Ansteuerung der unterschiedlichen Fördervolumina für die Pumpen P3 und P4 ist nicht trivial, da die Regelung erkennen muss ob der Vorwärm Speicher nur aufgrund des Zapfvolumens abgekühlt wurde und beladen werden muss, oder ob gleichzeitig Zirkulationsverluste gedeckt werden können. Praxiserfahrungen liegen nicht vor, ebenso ist uns keine derartige Regelung bekannt.

Wenn keine solare Deckung der Zirkulationsverluste möglich ist und V2 in Richtung Bereitschaftsspeicher steht, schalten P3 und P4 zunächst mit niedriger Leistungsstufe (im Beispiel mit 1,2 m³/h) über das "normale" ΔT -Schalt signal zur Beladung des Vorwärm Speichers ein und aus (Kapitel 2.1). Öffnet Ventil V2 in Richtung Vorwärm Speicher, ohne dass ein ΔT -Einschalt signal vorliegt, schalten P3 und P4 auf den Zirkulationsvolumenstrom hoch (1,6 m³/h). Die Umschaltung auf die höchste Stufe (im Beispiel mit 2,8 m³/h) erfolgt, wenn das Ventil V2 in Richtung Vorwärm Speicher geöffnet hat und gleichzeitig ein ΔT -Einschalt signal vorliegt. In der Praxis dürfte es bei solarer Deckung von Zirkulationsverlusten dazu führen, dass die Pumpen dann zwischen der zweiten und dritten Stufe (im Beispiel zwischen 1,6 und 2,8 m³/h) hin- und herschalten.

- Ein Dauerbetrieb der Pumpen mit sehr hohem Volumenstrom (im Beispiel 2,8 m³/h) ist nicht zweckmäßig, da dies die Temperaturschichtung im Vorwärm Speicher beeinträchtigen würde (Verwirbelung im Speicher) wenn die Zirkulation nicht über den solaren Vorwärm Speicher geführt wird. Dann könnte kaum noch kühles Wasser (ideal: nur wenige Kelvin über Kaltwassertemperatur) in den unteren Bereich des Solarpuffers gelangen.
- Der Entladewärmetauscher muss so ausgelegt sein, dass sein Druckabfall bei maximalem Volumenstrom nicht zu hoch wird (Stromverbrauch der Pumpen niedrig halten), und dass er auch bei niedrigem Fördervolumen von P3 und P4 (im Beispiel 1,2 m³/h wenn keine Zirkulationsumleitung) im turbulenten Bereich arbeitet.
- Zur Dimensionierung der Zirkulationseinbindung sollte ein Simulationsprogramm benutzt werden, da es unmöglich ist, die Auswirkungen aller speziellen Bedingungen auf ein einzelnes System in verallgemeinernden Regeln zusammenzufassen.
- Wegen der geringen Temperaturdifferenzen und des niedrigen Temperaturhubes der Zirkulationsrückläuferhöhung (z. B. 4 K von 56 °C auf 60 °C) sind Messfühler mit hoher Genauigkeit gefordert. Nur 1 K Messfehler verringert das "Erwärmungspotential" um 25 %. Die Regelfühler müssen sorgfältig und dauerhaft sicher montiert werden (Tauchfühler in Speicher und Rohrleitung, Wärmeleitpaste; keine Anlegefühler die z. B. mit Spannbändern um die Speicher befestigt werden).
- Die hohen Anforderungen an eine sorgfältige Installation erfordern, dass das System gut "durchgeplant" sein muss (z. B. Einsatz von Speichern mit Muffen für Tauchhülsen an den richtigen Stellen).
- Anstatt einem 3-Wege-Umschaltventil können auch zwei Magnetventile (je ein Ventil in die Leitung zum Vorwärm Speicher und Bereitschafts Speicher) eingebaut werden.

Vorteil:

Eine Volldeckung der Zirkulationsverluste ist an strahlungsreichen Tagen möglich.

Nachteil:

Da der volle Zirkulationsvolumenstroms durch den Entladewärmetauscher strömt, wird dem Kaltwasser viel warmes Wasser zugemischt. Dadurch ist der Vorwärm Speicher unten seltener kalt und die Eintrittstemperatur in den Entladewärmetauscher wird stark erhöht. Eine geschichtete Einspeisung des Entladekreis-Rücklaufs in den Pufferspeicher ist zwingend notwendig, entweder über speicherinterne Schichteinrichtungen oder über extern umschaltbare Einspeisepositionen, wobei die obere relativ hoch sitzen sollte.

Die Regelung zur Ansteuerung der Pumpenstufen von P3 und P4 ist sehr komplex.

Erfahrungen der ZfS:

Erfahrungen mit dieser Variante liegen nicht vor. Die Erfahrungen mit der Zirkulationseinbindung über ein Umschaltventil sind eher negativ (undichte Umschaltventile, mangelnde Sorgfalt bei der Positionierung und Montage der Regelfühler). Die Folge ist eine ungewollte Erwärmung des Vorwärm Speichers durch den Zirkulationsrücklauf. Ohne dauerhafte messtechnische Überwachung können wir diese Schaltung nicht empfehlen.

Fazit:

Will man an strahlungsreichen Tagen den Energiebedarf der Zirkulation zu 100 % solar decken, so ist die Zirkulationseinbindung über einen separaten Wärmetauscher (s. Kapitel 2.4.4) im Zirkulationsrücklauf zweckmäßiger.

weiterführende Informationen:

/1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L; Kapitel 8.1.2](#)
mit zahlreichen Hinweisen zur Einbindung der Zirkulation

2.4.4 Einbindung der Zirkulation in Systeme mit mono- oder bivalentem Vorwärm-speicher und mit separatem Wärmetauscher

- Die Einbindung der Zirkulation ist so konzipiert, dass an strahlungsreichen Tagen eine Vollddeckung der Zirkulationsverluste erreicht werden kann.
- Zur solaren Deckung der Zirkulationsverluste wird ein separater Wärmetauscher eingebaut, der immer dann vom Zirkulationsrücklauf durchströmt wird, wenn die Temperatur im Pufferspeicher oben höher ist als im Zirkulationsrücklauf ($T_1 > T_2$). Gleichzeitig schaltet die Pufferspeicherentladepumpe P7 ein. Der primärseitige (pufferseitige) Rücklauf des Wärmetauschers muss in einen höheren Pufferspeicherbereich eingespeist werden als der Rücklauf des Trinkwasserwärmetauschers.

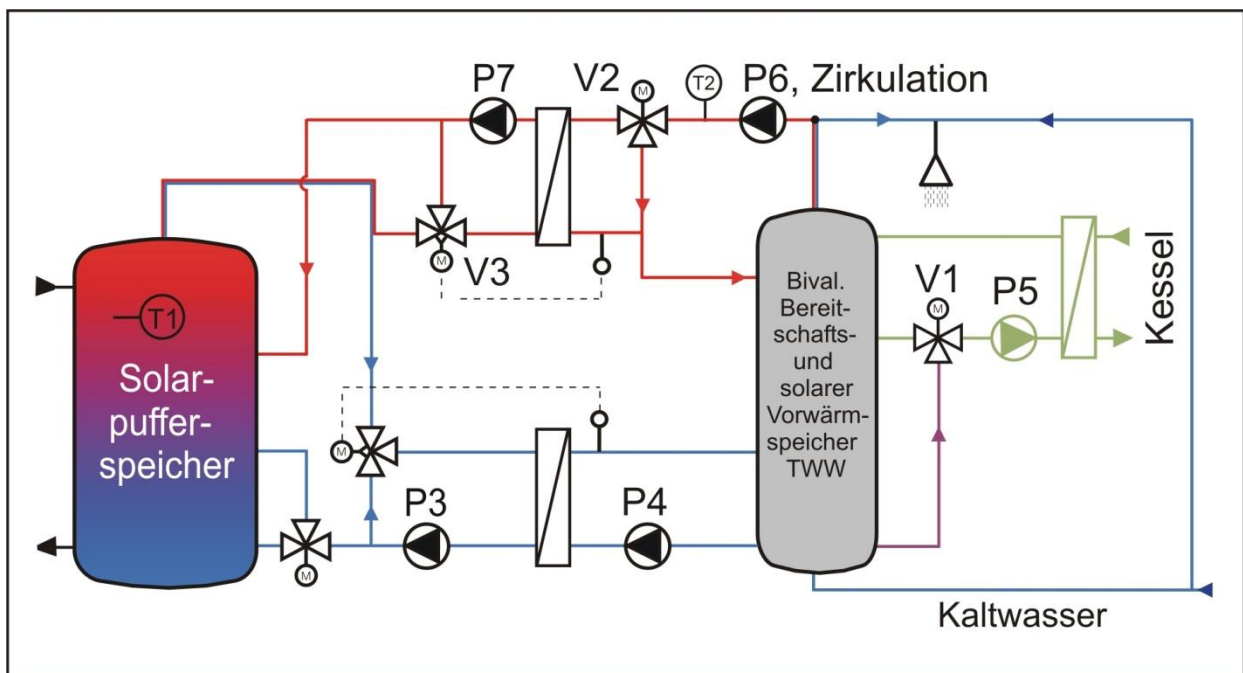
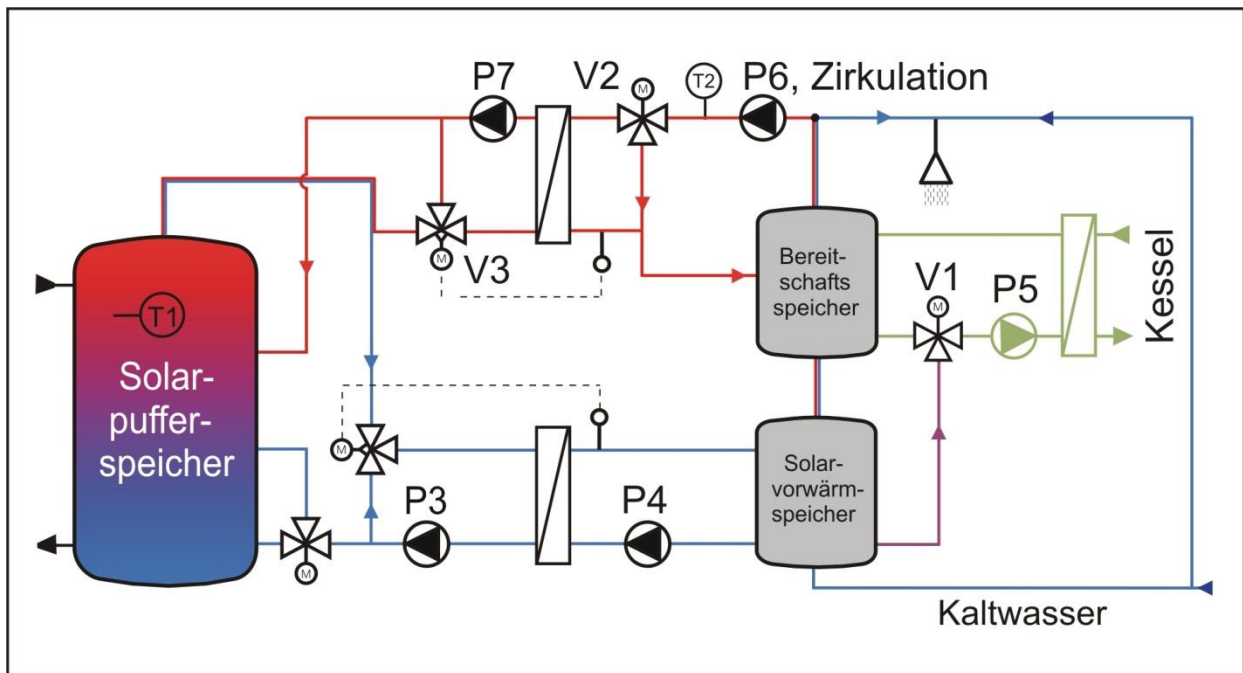


Bild 2.4.4 - 1: Einbindung der Zirkulation in Systeme mit mono- oder bivalentem Vorwärm-speicher und mit separatem Wärmetauscher

Ausführungshinweise:

- Das Umschaltventil V2 sollte dicht am Zirkulations-Wärmetauscher sein, damit in Zeiten ohne solare Zirkulationsdeckung (Normalfall) die nicht durchströmen Rohrleitungen möglichst kurz sind (Wasserhygiene). Aus hygienischen Gründen ist eine zeitgesteuerte Öffnung des Umschaltventils in Richtung Wärmetauscher empfehlenswert (z. B. einmal am Tag 1 min lang auf wenn P6 eingeschaltet ist, ohne dass die Pumpe P7 einschaltet).
- Der Zirkulationswärmetauscher sollte eine niedrige mittlere logarithmische Temperaturdifferenz (maximal 5 K, besser: 3 K) haben. Je niedriger diese Temperaturdifferenz ist, desto häufiger und länger kann Zirkulationsenergie über Solarwärme gedeckt werden.
- Der Wärmetauscher darf den Zirkulationsvolumenstrom nicht zu stark beeinflussen, weil sonst weit von dem Speicher entfernt liegende Zapfstellen evtl. nicht mehr ausreichend angeströmt werden und die Temperatur im Zirkulationsrücklauf unter den zugelassenen Minimalwert von 55 °C absinken kann. Kann man den Zirkulationsvolumenstrom messen, so kann man aus der Kennlinie der Zirkulationspumpe und dem Zirkulationsvolumenstrom den Druckabfall im Zirkulationsnetz bestimmen. Der zusätzliche Druckabfall von Wärmetauscher, Umschaltventil und Zusatzverrohrung sollte maximal 10 % des normalen Druckabfalls im Netz betragen.
- Kann der Zirkulationsvolumenstrom nicht gemessen werden, kann man als Faustregel festhalten, dass der Druckabfall im Zirkulationswärmetauscher 150 mbar nicht überschreiten sollte. Wird bei diesem Wert die Rücklauftemperatur der Zirkulation zu niedrig, muss man die Zirkulationspumpe durch eine stärkere ersetzen.
- Auf das Umschaltventil V2 und den zugehörigen Bypass im Trinkwassernetz kann verzichtet werden, wenn die Druckverluste des Zirkulations-Wärmetauschers deutlich niedriger sind als oben angegeben, und der zusätzliche Stromverbrauch der Pumpe P6 trotz der dann permanenten Durchströmung des Wärmetauschers gering ist. Außerdem sollte der Wärmetauscher sehr gut gedämmt sein. Vorteil ist, dass in Zeiten ohne solare Zirkulationsdeckung keine Trinkwasserstagnation in nicht durchströmten Leitungen auftritt (Wasserhygiene).
- **solare Zirkulationsdeckung ein ¹⁾**
V2 in Stellung Durchgang zum Wärmetauscher und Pumpe P7 ein
wenn $T_2 - T_1 > 6 \text{ K}$
P7 ein nur wenn P6 an
- **solare Zirkulationsdeckung aus ¹⁾**
V2 in Stellung Durchgang zum Bereitschaftsspeicher und Pumpe P7 aus
wenn $T_2 - T_1 < 4 \text{ K}$
- ¹⁾ Einstellwerte beispielhaft für WT mit mittl. log. ΔT von 3 K
- Die geringen Temperaturdifferenzen erfordern hohe Fühlergenauigkeiten weshalb die Regelfühler sorgfältig montiert werden müssen (Tauchfühler in Speicher und Rohrleitung, Wärmeleitpaste; keine Anlegefühler).
- Bei Voldeckung der solaren Zirkulationsverluste an strahlungsreichen Tagen, kann man das Solarsystem um etwa den Faktor 2 bis 3 gegenüber einem System zur Trinkwasservorwärmung vergrößern.
- Zur Dimensionierung der Zirkulationseinbindung sollte ein Simulationsprogramm benutzt werden, da es unmöglich ist, die Auswirkungen aller speziellen Bedingungen auf ein einzelnes System in verallgemeinernden Regeln zusammenzufassen.
- Um ein zu starkes Verkalken des Zirkulationswärmetauschers zu vermeiden, wird eine Rücklaufbeimischung auf der Pufferspeicherseite installiert, die die Temperatur im WT begrenzt (V3). Der zugehörige Temperaturfühler kann am WT Ausgang auf der Trinkwasserseite oder auch im Einlauf der Pufferseite montiert werden. Eine Montage auf der Primärseite führt dort zu klar definierten Maximaltemperaturen, aber zu nicht eindeutigen Warmwassertemperaturen. Bei der von uns empfohlenen Montage auf der Trinkwasserseite wird direkt auf die gewünschte Warmwassertemperatur geregelt.

Vorteil:

- Eine Volldeckung der Zirkulationsverluste ist an strahlungsreichen Tagen möglich.
- Das Kaltwasser wird nicht mit dem Zirkulationsrücklauf vermischt, was niedrige Eintrittstemperaturen in den Wärmetauscher zur Trinkwassererwärmung ermöglicht.
- Die Anbindung der Zirkulation mit einem separaten Wärmetauscher ist zwar aufwändiger als die Anbindung an den Vorwärmespeicher mit einem Umschaltventil im Zirkulationsrücklauf, aufgrund der einfacheren Regelung gegenüber einer Volldeckung mit Umschaltventil ist diese Variante jedoch empfehlenswerter. Außerdem besteht keine Gefahr von Fehlströmungen durch undichte Ventile.

Fazit:

Wegen der hydraulischen Trennung von Kaltwasser und Zirkulationsrücklauf bevorzugen wir die Anbindung mit separatem Wärmetauscher. Dies gilt besonders für solche Anlagen, mit denen an strahlungsreichen Tagen der Energiebedarf der Zirkulation zu 100 % solar gedeckt werden soll. Bei Anlagen, die selbst an strahlungsreichen Tagen nur auf eine Teildeckung der Zirkulationsverluste ausgelegt sind, kann die Anbindung mit einem Umschaltventil im Zirkulationsrücklauf sinnvoller sein, vorausgesetzt die Anlage wird kontinuierlich überwacht (wegen Möglichkeit undichter Ventile).

weiterführende Informationen:

- Anlagen mit Vorwärmespeicher und separatem Wärmetauscher zur Deckung von Zirkulationsverlusten sind uns nicht bekannt
- Berichte und Fachbeiträge mit detaillierten Informationen
 - /1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L; Kapitel 8.1.2](#)
mit zahlreichen Hinweisen zur Einbindung der Zirkulation
 - /12/ [Erfahrungen mit dem Systemaufbau großer Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung](#)
mit Berechnungen zur Systemeffizienz bei Heizungsunterstützung und bei Einbindungen der Zirkulation auf die Kaltwasserleitung und mit separatem Wärmetauscher

2.4.5 Einbindung der Zirkulation in Systeme mit Durchlauf-Wärmetauscher

- Die Einbindung der Zirkulation ist so konzipiert, dass an strahlungsreichen Tagen eine Voldeckung der Zirkulationsverluste erreicht werden kann.
- Zur solaren Deckung der Zirkulationsverluste wird ein separater Wärmetauscher eingebaut, der immer dann vom Zirkulationsrücklauf durchströmt wird, wenn die Temperatur im Pufferspeicher oben höher ist als im Zirkulationsrücklauf ($T_1 > T_2$). Gleichzeitig schaltet die Pufferspeicherentladepumpe P7 ein. Der primärseitige (pufferseitige) Rücklauf dieses Wärmetauschers muss in den oberen Pufferspeicherbereich eingespeist werden.

