

Wärmeverluste durch Gegenstromzirkulation (rohrinterne Zirkulation) in an Speichern angeschlossenen Rohrleitungen

eine PowerPoint Präsentation von:
Peter Vogelsanger, Simon Geisshüsler, Adrian Lauber, Xavier Daguinet, Heinz Marty
Institut für Solartechnik SPF, HSR Hochschule für Technik Rapperswil



Swiss Federal Office of Energy SFOE

Weiterverbreitung der Inhalte

Die Firmen, deren Bildmaterial verwendet wird, sind mit der Weiterverbreitung des Materials einverstanden.

Kürzungen, Ergänzungen, Übersetzung und Änderungen sind zulässig, führen aber möglicherweise zu Inkonsistenz.

Anregungen, Verbesserungen sollten dem SPF (heinz.marty@solarenergy.ch) mitgeteilt werden.

▪

Inhalt

Einführung und Erläuterung

Messresultate

Folgerungen

Empfehlungen

Mittels Aufnahmen aus zwei verschiedenen Projekten wird der Effekt der rohrinternen Gegenstromzirkulation gezeigt. An Hand von Ergebnissen früher Studien wird in das Problem eingeführt. Es werden Ergebnisse von Messungen an verschiedenen Rohranordnungen präsentiert, aus den Ergebnissen Folgerungen abgeleitet und Empfehlungen abgegeben.

▪



Die Strömung sichtbar gemacht

Marco Kölbl führte 2006 im Rahmen seiner Diplomarbeit am SPF Institut für Solartechnik in Rapperswil, Schweiz, eine Reihe von Versuchen durch, die der Visualisierung der Strömung in Rohren dienen. Der von Marco Kölbl zusammengestellte Film zeigt ausserdem Bildmaterial aus der Untersuchung von Jean-Marc Suter und Max Brack, am Paul Scherrer Institut, PSI (damals EIR), Villigen, Schweiz. Die integrierten Abschnitte letzterer Aufnahmen zeigen das Gegenströmen (Zurückströmen) von – im angeschlossenen Rohr – intensiv abgekühltem Wasser in einen Tank.

Film starten

Mittels Knopfdruck kann der Film mit dem Media Player Classic gestartet werden (funktioniert nur im Präsentationsmodus von PowerPoint). Dazu muss die Datei mplayerc.exe und die Filmdatei (Film-Gegenstromzirkulation.avi) im gleichen Verzeichnis sein, wie die Präsentation. Ist er nicht abspielbar, aber die Filmdatei vorhanden, kann der Film mit einer anderen Anwendung, wie z. B. dem Windows Media Player, gestartet werden. Ist der Film nicht vorhanden, kann er vom Internet gratis bezogen werden (s. Folie *Weitere Informationen*)

Filminhalte und Zusatzinformation

Die Versuche von Marco Kölbl wurden an horizontalen und vertikalen Glasrohren bzw. rechteckigen transparenten Kanälen mit nahezu quadratischem Querschnitt durchgeführt. Es wurden jeweils Elemente von ca. 1 m Länge untersucht. Es wurde wenig Farbstoff in etwa der Mitte der Elemente eingebracht. Die Ausbreitung des Farbstoffs wurde in bewegten Bildern verfolgt. Diese Arbeiten sind in zwei schriftlichen Dokumenten beschrieben. Das eine dieser Dokumente liefert eine detaillierte Beschreibung der Versuche (Film-Gegenstromzirkulation-Bericht M. Koelbli.pdf). Das andere Dokument beschreibt und erklärt die in der Animation sichtbar gemachten Effekte (Film-Gegenstromzirkulation- Erläuterungen.pdf). Der Film selbst ist separat in Deutsch (Film-Gegenstromzirkulation.avi), Englisch (film-counter-flow-circulation.avi) und Französisch (film-circulation-a-contre-courant.avi) erhältlich. Links zum Download dieser Dokumente befinden sich im hinteren Teil dieser Präsentation (vgl. Folie *Weitere Informationen*).

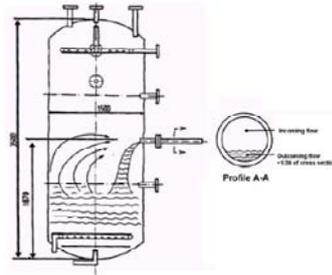
Im Gegensatz zu den Aufnahmen von Marco Kölbl beinhalten die integrierten Aufnahmen von Jean-Marc Suter und Max Brack keine Sequenzen mit Farbstoff als Indikator der Strömung. Wegen der Turbulenz der Strömung nach dem Eintritt in den Tank (erst dort – im „Wasserfall“ – tritt ausgeprägte Turbulenz auf) und wegen der grossen Temperaturunterschiede – und entsprechend grossen lokalen Unterschiede von Dichte und Brechungsindex – kann die Strömung nur schon durch Schattenwurf sichtbar gemacht werden. Die folgende Folie zeigt den Versuchsaufbau. Weitere Details zur Entstehung der Aufnahmen am PSI wurden publiziert: (vgl. Folie *Weitere Informationen* → *Liste von Publikationen ...* → *Suter 1983; Video.*)

▪

Frühe Erkenntnis

Speicherwärmeverluste sind bis zu 5 mal höher als erwartet.

Bei horizontalen oder vertikalen Anschlüssen sind die erhöhten Verluste zu ca. 2/3 auf rohrinterne Zirkulation zurückzuführen.



J.-M. Suter, M. Brack, H. Weber; PSI (EIR), Schweiz, 1983; J.-M. Suter, 2000

Wärmeverluste und „Wasserfall“

Warmes Speicherwasser strömt im oberen Bereich des Rohrquerschnitts in das Anschlussrohr, kühlt ab, fließt im unteren Teil des Rohrs zurück und fällt schliesslich in einem „Wasserfall“ in den Speicher. Im Speicher mischt sich das ausgekühlte Wasser turbulent und darum gleichmässig mit dem Wasser im Bereich des Speichers unterhalb des Anschlusses. Dadurch kühlt der Speicher (besonders unterhalb des Rohranschlusses) aus. Der Effekt wurde schon vor langer Zeit am Schweizerischen PSI (damals EIR) untersucht. Die gewonnen Erkenntnisse wurden in mehreren Publikationen beschrieben. (Folie *Weitere Informationen* → *Liste von Publikationen ...* → *Suter 1983; Weber 1983; Suter 2000.*)

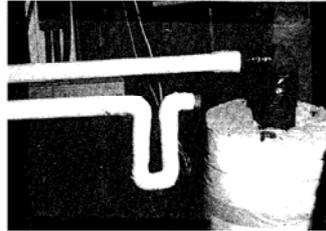
Es wurden Wärmeverlustraten festgestellt, die ein Vielfaches grösser waren, als auf Grund von einfachen Berechnungen zu erwarten gewesen wäre. Die Wärmeverluste waren zum grössten Teil auf Gegenstromzirkulation in angeschlossenen Rohren zurück zu führen.

▪

Frühe Erkenntnis

Wärmesiphons reduzieren die Wärmeverluste beträchtlich.

Die Reduktion ist bei gut wärmeleitenden Rohren beschränkt.



S. Furbo, Danish Technical University, SSTG 1989

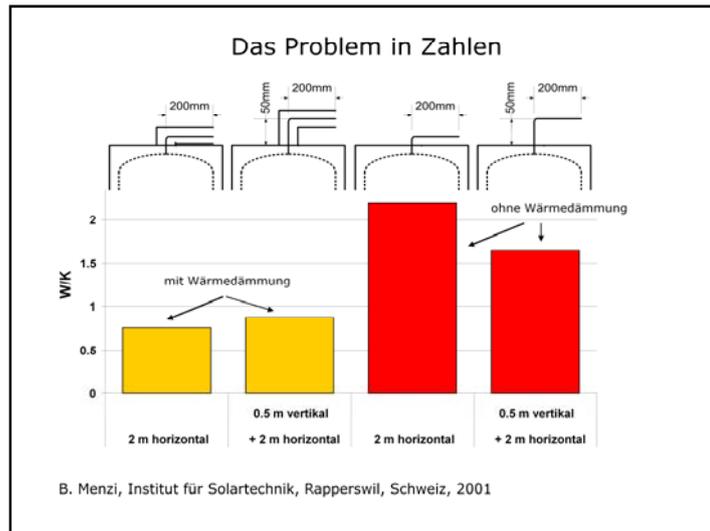
Versuche mit und ohne Wärmesiphon in einem an einen Speicher angeschlossenen, wärmegeprägten Kupferrohr

Wärmesiphons (engl.: „heat traps“) haben die Aufgabe die Gegenstromzirkulation im Rohrinnern zu unterbrechen. Aufgrund der grösseren Dichte sinkt kaltes Wasser in den tiefsten Punkt des Siphons und unterbindet somit eine Zirkulation des heissen, vom Speicher kommenden Wassers: Das wärmere Wasser des Speichers kann nicht in den kühleren Siphon sinken und sich nicht im Anschlussrohr ausbreiten.

Messungen von Simon Furbo an der Dänischen Technischen Universität zeigten bereits 1989, dass ein Wärmesiphon die Verluste angeschlossener Rohre deutlich verringert (die Resultate wurden als Teil der Ergebnisse der Solar System Testing Group, SSTG, veröffentlicht, vgl. Folie *Weiterführende Informationen* → *Liste von Publikationen ...* → *Furbo 1989-2; Thermal bridges*).

Wärmesiphons sollten so nah wie möglich beim Speicher ausgeführt werden. Ist der Wärmesiphon nahe beim Tank angeordnet, tief und die Wärmeleitfähigkeit des Rohres gering, ist die Wirkung des Wärmesiphons am grössten. Leitet das Rohrmaterial Wärme gut (wie in diesem Fall bei einem Kupferrohr), ist die Reduktion der Wärmeverlustrate deutlich geringer als bei wenig wärmeleitfähigem Rohrmaterial.

▪



Messungen am SPF Institut für Solartechnik

Durch Beat Menzi wurden die Wärmeverluste verschiedener Anordnungen eines 1“ Stahlrohrs mit bzw. ohne Wärmedämmung gemessen. Die Säulen zeigen die zusätzlichen (also durch das Rohr allein verursachten) Wärmeverluststraten in W/K.

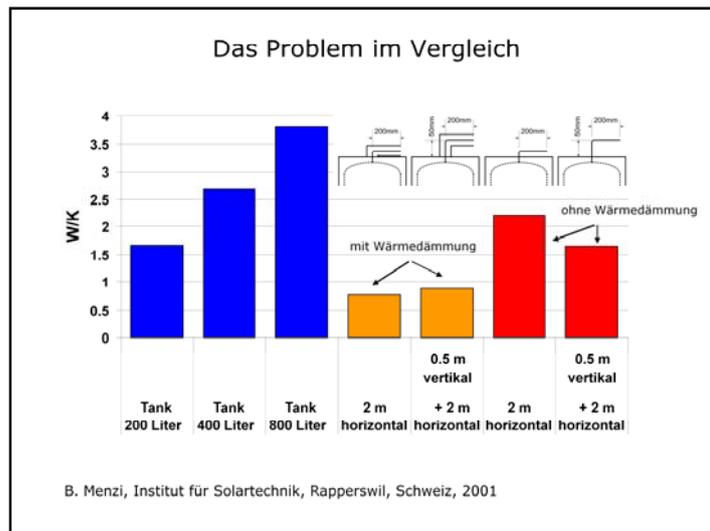
Orange Säulen = Wärmeverlustrate des **gedämmten** Rohrs der entsprechenden Anordnung

Rote Säulen = Wärmeverlustrate des **ungedämmten** Rohrs der entsprechenden Anordnung

Beim ungedämmtem Rohr tritt der vordergründig überraschende Effekt auf, dass das Rohr mit längerem vertikalen Abschnitt, das also gesamthaft längere Rohr, kleinere Verluste aufweist als das kürzere. Ähnliche Phänomene wurden auch durch Adrian Lauber nachgewiesen. vgl. *Messungen* weiter hinten in dieser Präsentation. Die Wärmeverluste können – sogar bei relativ einfacher Rohrführung – ohne Messungen nur grob abgeschätzt werden, da die Geometrie der Rohrführung die Ausbildung bzw. Behinderung der Gegenstromzirkulation stark beeinflusst.

In praktisch allen Fällen ohne Wärmesiphons sind die Wärmeverluste in an Speichern angeschlossenen Rohren aber sehr erheblich (vgl. nächstes Bild *Das Problem im Vergleich*.)

▪



2. Bild zur Untersuchung von Beat Menzi

Blaue Säulen = Wärmeverlusten von Wassererwärmern, Wärme- und Warmwasserspeichern, wie sie gemäss aktueller (2007) in der Schweiz gültiger Energieverordnung zulässig sind (Behälter mit 5 wärmegeämmten Stutzen ohne angeschlossene Rohre).

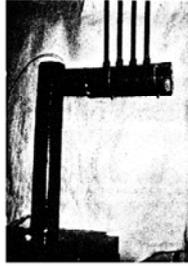
Orange Säulen: Wärmeverlustrate des gedämmten Rohrs der entsprechenden Anordnung

Rote Säulen: Wärmeverlustrate des ungedämmten Rohrs der entsprechenden Anordnung

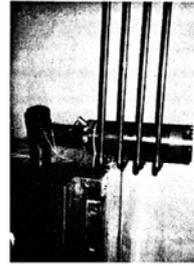
Ungünstig angeschlossene Rohre tragen beträchtlich zu den Speicherverlusten bei. Ein einziges angeschlossenes Rohr kann im gleichen Mass zum Wärmeverlust beitragen, wie der ganze Speichermantel!

▪

Problem und Chance



Warm halten ist kritisch: Die abgehenden Rohre sind seitlich an den Verteiler angeschlossen.



Warm halten ist nur bei sehr günstiger Konfiguration möglich.

W. Kubik, Lehrwerkstätte Bern, Schweiz, 1986

Warm halten des Verteilers

In einer Untersuchung von Walter Kubik wurde schon vor langer Zeit u. a. überprüft, ob der Verteiler durch Gegenstromzirkulation warm gehalten werden kann. Im sehr günstigen Fall (Bild rechts) ist dies erreichbar. Voraussetzungen sind:

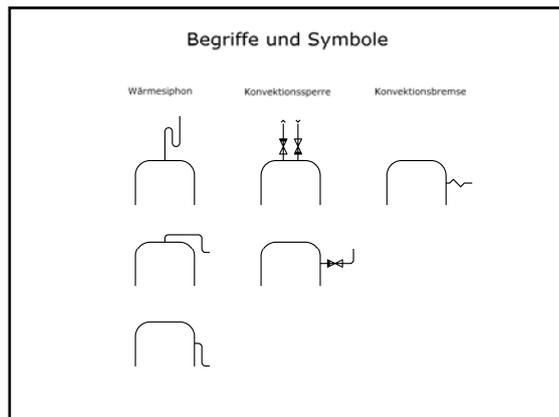
- Gute Dämmung von Verbindungsrohr und Verteiler
- Anordnung des Verteilers sehr nahe am Speicher mit ausreichendem Querschnitt des Verbindungsrohrs
- Wärmesiphons beim Anschluss den Einzelleitungen zu den Zapfstellen an den Verteiler

Das warm Halten des Verteilers erhöht zwar dessen Wärmeverluste im Stillstand, reduziert aber die Ausstossverluste bei Zapfungen erheblich.

Es ist möglich, aber nicht einfach, den Effekt der Gegenstromzirkulation im Guten zu nutzen (um die Ausstossverluste zu verringern).

Im Bild rechts ist die Warmhaltung nicht oder nur knapp gewährleistet: nach 45 Min. wurde im Verteiler eine Temperatur von nur noch 45° C gemessen. Die Einzelleitungen sind hier seitlich an den Verteiler angeschlossen. Zur Studie selbst: vgl. *Weiterführende Informationen* → *Liste von Publikationen ...* → *Kubik 1986; Warmwasserverteiler für Ausstossleitungen.*

▪



Definitionen und Begriffe

Links: **Wärmesiphon** (Englisch: „heat trap“ oder „heat trap siphon“): Vermeiden der Gegenstromzirkulation und grosser Wärmeverluste durch Rohrführung möglichst nahe am Speicher nach unten. Ein schlecht wärmeleitendes Rohrmaterial (Edelstahl oder Kunststoff) ist sehr vorteilhaft. Mindestens der nach unten führende Abschnitt des Wärmesiphons sollte wärmegeklämt werden. Bei Warmwasserspeichern und Speicher-Wassererwärmern ist oft der Warmwasserstutzen seitlich angebracht. In diesen Fällen ist der Stutzen innen nach oben unter den Speicherdeckel fortgesetzt. Es handelt sich also um eine Art (von internen) Siphon. In den Speicher eingebaute Wärmesiphons dürften in der Regel weitgehend unwirksam sein.

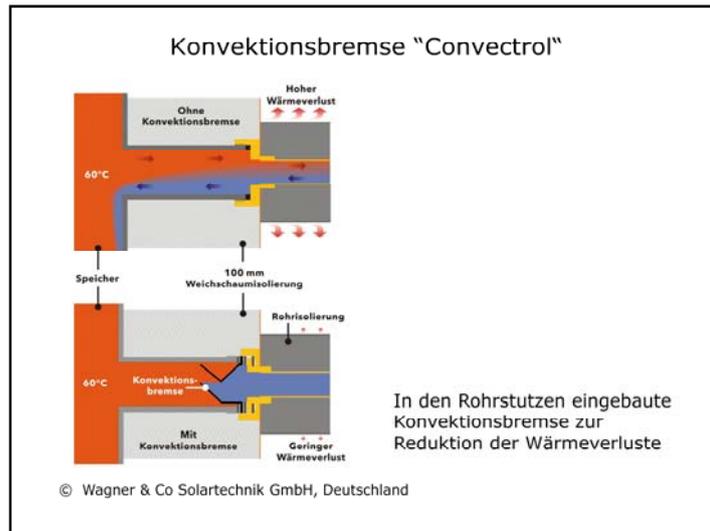
Mitte: **Konvektionssperren** unterbrechen die rohrinterne Gegenstromzirkulation. Es handelt sich um Ventile, die ähnlich konstruiert sind wie Rückflussverhinderer. Ohne Durchfluss sollen sie sicher (wenn auch nicht unbedingt absolut dicht!) geschlossen sein. Dies kann wie bei vielen Rückschlagventilen durch eine Feder oder (bei vertikalem Einbau) das Eigengewicht des Schliesselements erreicht werden. In manchen Fällen sollten Konvektionsbremsen nicht dicht schliessen, sondern einen kleinen Durchfluss entgegen der normalen Strömungsrichtung zulassen, so z. B. beim Einbau an den Kaltwasserstutzen eines Speicher-Wassererwärmers. Die Wirksamkeit von normalen Rückflussverhinderern (mit metallischem Gehäuse) als Konvektionssperren ist in der Regel gering und stark von der Wärmeleitfähigkeit der Konvektionssperre und des angrenzenden Rohrmaterials abhängig. Das hier vorgeschlagene Symbol weist darauf hin, dass die Konvektionssperre Wärmeübertragung behindert (nicht ganz gefülltes Dreieck) und dass ein kleiner Durchfluss entgegen der normalen Strömungsrichtung möglich ist (Linie in Strömungsrichtung durch das Ventilsymbol). Konvektionssperren (in Englisch als „heat trap fittings“ bezeichnet) werden vor allem in den USA im Sanitärfachhandel angeboten. In der Regel schliessen diese Ventile nicht absolut dicht um die Volumenänderung des Wassers im Speicher nicht zu behindern. Es gibt zum Teil verschiedene Ausführungen für den Warmwasser- und den Kaltwasseranschluss (für den Fall dass sich der Kaltwasseranschluss oben am Speicher befindet).

Rechts: **Konvektionsbremse:** Bei einem angebotenen Element („Convectrol“, vgl. nächstes Bild) wird die Konvektion nicht wie bei der Konvektionssperre durch eine praktisch dichte Sperre verhindert. Es handelt sich um einen in das (horizontale) Rohr, bzw. in den horizontalen Rohrstutzen integrierten Wärmesiphon. Wie bei den Konvektionssperren ist die Wirksamkeit beschränkt und vom Rohr- bzw. vom Stutzenmaterial abhängig.

Im Angloamerikanischen ist der Begriff „heat trap“ eindeutig und sehr gut eingeführt.

Der Begriff „Mikrozirkulation“ wurde zum Teil im deutschsprachigen Raum als Ersatz für Gegenstromzirkulation verwendet, ist aber uneindeutig, da „Mikrozirkulation“ und „microcirculation“ in der Medizinwissenschaft prominent verwendet werden (Zirkulation durch Blutgefässe). Als Bezeichnung für den Strömungsvorgang wurde z. T. auch der Begriff In-Rohr-Zirkulation verwendet.

▪



Konvektionsbremse

Die hoch liegende Einlassöffnung im Rohrstutzen verhindert den Rückfluss des im Anschlussrohr erkalteten Wassers in den Speicher. Die in den Rohrstutzen hineinragenden Barrieren stellen einen kleinen Wärmesiphon dar. Die Wärmeleitung über die Rohrverschraubung wird zwischen den Stirnflächen durch die Flachdichtungen und den Kunststoffflansch behindert. Die Konvektionsbremse verändert den Anschluss äusserlich nur geringfügig und kann darum praktisch in alle Rohrstutzen der entsprechenden Grösse eingesetzt werden. Eine gewisse Wirksamkeit ist belegt. Die Wirkung dieses Elements ist aber nicht mit einem tiefen, durch das Rohr oder einen schrägen Stutzen gebildeten Wärmesiphon vergleichbar. Die gezeigte Konvektionsbremse wurde in einer Studie untersucht. Die Studie gibt ausserdem Hinweise über die Anwendung von cfd (computational fluid dynamics) um den Effekt der Gegenstromzirkulation zu quantifizieren: vgl. *Weiterführende Informationen* → *Liste von Publikationen ...* → *Schabbach 1999*.

Bildverwendung: Die gezeigten Bilder dürfen mit freundlicher Genehmigung der Firma Wagner & Co Solartechnik GmbH im Rahmen dieser oder ähnlicher Präsentationen auch durch Dritte verwendet werden.

▪

US-Standard: ASHRAE 90.1 und 90.2

Abs. 7.4.6 in ASHRAE 90.1:

“Vertical pipe risers serving storage water heaters and storage tanks not having integral heat traps and serving a non recirculating system shall have heat traps on both the inlet and outlet piping as close as practical to the storage tank. A heat trap is a means to counteract the natural convection of heated water in a vertical pipe run. The means is either a device specifically designed for the purpose or an arrangement of tubing that forms a loop of 360 degrees or piping that from the point of connection to the water heater (inlet or outlet) includes a length of piping directed downward before connection to the vertical piping of the supply water or hot water distribution system, as applicable.”