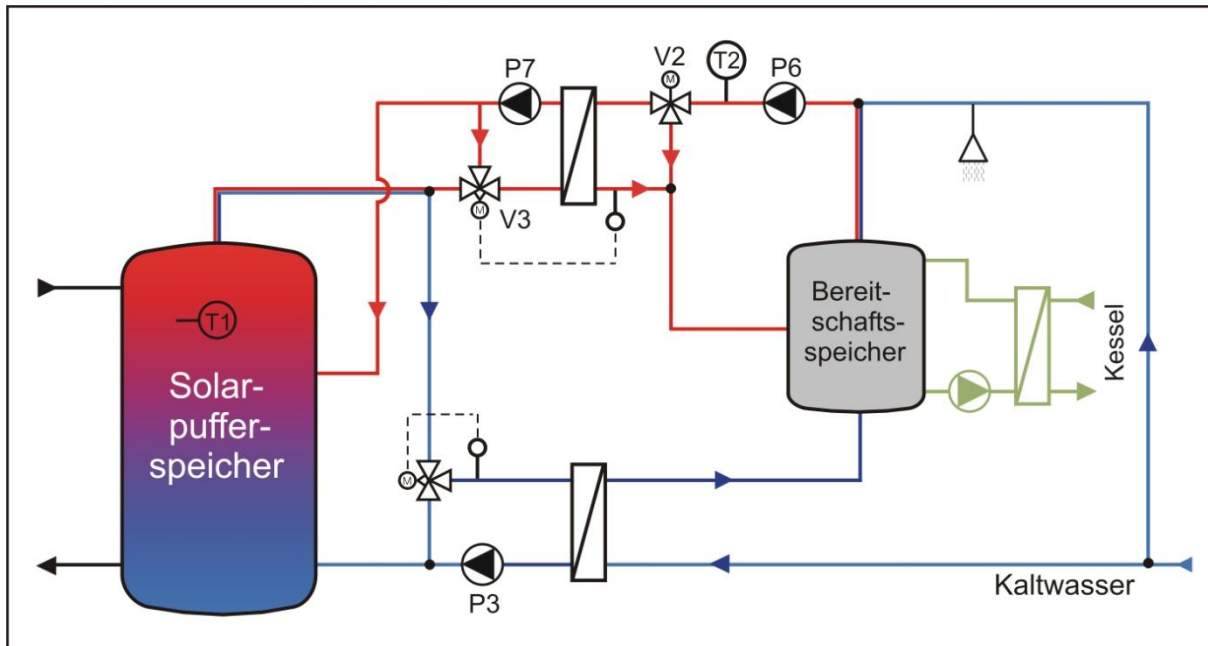


Bild 2.4.5 - 1: Einbindung der Zirkulation in Systeme Durchlauf-Wärmetauscher

Ausführungshinweise:

- Das Umschaltventil V2 sollte dicht am Zirkulations-Wärmetauscher sein, damit in Zeiten ohne solare Zirkulationsdeckung (Normalfall) die nicht durchströmen Rohrleitungen möglichst kurz sind (Wasserhygiene). Aus hygienischen Gründen ist eine zeitgesteuerte Öffnung des Umschaltventils in Richtung Wärmetauscher empfehlenswert (z. B. einmal am Tag 1 min lang auf wenn P6 eingeschaltet ist, ohne dass die Pumpe P7 einschaltet).
- Der Zirkulationswärmetauscher sollte eine niedrige mittlere logarithmische Temperaturdifferenz (maximal 5 K, besser: 3 K) haben. Je niedriger diese Temperaturdifferenz ist, desto häufiger und länger kann Zirkulationsenergie über Solarwärme gedeckt werden.
- Der Wärmetauscher darf den Zirkulationsvolumenstrom nicht zu stark beeinflussen, weil sonst weit von dem Speicher entfernt liegende Zapfstellen evtl. nicht mehr ausreichend angeströmt werden und die Temperatur im Zirkulationsrücklauf unter den zugelassenen Minimalwert von 55 °C absinken kann. Kann man den normalen Zirkulationsvolumenstrom messen, so kann man aus der Kennlinie der Zirkulationspumpe und dem Zirkulationsvolumenstrom den Druckabfall im Zirkulationsnetz bestimmen. Der zusätzliche Druckabfall von Wärmetauscher, Umschaltventil und Zusatzverrohrung sollte maximal 10 % des normalen Druckabfalls im Netz betragen.
- Kann der Zirkulationsvolumenstrom nicht gemessen werden, kann man als Faustregel festhalten, dass der Druckabfall im Zirkulationswärmetauscher 150 mbar nicht überschreiten sollte. Wird bei diesem Wert die Rücklauftemperatur der Zirkulation zu niedrig, muss man die Zirkulationspumpe durch eine stärkere ersetzen.

- Auf das Umschaltventil V2 und den zugehörigen Bypass im Trinkwassernetz kann verzichtet werden, wenn die Druckverluste des Zirkulations-Wärmetauschers deutlich niedriger sind als oben angegeben, und der zusätzliche Stromverbrauch der Pumpe P6 trotz der dann permanenten Durchströmung des Wärmetauschers gering ist. Außerdem sollte der Wärmetauscher sehr gut gedämmt sein. Vorteil ist, dass in Zeiten ohne solare Zirkulationsdeckung keine Trinkwasserstagnation in nicht durchströmten Leitungen auftritt (Wasserhygiene).
 - **solare Zirkulationsdeckung ein ¹⁾**
V2 in Stellung Durchgang zum Wärmetauscher und Pumpe P7 ein
wenn $T_2 - T_1 > 6 \text{ K}$
P7 ein nur wenn P6 an
 - **solare Zirkulationsdeckung aus ¹⁾**
V2 in Stellung Durchgang zum Bereitschaftsspeicher und Pumpe P7 aus
wenn $T_2 - T_1 < 4 \text{ K}$
- ¹⁾ Einstellwerte beispielhaft für WT mit mittl. log. ΔT von 3 K
- die geringen Temperaturdifferenzen erfordern hohe Fühlergenauigkeiten weshalb die Regelfühler sorgfältig montiert werden müssen (Tauchfühler in Speicher und Rohrleitung, Wärmeleitpaste; keine Anlegefühler).
 - Bei Voldeckung der solaren Zirkulationsverluste an strahlungsreichen Tagen, kann man das Solarsystem um etwa den Faktor 2 bis 3 gegenüber einem System zur Trinkwasservorwärmung vergrößern.
 - Zur Dimensionierung der Zirkulationseinbindung sollte ein Simulationsprogramm benutzt werden, da es unmöglich ist, die Auswirkungen aller speziellen Bedingungen eines einzelnen Systems in verallgemeinernden Regeln zusammenzufassen.
 - Um ein zu starkes Verkalken des Zirkulationswärmetauschers zu vermeiden, wird eine Rücklaufbeimischung auf der Pufferspeicherseite installiert, die die Temperatur im WT begrenzt (V3). Der zugehörige Temperaturfühler kann am WT Ausgang auf der Trinkwasserseite oder auch im Einlauf der Pufferseite montiert werden. Eine Montage auf der Primärseite führt dort zu klar definierten Maximaltemperaturen, aber zu nicht eindeutigen Warmwassertemperaturen. Bei der von uns empfohlenen Montage auf der Trinkwasserseite wird direkt auf die gewünschte Warmwassertemperatur geregelt.

Vorteil:

- Eine Voldeckung der Zirkulationsverluste ist an strahlungsreichen Tagen möglich.
- Das Kaltwasser wird nicht mit dem Zirkulationsrücklauf vermischt - in den Wärmetauscher zur Trinkwassererwärmung strömt Kaltwasser ein.

Nachteil:

- Die Anbindung der Zirkulation mit einem separaten Wärmetauscher ist aufwändiger als die nur in Ausnahmefällen zu tolerierende Einbindung des Zirkulationsrücklaufs in die Kaltwasserleitung.

Weiterführende Informationen:

- Anlagen mit Durchlauferwärmung, separatem Wärmetauscher und der Anbindung des primärseitigen (pufferseitigen) Rücklaufs des Zirkulations-Wärmetauschers in den oberen Pufferspeicherbereich sind uns nicht bekannt. Die Nachrüstung einer Zirkulationsanbindung mit Anbindung des primärseitigen (pufferseitigen) Rücklaufs des Zirkulations-Wärmetauschers in den primärseitigen Rücklauf des Zapf-Entladewärmetauschers ist in den Berichten zur Solaranlage in der Jugendherberge Saarbrücken beschrieben. Im Bericht über die Langzeiterfahrung mit dieser Anlage /16/ wird erläutert, worauf bei einer Nachrüstung der Zirkulationseinbindung zu achten ist.

/15/ [Abschlussbericht zur Solaranlage in der Jugendherberge Saarbrücken](#)

/16/ [Langzeiterfahrung \(12-Jahresbericht\) Solaranlage in der Jugendherberge Saarbrücken](#)

- Berichte und Fachbeiträge mit detaillierten Informationen
 - /1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L; Kapitel 8.1.2](#)
mit zahlreichen Hinweisen zur Einbindung der Zirkulation
 - /12/ [Erfahrungen mit dem Systemaufbau großer Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung](#)
mit Berechnungen zur Systemeffizienz bei Einbindungen der Zirkulation auf die Kaltwasserleitung und mit separatem Wärmetauscher

2.5 Legionellenschutzschaltung für Anlagen mit mono- und bivalentem Vorwärmerspeicher

2.5.1 Erwärmung des Vorwärmerspeichers über die Bereitschaftsspeicher-Ladepumpe

Zwingende Voraussetzung für diese Legionellenschutzschaltung ist, dass der Bereitschaftsspeicher(teil) über einen externen Wärmetauscher erwärmt wird. Bei internem Wärmetauscher, muss die 60 °C-Erwärmung über den Zirkulationsvorlauf erfolgen (s. Kapitel 2.5.2).

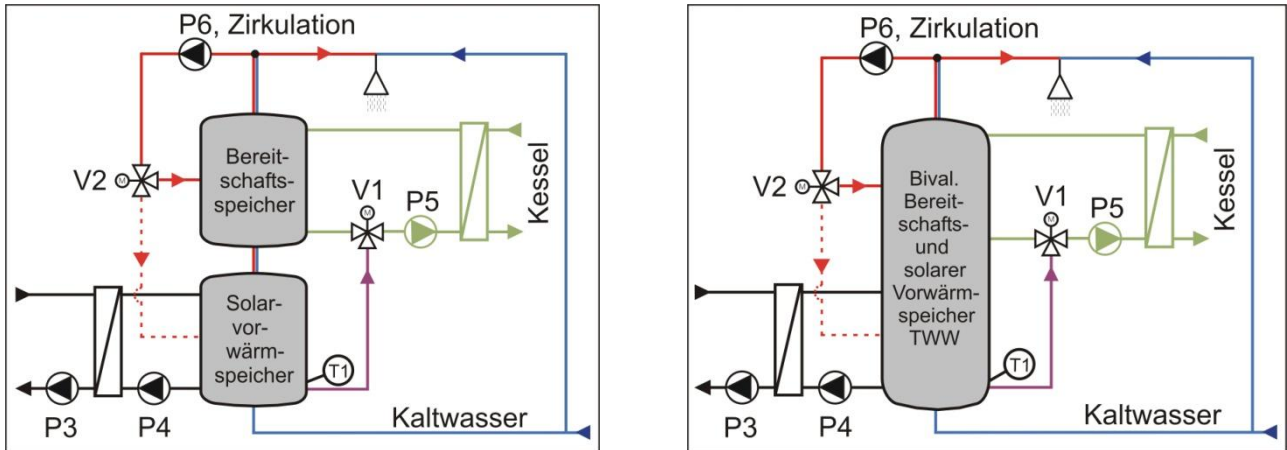


Bild 2.5.1 - 1: Legionellenschutzschaltung für Vorwärmerspeicher und Erwärmung über die Bereitschaftsspeicher-Ladepumpe

Als zweite Voraussetzung sollte die Legionellenschutzregelung im Kesselregler integriert sein. Zwar kann diese Legionellenschutzregelung auch realisiert werden wenn sie unabhängig vom Kesselregler arbeitet, es sind dann jedoch besondere Aspekte bei der Ansteuerung des Kessels zu beachten (z. B. Einbau eines Festwiderstandes). Diese Aspekte sind zu finden in

/1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L; Kapitel 8.1.1.5](#)

/26/ [Solaranlage in Altenpflegeheim "Am Stadtwald" in Stralsund](#)

Der gesamte solare Vorwärmerspeicher wird einmal pro Tag auf mindestens 60 °C aufgeheizt, sofern am Vortag der Vorwärmerspeicher über Solarenergie nicht vollständig auf 60 °C durchgeladen wurde. Dazu schaltet das Dreiwegeventil V1 in Richtung Vorwärmerspeicher.

Sind 60 °C im unteren Vorwärmerspeicherbereich erreicht, schaltet die Erwärmung ab. Um auch den Wärmetauscher mit seinen Rohrleitungen in die 60 °C-Erwärmung einzubeziehen kann zum Schluss kurzzeitig die Vorwärmerspeicherladepumpe P4 eingeschaltet werden.

Regelbeschreibung

Die folgende Regelungsbeschreibung ist unabhängig davon ob eine Einbindung der Zirkulation in den Vorwärmerspeicher vorhanden ist oder nicht. Die genannten Uhrzeiten sind beispielhaft. Man beachte die Hinweise.

Uns ist nicht bekannt, ob ein Hersteller für Kesselregelungen die im Folgenden beschriebene Regelung anbietet.

- **Legionellenschutzschaltung ein**
 - P5 ein und
 - Kessel ein und
 - V1 Durchgang Vorwärmerspeicher und ggf. Kesselvorlauftemperatur erhöhen um z. B. 2:00 Uhr ¹⁾
 - wenn in den vergangenen 18 Stunden ²⁾ T1 nicht > 60 °C

- **Legionellenschutzschaltung aus**
P5 aus und
Kessel aus und
V1 Durchgang Bereitschaftsspeicher und
ggf. Kesselvorlauftemperatur absenken und
P4 ein ³⁾
wenn $T1 > 60\text{ °C}$ oder um z. B. 3:00 Uhr ⁴⁾
P4 aus nach z. B. 2 min ⁵⁾

Hinweise zur Regelbeschreibung

- ¹⁾ Oft erfolgt das Einschalten der thermischen Desinfektion am Nachmittag, da dann der Vorwärm-
speicher evtl. durch Solarenergie vorgeheizt ist und man dann weniger konventionelle Energie
verbraucht. Die Nachmittags-Desinfektion birgt jedoch die Gefahr, dass dann eher Zapfspitzen
auftreten (als z. B. nachts) und dann Kaltwasser in den unteren Bereich des Vorwärm-
speichers nachströmt und die Aufheizung auf 60 °C verhindert oder verzögert. Dies hängt stark von der
Relation der Kessel- und Bereitschaftsspeicher-Ladepumpenleistung (P5) zu den Zapfspitzen
ab.
Für eine optimale Sicherung der Wasserhygiene schlägt die ZfS eine 60 °C -Erwärmung in den
Nachtstunden (z. B. 2:00 Uhr) vor, da dann der Trinkwarmwasserbedarf in der Regel fast Null
ist. Eine ggf. vorhandene Nachtabenkung der Kesselvorlauftemperatur muss dann aber über-
brückt werden.
- ²⁾ der Rückblick in den Vortag darf nur so weit gehen, bis dass der Vorwärm-
speicher nach der thermischen Desinfektion durch den morgendlichen Warmwasserbedarf wieder abgekühlt ist
(also z. B. nur bis 8:00 Uhr zurückblicken). Bei einem 24-stündigen Rückblick (z. B. bis 2:00 Uhr
des Vortages) würde die 60 °C -Erwärmung am Folgetag eines Tages ohne Solarenergienut-
zung nicht einschalten, sondern nur jeden 2. Tag (siehe Zeitschema).

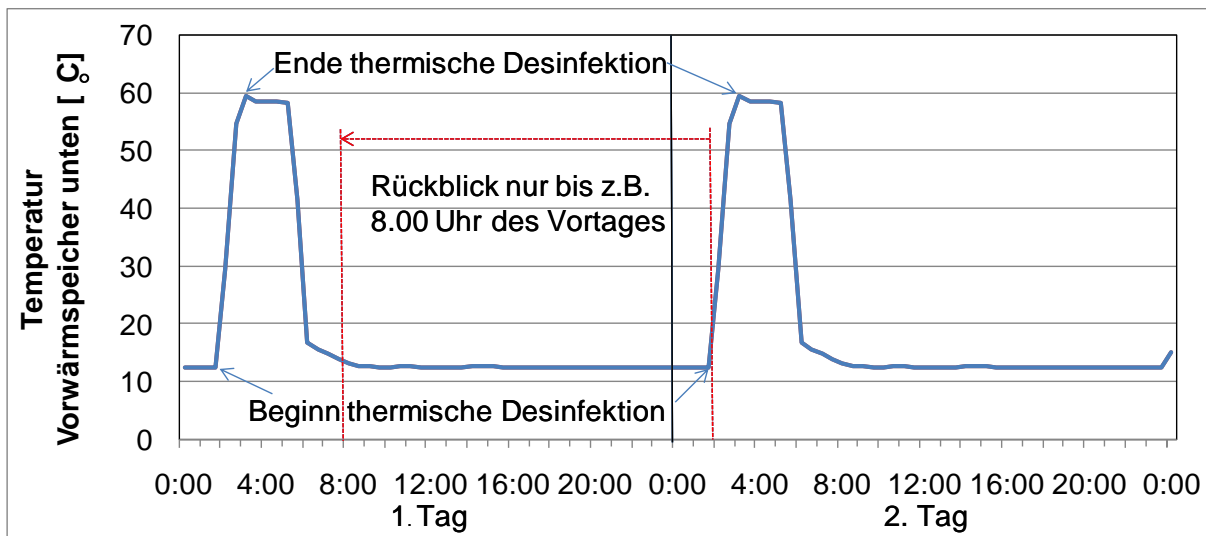


Bild 2.5.1 - 2: *Beispielhafter Temperaturverlauf im Vorwärm-speicher unten durch 60 °C Erwärmung über den Kessel an Tagen ohne Solarenergienutzung*

- ³⁾ P4 ein wegen thermischer Desinfektion des Wärmetauscher und seiner Rohrleitungen
- ⁴⁾ Das zwangsweise Ausschalten um z. B. 3:00 Uhr vermeidet den Dauerlauf der Legionellen-
schutzschaltung wenn 60 °C im Vorwärm-speicher unten nicht erreicht werden (z. B. wegen zu
niedriger Kesseltemperatur). In diesem Fall sollte jedoch eine Störmeldung erfolgen und der
Fehler für die nicht erfolgte Aufheizung auf 60 °C behoben werden.
Die Mindestlaufzeit der Legionellenschutzschaltung ist abhängig vom Volumenstrom der Bereit-
schaftsspeicher-Ladepumpe P5 und dem Volumen des Vorwärm-speicher(teil)s.

- ⁵⁾ Die Laufzeit von P4 ist abhängig vom Volumen des Wärmetauschers, der Verrohrung und dem Fördervolumen der Pumpe.
- Grundsätzlich gilt (auch bei Systemen ohne Solaranlage):
Der Volumenstrom durch den Kesselwärmetauscher muss größer sein als der Zirkulationsvolumenstrom ($\text{Vol P5} > \text{Vol P6}$). Ansonsten könnte der Bereitschaftspeicher nie vollständig auf 60 °C beladen werden, da der Zirkulationsrücklauf immer kleiner 60 °C ist.
 - Zur Beschleunigung der thermischen Desinfektion kann man auch den Kesselwärmetauscher-Vorlauf auf den Vorwärmespeicher umschalten, indem man ihn oben in den Vorwärmespeicher einführt. Voraussetzung ist, dass der Bereitschaftsspeicher(teil) groß genug ist, um während der thermischen Desinfektion ein ausreichend hohes Temperaturniveau ohne Nachheizung zu halten.
 - Das Umschaltventil V1 sollte dicht am Vorwärmespeicher sein (zur Übersichtlichkeit so nicht im Bild 2.5.1 - 1 dargestellt), damit in längeren Schönwetterperioden, in denen der Vorwärmespeicher durch die Solaranlage täglich auf 60 °C erwärmt wird, die nicht durchströmten Rohrleitungen möglichst kurz sind (Wasserhygiene). Aus hygienischen Gründen kann eine zeitgesteuerte Öffnung des Umschaltventils in Richtung Vorwärmespeicher empfehlenswert sein (z. B. täglich um 5:00 Uhr vor den morgendlichen Zapfspitzen 1 min lang auf und P5 gleichzeitig ein).

2.5.2 Erwärmung des Vorwärmers über den Zirkulationsvorlauf

Diese Schaltung kommt dann zum Einsatz, wenn der Bereitschaftsspeicher über einen innenliegenden Wärmetauscher erwärmt wird, meistens auch dann, wenn die Kessel- und Legionellenschutzregelung unabhängig voneinander arbeiten.

Ist die Legionellenschutzregelung im Kesselregler integriert und wird der Bereitschaftsspeicher über einen externen Wärmetauscher erwärmt, kann die 60 °C-Erwärmung über die Bereitschaftsspeicher-Ladepumpe P5 erfolgen (s. vorheriges Kapitel).