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE, 2004

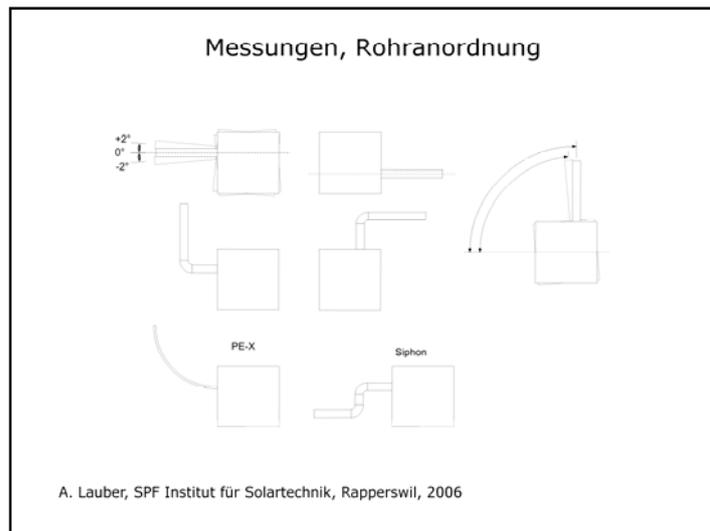
Empfehlung in Normen und Richtlinien

In den USA und anderen englischsprachigen Ländern sind Anforderungen zur Reduktion der Wärmeverluste durch Gegenstromzirkulation sehr viel stärker in Normen und Richtlinien verankert als in Europa. Die ASHRAE 90.1 postuliert: “ Vertikale Anschlussrohre an Wassererwärmer und Wärmespeicher, die über keine internen Wärmesiphons verfügen und nicht Teil eines Zirkulationssystems sind, müssen sowohl im Fall von Einlass- als auch im Fall von Auslassanschlüssen über so nahe wie möglich am Speicher angeordnete Wärmesiphons oder Konvektionssperren („heat traps“) verfügen. (Im Amerikanische Raum verfügen Speicher-Wassererwärmer oft über vertikale nach oben ausgerichtete Anschlussstutzen für Warm- bzw. für Kaltwasser; Anm. des Übersetzers). Ein Wärmesiphon oder eine Konvektionssperre ist ein Mittel, um der freien Konvektion von erwärmtem Wasser entgegen zu wirken. Bei diesem Mittel handelt es sich entweder um ein speziell dafür geschaffenes Gerät (Konvektionssperre, ein spezielles Ventil, ähnlich einem Ventil zur Rückflussverhinderung; Anmerkung des Übersetzers) oder eine Rohranordnung, die, entsprechend der Anwendbarkeit, eine Schlaufe von 360 Grad bildet oder die, ausgehend von der Anschlussstelle an den Speicher einen Abschnitt beinhaltet, der nach unten führt, bevor sie an die vertikale Rohrstrecke der Warmwasserverteilung bzw. an das Kaltwassernetz angeschlossen ist.“ Ein ähnlicher Text wie der oben zitierte ist auch in ASHRAE 90.2 enthalten.

Wie Messungen belegt haben, ist allerdings eindeutig nicht nur der Anschluss eines Speichers an ein vertikales Verteilsystem heikel. An Speicher angeschlossene horizontale Rohre führen sogar in der Regel zu noch grösseren Wärmeverlusten.

Vermutlich ausgehend von den ASHRAE Normen – die Wärmesiphons und Konvektionssperren (in früheren Ausgaben) schon seit langer Zeit postulieren – wurde im angloamerikanischen Raum die Empfehlung bzw. die Vorschrift zum Einsatz von Wärmesiphons („heat traps“) in vielen anderen Richtlinien, Vorschriften und Empfehlungen umgesetzt. Die Beschränkung der Wärmeverluste von an Speichern angeschlossenen Rohrleitungen – bzw. eine Vorschrift zum Einsatz von Wärmesiphons – ist notwendig, da sonst für Hersteller und Installateure kaum Anreiz zur Problemlösung besteht.

▪



Untersuchte Rohranordnungen

Adrian Lauber führte im Rahmen seiner Diplomarbeit am Institut für Solartechnik SPF der HSR Hochschule für Technik Rapperswil im Jahr 2006 Versuche mit verschiedenen Rohrtypen durch. Die Rohrtypen unterschieden sich hinsichtlich Durchmesser, Material und Wärmedämmung. Die Rohre wurden in unterschiedliche Längen und Konfigurationen (Geometrie, Orientierung) an einen beheizbaren, würfelförmigen Versuchsspeicher mit 16 Liter Inhalt angeschlossen, um die Wärmeverluste zu bestimmen.

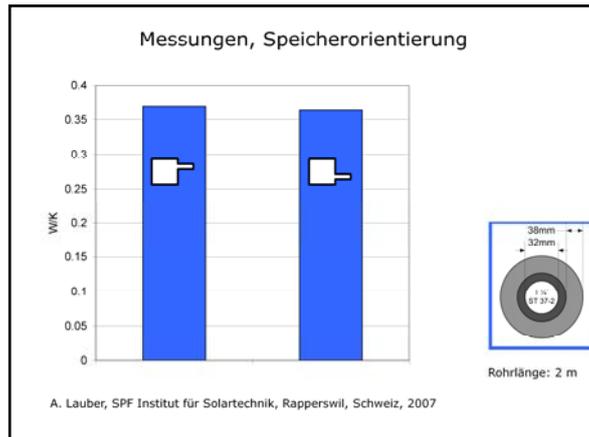
Die Rohrtypen waren:

- 1 ¼ Zoll Stahlrohr mit Wärmedämmung
- 28 mm Edelstahlrohr mit Wärmedämmung
- 16 mm Kunststoffrohr ohne Wärmedämmung

Die Anschlusspositionen der Rohre wie sie im Labor gemessen wurden sind oben skizziert. Ausserdem wurde der Effekt einer Konvektionssperre in Form eines Rückschlagventils untersucht. Die Resultate werden in den folgenden Folien dargestellt.

Die Arbeit kann ausserdem gratis als elektronisches Dokument bezogen werden (vgl. Folie *Weitere Informationen -> Bericht von Adrian Lauber u. a. über Wärmeverlustmessungen am SPF*).

▪



Orientierung des Speichers

In einer der ersten Messungen wurde überprüft, ob die Wärmeverlustrate von der Orientierung des Speichers abhängt. Der Rohranschluss war also im einen Fall nahe der Oberkante des Speichers, im anderen Fall in der Nähe des Speicherbodens. In beiden Fällen wurde der Boden, d. h. die jeweils untere Fläche des Speichers beheizt. Der Speicher hatte die Form eines Würfels mit einer Seitenlänge von ca. 0.3 m.

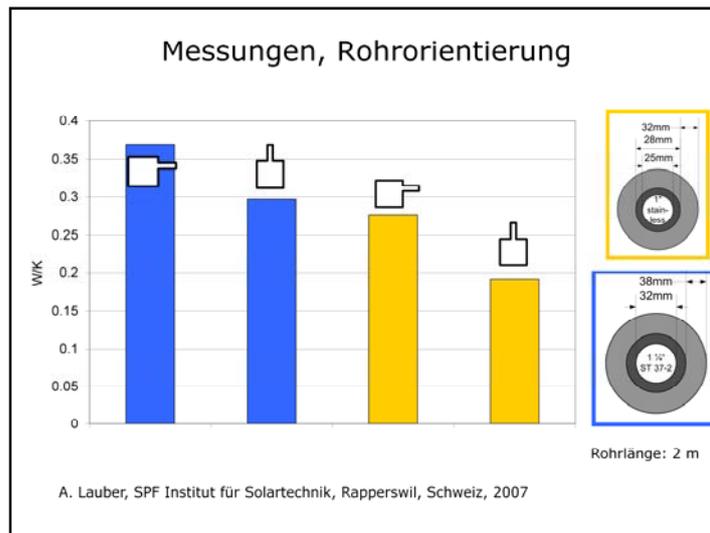
Die Wärmeverlustrate war praktisch in beiden Fällen gleich gross. Ganz allgemein hat der Speicher selbst keinen messbaren Einfluss auf die Wärmeverlustrate des angeschlossenen Rohres. Die Strömung im Rohr und die Wärmeverluste des Rohres werden durch die Temperatur im Speicher (auf der Höhe des Anschlusses, und die Temperaturdifferenz zur Umgebung) und das Rohr selbst bestimmt. Die Reibung und die Auftriebsverhältnisse im Rohr selbst (und nicht im Speicher) sind praktisch allein bestimmend für die Konvektionsströmung (Gegenstromzirkulation). Die Form, Grösse oder Ausrichtung des Speichers hat keinen nennenswerten Einfluss auf die Verluste des Rohres selbst. Der Rohrtyp und die Rohrandordnung waren in den beiden im Diagramm gezeigten Fällen:

- horizontal
- 2 m
- wärmegeklämmt
- 1 1/4" Stahlrohr (Gasrohr) mit Aussendurchmesser 42 mm

Die Wärmeverluste sind als Wärmeverlustrate (Wärmeverluste bezogen auf die Temperaturdifferenz) in W/K angegeben. Die Temperaturdifferenz ist der Unterschied zwischen der Speichertemperatur (auf der Höhe des Anschlusses gemessen) und der Lufttemperatur in der Umgebung von Speicher und Anschlussrohr.

In der Praxis ist es erheblich, ob ein Anschluss unten oder oben am Speicher angeordnet ist, denn:

- Weiter unten ist bei Schichtspeichern in der Tendenz die Speichertemperatur und damit die Temperaturdifferenz gegen Umgebung geringer.
- Es wird in der Praxis fast nur der Bereich unterhalb des Anschlusses auskühlen. Das Speicherwasser oberhalb des Anschlusses ist vor der Konvektionsströmung aus dem Anschlussrohr geschützt. Nach unten durch den Speicherboden führende Stützen sind geeignet um Wärmeverluste durch rohrinterne Gegenstromzirkulation zu vermeiden.



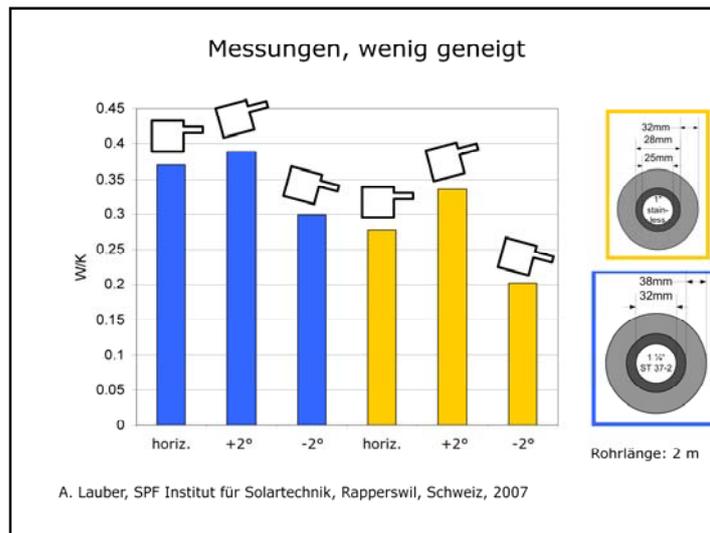
Orientierung von geraden Rohren (vertikal, horizontal)

In diesen beiden Fällen mit je 2 m langen geraden Rohren:

- Blaue Säulen: Gasrohr, 1 1/4“, wärmegeämmt, Länge: 2 m
- Gelbe Säulen: Edelstahlrohr 28 mm, wärmegeämmt, Länge: 2 m

Die Wärmeverlustrate der vertikal ausgerichteten Rohre ist bei diesen beiden Rohrtypen deutlich geringer, wenn das Rohr vertikal nach oben ausgerichtet ist (im Vergleich zur horizontalen Ausrichtung).

▪



Einfluss bei Abweichungen von der Horizontalen

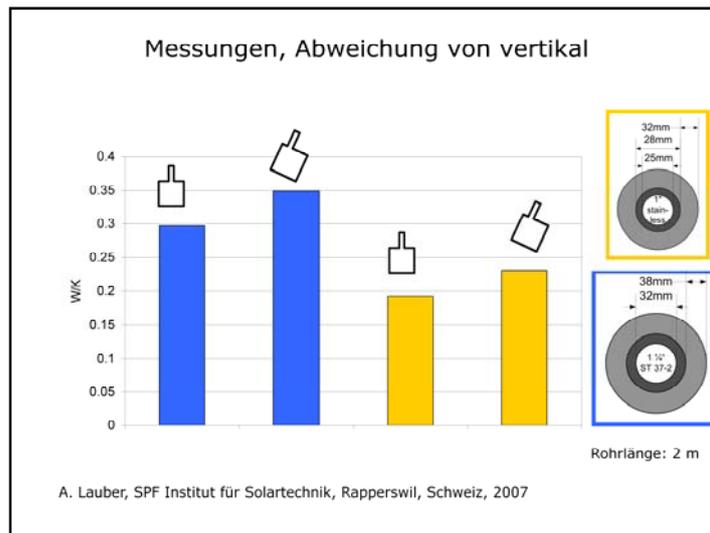
Eine geringe Abweichung von +2°, bzw. -2° von der Horizontalen hat einen erheblichen Einfluss auf die Wärmeverlustrate.

Rohre mit Wärmedämmung, wie im vorhergehenden Fall:

blau: Gasrohr, 1 1/4", wärmegeädämmt, Länge: 2 m

gelb: Edelstahlrohr 28 mm, wärmegeädämmt, Länge: 2 m.

▪



Einfluss bei Abweichungen von der Vertikalen

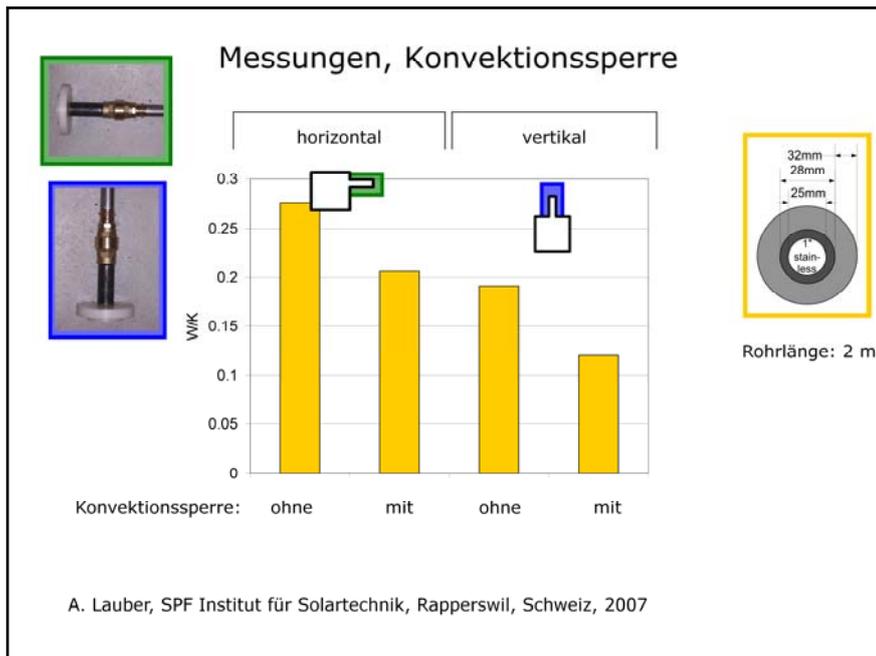
Eine geringe Abweichung von 5° von der Vertikalen hat einen erheblichen Einfluss auf die Wärmeverlustrate. Sie nimmt zu, wenn das Rohr nicht gerade nach oben ausgerichtet ist. Die Zunahme ist vermutlich wie folgt begründbar: Bei leichter Neigung teilen sich die Auf- und Abtriebsströmung den Querschnitt eindeutig auf, was die Strömung begünstigt.

Rohre mit Wärmedämmung, wie im vorhergehenden Fall:

blau: Gasrohr, 1 1/4", wärmegeädämmt, Länge: 2 m

gelb: Edelstahlrohr 28 mm, wärmegeädämmt, Länge: 2 m

▪



Einfluss einer Konvektionssperre

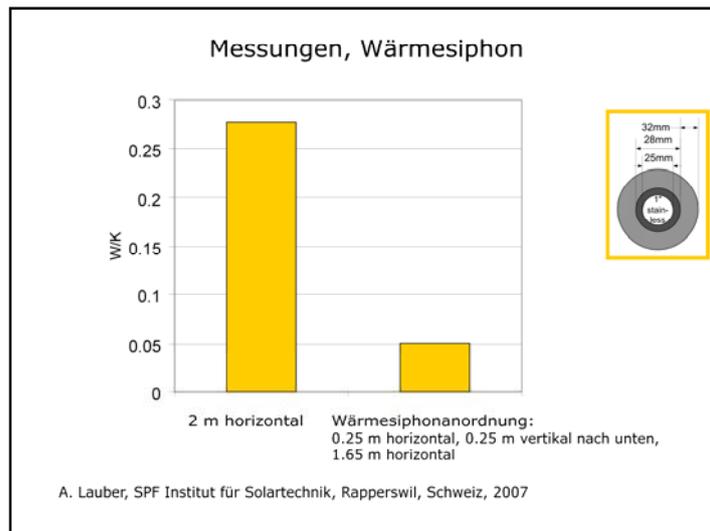
Bei der im Versuch eingesetzten Konvektionssperre handelte es sich um ein handelsübliches federbelastetes Rückschlagventil mit einer Kunststoffscheibe als Ventilkörper und einem Ventilgehäuse aus Messing. Die Verbindung von Speicher und Konvektionssperre bestand aus einem kurzen 1" Gasrohr, also einem Stahlrohr wie bei einem typischen Rohrstütze. Austrittsseitig war ein 28 mm Edelstahlrohr an die Konvektionssperre angeschlossen. Alle Rohrstücke und auch das Rückschlagventil waren wärmegeklämt. Die Gesamtlänge einschliesslich Gasrohr und Ventil betrug 2 m. Das Gasrohr war mittels des weissen Kunststoffflansches (aus POM, mit O-Ringdichtung) an den Versuchsspeicher angeschraubt, also thermisch vom Speichermantel getrennt.

Der Einfluss der Konvektionssperre ist spürbar aber ungenügend. Dies gilt bei horizontaler und bei vertikaler Rohranordnung. Der bescheidene Einfluss der Konvektionssperre ist auf Wärmeleitung durch den metallenen Ventilkörper und entlang der an das Ventil angeschlossenen Rohre zurückzuführen. In der Nähe des Ventils wird in den Rohren die durch den Ventilkörper geleitete Wärme an das Wasser auf der Austrittsseite des Ventils übertragen. Die Wärme breitet sich dann durch Konvektion im anschliessenden Rohr aus.

Einfluss eines in den Speicher eingebauten Siphons

Oft sind Anschlussstützen (besonders für Warmwasser) seitlich angeordnet und im innern des Speichers bis unter den Speicherdeckel verlängert. Diese Konfiguration stellt einen eingebauten Siphon dar. Der Effekt solcher Siphons wurde in der Arbeit von A. Lauber nicht direkt untersucht. Aus den Ergebnissen der Messungen mit Konvektionssperre ist aber ableitbar, dass einfache in den Speicher eingebaute Siphons ohne spezielle Massnahmen (thermische Trennung von Stützen oder Speicherwand, Wärmedämmung) weitgehend wirkungslos sind, da Wärme sehr wirkungsvoll in die unterste Stelle des Siphons gelangen kann: Der Wärmetransport durch den innen liegenden Teil des Stützens ist sehr effektiv.

▪



Einfluss eines Wärmesiphons

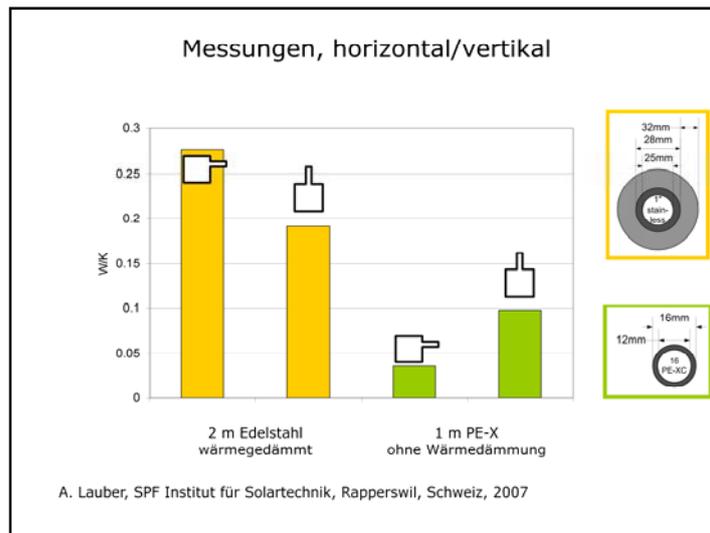
Im Gegensatz zur Konvektionssperre vermag der Wärmesiphon die Wärmeverluste massiv zu reduzieren. Man beachte, dass die Länge des horizontalen Rohrstücks (0.25 m) kleiner ausgeführt werden könnte, was eine noch stärker ausgeprägte Reduktion zur Folge hätte. Fast die ganzen verbleibenden Wärmeverluste treten im horizontalen Rohrabschnitt auf.

Diese Aussage gilt für das in diesem Fall eingesetzte 28 mm Edelstahlrohr. Bei besser Wärme leitendem Rohrmaterial würde der Effekt schwächer ausfallen, da Wärme massgeblich durch Wärmeleitung nach unten in den Wärmesiphon gelangen würde.

Das abgebildete Rohr in Wärmesiphonanordnung war im Versuch insgesamt etwas mehr als 2 m lang und – wie in der Querschnittsskizze gezeigt – wärmegeämmt. Es war mittels des weissen Kunststoffflansches (aus POM, mit O-Ringdichtung) an den Versuchsspeicher angeschraubt. Die Tiefe des Wärmesiphons betrug 0.25 m, der anschliessende Rohrabschnitt wies eine Länge von 1.65 m auf, was auf der Foto nicht ersichtlich ist.

Das Diagramm vergleicht die als Wärmesiphon ausgebildete Rohranordnung mit einer rein horizontalen Variante mit ähnlicher Gesamtlänge des Rohres.

▪



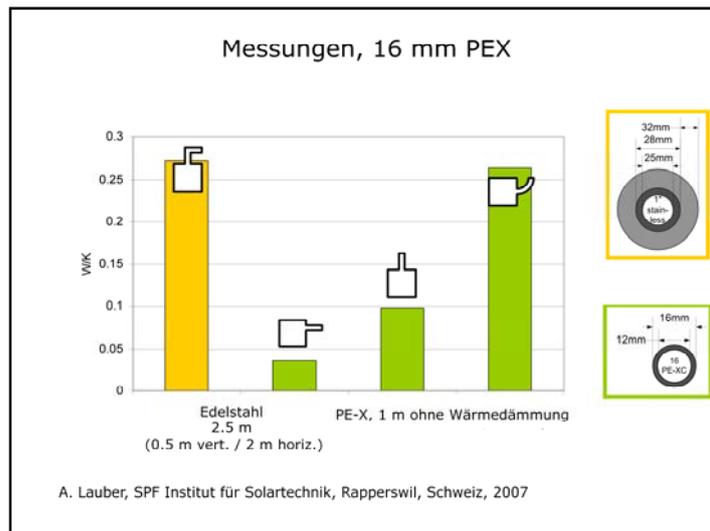
Ungedämmtes PE-X Rohr

Gelb: Edelstahlrohr 28 mm, wärmegeädämmt, 2 m

Grün: Kunststoffrohr aus vernetztem Polyethylen (PE-X), 16 mm Aussendurchmesser, 12 mm Innendurchmesser, ungedämmt, 1 m

Auch im ungedämmten kleinen PEX-Rohr mit Innendurchmesser 12 mm findet Gegenstromzirkulation statt und es treten massgebliche Wärmeverluste auf. Die Orientierung hat – im Vergleich zum gedämmten Edelstahlrohr mit viel grösserem Querschnitt – gegenteiligen Einfluss. Bezogen auf die Rohrlänge ist die Wärmeverlustrate aber vergleichbar.