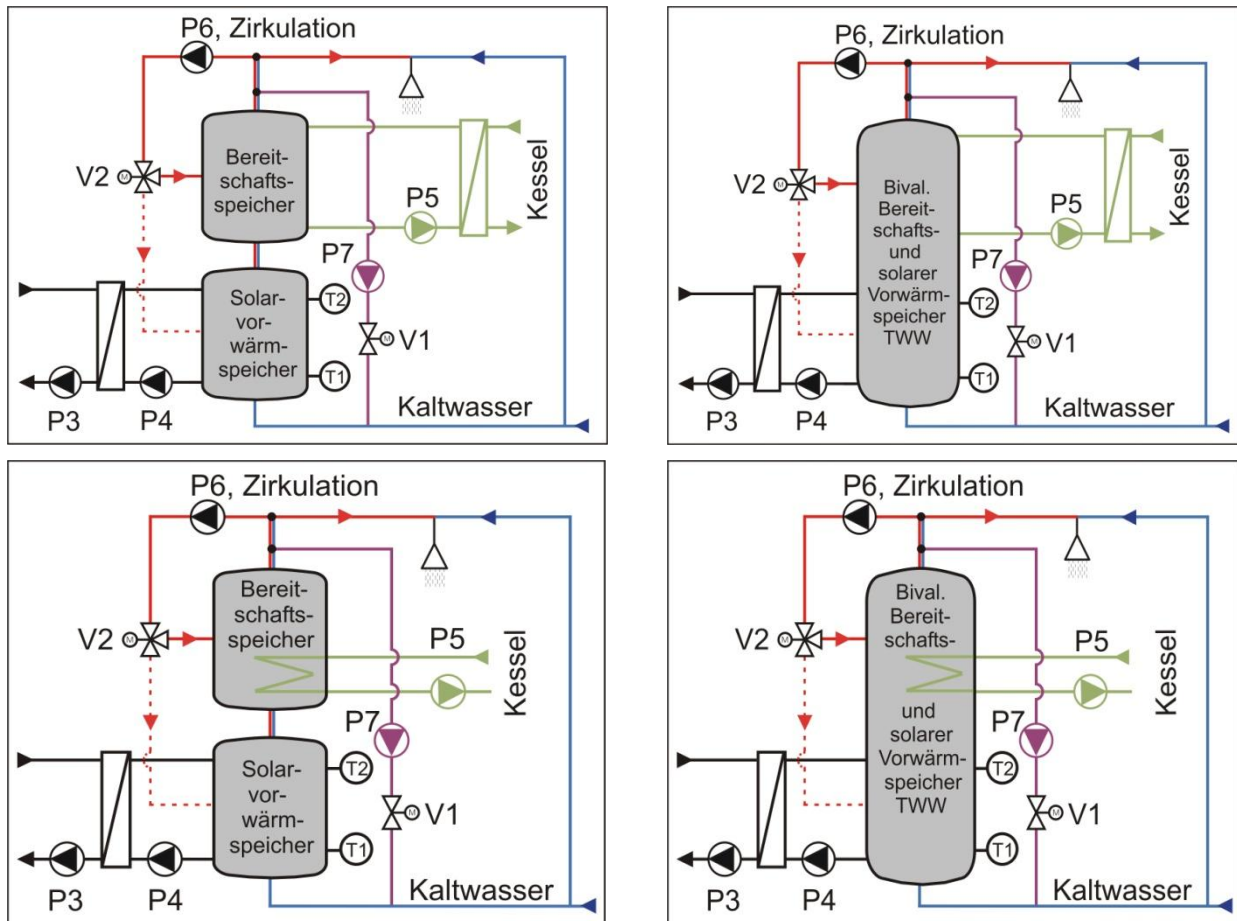


Bild 2.5.2 - 1: Legionellenschutzschaltung für Vorwärmerspeicher und Erwärmung über den Zirkulationsvorlauf

Zur thermischen Desinfektion wird der solare Vorwärmerspeicher einmal pro Tag auf mindestens 60 °C aufgeheizt, sofern am Vortag der Vorwärmerspeicher im unteren Teil (Fühler T1) über Solarenergie nicht auf 60 °C erwärmt wurde. Dazu schalten die Legionellenschutzpumpe P7 ein und das Ventil V1 auf.

Die Legionellenschutzpumpe P7 schaltet aus und das Ventil V1 zu, wenn 60 °C im Vorwärmerspeicher oben erreicht sind (dann auch unten 60 °C). Um auch den Wärmetauscher mit seinen Rohrleitungen in die 60 °C-Erwärmung einzubeziehen, kann kurzzeitig die Vorwärmerspeicherladepumpe P4 eingeschaltet werden.

Regelbeschreibung

Die ZfS empfiehlt die folgende Regelung (alle Uhrzeiten beispielhaft). Falls eine Einbindung der Zirkulation in den Vorwärmerspeicher vorhanden ist, muss auch das Dreiwegeventil V2 von der Legionellenschutzschaltung angesteuert werden.

Uns ist nicht bekannt, ob ein Hersteller die im Folgenden beschriebene Regelung anbietet.

- **Legionellenschutzschaltung ein**
P7 ein und
V1 ¹⁾ auf und
Solarpufferentladung blockieren (d. h. P3 und P4 aus) ²⁾ und
ggf. V2 in Durchgang zum Bereitschaftsspeicher ³⁾
um z. B. 2:00 Uhr ⁴⁾
wenn in den vergangenen z. B. 18 Stunden ⁵⁾ T1 nicht > 60 °C
 - **Legionellenschutzschaltung aus**
P7 aus und
V1 zu und
ggf. V2 normale Regelung freigeben und
P4 ein ⁶⁾
wenn T2 > 60 °C oder um z. B. 3:00 Uhr ⁷⁾
- P4 aus nach z. B. 2 min ⁸⁾
Pufferentladung (P3 und P4) dann freigeben

Hinweise zur Regelbeschreibung

- ¹⁾ Ventil V1 ist zwingend nötig. Ohne V1 kann der untere Teil des Vorwärmers durch Fehlströmungen erwärmt werden:
 - a) thermosiphonische Fehlströmung wenn der Vorwärmerspeicher höher liegt als der Bereitschaftsspeicher
 - b) erzwungene Fehlströmung bei eingeschalteter Bereitschaftsspeicher-Ladepumpe P5 (nur bei externem Bereitschaftsspeicher-WT möglich; s. Bild 2.5.2 - 1 links)
- ²⁾ Die Entladung des Solarpufferspeichers (=Beladung des Vorwärmerspeichers) muss während der thermischen Desinfektion ausgeschaltet sein, da diese sonst gestört würde.
- ³⁾ Während der thermischen Desinfektion darf der Zirkulationsrücklauf nicht in den Vorwärmerspeicher geführt werden, da dies seine Aufheizung verhindern würde.
- ⁴⁾ Während der thermischen Desinfektion darf kein andauernder Zapfverbrauch stattfinden, da sonst die Temperatur im unteren Bereich des Vorwärmerspeichers wieder absinken würde. Die 60 °C-Erwärmung muss also nachts bei nahezu keinem Warmwasserverbrauch stattfinden (z. B. 2:00 Uhr).
- ⁵⁾ der Rückblick in den Vortag darf nur so weit gehen, bis dass der Vorwärmerspeicher nach der thermischen Desinfektion durch den morgendlichen Warmwasserbedarf wieder abgekühlt ist (also z. B. nur bis 8:00 Uhr zurückblicken). Bei einem 24-stündigen Rückblick (z. B. bis 2:00 Uhr des Vortages) würde die 60 °C-Erwärmung am Folgetag eines Tages ohne Solarenergienutzung nicht einschalten, sondern nur jeden 2. Tag (siehe Zeitschema Bild 2.5.2 - 2).
- ⁶⁾ P4 ein wegen thermischer Desinfektion des Wärmetauschers und seiner Rohrleitungen
- ⁷⁾ Das zwangsweise Ausschalten um z. B. 3:00 Uhr vermeidet den Dauerlauf der Legionellenschutzschaltung wenn 60 °C im Vorwärmerspeicher oben wegen z. B. zu niedriger Zirkulationsvorlauftemperatur nicht erreicht werden. In diesem Fall sollte jedoch eine Störmeldung erfolgen und der Fehler für die nicht erfolgte Aufheizung auf 60 °C behoben werden. Das Zeitfenster der thermischen Desinfektion (in diesem Beispiel von 2:00 bis 3:00 Uhr) muss gleichzeitig groß genug sein, dass der Kessel mindestens einmal einschaltet und dass nach dem Einschalten noch genügend Zeit für das Durchheizen beider Speicher bleibt. (Details siehe /1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L; Kapitel 8.1.1.5, Seite 86, 2. Absatz](#))
- ⁸⁾ Die Laufzeit von P4 ist abhängig vom Volumen des Wärmetauschers, der Verrohrung und dem Fördervolumen der Pumpe P4.

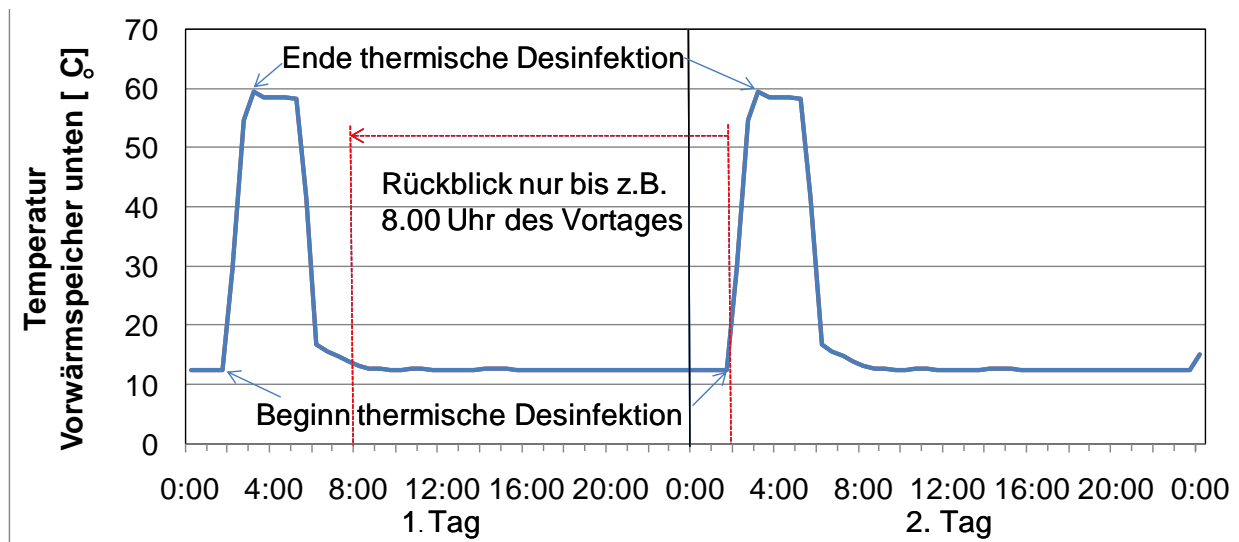


Bild 2.5.2 - 2: Beispielhafter Temperaturverlauf im Vorwärm Speicher unten durch 60 °C Erwärmung über den Kessel an Tagen ohne Solarenergienutzung

- Grundsätzlich gilt:
Bei Systemen mit externem Kesselwärmetauscher muss der Volumenstrom der Legionellenschutzpumpe P7 so groß sein, dass eine Durchströmung des Vorwärm Speichers mit 60grädigem Trinkwasser gewährleistet ist. Der notwendige Volumenstrom von P7 hängt ab vom Fördervolumen der Zirkulationspumpe P6, der Zirkulations-Rücklauftemperatur und der Vorlauf temperatur im Bereitschaftsspeicher-Ladekreis.
Die Zirkulation sollte während der thermischen Desinfektion nicht ausgeschaltet sein, da sonst Zustände eintreten können, die ein Erwärmen des Vorwärm Speichers auf 60 °C verhindern (Details siehe /1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L](#); Kapitel 8.1.1.6)
- Die Regelfühler T1 und T2 der Legionellenschutzschaltung können auch zur Beladung des Vorwärm Speichers benutzt werden.

Damit in längeren Schönwetterperioden, in denen der Vorwärm Speicher durch die Solaranlage täglich auf 60 °C erwärmt wird, keine mehrtägige Trinkwasserstagnation entsteht, ist aus hygienischen Gründen eine zeitgesteuerte Öffnung des Ventils V1 und zusammen mit dem Einschalten der Pumpe P7 empfehlenswert (z. B. täglich um 5:00 Uhr vor den morgendlichen Zapfspitzen).

weiterführende Informationen:

- Berichte von Solarthermie-2000-Anlagen mit Legionellenschutzschaltung für monovalenten Vorwärm Speicher und Erwärmung des Vorwärm Speichers über den Zirkulationsvorlauf

/23/ [Abschlussbericht Solaranlage Seniorenheim Leipzig](#)

/25/ [Abschlussbericht Solaranlage in den Wohnhochhäusern Frankfurt](#)

3 Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung

Die ZfS hat im Rahmen von Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus geförderten Demonstrationsanlagen nur solche Anlagen zur Raumheizungsunterstützung analysiert, die über ein Nahwärmenetz an das Solarsystem angeschlossen sind (s. Kap. 4). Es waren jedoch keine Solaranlagen darunter, die als sog. Inselssysteme die Wärmeverbraucher Trinkwasser, Zirkulation und Raumheizung mit ihren einzelnen Verbrauchskreisen getrennt unterstützten. Lediglich aus dem Verbundprojekt "Kombianlagen" /7/, liegen erste Erfahrungen mit zwei Anlagen vor.

Da im Verbundprojekt die Betreuungszeit der Kombianlagen zu kurz und die Anzahl der Varianten zu gering war, um abgesicherte Empfehlungen aussprechen zu können, wird an dieser Stelle nur ein ganz grober Überblick gegeben.

Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Kombianlagen) können bezüglich der Anbindung des Solarpuffers an das konventionelle System in zwei Grundvarianten eingeteilt werden (Bild 3 - 1).

Parallele Erwärmung von Solar- und Kesselpuffer

Solar- und Kesselpuffer können als zwei monovalente Puffer oder als ein bivalenter Puffer ausgeführt sein. Die Nacherwärmung des solar vorgewärmten Heizwassers erfolgt im Kesselpuffer bzw. im oberen Bereich des bivalenten Puffers über den Heizkessel.

Nacherwärmung seriell zum Solarpuffer

Bei dieser Variante steht dem Kessel kein Puffervolumen zur Verfügung.

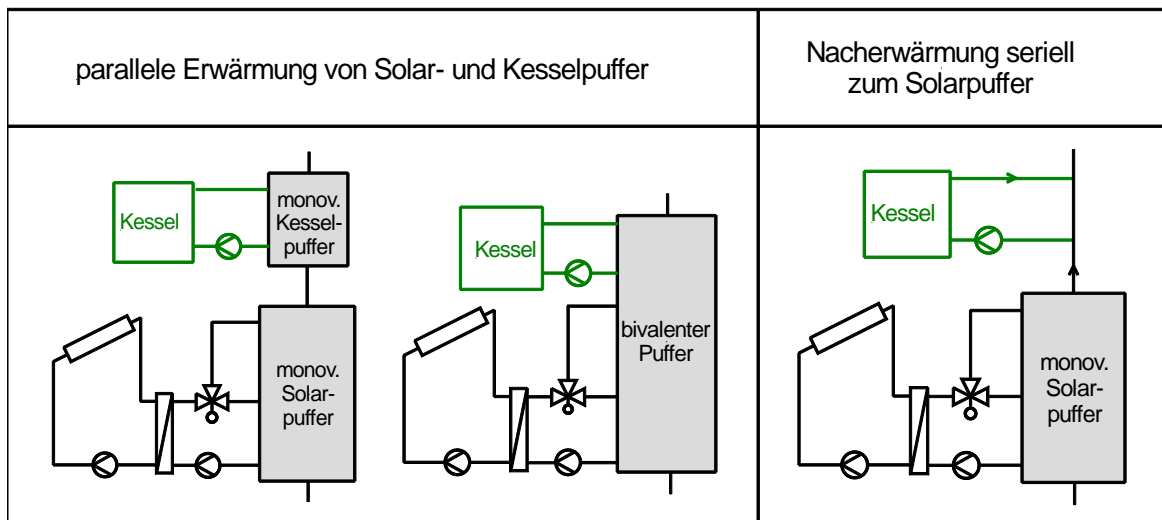


Bild 3 - 1: Grundvarianten von Kombianlagen

Auf diese beiden Grundvarianten können im Prinzip alle Anlagen zur Raumheizungsunterstützung zurückgeführt werden. Alle weiteren Unterschiede betreffen die Anzahl der angeschlossenen Lastkreise wie z. B. ein Lastkreis im Wärmenetz oder drei einzelne Lastkreise (Trinkwassererwärmung, TWW-Zirkulation und Raumheizung) und die Art der Anbindung der Lastkreise an das Solarsystem (Erwärmung des Trinkwassers im Durchlauf oder in einem Speicher).

Simulationsrechnungen haben gezeigt /7/, dass es bezüglich der Wärmeabgabe aus dem Solarsystem nebensächlich ist, ob der Kessel parallel (mit bivalentem oder monovalentem Puffer) oder seriell ohne Kesselpuffer angebinden wird.

In /7/ werden Empfehlungen für die Anbindung von Verbrauchern mit verschiedenen Rücklaufemperaturen anhand verschiedener Grundkonzepte gegeben.

Die Grundkonzepte beruhen auf der physikalisch richtigen Idee, dass Verbraucher mit unterschiedlichen Rücklaufemperaturen auch mit getrennten Rücklaufleitungen an das Solarsystem angeschlossen werden, damit sich Temperaturschichtungen im Solarspeicher möglichst optimal

ausbilden können und nicht vermischt werden.

Diese Grundgedanken im Systemaufbau betreffen im Übrigen nicht nur Kombianlagen sondern auch Anlagen zur Prozesswärmeerzeugung. Entsprechende Fallbeispiele von Prozesswärmeanlagen mit fraglichen Systemanbindungen wurden 2009 auf dem Symposium Thermische Solarenergie in Bad Staffelstein vorgestellt.

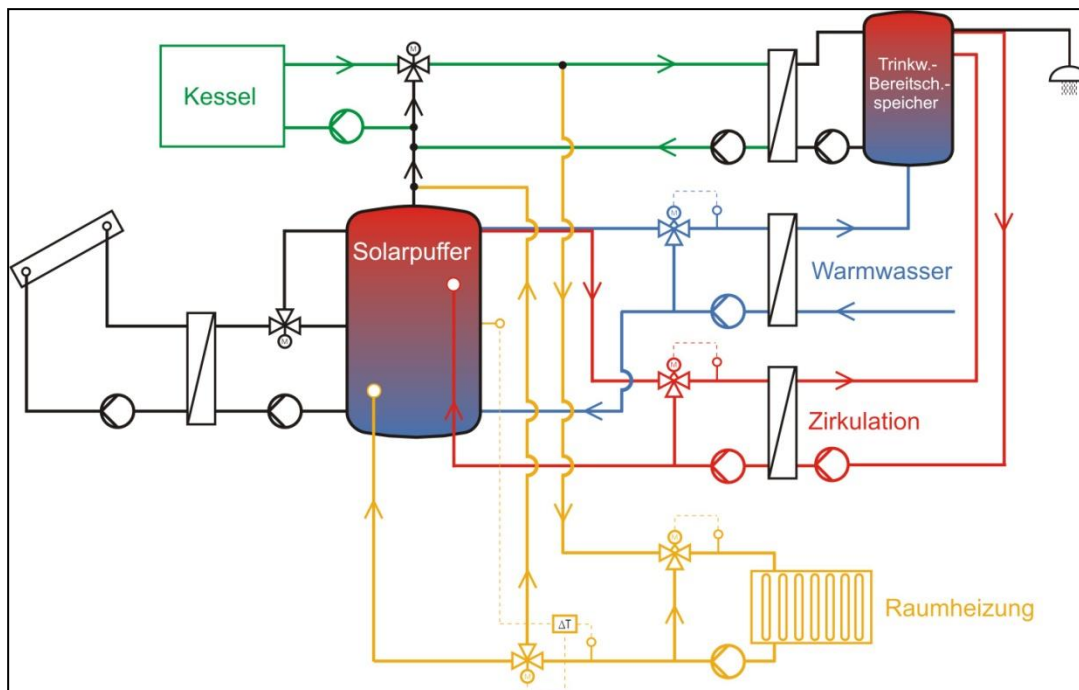


Bild 3 - 2: Systemschemata einer Kombianlage mit thermisch getrennter Anbindung der Verbraucher-Rücklaufleitungen an den Solarpufferspeicher

Es fehlen jedoch jegliche Betriebserfahrungen mit Solaranlagen, in denen diese Grundkonzepte auch in Realität umgesetzt wurden. Alleine auf Basis der bisherigen Erkenntnisse im Kombiprojekt, das von vorneherein als vorbereitendes Projekt für die künftigen Demonstrations- und Forschungsanlagen konzipiert war, können aber keine Empfehlungen erarbeitet werden, die als anerkannte Regeln der Technik in Richtlinien oder aussagekräftige Planungshilfen einfließen.

Die Empfehlungen basieren alleine aus theoretischen Überlegungen und sind mangels vorhandener Demonstrationsprojekte nicht mit Praxiserfahrungen und Simulationsrechnungen abgesichert. Auch können keine Aussagen zum Betriebsverhalten und Kosten/Nutzen-Verhältnis der System-schaltungen gemacht werden. Es werden deshalb an dieser Stelle keine ausführlichen Empfehlungen ausgesprochen (ähnlich wie in Kapitel 2), sondern es wird lediglich auf die Literatur verwiesen. Weiterhin können noch keine Angaben zur Endenergieeinsparung (z. B. Gas, Öl) bei den verschiedenen Systemvarianten gemacht werden. Das dazu notwendige Kesselmodul für Simulationsprogramme wird derzeit im Rahmen eines separaten Förderprojektes entwickelt.

Hinweisblätter zu Kombianlagen können in diese Mappe eingefügt werden, sobald ähnlich abgesicherte Informationen zum Systemaufbau vorliegen wie Anlagen zur Trinkwassererwärmung.

Weiterführende Informationen

/7/ Croy, Reiner; Wirth, Hans Peter:

Analyse und Evaluierung großer Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung; Abschlussbericht zum Teilprojekt 0329268B des BMU-Verbundprojekts: Systemuntersuchung großer solarthermischer Kombianlagen; Berichtsteil der ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH, Hilden; (2007)

[Abschlussbericht zum Teilprojekt 0329268B Berichtsteil der ZfS](#)

4 Solare Nahwärme

4.1 Vierleiternetze

Das Kollektorfeld kann auf der Heizzentrale montiert sein, oder auf einem oder mehreren anderen Gebäuden der Nahwärmesiedlung. Die Solarwärme wird über die Kollektorpumpe P1 und die Speicherladepumpe P2 vom Kollektorfeld in einen mit Heizungswasser gefüllten Solarpufferspeicher transportiert.

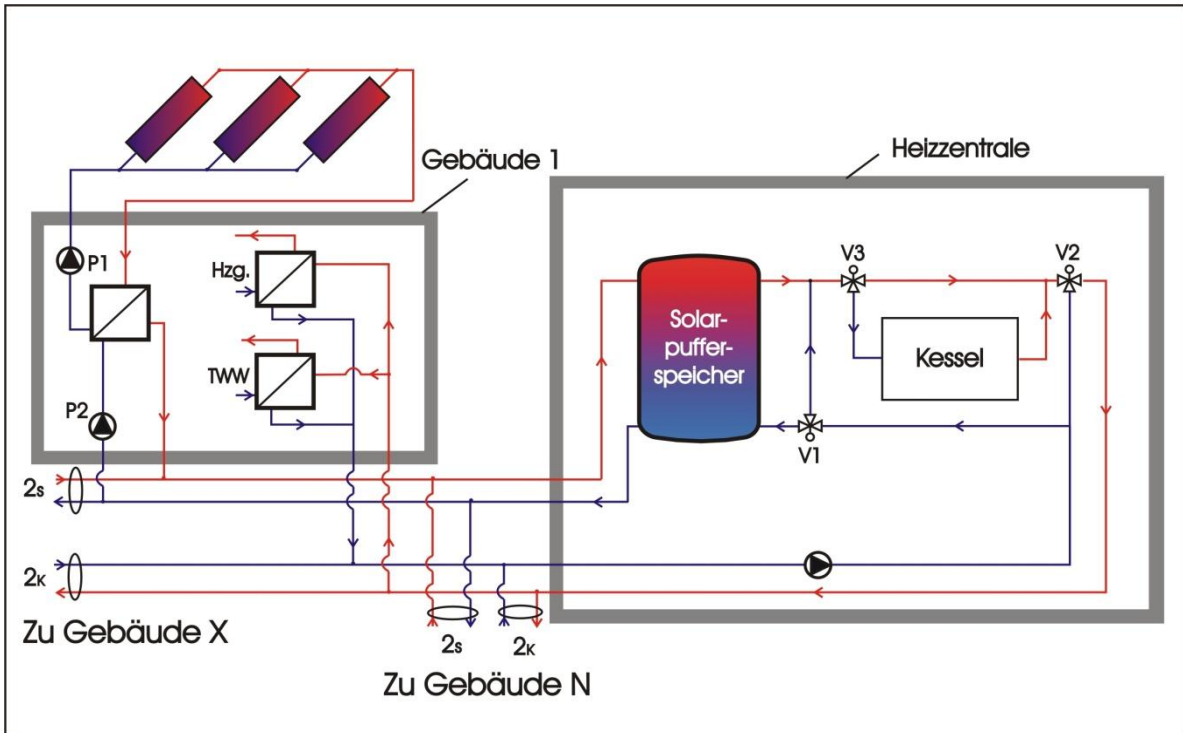


Bild 4.1 - 1: Vierleiternetz (2 solar; 2 konventionell) mit Nacherwärmung außerhalb des Puffers

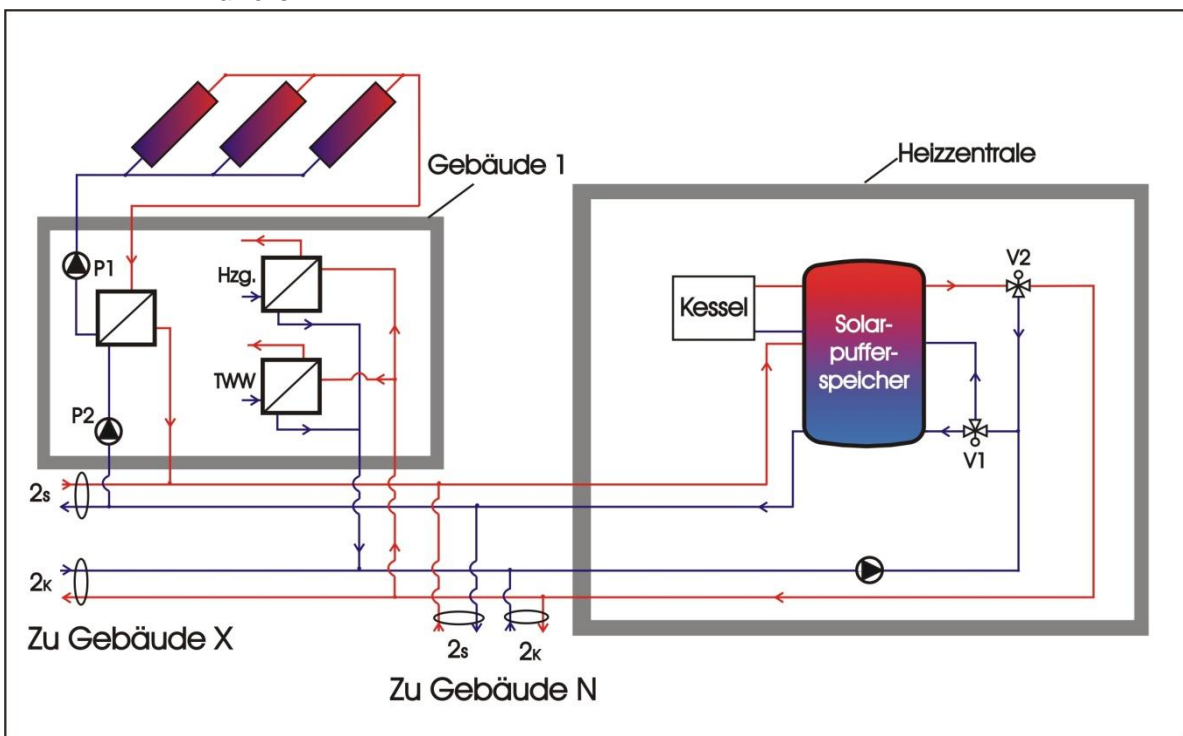


Bild 4.1 - 2: Vierleiternetz (2 solar; 2 konventionell) mit Nacherwärmung im oberen Teil des Solarpuffers

Der Kessel erwärmt bei zu geringer Erwärmung im Solarpuffer das Wasser auf die Soll-Vorlauf-temperatur. Er kann dem Solarpuffer nachgeschaltet sein (Bild 4.1 - 1), oder den oberen Bereich des Puffers erwärmen (Bild 4.1 - 2). Der nachgeschaltete Kessel kann durch einen Bypass umgangen werden (Ventil V3), wenn die Austrittstemperatur aus dem Solarpuffer höher liegt als die Soll-Netzvorlauf-temperatur (Vermeidung von Wärmeverlusten durch unnötige Kesseldurchströmung).

Der Netzurücklauf soll nur dann durch den Solarpuffer strömen, wenn die Temperatur im Solarpuffer oben wärmer ist als im Netzurücklauf. Ist der Solarpuffer oben kälter als der Netzurücklauf strömt er am Solarpuffer vorbei (Ventil V1) (Vermeidung von Wärmeverlusten durch unnötige Solarpuffer-durchströmung).

Die Rücklaufbeimischung (Ventil V2) verhindert, dass zu heißes Wasser aus dem Pufferspeicher (z. B. 90 °C) oder aus dem Kessel in den Netzvorlauf strömt.

Die zwei Leiter des konventionellen Netzes (2k) und die zwei Leiter des Solarnetzes (2s) sind voneinander getrennt. Erst am solaren Pufferspeicher erfolgt die hydraulische Verbindung.

Der Nutzungsgrad der Solaranlage ist umso (und die Netzverluste geringer), je niedriger die Netzurücklauf-temperatur ist. Die Höhe der erforderlichen Netzvorlauf-temperatur, der technische Aufbau und die Qualität des Temperaturabbaus der Vorlauf-temperatur in den Wärmeübergabestationen sind daher entscheidend für die Effizienz des Solarsystems.

Vorteile gegenüber Dreileiternetzen

- Die Strömungspfade im Vierleiternetz sind übersichtlich und leicht verständlich.
- Die Netzvorlauf-temperatur kann durch die Netzurücklaufbeimischung bei allen Betriebszuständen eindeutig geregelt werden. Es erfolgt keine Beeinflussung der Netzurücklauf-temperatur durch die Solaranlage (im Dreileiternetz ist dies möglich).

Nachteile gegenüber Dreileiternetzen

- Es entstehen zusätzliche Kosten durch den zweiten Solarleiter.
- Der zweite Solarleiter verursacht zusätzliche Verluste.

Hinweise

- Die Kollektorkreispumpe P1 geht in Betrieb, wenn entweder eine bestimmte Mindesteinstrahlung erreicht ist (strahlungsgeführte Regelung), oder die Temperatur in einem Kollektor um einen definierten Wert höher ist als die Temperatur im Pufferspeicher unten (Temperaturdifferenzregelung). Die Ladepumpe P2 schaltet ein wenn die Temperatur im Kollektorkreis am Eintritt in den Wärmetauscher um einen definierten Wert höher ist als die Temperatur im Pufferspeicher unten (Temperaturdifferenzregelung).
- Sind die Kollektorfelder auf mehrere Gebäude verteilt, empfehlen wir selbst bei gleicher Orientierung und Neigung für jedes Kollektorfeld eine eigene Regelung zur Beladung des Pufferspeichers. Würde man alle Kollektor- und Ladepumpen nur über eine Regelung ansteuern, würde ein Ausfall dieser Regelung auch alle anderen Felder stilllegen. Bei Kollektorfeldern mit stark unterschiedlicher Orientierung und/oder Neigung ist eine Einzelregelung sowieso empfehlenswert.
- Eine durchgehende Erwärmung des Solarpuffers mit Durchströmung von oben nach unten erfolgt nur dann, wenn der Gesamtvolumenstrom der Ladepumpen P2 größer ist als der in den Puffer unten eintretende Netzvolumenstrom (Volumenreduzierung durch Rücklaufbeimischung beachten). Andernfalls würde der Gesamtvolumenstrom der Ladepumpen nahezu ohne Speicherwirkung nur durch den oberen Teil des Solarpufferspeichers strömen, und der Speicher wäre überflüssig. Dies wäre bei klein dimensionierten Solaranlagen der Fall, die in verhältnismäßig große Netze eingebunden werden.

Berichte über Solaranlagen mit Vierleiternetz

- /7/ Solaranlage in der Wohnsiedlung Lindenhof, Gelsenkirchen
Umbau der Anlage aufgrund falscher hydraulischer Verschaltung
(Auszug aus Abschlussbericht zum Teilprojekt 0329268B des BMU-Verbundprojekts:
Systemuntersuchung großer solarthermischer Kombianlagen)
- /31/ Solaranlage im Wohngebiet "Cohnsches Viertel", Hennigsdorf
Einspeisung der Solarwärme in ein großes Nahwärmenetz
- /34/ Solaranlage im Wohngebiet "Badener Hof", Heilbronn
Nacherwärmung außerhalb des Solarpufferspeichers mit Gas- und Ölkessel
- /35/ Solaranlage im Wohngebiet "ehemaliger Schlachthof", Speyer
Nacherwärmung im oberen Teil des Solarpufferspeichers mit Gaskessel
- /36/ Solaranlage im Wohngebiet "Magdeburger" Straße, Hannover
Nacherwärmung außerhalb des Solarpufferspeichers mit Pelletkessel
- /39/ Solaranlage im Wohngebiet "Gorch-Fock-Weg", Norderney
Nacherwärmung außerhalb des Solarpufferspeichers mit Gaskessel

4.2 Dreileiternetze

Das Kollektorfeld kann theoretisch auch auf der Heizzentrale montiert sein. Um den Vorteil des eingesparten zweiten Solarleiters zu nutzen, befindet es sich in der Praxis jedoch zumeist auf weiter entfernten Gebäuden der Nahwärmesiedlung.

Die Solarwärme wird über die Kollektorkreispumpe P1 und die Speicherladepumpe P2 vom Kollektorfeld in den oberen Bereich des mit Heizungswasser (Netzwasser) gefüllten Pufferspeichers transportiert.

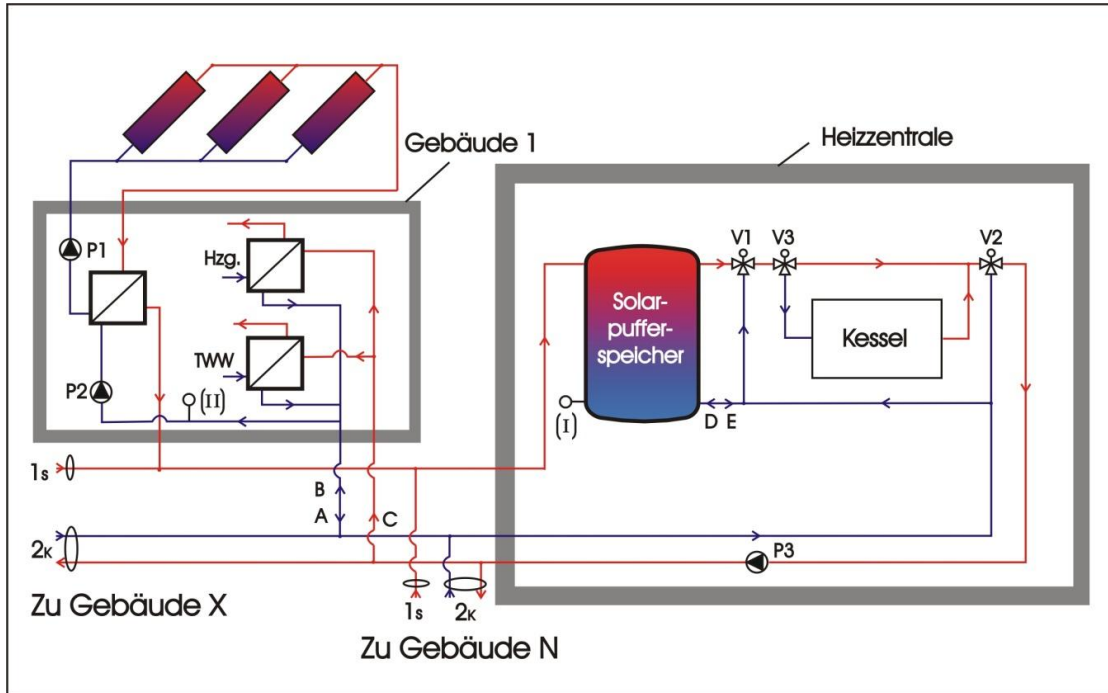


Bild 4.2 - 1: Dreileiternetz (1 solar; 2 konventionell) mit Nacherwärmung außerhalb des Puffers bei normaler Netzrücklaufströmung

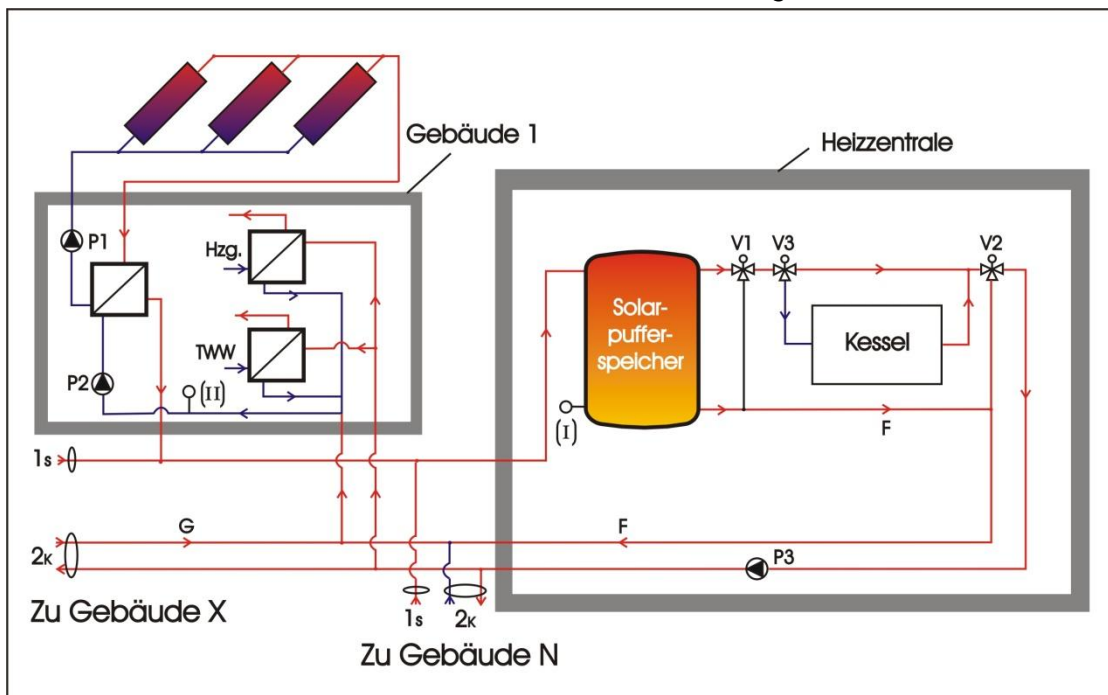


Bild 4.2 - 2: Dreileiternetz (1 solar; 2 konventionell) mit Nacherwärmung außerhalb des Puffers bei umgekehrter Netzrücklaufströmung

Der Kessel erwärmt bei zu geringer Erwärmung im Solarpuffer das Wasser auf die Soll-Vorlauf-temperatur. Er ist dem Solarpuffer zumeist nachgeschaltet. Kenntnisse über Dreileiternetze und Nachheizung im oberen Teil des Puffers liegen uns nicht vor. Zur Bewahrung der Übersichtlichkeit wird nur das Schaltbild mit nachgeschaltetem Nachheizsystem dargestellt.

Der Kessel kann durch einen Bypass umgangen werden (Ventil V3), wenn die Austrittstemperatur aus dem Solarpuffer höher liegt als die Soll-Netzvorlauf-temperatur (Vermeidung von Wärmeverlusten durch unnötige Kesseldurchströmung).

Die Rücklaufbeimischung (Ventil V2) verhindert, dass zu heißes Wasser aus dem Pufferspeicher oder aus dem Kessel (z. B. 90 °C) in den Netzvorlauf strömt.

Normale Strömung im Netzurücklauf (Bild 4.2 - 1)

Das Fördervolumen der Speicherladepumpe P2 wird aus der Rücklaufleitung der Wärmeübergabestation des Gebäudes entnommen, auf dem das Kollektorfeld installiert ist. Ist der Volumenstrom durch die Wärmeübergabestation (Strömungspfeil C) größer als das Fördervolumen der Pufferladepumpe P2, zieht sich die Pumpe P2 ihr Wasser ausschließlich aus dem Strömungspfad C, und ein Teilstrom von C strömt ins Netz zurück (Strömungspfeil A).

Ist der Volumenstrom C durch die Wärmeübergabestation kleiner als das Fördervolumen der Ladepumpe P2, zieht P2 auch ein Teilvolumen aus dem Netzurücklauf. Es gilt dann Strömungspfeil B. Je nachdem welche Strömungsrichtung (A oder B) sich in der Leitung von der Wärmeübergabestation zum Netzurücklauf einstellt, hat die Rücklauf-temperatur aus der hauseigenen Wärmeübergabestation einen mehr oder minder großen Einfluss auf die Eintritts-temperatur in den Kollektorkreiswärmetauscher und damit auf die Solarsystemeffizienz.

Ist der Puffer oben wärmer als der Netzurücklauf, strömt der Netzurücklauf durch den Solarspeicher (Strömungspfad D).

Ist der Puffer oben kälter als der Netzurücklauf, strömt der Netzurücklauf am Solarspeicher vorbei (Ventil V1 in Stellung "Speicherumgehung"). Der Solarspeicher wird dann durch die Pumpe P2 von oben nach unten durchströmt (Strömungspfad E). Dadurch gelangt das kältere Wasser aus dem unteren Pufferbereich in den Netzurücklauf und kühlt diesen ab, was zu erhöhtem Energiebedarf des Kessels führt. Maßnahmen zur Unterbindung dieses Effektes sind in /35/ (Seite 14 unten) beschrieben. Der regelungstechnische Aufwand ist jedoch erheblich. Es ist zweifelhaft ob er angesichts des damit erhöhten Fehlerpotentials sinnvoll ist.