▪

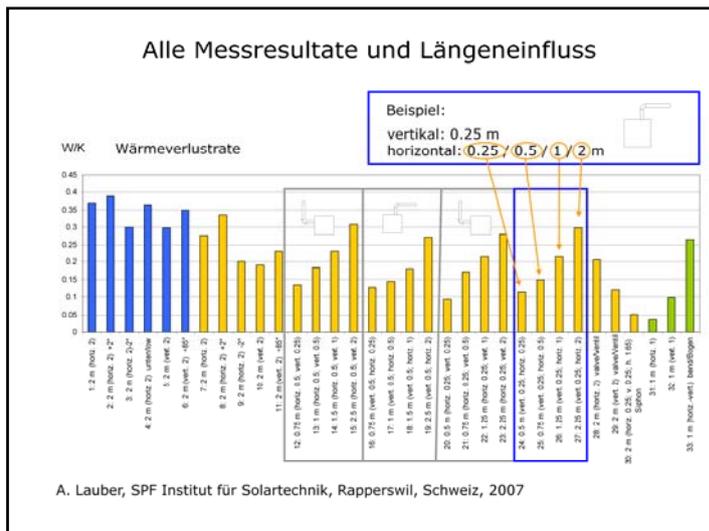


Nach oben gekrümmtes Kunststoffrohr

Das nach oben gekrümmte 1 m lange nicht wärmedämmte PE-X Rohr mit Aussendurchmesser 16 mm, Innendurchmesser 12 mm, weist ca. dieselbe Wärmeverlustrate auf wie das gedämmte, 28 mm Edelstahlrohr mit Krümmer und einer Gesamtlänge von 2.5 m (0.5 m vertikal, Krümmer und anschliessend 2 horizontal)!

Kunststoffrohre, wie das bei diesen Messungen verwendete, werden oft als Ausstossleitungen eingesetzt. Dabei sind einige Ausstossleitungen an einen gemeinsamen Verteiler angeschlossen. Besonders, wenn der Verteiler im Untergeschoss installiert ist, gehen die Ausstossleitungen in einem Bogen nach oben weg. Dies bedeutet, dass Verteilerbalken mit angeschlossenen Ausstossleitungen aus Kunststoff viel Wärme verlieren und entsprechend schnell auskühlen, ausser sie sind wärmedämmt und die Ausstossleitungen gehen nach unten ab.

▪



Alle Messresultate in der Übersicht, Wärmeverluste, [W/K]

Die Verluste können für verschiedene Rohranordnungen zum Teil gut, zum Teil schlecht vorausgesagt werden. Dies ist insofern nicht gravierend, als in praktisch allen Fällen die Wärmeverluste gross (zu gross!) sind. Allerdings sind sie durch den Einsatz von Wärmesiphons vermeidbar, wie der Vergleich des Falles mit Nummer 30 mit der Nummer 7 zeigt. (Vgl. auch entsprechendes Bild mit speziell diesem Vergleich weiter oben in der Präsentation: In beiden Fällen Nr. 30 und Nr. 7 ist der Speicheranschluss horizontal und die gesamte Rohrlänge etwa 2 m.)

Grössere Rohrlängen führen zu höheren Wärmeverlusten

Die Wärmeverluste nehmen mit zunehmender Rohrlänge weiter zu, in etwa linear bei einer Verdoppelung der Rohrlänge (vgl. mittels Rahmen gruppierte Fälle mit Rohranordnungen in L-Form aber verschiedenen Gesamtlängen).

Legende:

- Blaue Säulen: Gasrohr, 1 1/4" (Aussendurchmesser 38 mm, Innendurchmesser 32 mm) wärmeisoliert, Dämmstärke: 38 mm, Länge gemäss Beschriftung
- Gelbe Säulen: Edelstahlrohr 28 mm (Aussendurchmesser), Innendurchmesser: 25 mm, wärmeisoliert, Dämmstärke: 32 mm, Länge gemäss Beschriftung
- Grüne Säulen: PEX Rohr 16 mm Aussendurchmesser, 12 mm Innendurchmesser, nicht wärmeisoliert, Länge 1m.

1. Nummer

2. Gesamtlänge

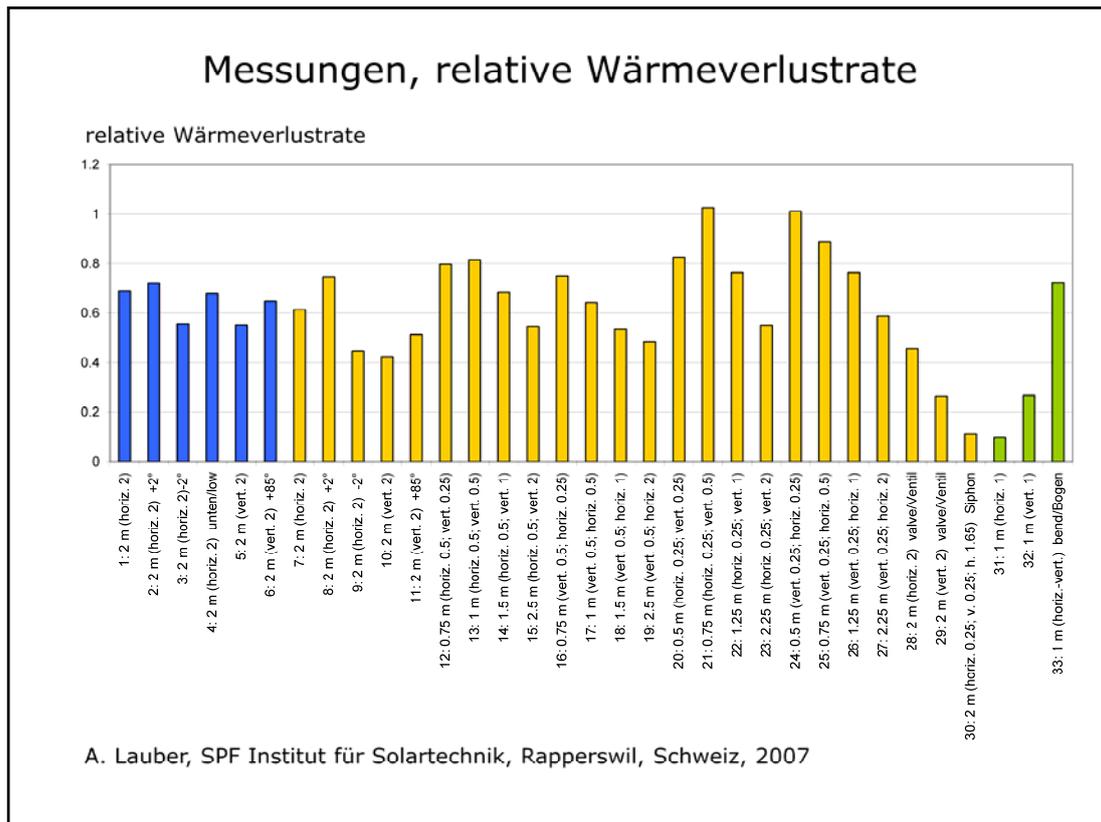
3. Ausrichtung des ersten Abschnitts (Abschnitt am nächsten am Speicher) und Länge dieses Abschnitts

4. ggf. Ausrichtung des zweiten Abschnitts

5. ggf. Ausrichtung des dritten Abschnitts

am Schluss: Spezialbeschreibung:

- spezielle Ausrichtung 90°=senkrecht, 0°=waagrecht
- spezielle Massnahme wie Wärmesiphon („Siphon“) oder Konvektionssperre („Ventil“)



Alle Messresultate in der Übersicht, relative Wärmeverlustrate

Die relative Wärmeverlustrate ist hier definiert als der gemessene Wärmeverlust dividiert durch den Wärmeverlust der auftreten würde, entspräche die Rohrtemperatur im ganzen Rohr der Temperatur im Speicher.

Die relativen Wärmeverlustraten sind in den meisten Fällen hoch. D. h. wesentliche Teile des Rohres kühlen nicht annähernd auf Umgebungstemperatur ab. Ausnahmen sind das ungedämmte horizontale PEX Rohr mit dem geringem Durchmesser von 12 mm (Nr. 31) und die Rohranordnung (des gedämmten 28 mm-Edelstahlrohrs) mit Wärmesiphon (Nr. 30).

Bei den Fällen mit relativen Wärmeverlustraten über 1 (Nr. 21 und Nr. 24) offenbart sich Messungenauigkeit. Das physikalische Maximum der relativen Wärmeverlustrate ist 1.

Legende

- Blaue Säulen: Gasrohr, 1 1/4" (Aussendurchmesser 38 mm, Innendurchmesser 32 mm) wärmegeämmt, Dämmstärke: 38 mm, Länge gemäss Beschriftung
- Gelbe Säulen: Edelstahlrohr 28 mm (Aussendurchmesser), Innendurchmesser: 25 mm, wärmegeämmt, Dämmstärke: 32 mm, Länge gemäss Beschriftung
- Grüne Säulen: PEX Rohr 16 mm Aussendurchmesser, 12 mm Innendurchmesser, nicht wärmegeämmt, Länge 1m.

1.Nummer

2.Gesamtlänge

3.Ausrichtung des ersten Abschnitts (Abschnitt am nächsten am Speicher) und Länge dieses Abschnitts

4.ggf. Ausrichtung des zweiten Abschnitts

5.ggf. Ausrichtung des dritten Abschnitts

am Schluss: Spezialbeschreibung

- spezielle Ausrichtung 90°=senkrecht, 0°=waagrecht

- spezielle Massnahme wie Wärmesiphon („Siphon“) oder Konvektionssperre („Ventil“)

▪

Installationen



Wärmedämmung nicht durchgehend, keine Wärmesiphons

Installationspraxis

Wärmesiphons werden in der Praxis kaum eingesetzt, obschon ihr Nutzen seit den 1980-er Jahren bekannt ist. Die gezeigten Aufnahmen sind typisch für die aktuelle Installationspraxis. Darüber hinaus sind meist wesentliche Teile des Verteilnetzes nicht gedämmt, was die Problematik fehlender Siphons noch verschärft. Oft sind auch mehrere Meter lange Rohrstücke – z. B. von einem Speicher-Wassererwärmer zu einem Verteilerbalken – gar nicht gedämmt.

Wären vorgefertigte, mit Wärmedämmung ausgestattete Wärmesiphons erhältlich, würde dies die korrekte Installation massgeblich vereinfachen. Noch besser wäre es, wenn Wärmesiphons mit dem Speicher mitgeliefert würden, bzw. Teil des Speichers wären. (Vgl. Folie *Empfehlungen für Hersteller*).