Umgekehrte Netzurücklaufströmung (Bild 4.2 - 2)

Die Strömungsrichtung im Netzurücklauf kehrt sich um, wenn der Volumenstrom der Netzpumpe P3 geringer ist als das Fördervolumen der Ladepumpe P2. Dies kommt zumeist im Sommer vor, wenn die Netzpumpe aufgrund geringer Wärmeabnahme nur wenig Volumen fördert. Dann zieht die Ladepumpe P2 das gesamte Volumen aus dem Rücklauf der Wärmeübergabestation, das Volumen aus dem unteren Bereich des Solarpufferspeichers (Strömungspfad F) und aus dem Netzurücklauf des weiter entfernten Wärmenetzes (Strömungspfad G). Bei dieser Umkehrströmung wird der Solarpufferspeicher von oben nach unten durchströmt und durchgeladen.

Ist der Solarpufferspeicher im Laufe dieser Durchladung unten wärmer als die Soll-Netzvorlauf-temperatur, besteht keine Möglichkeit zur Abkühlung des Netzvorlaufs. Die Netzvorlauf-temperatur wird dann überhöht. Die Wärmeübergabestationen müssen für die erhöhte Vorlauf-temperatur zugelassen sein. Außerdem steigen die Netzverluste an.

Vorteile gegenüber Vierleiternetzen

- Die Installation der Verrohrung ist etwas kostengünstiger (ein Solarleiter entfällt).
- Die Verluste im Solarnetz sind etwas niedriger (ein Solarleiter entfällt).

Nachteile gegenüber Vierleiternetzen

- Die Planung der Hydraulik ist aufwändiger, weil komplexere Strömungsvorgänge vorliegen.
- Eine Beeinflussung der Strömungsverhältnisse in der Hausübergabestation durch die Ladepumpe P2 kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

- Überhöhung der Netztemperatur bei Umkehrströmung. Die Wärmeübergabestationen müssen für die erhöhte Temperatur ausgelegt sein. Außerdem Anstieg der Netzverluste.
- Es gibt keine optimale Position des Regelfühlers zum Einschalten der Speicherladepumpe P2.

Hinweise

- Die Kollektorkreispumpe P1 geht in Betrieb, wenn entweder eine bestimmte Mindesteinstrahlung erreicht ist (strahlungsgeführte Regelung), oder die Temperatur in einem Kollektor um einen definierten Wert höher ist als die Temperatur des Einschaltfühlers (Temperaturdifferenzregelung; zur Position des Einschaltfühlers s. nächster Spiegelpunkt). Die Ladepumpe P2 schaltet ein, wenn die Temperatur im Kollektorkreis am Eintritt in den Wärmetauscher um einen definierten Wert höher ist als die Temperatur am Einschaltfühler (Temperaturdifferenzregelung).
- Für den Einschaltfühler gibt es jedoch keine optimale Position. Mögliche Positionen sind:
 - Speicher unten Position (I) (nicht empfehlenswert):
Nachteil: gibt nicht die Einlauftemperatur in den Solarwärmetauscher an, zudem weit entfernt von der Solarstation
 - Eintrittstemperatur in den Solarwärmetauscher Position (II) (empfohlen):
Nachteil: der Fühler kühlt ab wenn die Speicherladepumpe P2 ausgeschaltet ist und misst dann eine zu niedrige Einschalttemperatur. Die richtige Einschalttemperatur wird erst dann gemessen wenn P2 läuft. Dies kann zu mehrmaligem Ein- und Ausschalten von P2 beim Anfahren führen. Es ist dennoch die beste Position.
- Sind die Kollektorfelder auf mehrere Gebäude verteilt, empfehlen wir selbst bei gleicher Orientierung und Neigung für jedes Kollektorfeld eine eigene Regelung zur Beladung des Pufferspeichers, da in jeder Station andere Temperaturverhältnisse am Einschaltfühler vorliegen.
- Wegen der Umkehrströmung im Netzurücklauf muss die Netzpumpe P3 im Netzzurücklauf montiert sein.

Bericht über Solaranlagen mit Dreileiternetz

(Systemaufbau ähnlich Bild 4.2 - 1 und Bild 4.2 - 2)

- /30/ [Solaranlage Wohngebiet "Burgholzhof", Stuttgart](#)
- /36/ [Solaranlage Wohn- und Gewerbegebiet "Ehemalige Normand Kaserne", Speyer](#)

5 Hinweise zur Dimensionierung und zu einzelnen Komponenten des Solarsystems

5.1 Warmwasserverbrauch als Grundlage für die Kollektorfeldauslegung

Messung des Warmwasserverbrauchs

Bei der Verbrauchsermittlung sollten mindestens folgende Größen gemessen werden (vgl. Bild 5.1 - 1):

- Volumen durch den Wassererwärmer
- Temperatur am Austritt des Wassererwärmers (meistens ein Speicher)
- Temperatur des in den Wassererwärmer einströmenden Wassers (meistens Kaltwasser)
- Nach Möglichkeit: Anzahl der Bewohner
- Bei Systemen die sehr groß dimensioniert werden sollen: Zirkulationsverluste

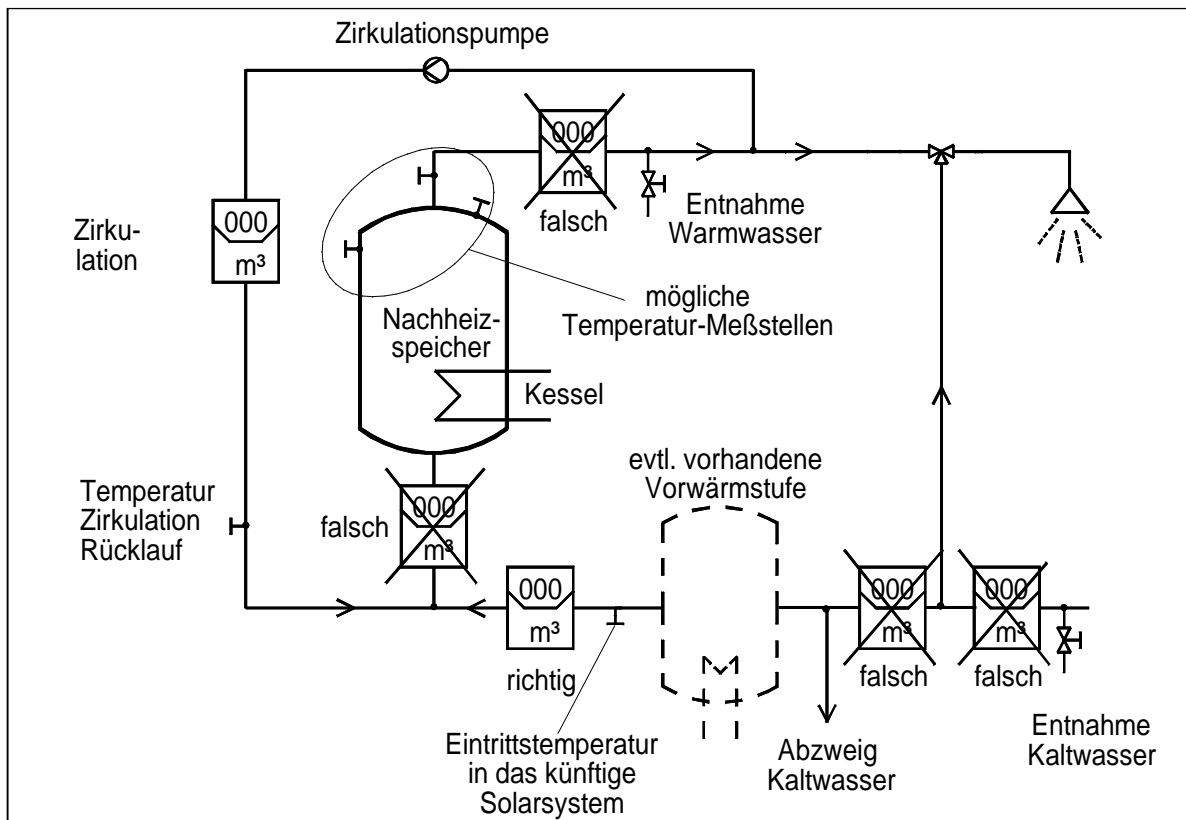


Bild 5.1 - 1: Richtige und falsche Einbaupositionen für die Messfühler der Verbrauchsmessung

Bezugstemperatur:

Für die Auslegung der Solaranlage ist der Warmwasserverbrauch bei 60 °C relevant. Bei anderen Austrittstemperaturen aus dem Wassererwärmer, muss der gemessene Verbrauchswert auf 60 °C umgerechnet werden.

Zeitliche Auflösung der Messungen:

Warmwasserverbrauch und

ggf. Zirkulationsverluste:

mindestens Tagessummen, besser Stundensummen

Kalt- und Warmwassertemperatur: in der Regel sind Stichproben ausreichend

Dauer / bester Messzeitraum: 6 Wochen in der sommerlichen Schwachlastperiode

Bei Messungen in anderen Zeiträumen müssen die Messergebnisse auf die sommerliche Schwachlastzeit umgerechnet werden. Am Beispiel des Verbrauchsprofils für ein großes Mehrfa-

Bestimmung des Auslegungsverbrauchs bei Messungen außerhalb der sommerlichen Schwachlastperiode

Zahlenbeispiel:

| | |
|--|--|
| Messperiode: | 9.4. – 21.5. |
| gemessener Warmwasserverbrauch: | 9 m ³ /d |
| Austrittstemperatur aus dem Wassererwärmer: | 55 °C |
| Kaltwassertemperatur: | 14 °C |
| Korrekturfaktor für die Messperiode: | 1,38 (normierter Verbrauch, ablesbar aus Bild 5.1 - 2) |
| Wasserverbrauch in Schwachlastperiode V _S : | 6,5 m ³ /d bei 55 °C (9 m ³ /d / 1,38) |

$$\text{Auslegungsverbrauch bei } 60 \text{ °C: } V_{\text{Ausl}} = 6,5 \text{ m}^3/\text{d} \frac{(55 \text{ °C} - 14 \text{ °C})}{(60 \text{ °C} - 14 \text{ °C})}$$

$$V_{\text{Ausl}}: 5,8 \text{ m}^3/\text{d}$$

Die Sommerferienzeit wurde beispielhaft vom 10.7. bis 20.8. gelegt. Liegt die Ferienzeit z. B. im August/September und es wird z. B. im Juli gemessen, so ist die Schwachlastzeit entsprechend zu verschieben, und der Korrekturfaktor an den in Bild 5.1 - 2 hellblauen Balken des normierten Verbrauchs abzulesen. Die hellblauen Balken stellen den Verbrauch dar, der sich einstellen würde, gäbe es in der Ferienzeit keinen Verbrauchsrückgang.

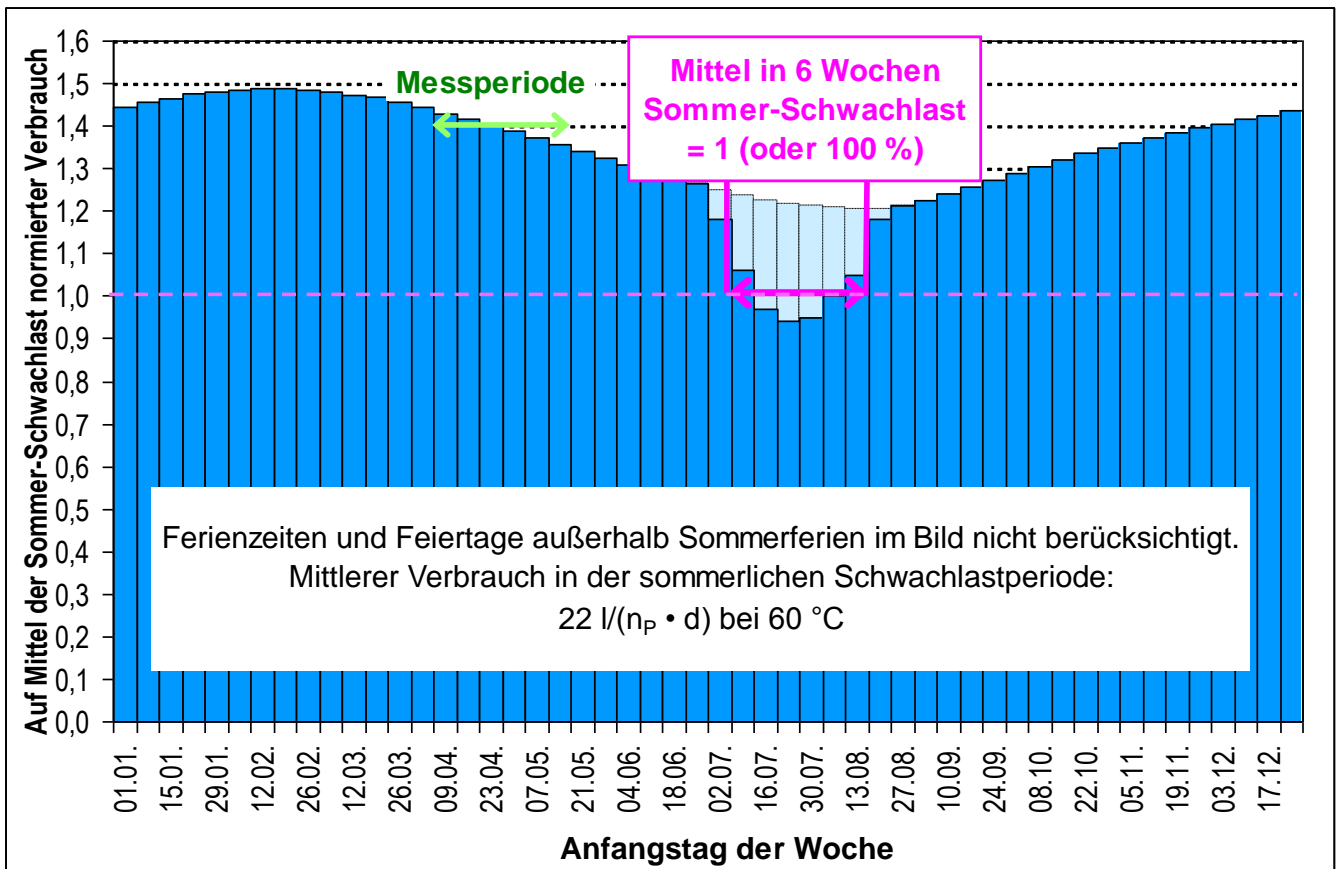


Bild 5.1 - 2: Typischer Jahresverlauf des Warmwasserverbrauchs in einem großen Wohngebäude (normiert auf Verbrauch in Schwachlastperiode) aus /1/ Kapitel 8.1.3.2

Bei kleinen Gebäuden oder Gebäuden mit anderer Nutzung (z. B. in Studentenwohnheimen) kann der sommerliche Verbrauchsrückgang erheblich größer sein. Entsprechende Kurven für andere Gebäude enthalten /3/ und /6/.

Kann der Warmwasserverbrauch nicht gemessen werden, kann er über die Belegungszahl n_p (sog. Vollbelegungszahl) bestimmt werden. Diese gibt an, wie viele Personen in dem Gebäude anwesend wären, wenn es voll belegt wäre. Ist die (Voll)Belegungszahl unbekannt, kann sie aus der Zahl der Wohneinheiten (WE) und der Zahl der Räume je WE abgeschätzt werden (s. [VDI 2067-12](#); /4/).

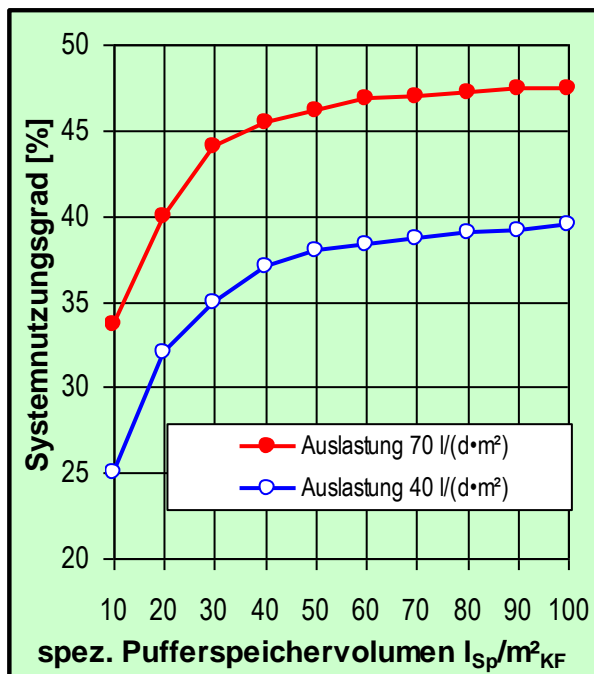
5.2 Dimensionierung des Solarspeichers

Die Dimensionierung des Solarspeichers hängt im Wesentlichen von folgenden Faktoren ab:

- Kollektorfläche
- Energieverbrauch bzw. Warmwasserverbrauch (WW)
- Tages- und Wochenverbrauchsprofil
- zulässige Speichertemperatur
- Strahlungsenergie

5.2.1 Solarpufferspeicher in Anlagen zur Trinkwassererwärmung

Die Ermittlung der optimalen Speichergröße in Relation zur Kollektorfläche kann grob anhand des folgenden Diagramms erfolgen. Das für die Dimensionierung maßgebliche spezifische Solarspeichervolumen liegt in dem Bereich, ab dem der Systemnutzungsgrad durch Vergrößerung des Speichers nicht mehr nennenswert ansteigt. Bei stark abweichenden Randbedingungen, sollten die Kurven des Diagramms neu berechnet werden.



Randbedingungen:

- Zapfprofil: Mehrfamilienhaus (ähnlicher Warmwasserverbrauch an allen Tagen)
- zul. Speichertemperatur: $95 \text{ }^\circ\text{C}$
- Köln; Strahlungsenergie horizontal: $1000 \text{ kWh}/(\text{a}\cdot\text{m}^2)$

Bild 5.2 - 1: Systemnutzungsgrad einer Anlage zur solaren Trinkwassererwärmung in Abhängigkeit des spezifischen Pufferspeichervolumens

Bei Gebäuden mit einem ähnlichem Verbrauch während aller Wochentage (Wohngebäude, Seniorenheime etc.) ergeben sich mit den o. g. Randbedingungen folgende spezifische Pufferspeichervolumina ($\pm 10 \%$):

Auslastung $70 \text{ l}_{\text{WW}}/(\text{d}\cdot\text{m}^2_{\text{KF}})$: $50 I_{sp}$ pro m^2 Kollektorfläche

Auslastung $40 \text{ l}_{\text{WW}}/(\text{d}\cdot\text{m}^2_{\text{KF}})$: $55 I_{sp}$ pro m^2 Kollektorfläche

Ab diesen Werten steigt der Systemnutzungsgrad nur noch gering an.

Literatur zur Speicherauslegung (Trinkwassererwärmung)

/2/ Richtlinie [VDI 6002-1](#)

Solare Trinkwassererwärmung – Allgemeine Grundlagen, Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau

/6/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601G \(2001\) Kapitel 6.2.1](#)

5.2.2 Solarpufferspeicher in Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Kombianlagen)

Definition des effektiven Speichervolumens V_{eff}

Bei einem bivalenten Solarspeicher wird der obere Speicherbereich auf eine Bereitschaftstemperatur gehalten (z. B. 72 °C). Dieser Bereich kann von der Solaranlage über die Bereitschaftstemperatur hinaus bis 95 °C erwärmt werden, was einem für die Solaranlage nutzbaren Volumenanteil von ca. 40 % des Bereitschaftsspeichervolumens entspricht (Berechnung siehe /1/ Kapitel 8.2.4.1). Dieser nutzbare Volumenanteil muss dem unteren (rein solaren) Speicherteil zugeschlagen werden. Die Summe aus beiden Volumenanteilen wird als effektives Solarspeichervolumen V_{eff} bezeichnet.

Bei monovalenten Solarspeichern entspricht V_{eff} dem Volumen des Solarspeichers. Wenn in Simulationsrechnungen bivalente und monovalente Solarspeichervolumina verglichen werden, sollte das effektive Solarspeichervolumen bei gleicher Kollektorfläche gleich groß sein.

Auslegung des effektives Speichervolumens V_{eff}

Zur Verringerung der Stillstandszeiten im Sommer, sollte bei einer Kombianlage das spezifische effektive Solarpuffervolumen (Liter je m² Kollektorfläche) mit zunehmender Kollektorfläche stärker ansteigen als bei einer Anlage zur reinen Trinkwassererwärmung. Dies wird durch einen Exponenten bei der Speichervergrößerung berücksichtigt, mit dem das Verhältnis der Kollektorfläche einer Kombianlage zur der einer Anlage zur reinen Trinkwassererwärmung potenziert wird.

Berechnungsformel für das effektive Volumen (V_{eff}) einer Kombianlage:

$$V_{\text{eff, Kombi}} = V_{\text{eff, TWW}} \cdot (A_{\text{Kombi}} / A_{\text{TWW}})^{\text{EXP}}$$

mit:

$V_{\text{eff, Kombi}}$ = effektives Solarpuffervolumen der Kombianlage

$V_{\text{eff, TWW}}$ = effektives Solarpuffervolumen einer fiktiven Anlage zur Trinkwassererwärmung

A_{Kombi} = Kollektorfläche der Kombianlage

A_{TWW} = Kollektorfläche einer fiktiven Anlage zur Trinkwassererwärmung

EXP = Exponent

Der Exponent EXP sollte um 1,32 liegen. Kleinere Exponenten führen zu kleineren Solarspeichern und zu längeren und häufigeren Stagnationszeiten, weil die Maximaltemperatur im Puffer früher erreicht wird. Größere Exponenten vergrößern den Solarspeicher und verringern die Stagnationszeiten. Der optimale Wert hängt ab von der Relation Energieverbrauch für Warmwasser zu Energieverbrauch für Heizung. Eine Variation des Exponenten im Rahmen von Simulationsrechnungen am Einzelobjekt wird empfohlen.

Bei Kombianlagen die um mehr als den Faktor 6 größer sind als eine Anlage nur zur Trinkwassererwärmung kann es zweckmäßig sein, mit einem Exponenten von bis zu 1,4 zu rechnen.

Literatur zur Speicherauslegung (Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung)

/1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L \(2009\); Kapitel 8.2.4.1](#)

5.3 Eckdaten zur Dimensionierung des Kollektorfeldes

5.3.1 Anlagen zur Trinkwasservorwärmung

Solaranlagen zur Trinkwasservorwärmung sollten so ausgelegt sein, dass Stillstandszeiten des Kollektorfeldes bei hoher Einstrahlung vermieden werden. Dazu sollte zu jeder Zeit die vom Kollektorkreis erzeugbare Wärme gespeichert oder direkt verbraucht werden können.

Grundsätzliche Überlegungen zur Grobdimensionierung:

| | |
|---|---|
| Strahlungsenergie pro m ² Kollektorfläche (m ² _{KF}) (sonniger Sommertag; Ausrichtung: Süd (± 30° Abweichung); Neigung 20° - 50°) | 7 – 8 kWh/m ² _{KF} |
| mittlerer Nutzungsgrad an diesem Tag | 50 % |
| solare Nutzenergie | 3,5 - 4 kWh/(d•m ² _{KF}) |
| erwärmbare Wassermenge auf 60 °C pro m ² _{KF} (Kaltwassertemperatur: 12 – 14 °C) | 63 – 75 l/d |

Folgende Eckwerte zur Auslegung von Anlagen mit Flachkollektoren wurden in den Forschungsprojekten Solarthermie 2000 und Solarthermie2000plus als Kompromiss zwischen einem angemessenen hohen Deckungsanteil und einem wirtschaftlichen Optimum erarbeitet (Details zu diesen Berechnungen s. Literaturhinweise). Die Verwendung der genannten Werte ersetzt keine Planung. Sie sind für den jeweiligen Einzelfall mit Hilfe von Simulationsprogrammen zu überprüfen und geben lediglich eine grobe Orientierung.

| Anwendung | Auslegung Flachkollektor pro Liter Warmwasser bei 60 °C (Auslastung) | Literaturhinweise |
|---|--|---|
| Trinkwasservorwärmung ohne Deckung von Zirkulationsverlusten und Raumheizung | 1 m ² _{KF} pro ca. 70 l | /2/ VDI 6002-1 und /3/ VDI 6002-2 /6/ Bericht 032 9601G Kap. 6.1.1 /1/ Bericht 032 9601L Kap. 8.1.3 |
| Trinkwassererwärmung (Ein- Zweifamilienhaus) ohne Deckung von Zirkulationsverlusten und ohne Deckung Raumheizung | 1 m ² _{KF} pro ca. 30 - 40 l | /2/ VDI 6002-1 |
| Trinkwasservorwärmung mit Teildeckung von Zirkulationsverlusten selbst an strahlungsreichen Tagen; ohne Deckung Raumheizung | 1 m ² _{KF} pro ca. 40 - 45 l | Teildeckung von Zirkulationsverlusten (Kapitel 2.4.3.1) |
| Trinkwasservorwärmung mit Voldeckung von Zirkulationsverlusten an strahlungsreichen Tagen; ohne Deckung Raumheizung | 1 m ² _{KF} pro ca. 25 - 35 l | Voldeckung von Zirkulationsverlusten über Umschaltventil (Kap. 2.4.3.2) oder separaten WT (Kap. 2.4.4 und 2.4.5) |

5.3.2 Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung

Prinzipiell kann man das Kollektorfeld für eine Kombianlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung beliebig groß auslegen. Die Größe des Feldes und des solaren Pufferspeichers wird theoretisch nur begrenzt durch die im Jahr benötigte Energie und die im Jahr auf das Kollektorfeld einstrahlende Solarenergie (multipliziert mit dem Nutzungsgrad des Solarsystems). Eine unter wirtschaftlichen Aspekten sinnvolle untere Grenze für die Dimensionierung des Kollektorfeldes liegt bei einer etwa dreifachen Vergrößerung gegenüber einem System nur zur Trinkwasservorwärmung. Nach oben ist eine Grenze um Faktor 6 angebracht. Damit kann z. B. für ein Niedrigenergiehaus ein Deckungsanteil um 30 % am Gesamtwärmeverbrauch erreicht werden; Details s. Literaturhinweise). Noch größere Dimensionierungen gelten für Konzepte, die auf sehr hohe Deckungsanteile ausgerichtet sind

| Anwendung | Auslegung Flachkollektor pro Liter Warmwasser bei 60 °C (Auslastung) | Literaturhinweise |
|---|---|--|
| Trinkwassererwärmung mit Einbindung von Zirkulation und Heizung | 1 m ² _{KF} pro 12 – 25 l | /1/ Bericht 032 9601L Kap. 7 /1/ Bericht 032 9601L Kap. 8.2.3 |

5.4 Verschaltung von Solarspeichern

5.4.1 Verschaltung bei ungesteuerter Durchströmung

Bei ungesteuerter Durchströmung sind keine Umschaltventile im Lade- und Entladekreis notwendig. Es gibt parallele und serielle Speicherverschaltungen

5.4.1.1 Be- und Entladung parallel

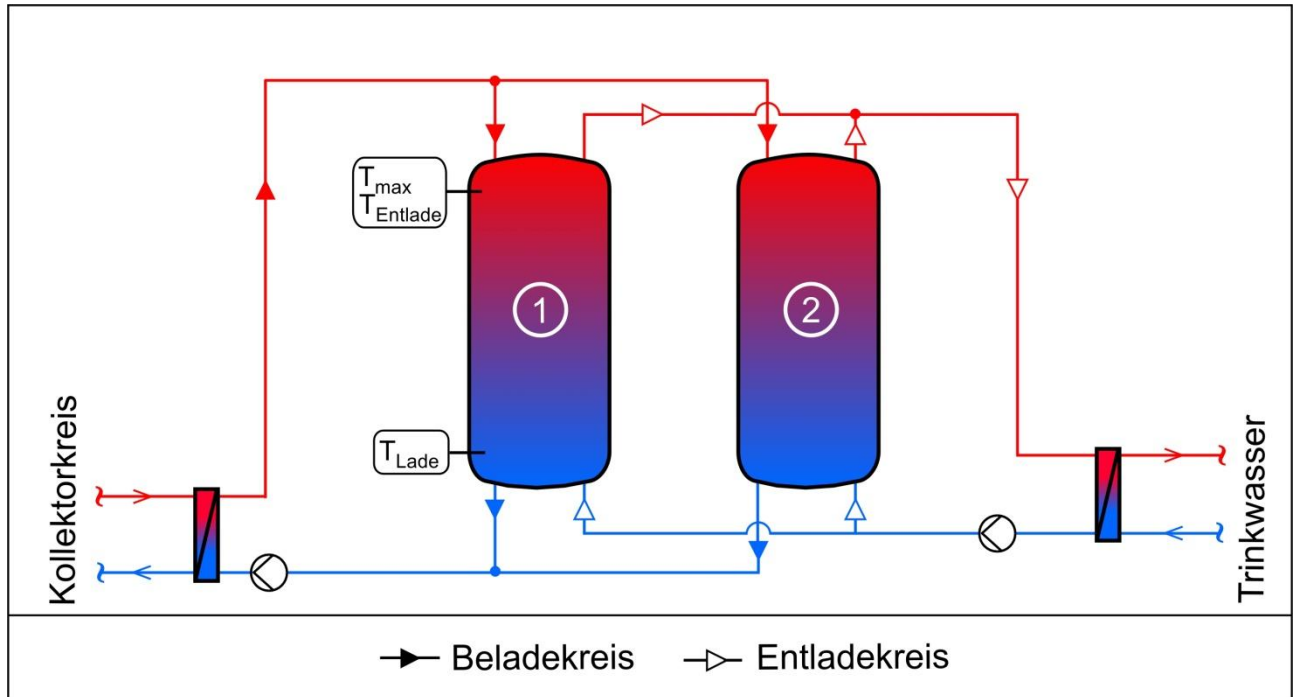


Bild 5.4 - 1: Ungesteuerte Parallelverschaltung der Solarspeicher (die Verrohrung nach Tichelmann ist zur Vereinfachung des Bildes nicht dargestellt)

Vorteile

- Lade- und Entladevolumenstrom teilen sich auf die Anzahl der parallelen Speicher auf; dadurch geringe Durchströmung im Einzelspeicher; Ausbildung und Stabilität der Temperaturschichtung sind (theoretisch) gut.
- Wegen geringer Durchströmung der Einzelspeicher gut geeignet für den Einsatz von Speicherladelanzen.

Nachteile

- Gleichmäßige Durchströmung aller Speicher in der Praxis sehr schwierig, da Volumenaufteilung nur vom Druckabfall in den einzelnen Zu- und Ableitungssträngen abhängt. Eine sorgfältige Tichelmann-Verrohrung ist notwendig sowie Strangregulierventile, Strömungskontrollgeräte und ein hydraulischer Abgleich, der im Rahmen der Wartung regelmäßig kontrolliert werden sollte.
- Wegen der Schwierigkeiten beim Erzielen gleichmäßiger Durchströmung in allen Speichern kritisch bezüglich der Positionierung der Temperaturfühler für die Be- und Entladeregulierung und den Temperaturbegrenzer; alle Schaltsignale können zu früh oder zu spät gegeben werden, wenn der andere Speicher kälter bzw. wärmer ist.
- Von der Parallelschaltung wird aufgrund schlechter Praxiserfahrungen abgeraten.

Berichte über Solaranlagen mit Problemen bezüglich gleichmäßiger Durchströmung parallel durchströmter Speicher

- /7/ Solaranlage in einem Mehrfamilienhaus in Hamburg
(s. Kapitel 2.5 aus Abschlussbericht zum Teilprojekt 0329268B des BMU-Verbundprojekts: Systemuntersuchung großer solarthermischer Kombianlagen)
- /15/ Solaranlage in der Jugendherberge Saarbrücken
- /17/ Solaranlage im Städtischen Klinikum Solingen

5.4.1.2 Be- und Entladung in Reihe

Der warme Vorlauf des Ladekreises strömt in Speicher 2, der kalte Entladekreis in Speicher 1. Durch diese wechselnden Strömungsrichtungen wird das Temperaturniveau zwischen den Speichern hin- und hergeschoben. Sind Lade- und Entladepumpe ausgeschaltet, erfolgt der Aufbau einer Temperaturschichtung durch thermischen Auftrieb lediglich im Einzelspeicher, jedoch wegen der thermischen Trennung der Einzelspeicher nicht über das Gesamtvolumen aller Speicher.

Dies ist für Solaranlagen, die zur Trinkwassererwärmung ausgelegt sind, in der Praxis jedoch unproblematisch, da durch das vollständige Entladen spätestens schon nach einem einzigen strahlungsarmen Tag (Ladekreis überwiegend abgeschaltet) wieder eine geordnete Schichtung über das Gesamtvolumen hergestellt wird. Lediglich bei sehr groß dimensionierten Speichern (Speichervolumen z. B. um Faktor 3 größer als das tägliche Zapfvolumen) oder bei stark schwankendem Tagesverbrauch (tägliches Zapfvolumen oft kleiner als das Speichervolumen), kann die Verschiebung der Temperaturniveaus zwischen den einzelnen Speichern effizienzmindern sein, wenn z. B. Speicher 1 oben wärmer ist als Speicher 2.

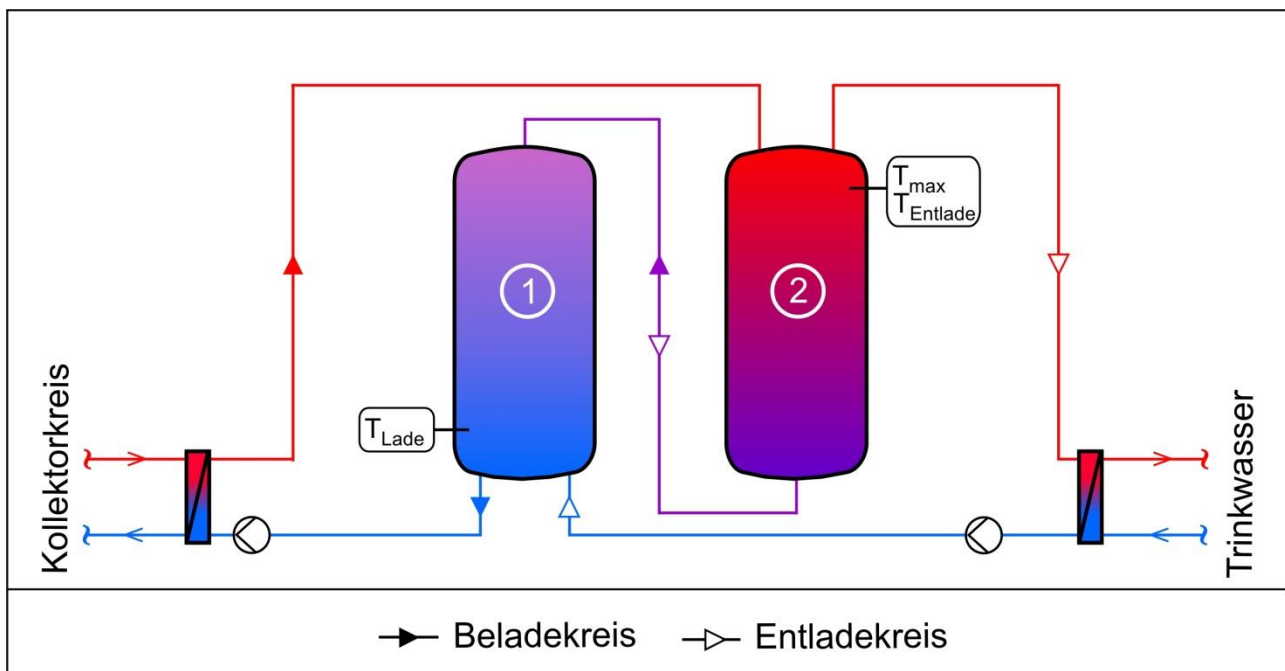


Bild 5.4 - 2: Ungesteuerte Reihenschaltung der Solarspeicher

Vorteile

- Lade- und Entladevolumenstrom für alle Speicher genau gleich; Verrohrung unproblematisch.
- Klar definierter kältester und wärmster Speicher unter den meisten Betriebsbedingungen (wenn Speichervolumen etwa gleich groß wie tägliches Zapfvolumen); eindeutige Positionierung der Temperatursensoren für die Be- und Entladeregulierung.

Nachteile

- Strömung durch die Speicher evtl. zu hoch für den Einsatz von Speicherladelanzen; in Grenzen lösbar durch Bündelung mehrerer Lanzen im Speicher. Im Zweifelsfall empfehlen wir lieber eine Reihenschaltung ohne Lanzen als eine Parallelschaltung mit Lanzen.
- Automatischer Aufbau einer Schichtung zwischen den Speichern nicht möglich, sondern nur in den Einzelvolumina.

5.4.2 Verschaltung bei gesteuerter Durchströmung

Um klare Temperaturschichtungen zwischen den Speichern sowie eine möglichst niedrige Temperatur für das Kollektorfeld und eine möglichst hohe Temperatur für die Energieabgabe an den Verbraucher zu schaffen, werden Speicher auch mit gesteuerten Be- und Entladung installiert.

Solche Konzepte vermeiden zwar teilweise die Schwachstellen der ungesteuerten Durchströmung, sie erfordern jedoch einen höheren Regelaufwand, der die Systeme verteuert, die Einstellung aufwändiger und anfälliger gegen Störungen macht. Die Erfahrungen aus Solarthermie-2000 zeigen, dass die Effizienzvorteile solcher Zusatzsteuerungen immer gegen eine höhere Störanfälligkeit (z. B. Fehlströmungen durch unzureichend schließende Ventile) abgewogen werden sollten. Wichtig sind derartige Steuerungen immer dann, wenn man bestrebt ist, die Solarenergie dem Verbraucher auf höchstmöglichem Temperaturniveau anzubieten, oder wenn bestimmte Systemkonfigurationen vorliegen (s. Hinweis unten).

Temperaturorientierte Be- und Entladung

Die Speicher sind be- und entladeseitig in Reihe geschaltet, werden aber so be- und entladen, dass die Verschiebung der Temperaturniveaus zwischen den Speichern minimiert wird. Dazu wird Speicher 2 erst dann beladen, wenn die Austrittstemperatur T_1 am Kollektorkreiswärmetauscher wärmer ist als in Speicher 2 oben. Die Temperaturfühler T_1 und T_2 zur Ansteuerung der Umschaltventile sollten unmittelbar am Ausgang aus den Wärmetauschern montiert sein.

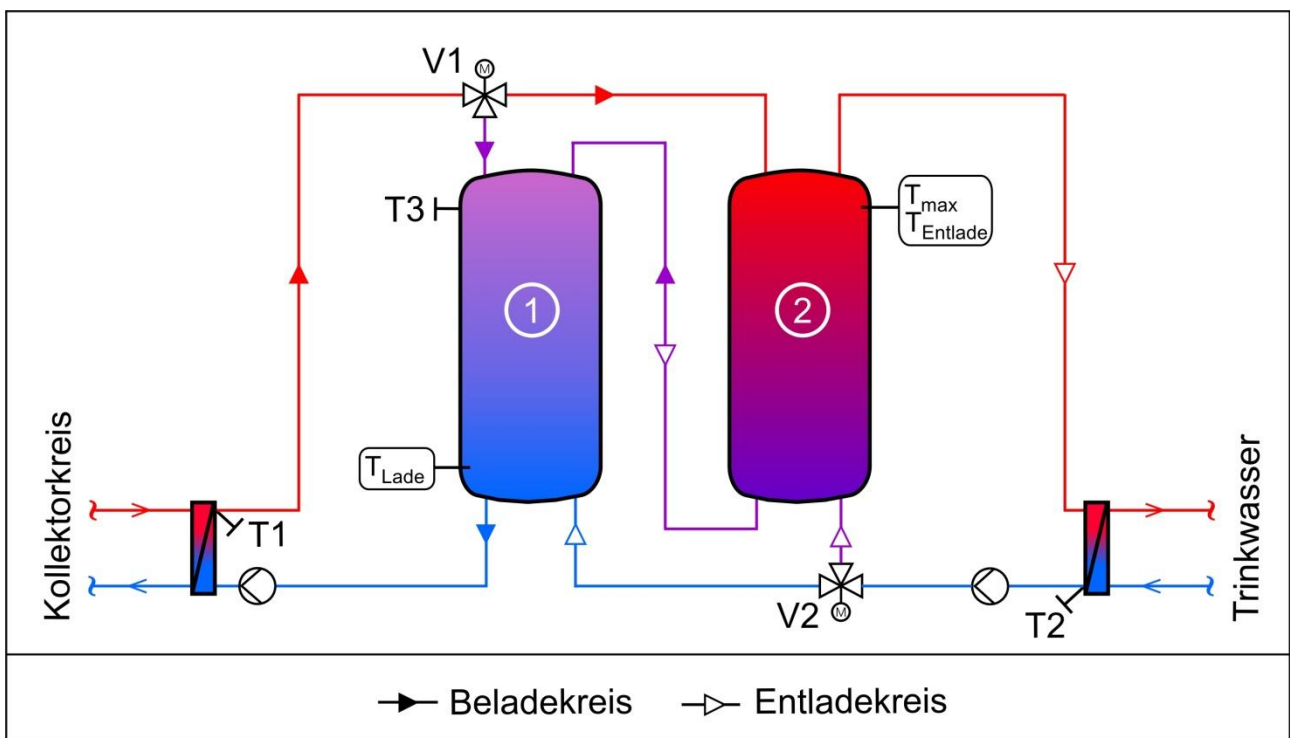


Bild 5.4 - 3: Gesteuerte Reihenschaltung der Solarspeicher

Regelstrategie (alle Einstellwerte beispielhaft)

V1 Stellung Beladen Speicher 1
wenn $T1 < T_{\text{Entlade}}$

V2 Stellung Entladen Speicher 2
wenn $T2 > T3$

V1 Stellung Beladen Speicher 1 und 2
wenn $T1 > T_{\text{Entlade}} + 2 \text{ K}$

V2 Stellung Entladen Speicher 1 und 2
wenn $T2 < T3 - 2 \text{ K}$

Wird Speicher 2 von einem Kessel auf Bereitschaftstemperatur gehalten (z. B. auf 65 °C bei Anlagen mit Heizungsunterstützung), ist diese Beladestrategie zwingend notwendig. Andernfalls dürfte die Speicherbeladung erst bei z. B. $T1 > 65 \text{ °C}$ freigegeben werden, was für den Solarertrag sehr ungünstig wäre, oder es würde bei Temperaturen von $T1 < 65 \text{ °C}$ konventionell erzeugte Wärme von Speicher 2 nach Speicher 1 verschleppt.