Gegenstromzirkulation oder echte Kreis-zirkulation

Gegenstromzirkulation wie in dieser Präsentation behandelt, findet in ein- und demselben Rohr statt und wird durch Temperatur- bzw. Dichteunterschiede innerhalb eines Rohres angetrieben. Sie unterscheidet sich von (Kreis- Zirkulation, die ebenfalls in Zeiten ohne erzwungenen Durchfluss stattfinden kann und ggf. ebenfalls durch Dichteunterschiede angetrieben wird. Letzterer Fall tritt dann auf, wenn in einer Kreisleitung Ventile zur Rückflussverhinderung fehlen und könnte ggf. in den oben abgebildeten Fällen ebenfalls stattfinden.

Im links gezeigten Fall dürfte bei einer hohen Speichertemperatur sehr warmes Wasser aus dem Anschluss im unteren Bereich des Bildes in das thermostatische Mischventil (Bildmitte) und von dort aus unter Auskühlung, bzw. Mischen mit dem Zirkulationsrücklauf (oben links im Bild) in die Kaltwasserleitung (rechts, nach unten) strömen. (Diese Verschaltung ist nicht empfohlen, da der Wärmefluss in das Zirkulationssystem schwierig zu beherrschen ist.)

Im Bild rechts wird mindestens rohrinterne Gegenstromzirkulation in beiden Rohren unabhängig von einander stattfinden oder es kann u. U. Wasser über das Mischventil (am oberen rechten Bildrand) im Kreis durch die beiden Anschlüsse zirkulieren. Im schlimmsten Fall gibt es freie Kreis-zirkulation durch das ganze Raumwärmeverteilsystem, auch dann, wenn keine Raumheizung benötigt wird, also keine Pumpe die Strömung antreibt.

Achtung! Ein Wärmesiphon schützt in der Regel nicht vor Kreis-zirkulation durch Dichteunterschiede!

▪

Folgerungen

- Das Einsparpotential durch verbesserte Anschlüsse ist sehr beträchtlich.
- Die Möglichkeit und Wirksamkeit von Wärmesiphons ist bekannt und belegt. Dennoch werden Wärmesiphons kaum eingesetzt.
- Eine differenzierte und fundierte Empfehlung zur Dimensionierung von Wärmesiphons tut Not.
- Die Erkenntnisse müssen in Empfehlungen und Vorschriften einfließen, um die praktische Umsetzung positiv und massgeblich zu beeinflussen.

Wärmesiphons verringern die Wärmeverluste von an Speichern angeschlossenen Rohren sehr wirksam.

Das Einsparpotenzial ist beträchtlich. Wären in Einfamilienhäusern Wärmesiphons in Einsatz, könnten in der Schweiz etwa 0.4% des Gesamtenergieverbrauchs (Strom und Brennstoffe) aller Haushalte (nicht nur der Einfamilienhäuser) eingespart werden ([A. Lauber, 2007].

▪

Empfehlung, bzw. Nichtempfehlung



Wärmesiphons dämmen.

Für Wärmesiphons Rohrmaterial mit geringer Wärmeleitfähigkeit (z. B. Edelstahl), geringer Wandstärke und geringem Durchmesser einsetzen. Kupfer- und Stahlrohre sind für Wärmesiphons nicht geeignet.

Wärmesiphons dämmen, in einem Material mit geringer Wärmeleitung und ausreichend tief ausführen

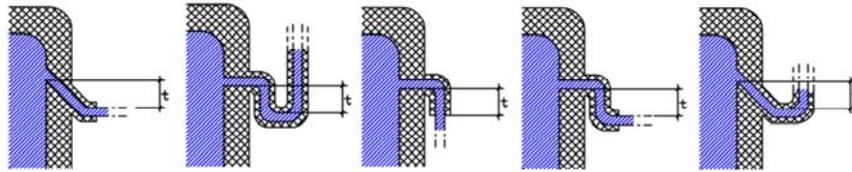
Wärmesiphons sind – entgegen den Unterstellungen und Empfehlungen mancher Richtlinien – mit Wärmedämmung zu versehen. Die Funktion des Wärmesiphons wird durch Wärmedämmung nicht negativ beeinträchtigt: Wenn sich das Wasser im Siphon langsam auskühlt, ist dies kein Nachteil. Auch ungedämmte Wärmesiphons taugen nicht zur zuverlässigen Verhinderung von Kreiszirkulation.

Ungedämmte Siphons sind sehr nachteilig. In den meisten Fällen wäre der Nachteil einer fehlenden Wärmedämmung sogar grösser als der Vorteil des Siphons.

Zum Teil wird empfohlen, Wärmesiphons 10 mal tiefer als den Rohrdurchmesser auszuführen. Die optimale Siphonhöhe hängt u. a. davon ab, wie oft das Rohr durchströmt ist, welches Rohrsystem an den Wärmesiphon angeschlossen wird und wie gut das Rohrmaterial Wärme leitet. (Vgl. dazu die Folien zu empfohlenen Siphontiefen). Berechnungen von optimalen Siphontiefen zeigen, dass optimale Siphonhöhen besser in absoluten Zahlen (z. B. cm) angegeben werden als in Mehrfachen des Durchmesser. Dies ist insbesondere dadurch bedingt, dass ein grösseres Rohr zwar besser Wärme leitet, aber auch mehr Zeit benötigt, um auszukühlen.

▪

Empfehlungen, Anschlüsse an Speicher



Wärmeleitung	Material	Siphontiefe t
sehr gering	Kunststoff- oder Edelstahlwellrohr	ca. 4 cm
gering	Edelstahlrohr, Wandstärke 1mm	ca. 7 cm
mässig	Edelstahlrohr, Wandstärke >> 1mm	ca. 10 cm
gross	Kupfer- oder Stahlrohr	nicht empfohlen*

*Die Wärmeleitung ist zu gross, die erzielbare Verbesserung ist zu gering. Schräge Stutzen sind jedoch deutlich besser als kein Siphon wenn sie mit zusätzlichen Massnahmen kombiniert werden.

Empfehlung bezüglich optimaler Wahl der Siphontiefe bei Wärmesiphons an Speichern etc.

Die Skizzen zeigen Ausführungen von Wärmesiphons, die gedämmtes Anschlussrohr mit einem Speicher verbinden, und solche, die ein ungedämmtes Rohr mit einem Speicher verbinden. Rohre, die häufig durchströmt werden, sollten immer wärmegeklämt werden. Einzig bei Ausstossleitungen einer Warmwasserverteilung, die nur eine Zapfstelle versorgen, ist es vertretbar, die Rohre nicht zu dämmen.

Wenn Ausstossleitungen nicht gedämmt sind, ist das Ende der Wärmedämmung massgebend als untere Grenze für die Siphontiefe t. (Vgl. Skizzen).

Ist die Wärmeleitung des Siphonrohres gross, wie dies bei Kupfer- oder Stahlrohren der Fall ist, ist die erreichbare Wirkung des Wärmesiphons bescheiden, normalerweise zu bescheiden. Die Siphons müssten sehr tief sein. Als Folge davon kann die zusätzliche Rohrlänge die Energieeinsparung des Siphons annähernd oder ganz zu Nichte machen.

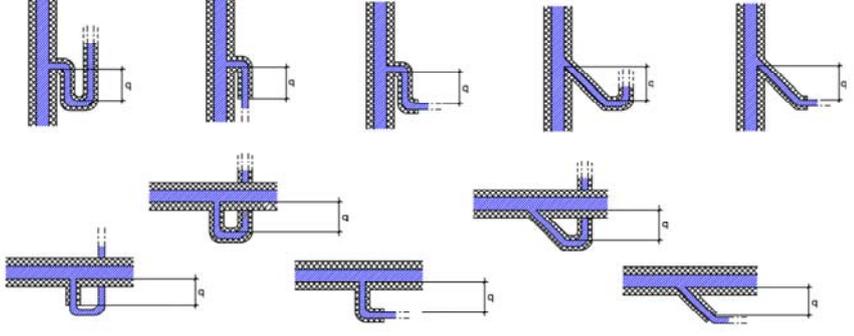
Bei bezüglich Dauer oder Anzahl oft durchströmten Wärmesiphons ist die Wirkung ebenfalls bescheiden. Dies ist besonders dann bedeutend, wenn das Rohr des Wärmesiphons gross ist: Die Auskühlung dauert lange, und der zeitliche Anteil, während dem der Wärmesiphon seine positive Wirkung entfalten kann ist gering.

Wärmesiphons, die selten durchströmt sind, sind, können ihre vorteilhafte Wirkung gut entfalten und sollten darum eher tiefer (länger) dimensioniert werden, als oben angegeben ist.

Die in der Tabelle empfohlenen Siphontiefen wurden aus rechnerisch ermittelten Optima abgeleitet, die für einen Fall mit gesamthaft 3 Stunden Durchfluss pro Tag während dreier Perioden pro Tag ermittelt wurden.

▪

Empfehlungen, Anschlüsse an Verteiler



Wärmeleitung	Material	Siphontiefe q
sehr gering	Kunststoff- oder Edelstahlwellrohr	ca. 9 cm
gering	Edelstahlrohr, Wandstärke 1mm	ca. 12 cm
mässig	Edelstahlrohr, Wandstärke >> 1mm	ca. 15 cm
gross	Kupfer- oder Stahlrohr	nicht empfohlen*

*Die Wärmeleitung ist zu gross, die erzielbare Verbesserung ist zu gering.

Empfehlung bezüglich optimaler Wahl der Siphontiefe bei Wärmesiphons an Verteilungen oder Verteilern

Man beachte die Bemerkungen in der Folie mit Empfehlung bezüglich optimaler Wahl der Siphontiefe bei Wärmesiphons an Speichern.

Bei Wärmesiphons, die Warmwasser-Verteilungen und Ausstossleitungen, bzw. zwischen Warmwasser-Verteilern und Ausstossleitungen verbinden, wird empfohlen, die Tiefe (q) etwas grosszügiger zu bemessen als bei Wärmesiphons an Speichern, da die Verteiler oder Verteilungen häufiger durchströmt werden, als jeder abgehende einzelne Siphon. Es ist zu befürchten, dass Strömung am oberen Ende des Wärmesiphons die Temperaturschichtung im Wärmesiphon beeinträchtigt. In der Tabelle oben, wird darum gegenüber der Tabelle mit empfohlenen Tiefen (t) von Wärmesiphons an Speichern ein Zuschlag von 5 cm empfohlen, was zu den empfohlenen Tiefen q führt. Dieser Zuschlag ist aber eine Schätzung und beruht nicht auf einer Untersuchung.

▪

Empfehlungen für Hersteller

Speicheranschlussstutzen so konstruieren, dass sie als Wärmesiphon wirken.



Ausführung und Bild: Jenni Energietechnik AG, Schweiz

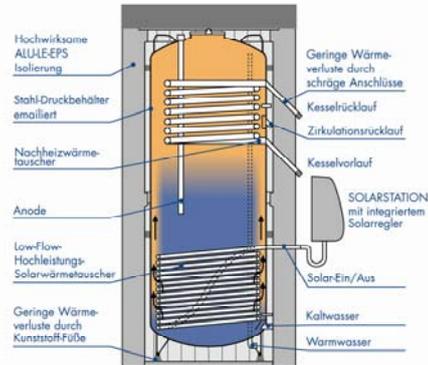


Bild: Produktunterlagen der Firma Consolar Solare Energiesysteme GmbH, Deutschland

Empfehlungen an Hersteller von Speichern

Speicheranschlussstutzen sollten im Herstellerwerk so ausgeführt werden, dass sie als Wärmesiphons wirken, in dem sie z. B. in einem Winkel nach unten an den Speicher geschweisst werden, wie im Bild der Firma Jenni gezeigt ist. Nach unten ausgerichtete Anschlussstutzen sind eine Form von Wärmesiphons. Die Firma Jenni bietet diese Ausführung schon lange an und hat damit Pionierarbeit geleistet. Allerdings ist der Nutzen bei Wärmesiphons, die aus grossen, dickwandigen und gut Wärme leitendem Material bestehen, beschränkt, denn die Wärmeleitung ist zu ausgeprägt und der Rohrinhalt kühlt bei den bei Stutzen üblichen grossen Rohrdurchmessern nur sehr langsam aus. Bessere Lösungen sind auf weiteren Folien gezeigt.