Für die Entladestrategie ist diese Schaltung zumeist dann notwendig, wenn die Temperatur T2 am Entladewärmetauscher schwankt (z. B. bei Systemen mit Vorwärm Speicher (s. Kap. 2.1) oder wenn der Zirkulationsrücklauf entgegen unseren Empfehlungen an die Kaltwasserleitung angeschlossen wird). Die Umschaltung über Ventil V2 sorgt dafür, dass über den Entladekreis keine Energie von Speicher 2 nach Speicher 1 verschoben wird, bzw. dass in Speicher 1 kein Wasser einströmt, das wärmer ist als die obere Temperatur in Speicher 1. Liegt an T2 dagegen eine weitestgehend konstante Temperatur an (z. B. bei gut funktionierenden Entladeregelungen in Systemen mit Durchlauf-Wärmetauschern; s. Kap. 2.3), kann auf den Fühler T2 und auf das Ventil V2 mit seinem Anschluss an Speicher 2 verzichtet werden.

5.5 Vergleich der Kollektorkennlinie mit der Leistungsfähigkeit des Kollektorkreises

Die Kennlinie eines Kollektors gibt den Verlauf des Kollektorwirkungsgrades (Energieabgabe aus dem Kollektor bezogen auf die eingestrahlte Energie) wieder. In normierter Darstellung wird der Wirkungsgrad bezogen auf die Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Kollektortemperatur (Mittelwert aus Ein- und Austrittstemperatur) und der Außentemperatur dividiert durch die Strahlungsleistung. Die Kennlinie und die dazugehörigen Kollektorkennwerte werden unter genormten Bedingungen in Prüfstandversuchen bei zertifizierten Instituten ermittelt. Die Kenntnis der Kollektorkennwerte ist notwendig, um eine thermische Solaranlage mit einem Simulationsprogramm berechnen zu können. Durch Vergleich von zeitlich hoch aufgelösten Messwerten mit der theoretischen Kennlinie kann man die tatsächliche Leistungsfähigkeit des Kollektorfeldes bzw. des Kollektorkreises beurteilen - je nachdem welcher Ertrag gemessen wird (meistens der Kollektorkreis-ertrag auf der Wasserseite des Kollektorkreiswärmetauschers).

Kollektorkennlinie

$$\eta_{\text{theor}} = \eta_0 - (c_1 \cdot T) - (c_2 \cdot EI \cdot T^2), \text{ wobei}$$

$$T = (\vartheta_m - \vartheta_a) / EI$$

$$\vartheta_m = (\vartheta_{\text{in}} + \vartheta_{\text{out}}) / 2$$

| | | |
|--------------------------|--|--|
| η_0 | [%] | optischer Wirkungsgrad oder Konversionsfaktor |
| c_1 | [W/(m ² · K)] | linearer Wärmedurchgangskoeffizient |
| c_2 | [W/(m ² · K ²)] | quadratischer Wärmedurchgangskoeffizient |
| EI | [W/m ²] | Einstrahlung in die Kollektorfläche |
| ϑ_m | [°C] | mittlere Temperatur des Wärmeträgers |
| ϑ_a | [°C] | Außentemperatur |
| ϑ_{in} | [°C] | Temperatur des Wärmeträgers bei Eintritt in den Kollektor |
| ϑ_{out} | [°C] | Temperatur des Wärmeträgers bei Austritt aus dem Kollektor |

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit des Kollektorkreises dürfen nur Messdaten aus Zeiträumen herangezogen werden, in denen ein möglichst quasistationärer Betriebszustand vorlag (Dauerlauf der Pumpen auf beiden Seiten des Kollektorkreiswärmetauschers (WT), keine schwankende Einstrahlung) und bei denen ähnliche Betriebsbedingungen wie im Kollektortest vorlagen - z. B. nur Strahlungswerte bei möglichst senkrechter Einstrahlung (d. h. nur Werte um eine bestimmte Uhrzeit herum) verwenden. Die Prüfung erfordert, dass die Strahlungsenergie, die Übertragungsleistung, sowie die Ein- und Austrittstemperaturen am WT gemessen werden und die Daten entsprechend gefiltert werden.

Das Kontrollverfahren ist ausführlich in /1/ [Kapitel 10.2 und 10.3](#) beschrieben, und wurde an zahlreichen Solaranlagen (siehe Literaturhinweise) durchgeführt.

Beispiel

Das Diagramm zeigt die im Labor ermittelte Kollektorkennlinie eines Flachkollektors für eine Einstrahlung bei 860 W/m² (mittl. Strahlung im Test /10/) sowie Messpunkte der Energieabgabe eines Kollektorkreises von einem 286 m² großen Kollektorfeld. Die Messpunkte sind 5-Minuten-Mittelwerte, die aus Messwerten im 2-Sekunden-Scan ermittelt wurden.

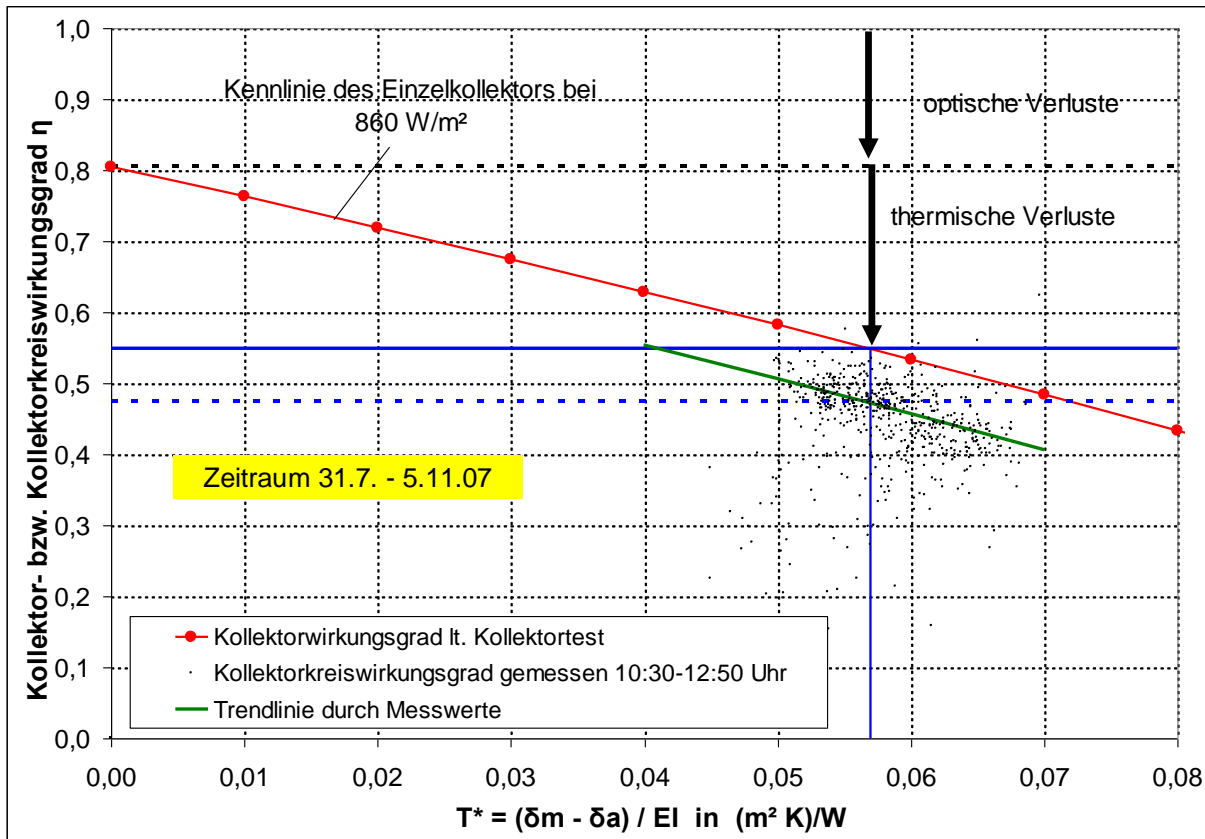


Bild 5.5 - 1: Wirkungsgrad eines Kollektors unter Laborbedingungen und 5-Minuten-Mittelwerte eines Kollektorkreiswirkungsgrades aus /36/

Die senkrechte blaue Hilfslinie durch die Mitte des Punkthaufens schneidet die Kollektorkennlinie bei $\eta = 0,55$ und einer normierten Temperaturdifferenz von ca. $0,057 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$, was bei einer Einstrahlung von 860 W/m^2 und einer Außentemperatur von 20 bis $30 \text{ }^\circ\text{C}$ einer mittleren Kollektorkreistemperatur von etwa 70 bis $80 \text{ }^\circ\text{C}$ entspricht. Ein einzelner Kollektor würde bei diesen Bedingungen mit einem Wirkungsgrad von ca. 55% arbeiten. Er hätte in diesem Betriebspunkt $18,5 \%$ -Punkte optische Verluste ($1 - 0,815$) und $26,5 \%$ -Punkte thermische Verluste. Für die Mitte des Punkthaufens der gemessenen Kollektorkreiswirkungsgrade ergibt sich dagegen ein Wirkungsgrad von ca. 48% . Der Kollektorkreis hat also einen etwa um 7% -Punkte niedrigeren Wirkungsgrad als der Einzelkollektor unter Laborbedingungen. Diese Abweichung ist begründet durch:

- Thermische Verluste der Rohrleitungen im Kollektorkreis und der Kollektorverrohrung.
- Serienstreuung der Kollektorgüte und Leistungsunterschiede zwischen dem getesteten Einzelkollektor und den Kollektorelementen.
- Verschmutzung der Kollektorverglasung.
- Evtl. Durchströmungsabweichungen zwischen den Kollektorreihen.
- Erhöhte Wärmeverluste durch Wind.
- Keine vollständig senkrechte Einstrahlung auf die Kollektorfläche.

Auch die unterschiedliche Geometrie und Größe der installierten Kollektoren (je $13,6 \text{ m}^2$) gegenüber der des getesteten Kollektors ($8,9 \text{ m}^2$) kann einen Einfluss (positiv oder negativ) haben. Die Streuung der Messpunkte ist durch Kapazitätseffekte, Strahlungsschwankungen (Wolken) sowie durch den Tagesverlauf der Strahlung bedingt. Berücksichtigt man alle Aspekte, so ist die Abweichung von ca. 7% -Punkten zwischen den Messpunkten und dem theoretischen Betriebspunkt tolerierbar.

Literaturhinweise

- /1/ [Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L \(2009\); Kapitel 10.2 und 10.3](#)
mit detaillierter Beschreibung des Verfahrens zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Kollektorkreisen anhand von Messdaten
- /10/ [Prüfbericht Kollektortest 96COL53 Solar Roof; Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart \(ITW\)](#)
Beispielhaft gezeigter Prüfbericht zum Vergleich der im Labor ermittelten Kennlinie mit der gemessenen Kollektorkreis-Punkteschar

Abschlussberichte zu Solaranlagen aus Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus, in denen die Leistungsfähigkeit des Kollektorkreises untersucht wurde:

- /21/ [Solaranlage im Altenheim "Hans-Sieber-Haus" München](#)
- /23/ [Solaranlage im Seniorenwohnheim Nexö Leipzig](#)
- /26/ [Solaranlage im Altenpflegeheim "Am Stadtwald" Stralsund](#)
- /30/ [Solaranlage im Wohngebiet "Burgholzhof", Stuttgart](#)
- /31/ [Solaranlage im Wohngebiet "Cohnsches Viertel", Hennigsdorf](#)
- /33/ [Solaranlage im Wohngebiet "Badener Hof", Heilbronn](#)
- /35/ [Solaranlage im Wohngebiet "ehemaliger Schlachthof", Speyer](#)
- /36/ [Solaranlage im Wohngebiet "ehemalige Normand Kaserne", Speyer](#)
- /36/ [Solaranlage im Wohngebiet "Magdeburger" Straße, Hannover](#)
- /39/ [Solaranlage im Wohngebiet "Gorch-Fock-Weg", Norderney](#)

5.6 Dimensionierung und Überprüfung von Plattenwärmetauschern

Wärmetauscher (WT) müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Beständigkeit gegenüber den benutzten Wärmeträgermedien
- Materialverträglichkeit mit den anderen Materialien in den angeschlossenen Kreisläufen
- Temperaturbeständigkeit
- Gute Wärmeübertragungseigenschaften
- Geringe Temperaturdifferenz zwischen den beiden angeschlossenen Kreisläufen
- Geringer Druckverlust

5.6.1 Berechnung von Wärmetauschern

Die Übertragungsleistung \dot{Q} über die Wärmetauscherfläche A_{TF} wird wie folgt berechnet:

$$\dot{Q} = k \cdot A_{TF} \cdot \Delta\vartheta$$

daraus leitet sich die mittlere Übertragungsleistung (sog. kA -Wert) des Wärmetauschers ab zu:

$$kA_{TF} = \dot{Q} / \Delta\vartheta \quad [\text{W/K}]$$

Wegen der geringen thermischen Verluste des WT wird gesetzt:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{Ein}} = \dot{Q}_{\text{Aus}}$$

mit:

| | | |
|-------------------|---|--|
| \dot{Q} | [W] | übertragene Leistung am Wärmetauscher |
| k | $[\text{W}/(\text{m}^2_{TF} \cdot \text{K})]$ | Wärmedurchgangskoeffizient durch die Tauscherwand |
| A_{TF} | $[\text{m}^2_{TF}]$ | Tauscherfläche (Fläche der Tauscherwand bzw. -platten) |
| $\Delta\vartheta$ | [K] | mittlere logarithmische oder arithmetische Temperaturdifferenz am WT |

Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_{\text{log}}$, gültig für: $\Delta\vartheta_{\text{gr}} \neq \Delta\vartheta_{\text{kl}}$

$$\Delta\vartheta_{\text{log}} = \frac{\Delta\vartheta_{\text{gr}} - \Delta\vartheta_{\text{kl}}}{\ln(\Delta\vartheta_{\text{gr}} / \Delta\vartheta_{\text{kl}})} = \frac{(\vartheta_{1E} - \vartheta_{2A}) - (\vartheta_{1A} - \vartheta_{2E})}{\ln((\vartheta_{1E} - \vartheta_{2A}) / (\vartheta_{1A} - \vartheta_{2E}))}$$

Mittlere arithmetische Temperaturdifferenz, gültig für: $1 \leq (\Delta\vartheta_{\text{gr}} / \Delta\vartheta_{\text{kl}}) \leq 1,2$ (bei nahezu gleichen Temperaturdifferenzen am Ein- und Austritt)

$$\Delta\vartheta_{\text{arith}} = \frac{\Delta\vartheta_{\text{gr}} + \Delta\vartheta_{\text{kl}}}{2} = \frac{(\vartheta_{1E} - \vartheta_{2A})}{2} + \frac{(\vartheta_{1A} - \vartheta_{2E})}{2} = \frac{(\vartheta_{1E} + \vartheta_{1A})}{2} - \frac{(\vartheta_{2E} + \vartheta_{2A})}{2}$$

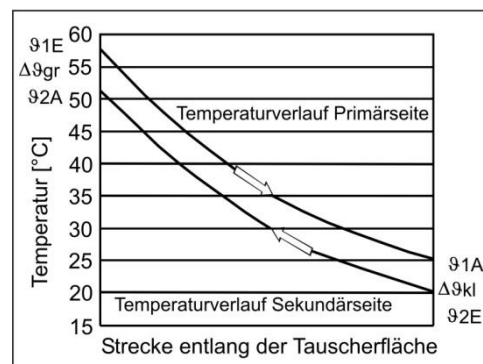
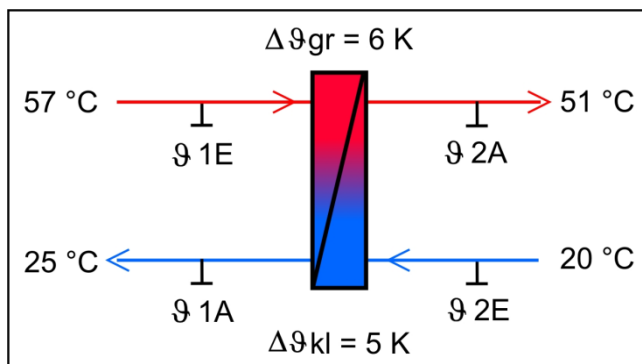


Bild 5.6 - 1: Beispielhafte Temperaturverhältnisse an einem Wärmetauscher im Gegenstrom

5.6.2 Auslegung von Wärmetauschern

Zur Auslegung von Wärmetauschern haben sich als guter Kompromiss zwischen Kosten, Größe, Leistung und Druckverlust folgende Auslegungswerte bewährt:

Druckverlust: 100 mbar maximal
 Mittlere log. Temperaturdifferenz: 5 K maximal

Nur für den WT im Kollektorkreis gilt zusätzlich, dass die auf die Kollektorfläche (KF) bezogene mittlere Übertragungsleistung (spez. kA_{TF} -Wert) mindestens $100 \text{ W}/(\text{m}^2_{KF} \cdot \text{K})$ betragen soll

Definition spez. kA_{TF} -Wert: $= \dot{Q} / (A_{KF} \cdot \Delta\vartheta)$

Bei gleicher Tauscherfläche werden WT mit unterschiedlicher innerer Schaltung angeboten, so dass z. B. der Druckverlust bei gleicher Flächengröße und gleichem Durchfluss durch die Auswahl bestimmter Wärmetauschertypen (z. B. ein- oder zweiwegig) variiert werden kann. Wärmetauscher mit hohem Druckverlust bei zwei und mehrwegigen Verschaltungen erreichen meist wegen der längeren Strömungswege einen besseren inneren Wärmeübergang als einwegige WT. Die geforderte mittlere log. Temperaturdifferenz von max. 5 K ist daher oft erst mit diesen Tauschern zu erreichen.