Ausser den oben gezeigten Beispielen bieten noch einige weitere Firmen Speicher an, bei denen das Problem an der Wurzel gelöst ist: Bezeichnenderweise sind die meisten dieser Firmen im Bereich der Sonnenenergienutzung spezialisiert. Allerdings werden bei Solarspeichern Wärmeverluste mindestens teilweise umweltfreundlich bereit gestellt und können auch durch Sonnenenergiegewinne kompensiert werden. Die Vermeidung von Speicherwärmeverlusten wegen nachteilig angeschlossener Rohren ist keineswegs ein solarspezifisches, sondern eine allgemein gültiges Gebot. Das Problem betrifft also nicht nur Solarspeicher und die Problemlösung sollte nicht der Solarenergiebranche allein überlassen werden.

Und: Die Problemlösung sollte nicht einfach auf die Installateure geschoben werden. Speicherhersteller sind genauso gefordert. Dabei betrifft die Forderung von Wärmesiphons nicht nur Stutzen zur direkten Entnahme, sondern auch Stutzen von eingebauten Wärmetauschern. Beim Warmwasseranschluss sollte entweder der Stutzen einen Wärmesiphon bilden (allerdings nur, wenn keine Zirkulation durch den Stutzen erfolgt), oder ein Verteiler wird sehr nahe am Speicher angebracht und die vom Verteiler abgehenden Ausstossleitungen werden am Verteiler siphoniert. Noch besser ist es, die Ausstossleitungen vom Speicher direkt wegführen und auf einen separaten Verteiler zu verzichten. (Vgl. dazu die entsprechenden Folien.)

In der oben gezeigten Schnittzeichnung der Firma Consolar sind mehrere mögliche Lösungen gezeigt: in einem Winkel nach unten abgehende Stutzen beim oberen Wärmetauscher; ein externer Siphon bei den Anschlüssen an den unteren (Solar-) Wärmetauscher und der Abgang des Warmwasseranschlusses nach unten durch den Speicherboden. Dass der Kaltwasseranschluss nicht mit einem Wärmesiphon ausgestattet ist, ist bei tief angeordneten Stutzen von Solarspeichern zulässig. Solarspeicher weisen eine starke Temperaturschichtung auf und erwärmen den unteren Bereich des Speichers ausschliesslich mit Sonnenenergie. Nicht gezeigt sind Kunststoffeinsätze die Consolar auch anbietet. Diese können in die schrägen Stutzen eingesetzt werden um die Wärmesiphonwirkung zu verstärken. Ausserdem bietet Consolar Siphonbögen aus Edelstahl an.

Bildverwendung: mit freundlicher Genehmigung der Firmen Consolar Solare Energiesysteme GmbH und Jenni Energietechnik AG.

Empfehlungen für Hersteller

Wärmesiphons und Konvektionssperren sollten als vorgefertigte, mit Wärmedämmung ausgestattete Elemente angeboten werden um bei horizontalen oder nach oben gerichteten Stützen eingesetzt zu werden.

Die Wirkung von werksgefertigten Lösungen sollte überprüft werden.

Installationsanleitungen sollten der Einsatz von Wärmesiphons verlangen.

Empfehlungen für Planer und Installateure

Wenn Speicheranschlussstutzen nicht so konstruiert sind, dass sie als Wärmesiphon wirken, gedämmte Wärmesiphons einsetzen. Dies gilt für den Anschluss von Rohren an Komponenten mit Wärmekapazität wie Speicher, aber auch manche Wärmeerzeuger (Heizkessel, Wärmepumpen) oder Wärmetauscher, insbesondere solche, die an Speicher angeschlossen sind. Eine Ausnahme stellen Anschlüsse dar, die Teile eines zweifelsfrei immer warm gehaltenen Verteilnetzes sind.

Internen Wärmesiphons, Konvektionssperren und Konvektionsbremsen misstrauen.

Den Effekt der Gegenstromzirkulation zum Zweck der Warmhaltung von Teilen des Warmwasserverteilnetzes (z. B. Warmwasserverteilern) nur mit Vorsicht, bzw. mit eindeutig geeigneten oder überprüften Lösungen nutzen.

Empfehlungen

Wenn ein Stutzen nicht in geeigneter Weise ausgeführt ist, muss ein Wärmesiphon eingesetzt werden. Das heisst, das Anschlussrohr ist möglichst nahe am Speicher nach unten zu führen.

Manche Richtlinien empfehlen als Tiefe des Wärmesiphons das ca. 10-fache des Rohrdurchmessers. Eine grosse Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials spricht für tiefe Wärmesiphons, häufiger Betrieb und kurze Stillstandszeiten legen eine geringe Siphontiefe nahe. Ausserdem ist die Gestaltung des Siphons vom der Ausführung (insbesondere Ausrichtung und Wärmedämmung) des an den Siphon anschliessenden Rohres abhängig.

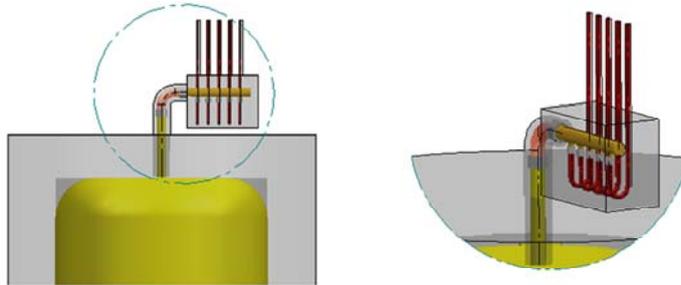
Wärmesiphons sind – entgegen den Unterstellungen und Empfehlungen mancher Richtlinien – immer mit Wärmedämmung zu versehen. Die Funktion des Wärmesiphons wird durch Wärmedämmung nicht beeinträchtigt, sondern verbessert: Wenn sich das Wasser im Siphon langsam auskühlt, ist dies vorteilhaft.

Interne Wärmesiphons in Form eines in den Speichers hineinragenden und nach oben geführten Stutzens sind nicht bzw. nur in geringem Masse wirksam. Dasselbe kann über einfache metallische Konvektionssperren gesagt werden. Die Entwicklung von wirksamen internen Wärmesiphons und Konvektionssperren wäre zweifellos sinnvoll.

▪

Empfehlungen

Vermeiden von Anschluss- und Ausstossverlusten durch optimale Anordnung und Wärmedämmung des Verteilerbalkens.



Anschluss und Verteiler gut gedämmt und direkt beim Stutzen montiert, Ausstossleitungen aus Kunststoff nach unten abgehend.

Empfehlung

Ist nach unten wenig Platz vorhanden, können die Ausstossleitungen seitlich, jedoch mindestens leicht nach unten geneigt, vom Verteiler aus weggeführt werden. Ein horizontales Rohr mit bescheidenem Durchmesser führt nur zu moderaten Wärmeverlusten wegen interner Gegenstromzirkulation, besonders, wenn es in der Nähe des Verteilers gedämmt oder leicht nach unten geneigt ist.

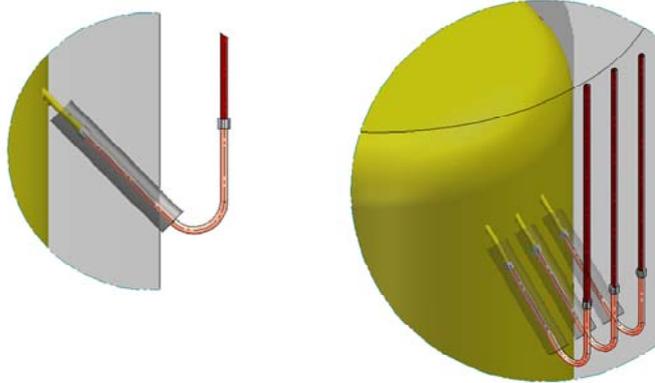
Gehen die Ausstossleitungen hingegen nach oben oder geneigt nach oben weg, treten sehr massgebliche Wärmeverluste auf und es dürfte nicht mehr möglich sein, den Verteiler ausreichend warm zu halten.

Gute Lösungen der prinzipiell gezeigten Art sollten entwickelt werden.

▪

Empfehlungen

Vermeiden von Anschluss- und Ausstossverlusten durch direkten geneigten Anschluss mancher Ausstossleitungen an den Speicher

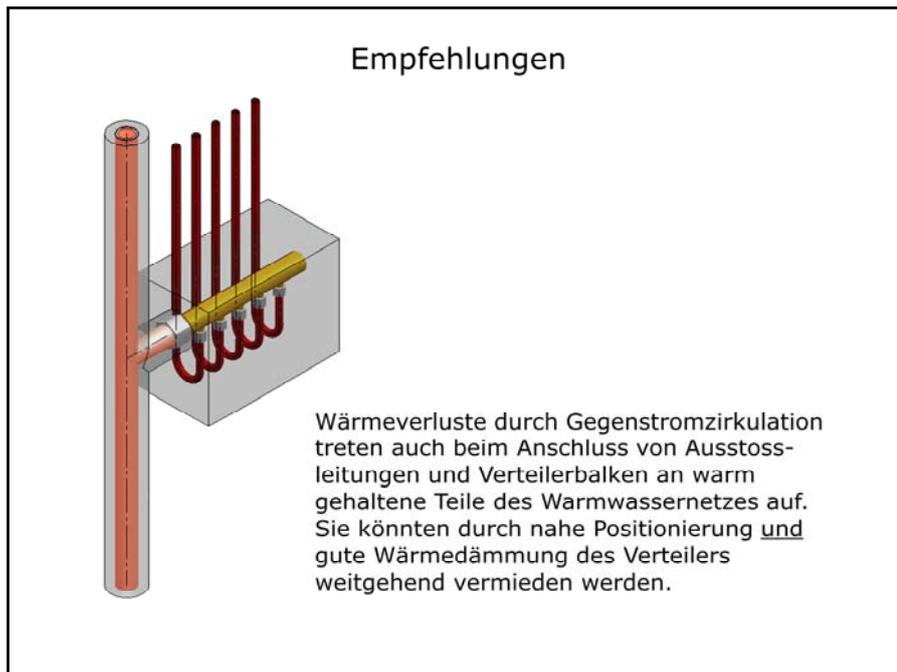


Der Speicher ist Verteilerbalken

Es ist denkbar, nur wenige, z. B. – wie hier gezeichnet – drei kleine Stutzen, an Stelle eines sehr grossen Warmwasserstutzens auszuführen. An einen der Stutzen könnte ein Verteilerbalken angeschlossen werden, wenn es im Haus mehr als 3 Warmwasserzapfstellen gibt. Duschen würden direkt an den Speicher angeschlossen.

Ideal wäre eine Ausführung bei der bereits Teile des als Wärmesiphon wirkenden Stutzens aus Kunststoffrohren ausgeführt würden. Bei geeigneter Konzeption des Anschlusses und der Wärmedämmung (hier mit Dämmschlauchelementen gezeichnet) erscheint dies als umsetzbar.

▪



Empfehlung

Ist nach unten wenig Platz vorhanden, können die Ausstossleitungen seitlich (wenn möglich leicht nach unten geneigt) vom Verteiler aus weggeführt werden. Wenn es in der Nähe des Verteilers gedämmt und leicht nach unten geneigt ist, hat ein horizontales Kunststoffrohr mit bescheidenem Durchmesser nur moderate Wärmeverluste wegen interner Gegenstromzirkulation zur Folge.

Welche Konfigurationen und Dämmstärken von Verteiler, Steigleitung und Ausstossleitungen es erlauben, den Verteiler zuverlässig warm zu halten, sollte geklärt werden. Ferner gilt es abzuklären, ob eine Warmwassermengenzählung vor den Verteiler eine effektive Warmhaltung des Verteilers verhindert.

▪

Empfehlungen für Prüfung, Forschung und Normierung

Die Wirkung von vorgefertigten Wärmesiphons, Konvektionssperren und Konvektionsbremsen sollte überprüft und beziffert werden.

Die für eine neutrale Prüfung notwendigen Voraussetzungen sollten geschaffen werden.

Die Nachteiligkeit ungünstig gestalteter Stutzen sollte in die Bewertung von Speichern und deren Wärmeverlusten einfließen. Der Vorteil gut und der Nachteil schlecht gestalteter Stutzen sollte beziffert werden.

Empfehlungen Normierung (Textentwurf)

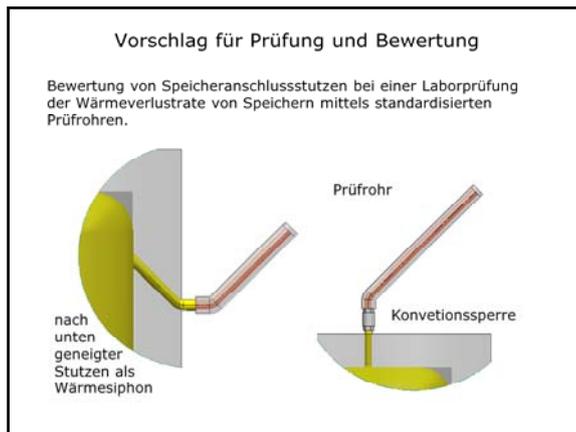
Nicht prinzipiell immer durchströmte Rohre sind so an Komponenten anzuschliessen, die Wärme in Form von warmem Wasser speichern oder dauerhaft warmes Wasser beinhalten, dass sie keine wesentlichen Wärmeverluste durch rohrinterne Gegenstromzirkulation verursachen.

Wärmesiphons sind ein geeignetes Mittel um solche Wärmeverluste zu vermeiden.

Ein Wärmesiphon ist ein Abschnitt eines an einen Speicher angeschlossenen Rohres, der so nahe wie möglich am Speicher nach unten führt, ausreichend lang (bzw. tief) und wärmegeklämmt ist.

Forschungsbedarf

- Richtlinien zur Dimensionierung von Wärmesiphons an Verteiler erarbeiten.
- Prüf- und Bewertungsmethoden für Speicheranschlüsse, vorgefertigte Wärmesiphons und Konvektionssperren entwickeln.
- Möglichkeiten und Grenzen für das Warmhalten von Verteilern mittels rohrinterner Gegenstromzirkulation klären.
- Wissen an Installateure, Planer und Hersteller transferieren.



Bewertung von Wärmesiphons, Konvektionssperren und Konvektionsbremsen

Werden Stutzen nicht vorteilhaft ausgeführt, sollte dies bei einer Bestimmung der Wärmeverluste von Speichern berücksichtigt werden. Es ist dabei davon auszugehen, dass die Rohranschlüsse nicht mit Wärmesiphon ausgeführt werden. Bei Speichern mit horizontalen, vertikalen (oder steigenden) Stutzen sollte in Abhängigkeit des Stutzenmasses ein Zuschlag angesetzt werden. (z. B. 0.5 W/K bei einem Stutzen einer bestimmten Grösse). Es sollte also nicht (oder nicht nur) der zulässige Wert der Speicherwärmeverluste wegen der Stutzen erhöht werden, sondern es sollte – im Falle ungünstiger Stutzengestaltung – der zulässige Wert reduziert werden. Dadurch wird ein Anreiz geschaffen, die Stutzen vorteilhafter zu gestalten – so, dass sie wie ein Wärmesiphon wirken. Um die Qualität von verbesserten Stutzen zu überprüfen, kann an besonderen (verbesserten) Stutzen ein Prüfrohr angeschlossen werden (wie in den Bildern gezeigt). Das Prüfrohr ist standardisiert und würde, wäre es an einen horizontalen oder an einen vertikalen Stutzen angeschlossen, zu einer Erhöhung des Wärmeverlusts um 0.5 W/K führen. In wie fern die Übergänge wärmegeämmt werden sollen, ist zu regeln.

In analoger Weise können verschiedenartige Lösungen, wie vorgefertigte Wärmesiphons, Konvektionssperren oder Konvektionsbremsen, bewertet werden. Im Bild wird der mögliche Einsatz eines Prüfrohrs zur Prüfung einer Konvektionssperre bzw. zur Prüfung eines geneigten Stutzens mit Wärmesiphonwirkung gezeigt.

Das standardisierte Prüfrohr verfügt mit Vorteil über eine massvolle Wärmedämmung, um den Einfluss des schwierig zu standardisierenden äusseren Wärmeübergangs zu beschränken. Mit Vorteil geht es in der Nähe des Anschlusses in eine Neigung von 45° über und verfügt über ein in der Achse angeordnetes Entlüftungsventil. So kann dasselbe Prüfrohr bei horizontalem wie auch vertikalem Anschluss eingesetzt werden.

Die meisten Hersteller werden eine bescheidene Zahl besonderer Ausführungen von Stutzen entwickeln und diese Ausführungen bei verschiedenen Produkten (Speichern) einsetzen. Die Speicher müssen nicht alle mit Prüfrohren (an all den betreffenden Stutzen) untersucht werden. Eine bestimmte besondere Ausführung eines Stutzens kann, mittels kleinem Prüfspeicher und standardisiertem Prüfrohr, für sich im Labor bewertet werden. Die so ermittelten Zuschläge können anschliessend direkt bei der Gesamtbewertung eines Speichers berücksichtigt werden.

Eine weitere bzw. alternative, Möglichkeit eine Verbesserung zu erzielen, besteht darin, besonders gestaltete Stutzen auszuzeichnen. Zur Beurteilung könnte ebenfalls ein Prüfrohr und ein Prüfspeicher eingesetzt werden. Bei ausgezeichneten Stutzen, würde keine Pflicht bestehen, die Rohranschlüsse mit Wärmesiphons auszustatten.

In den Bildern sind der Übergang zwischen Stutzen und Prüfrohr, bzw. die Konvektionssperre nicht gedämmt. In wie fern diese Teile in einer Prüfung zu dämmen sind, müsste die Prüfvorschrift festlegen. In der Praxis sollten solche Teile immer wärmegeämmt werden.

▪

Referenzen

Studien und Publikationen

M. Kölbl, SPF Institut für Solartechnik, Rapperswil, Schweiz, 2006: vgl. Folie *Weitere Informationen*

J.-M. Suter, M. Brack, H. Weber; PSI (EIR), Schweiz, 1983; J.-M. Suter, 2000: H. Weber, M. Brack, J.M. Suter: Ein Wildbach unter Wasser / Zur freien Konvektion in Warmwassertanks; Jean-Marc Suter: Heat losses from storage tanks: up to 5 times higher than expected! - summary for the IEA SHC Task 26 of measurement results and investigations from 1980-1983, 2000

S. Furbo, Danish Technical University, SSTG 1989: S. Furbo; Thermal bridges; Contribution to EU's SSTG project (Solar Storage Testing Group) Abschlussbericht, hauptsächlich Seiten 3 bis 8 (Beitrag), Seiten 311 bis 316 (Schlussbericht)

B. Menzi, Institut für Solartechnik, Rapperswil, Schweiz, 2001: Interne Studie

W. Kubik, Lehrwerkstätte Bern, Schweiz, 1986: W. Kubik; Warmwasserverteiler für Ausstossleitungen; Installateur, Nr. 3, 1986, S. 29-31

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE, 2004: Service Water Heating, ASHRAE, 90.1 resp. 90.2, 2004, S. 56-57 resp. S. 14

A. Lauber, SPF Institut für Solartechnik, Rapperswil, Schweiz, 2007: vgl. Folie *Weitere Informationen*

Firmen

Wagner & Co Solartechnik GmbH, Deutschland: <http://www.wagner-solar.com>

Jenni Energietechnik AG, Schweiz: <http://www.jenni.ch>

Consolar Solare Energiesysteme GmbH, Deutschland: <http://www.consolar.de>

Weitere Informationen

1. Präsentationsfolien (2.) und Notizenseiten, je als Adobe pdf; MS Power Point Datei, einschliesslich Film zur Visualisierung (3.), Abspielsoftware Media Player Classic und illustrierte Erläuterungen zum Film (4.), zusammen komprimiert als Zip-Datei. Es wird nur die aktuellste Version zur Verfügung gestellt, die eventuell von dieser Präsentation abweicht.
<http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/awv/WaermeverlusteDurchRohrinterneGegenstromzirkulation.zip>
2. Präsentation als PDF-Datei (in 1. enthalten):
<http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/awv/WaermeverlusteDurchRohrinterneGegenstromzirkulation-Praesentation.pdf>
3. Film von Marco Kölbl gezeigten Aufnahmen (in 1. enthalten):
<http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/awv/Film-Gegenstromzirkulation.avi>
4. Illustrierte Erläuterungen zu den im Film von Marco Kölbl gezeigten Aufnahmen (in 1. enthalten):
<http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/awv/Film-Gegenstromzirkulation-Erlaeuterungen.pdf>
5. Bericht von Marco Kölbl über Details und das Vorgehen bei der Visualisierung der Gegenstromzirkulation am SPF:
<http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/awv/Film-Gegenstromzirkulation-Bericht.pdf>
6. Bericht von Adrian Lauber u. a. über Wärmeverlustmessungen am SPF:
<http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/awv/Messungen-WaermeverlusteDurchRohrinterneGegenstromzirkulation.pdf>
7. Liste von Publikationen zum Thema, einschliesslich der in der Präsentation erwähnten Studien (Englisch):
<http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/awv/publicationsOnStandbyLossesOfPipesAndHeatTraps.pdf>

Bei den Links zum Download die Gross- bzw. Kleinschreibung beachten!



Ausgabe: 2. Juni 2008

Autoren
Peter Vogelsanger, Simon Geisshüsler, Adrian Lauber, Xavier Daguene, Heinz Marty
Institut für Solartechnik SPF, HSR Hochschule für Technik Rapperswil
Korrespondenz: heinz.marty@solarenergy.ch

Dank
Die Autoren danken den Urhebern zitierter Arbeiten und den erwähnten Firmen für ihre Unterstützung. Diese Präsentation wurde durch die Unterstützung des Schweizer Ingenieur- und Architektenvereins, SIA und des Bundesamts für Energie ermöglicht.

Copyright
Die Verbreitung des Inhalts mit Quellenangabe (diese Seite) ist erwünscht.
Das SPF bittet um Mitteilung von Korrekturen, Ergänzungen oder Übersetzungen.

Bezugsquelle
Eine aktuelle Version dieser Präsentation ist erhältlich unter:
<http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/awv/WaermeverlusteDurchRohrinterneGegenstromzirkulation.zip>



Weiterverbreitung der Inhalte

Die Firmen, deren Bildmaterial verwendet wird, sind mit der Weiterverbreitung des Materials einverstanden.

Kürzungen, Ergänzungen, Übersetzung und Änderungen sind zulässig, führen aber möglicherweise zu Inkonsistenz.

Anregungen, Verbesserungen sollten dem Korrespondenzautor (s. Folie) mitgeteilt werden.

▪