Detaillierte Hinweise zu den Grundlagen der Wärmetauscherauslegung und beispielhafte Auslegungsberechnungen für den WT im Kollektorkreis, den WT zwischen Pufferspeicher und einem Vorwärmespeicher und den WT zur Durchlauferwärmung finden sich in /6/. Hier in Kurzform charakteristische Auslegungswerte:

Wärmetauscher zwischen Kollektorkreis und Solarpufferspeicher

| | Primärseite | Sekundärseite |
|--|--|------------------------------------|
| Auslegungs-Durchfluss | 12 l/(h·m ²) Glykol 40 % / Wasser: 60 % | 12 l/(h·m ²) Wasser |
| spez. Leistung Kollektorfeld | ca. 500 W/m ² | |
| mittleres log. $\Delta\vartheta$ | Ziel: ca. 5 K | |
| mittlere spez. Leistung WT (spez. kA_{TF} -Wert) | ca. 100 W/(m ² _{KF} ·K) | |
| Temperatur Eintritt | 75 °C | Vorgabe: 30 °C |
| Temperatur Austritt | 33 °C | 68 °C |
| Druckverlust | Vorgabe: z.B. max. 100 mbar | |

Tabelle 5.6 - 1: *Beispielhafte Auslegungswerte eines Plattenwärmetauschers zwischen Kollektorkreis und Solarpufferspeicher*

Wärmetauscher zwischen Solarpufferspeicher und Vorwärmespeicher

| | Primärseite (Solarpuffer) | Sekundärseite (Vorwärmespeicher) |
|----------------------------------|--|-------------------------------------|
| Auslegungsdurchfluss | <u>verbrauchsabhängig (vgl. Erläuterung in /6/)</u> ca. 20 % des Tagesverbrauchs in m ³ /h Beispiel: Tagesverbrauch: 7,5 m ³ /d; Durchfluss: 1,5 m ³ /h | |
| mittleres log. $\Delta\vartheta$ | Ziel: ca. 5 K | |
| Temperatur Eintritt | Vorgabe: 50 °C | Vorgabe: 15 °C |
| Temperatur Austritt | Vorgabe: ca. 20 °C | Ergebnis WT-Programm ca. 45 °C |
| Druckverlust | Vorgabe: z.B. max. 100 mbar | |
| Übertragungsleistung | Ziel: ca. 52 kW | |
| kA _{TF} -Wert | Ziel: 10,4 kW/K | |

Tabelle 5.6 - 2: Beispielhafte Auslegungswerte eines Plattenwärmetauschers zwischen Solarpufferspeicher und Vorwärmespeicher

Wärmetauscher zwischen Solarspeicher und Kaltwasserleitung (Durchlauf-WT)

| | Primärseite (Solarpuffer) | Sekundärseite (Trinkwasser) |
|---|--|--------------------------------|
| Auslegungsdurchfluss | <u>verbrauchsabhängig (vgl. Text in /6/)</u> ca. 25 % des Tagesverbrauchs in m ³ /h Beispiel: Tagesverbrauch: 7,5 m ³ /d; Durchfluss: 2 m ³ /h (beide WT-Seiten gleich; Primärseite hat geregelte Pumpe) | |
| mittleres log. $\Delta\vartheta$ | Ziel: ca. 6 K | |
| Temperatur Eintritt | Vorgabe: 50 °C | Vorgabe: 15 °C |
| Temperatur Austritt | Vorgabe: 20,8 °C | Ergebn. WT-Progr.: ca. 44 °C |
| Druckverlust bei Auslegungsdurchsatz | Vorgabe: max. ca. 20 mbar <u>(vgl. Text in /6/)</u> | |
| Übertragungsleistung | Ziel: 68 kW | |
| kA _{TF} -Wert des WT | Ziel: 11,3 kW/K | |
| Durchsatz bei extremer Zapfspitze | <u>verbrauchsabhängig (vgl. Text in /6/)</u> ca. 67 % des Tagesverbrauchs in m ³ /h Beispiel: Tagesverbrauch: 7,5 m ³ /d; Durchfluss: 5 m ³ /h hierfür <u>unbedingt</u> Druckabfall berechnen! | |
| max. erlaubter Druckverlust bei extremer Spitze | beispielhaft: 100 mbar (vgl. Text in /6/) | |

Tabelle 5.6 - 3: Beispielhafte Auslegungswerte eines Plattenwärmetauschers zur Erwärmung des Trinkwassers im Durchlauf

5.6.3 Kontrolle der Effizienz von Wärmetauschern

Die Überprüfung der Leistungsfähigkeit eines Wärmetauschers erfolgt anhand zeitlich hoch aufgelöster Messwerte. Dazu dürfen nur solche Zeiträume herangezogen werden, in denen ein möglichst quasistationärer Betriebszustand vorlag (Dauerlauf der Pumpen auf beiden Seiten des WT, keine sprunghafte Energiezufuhr oder -abfuhr, z. B. aufgrund schwankender Einstrahlung beim WT im Kollektorkreis). Die Prüfung erfordert, dass alle Ein- und Austrittstemperaturen am WT gemessen werden, sowie eine Leistung (z. B. die Austrittsleistung).

Das Kontrollverfahren ist ausführlich in /1/ Kapitel 10.2 und 10.4 beschrieben, und wurde an zahlreichen Solaranlagen (siehe Literaturhinweise) durchgeführt.

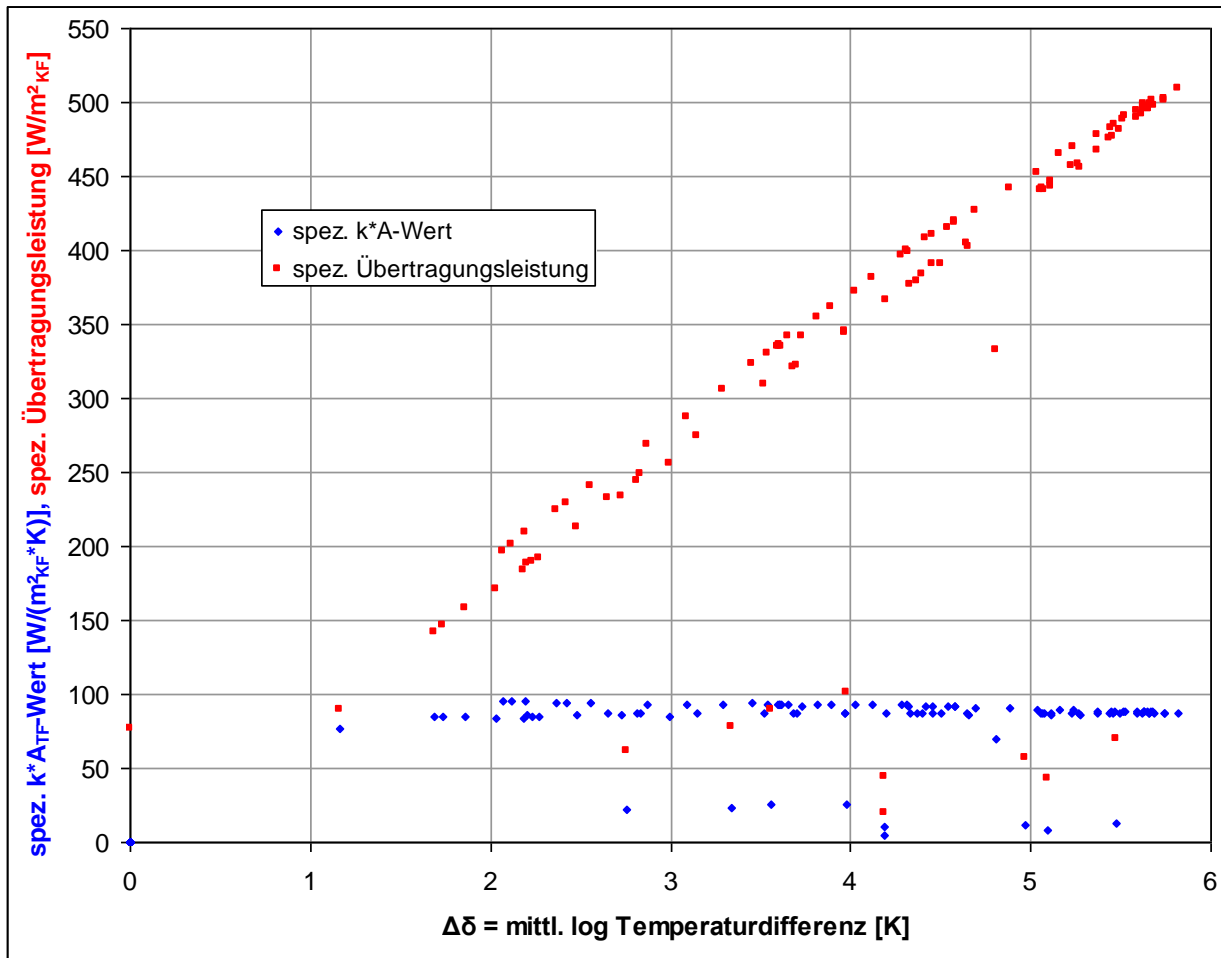


Bild 5.6 - 2: 5-Minuten-Mittelwerte des kA_{TF} -Wertes und der spez. Übertragungsleistung eines Plattenwärmetauschers aus /39/

Bild 5.6 - 2 zeigt 5-Minuten-Mittelwerte des kA_{TF} -Wertes eines Kollektorkreiswärmetauschers sowie die Übertragungsleistung pro m^2 Kollektorfläche, aufgetragen über die mittl. log. Temperaturdifferenz. Die 5-Minuten-Mittelwerte wurden aus Messwerten im 2-Sekunden-Scan ermittelt, an einem wolkenlosen Tag mit guter Einstrahlung. Jeder Punkt entspricht einem Mittelwert.

Die maximale Übertragungsleistung des WT liegt an diesem Tag bei 500 W/m^2_{KF} . Bei dieser Leistung beträgt die mittl. log. Temperaturdifferenz etwa $5,5 \text{ K}$, also etwas höher (geringfügig schlechter) als in den obigen Empfehlungen angegeben. Der kA_{TF} -Wert liegt durchgehend zwischen 85 und $95 \text{ W/(m}^2_{KF} \cdot \text{K)}$, was zwar niedriger (schlechter) ist als der empfohlene Wert, angesichts der fast erfüllten Temperaturdifferenz von 5 K jedoch noch ausreicht.

5.6.4 Überprüfung des Anschlusses von Wärmetauschern

Die meisten Wärmetauscher sollen im Gegenstrom installiert werden (s. o.). Durch eine einfache Überprüfung der Ein- und Austrittstemperaturen kann festgestellt werden, ob der Wärmetauscher korrekt angeschlossen ist, bzw. es können Rückschlüsse abgeleitet werden, die auf Verschmutzung oder grobe Auslegungsfehler hindeuten.

Selbst bei einem nur halbwegs korrekt funktionierenden (keine Verschmutzung) Gegenstromwärmetauscher ist die Austrittstemperatur der Primärseite kleiner als die Austrittstemperatur der Sekundärseite ($\vartheta_{1A} < \vartheta_{2A}$).

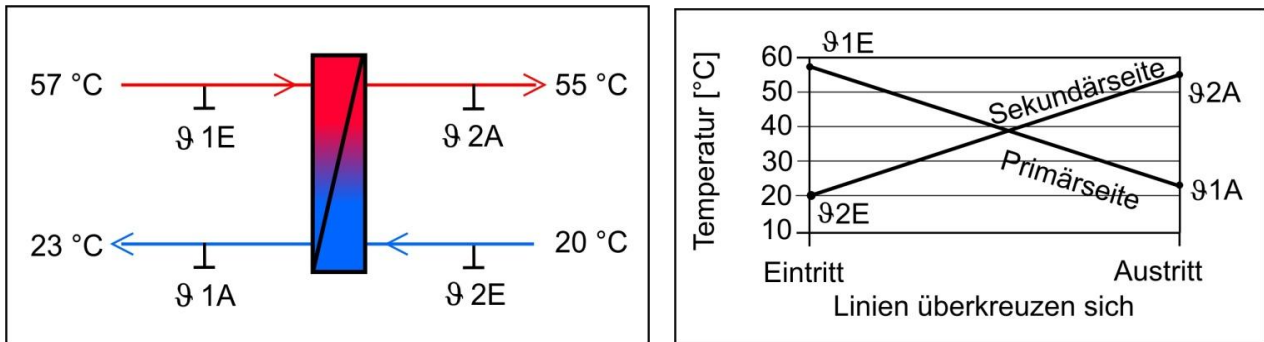


Bild 5.6 - 3: Temperaturbeispiel für einen korrekt ausgelegten Gegenstrom-Wärmetauscher mit guter Übertragungsleistung

Ist die Austrittstemperatur der Primärseite größer als die der Sekundärseite ($\vartheta_{1A} > \vartheta_{2A}$) können folgende Ursachen vorliegen:

- Anschluss im Gleichstrom
- zwar Anschluss im Gegenstrom, jedoch äußerst mangelhafte Wärmeübertragung z. B. aufgrund von Verschmutzung oder extrem kleiner Auslegung

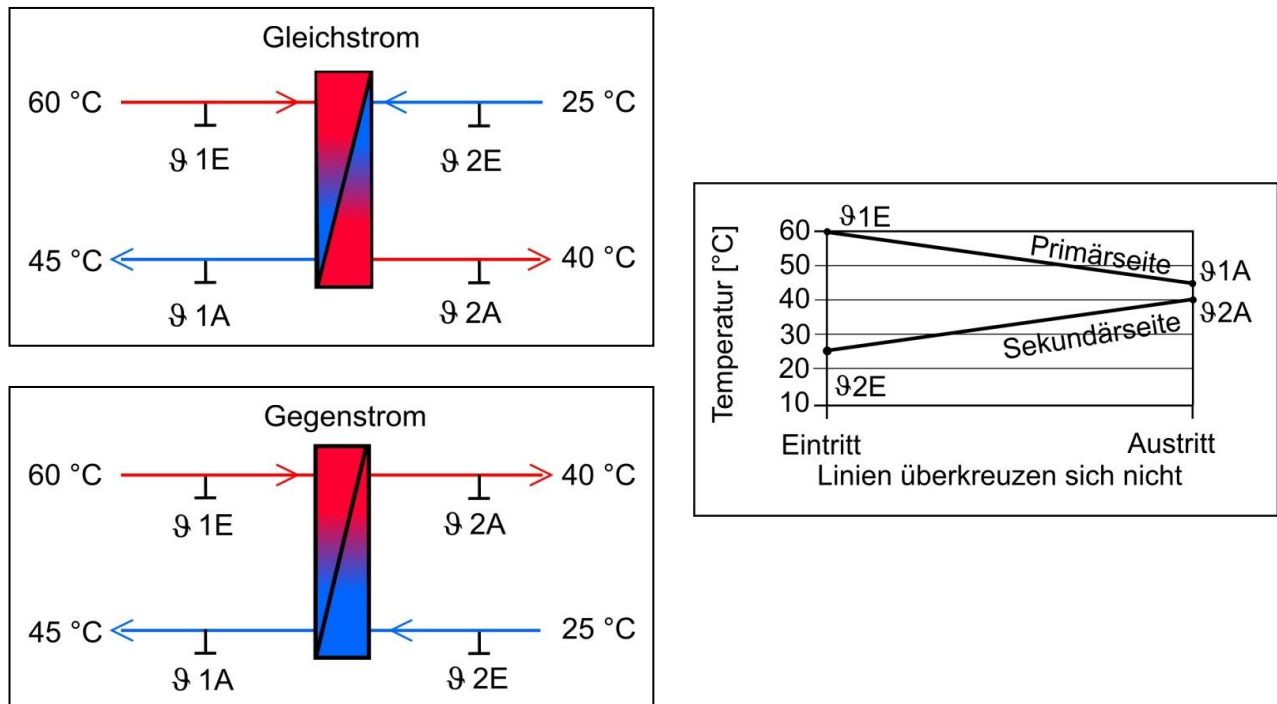


Bild 5.6 - 4: Temperaturbeispiel für einen Anschluss im Gleichstrom (Bild oben links) oder einen Gegenstrom-Wärmetauscher mit sehr schlechter Übertragungsleistung (Bild unten links)

Literaturhinweise

/1/ Abschlussbericht zum Projekt 032 9601L (2009); [Kapitel 10.2](#) und [Kapitel 10.4](#)
mit detaillierter Beschreibung des Verfahrens zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit von
Wärmetauschern anhand von Messdaten

/6/ Abschlussbericht zum Projekt 032 9601G /3 (2001) [Kapitel 2.3](#) und [Kapitel 6.3](#)
mit Grundlagen zum WT und Hinweisen zur Dimensionierung

Abschlussberichte zu Solaranlagen aus Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus, in denen
die Effizienz von Wärmetauschern untersucht wurde:

/18/ [Solaranlage im Städtischen Klinikum Solingen](#)

/21/ [Solaranlage im Altenheim Hans-Sieber-Haus München](#)

/26/ [Solaranlage im Altenpflegeheim Am Stadtwald Stralsund](#)

/31/ [Solaranlage im Wohngebiet "Cohnsches Viertel", Hennigsdorf](#)

/33/ [Solaranlage im Wohngebiet "Badener Hof", Heilbronn](#)

/36/ [Solaranlage im Wohngebiet Magdeburger Straße, Hannover](#)

/39/ [Solaranlage im Wohngebiet "Gorch-Fock-Weg", Norderney](#)

6 Literatur

- /1/ Peuser, Felix A. et al.:
Solarthermie-2000 – Teilprogramm 2 und Solarthermie2000plus – Wissenschaftlich-technische Programmbegleitung; Abschlussbericht zum Projekt 0329601L des BMU (2009)
- /2/ Richtlinie VDI 6002-1
Solare Trinkwassererwärmung – Allgemeine Grundlagen, Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau; Beuth Verlag GmbH, Berlin (2004)
- /3/ Richtlinie VDI 6002-2
Solare Trinkwassererwärmung – Anwendung in Studentenwohnheimen, Seniorenheimen, Krankenhäusern, Hallenbädern und Campingplätzen; Beuth Verlag GmbH, Berlin (2009)
- /4/ Richtlinie VDI 2067-12
Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung; Beuth Verlag GmbH, Berlin (2000)
- /5/ Peuser, Felix A.; Remmers, Karl-Heinz; Schnauss, Martin:
Langzeiterfahrung Solarthermie - Wegweiser für das erfolgreiche Planen und Bauen von Solaranlagen; Verlag: Solarpraxis (2001); ISBN 3-934595-01-4
- /6/ BINE Informationsdienst; Solare Trinkwassererwärmung mit Großanlagen; TÜV Verlag ISBN 3-8249-0541-8 (vergriffen); das Buch ist im Wesentlichen identisch mit:
Peuser, Felix A. et al.:
Solarthermie-2000 – Teilprogramm 2 – Wissenschaftlich-technische Programmbegleitung; Abschlussbericht zum Projekt 0329601G des BMWi (2001)
- /7/ Croy, Reiner; Wirth, Hans Peter:
Analyse und Evaluierung großer Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung; Abschlussbericht zum Teilprojekt 0329268B des BMU-Verbundprojekts: Systemuntersuchung großer solarthermischer Kombianlagen;
Berichtsteil der ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH, Hilden; (2007)
- /8/ Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW):
Technische Regel, Arbeitsblatt W 551 (04/2004);
Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen;
Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums;
Planung Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen;
Vertrieb: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- /9/ Peuser, F. A.; Croy, R.; Wirth, H. P.:
Entladeregulierung mit Anpassung des Volumenstroms der Entladepumpe an den Zapfverbrauch; Tagungsband zum 13. Symposium "Thermische Solarenergie" vom 14.-16.5.2003 im Kloster Banz, Staffelstein
Herausgeber: OTTI-ENERGIE-KOLLEG, Regensburg
- /10/ Prüfbericht Kollektortest 96COL53 Solar Roof; Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart (ITW)
- /11/ Integration von Heizkesseln in Wärmeverbundsysteme mit großen Solaranlagen; BMU-Projekt des Instituts für Energieoptimierte Systeme (EOS) an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Laufzeit: 30.6.2009 bis 28.2.2012; Förderkennzeichen 0325958A
Unterauftragnehmer: ISFH; ZfS
Forschungsjahrbuch Erneuerbare Energien 2009, Seite 203
- /12/ R. Croy, H. P. Wirth
Erfahrungen mit dem Systemaufbau großer Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung; 19. Symposiums "Thermische Solarenergie" (2009)

Berichte zu Solaranlagen aus Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus

Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung

- /13/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Wohngebäude Baumgartner-/Ganghoferstraße in München
- /14/ Langzeitverhalten der Solaranlage im Wohngebäude Baumgartner-/Ganghoferstraße in München
- /15/ Abschlussbericht zur Solaranlage in der Jugendherberge Saarbrücken
- /16/ Langzeitverhalten der Solaranlage in der Jugendherberge Saarbrücken
- /17/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Städtischen Klinikum Solingen
- /18/ Langzeitverhalten der Solaranlage im Städtischen Klinikum Solingen
- /19/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Krankenhaus Burglengenfeld
- /20/ Langzeitverhalten der Solaranlage im Krankenhaus Burglengenfeld
- /21/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Altenheim "Hans-Sieber-Haus", in München
- /22/ Langzeitverhalten der Solaranlage im Altenheim "Hans-Sieber-Haus", in München
- /23/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Seniorenheim M. A. Nexö Leipzig
- /24/ Langzeitverhalten der Solaranlage im Seniorenheim M. A. Nexö Leipzig
- /25/ Abschlussbericht zur Solaranlage in den Wohnhochhäusern Frankfurt Windthorststraße
- /26/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Altenpflegeheim „Am Stadtwald“ Stralsund
- /27/ Langzeitverhalten der Solaranlage im Altenpflegeheim „Am Stadtwald“ Stralsund
- /28/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Hegau Klinikum Singen; FH Offenburg
- /29/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Studentendorf Freiburg Vauban; FH Offenburg

Solare Nahwärme

- /30/ Abschlussbericht zur Solaranlage in der Wohnsiedlung Burgholzof Stuttgart
- /31/ Abschlussbericht zur Solaranlage Solar unterstütztes Nahwärmesystem Cohnsches Viertel, Hennigsdorf
- /32/ Langzeitverhalten der Solaranlage Solar unterstütztes Nahwärmesystem Cohnsches Viertel, Hennigsdorf
- /33/ Abschlussbericht zur Solaranlage Wohngebiet Badener Hof Heilbronn
- /34/ Langzeitverhalten der Solaranlage Wohngebiet Badener Hof Heilbronn
- /35/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Wohngebiet ehemaliger Schlachthof in Speyer
- /36/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Wohn- und Gewerbegebiet ehemalige Kaserne Normand in Speyer
- /37/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Wohngebäude Magdeburger Str in Hannover
- /38/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Wohngebäude Hann. Münden
- /39/ Abschlussbericht zur Solaranlage im Wohngebiet Gorch-Fock-Weg in Norderney