

5.1. Bereitschaftsspeicher und Nachheizung

Die Dimensionierung des konventionellen Anlagenteils, d. h. der konventionellen Nachheizung und des Bereitschaftsspeichers, erfolgt vollkommen unabhängig von der Dimensionierung des Kollektorfeldes. Die Nachheizleistung und die Größe des Bereitschaftsspeichers bilden eine Einheit und müssen genau aufeinander abgestimmt werden. Für die Dimensionierung des Bereitschaftsspeichers ist das auftretende Tagesverbrauchsprofil maßgeblich und daher wie bei einem konventionellen System ohne Kollektoranlage zu dimensionieren. Der Bereitschaftsspeicher stellt zusammen mit der Nachheizung die Versorgungssicherheit des Objektes dar und muss so ausgelegt sein, dass die maximal auftretende Stundenspitze (maximale Spitzenzapfung) abgedeckt werden kann. Grundlegend gilt jedoch, dass der Bereitschaftsspeicher so klein wie möglich ausgelegt werden sollte.

Die Kesselleistung \dot{Q}_K ist die Leistung, mit jener der Kessel dem System Wärme zuführt.

Die Nachheizleistung $\dot{Q}_{Nachheiz}$ hingegen ist die Leistung, in deren Umfang der Bereitschaftsspeicher vom Kessel beladen wird.

Die zu installierende Kesselleistung muss mindestens so groß sein wie die erforderliche Nachheizleistung.

Zur Berechnung des erforderlichen effektiven Speichervolumens und der erforderlichen Nachheizleistung stehen folgende allgemein anerkannte Verfahren zur Verfügung:

- Bedarfskennzahl-Methode (DIN 4708)
- Gleichzeitigkeitsfaktormethode

Das im Dimensionierungsdiagramm zu ermittelnde Bereitschaftsspeichervolumen (Speicher 1) wurde mit der Bedarfskennzahl-Methode (DIN 4708) ermittelt.

Zur Trinkwassererwärmung wird für das **gesamte System** folgende Energie benötigt:

$$Q_{Trinkwasser} = \text{Erwärmung des Trinkwassers} + \text{Speicherverluste} + \text{Zirkulationsverluste}$$

Energie zur **Erwärmung des Trinkwassers:**

$$Q_{Erwärmung} = m * c * \Delta T = V * \rho * c * \Delta T$$

- $Q_{Erwärmung}$ erforderliche Energie in kJ
- m Masse des zu erwärmenden Wassers in kg
- c spezifische Wärmekapazität des Wassers (= 4,18 kJ/kg K)
- ΔT Temperaturdifferenz zwischen kaltem und erwärmtem Wasser in K
- ρ Dichte des Wassers in kg/m³
- V Volumen des zu erwärmenden Wassers in m³

Speicherverluste:

Diese sind sowohl von der Temperatur im Speicher als auch von der Umgebungstemperatur abhängig. Letztere ist durch den Standort des Speichers weitgehend vorgegeben. Zur Ermittlung der Speicherverluste werden von den Herstellern produktspezifische Werte angegeben. Bei diesen Angaben sollte eine Prüfung nach prEN 12977 –3 durchgeführt worden sein. Die Speicherverluste können wie folgt berechnet werden:

$$Q_{Speicherverlust} = k * A * \Delta T * t$$

- k Wärmedurchgangskoeffizient des Speichers in W/m² K
- A Oberfläche des Speichers in m²
- ΔT mittlere Temperaturdifferenz zwischen Speicherwasser und Umgebung in K
- t ...betrachteter Zeitraum der Speicherverluste in sec

Die Zirkulationsverluste können wie in Kapitel 5.8. berechnet werden.

5.2. Pufferspeicher

Pufferspeicher sind ähnlich aufgebaut wie die zuvor beschriebenen Bereitschaftsspeicher. Sie sind jedoch wesentlich preiswerter, weil sie keinen Korrosionsschutz benötigen, da das Heizungswasser durch den Mangel an Sauerstoff nicht mehr korrosiv ist. Der Wärmeinhalt des Pufferspeichers wird bei Anforderung über einen externen Wärmetauscher an das Trinkwasser in den Bereitschaftsspeicher übergeben.

Das benötigte Speichervolumen sollte möglichst in einem einzigen Behälter untergebracht werden (evtl. kellergeschweißter oder außenstehender Speicher). Solche großvolumigen Speicher verursachen in der Regel keine höheren Kosten als eine aus mehreren kleineren Behältern aufgebaute Speichergruppe. Prinzipiell besteht jedoch die Möglichkeit, ein Speichervolumen auch durch Zusammenschalten mehrerer kleinerer Volumina (wir empfehlen jedoch höchstens vier) zu bilden (Angaben zu den Speicherabmaßen sind in Kapitel 3.1. ersichtlich). Dabei stellt sich die Frage, ob die Einzelbehälter parallel oder in Reihe (seriell) verschaltet werden. Beide Speicherverschaltungen haben Vor- und Nachteile, die es im Einzelfall abzuwägen gilt.

Tipp:

Die Erfahrungen aus dem Projekt „Solarthermie 2000“ mit Parallelschaltungen zeigen, dass die Be- und Entladedurchströmungen durch die Einzelspeicher oft ungleich groß sind, was zur Folge hat, dass sich unterschiedliche Temperaturen in den Speichern einstellen. Bei einer Reihenschaltung kommt dies nicht vor.

Vorteile von Pufferspeichern gegenüber Trinkwasserspeichern

- Pufferspeicher sind wegen des nicht notwendigen Korrosionsschutzes billiger als Trinkwasserspeicher.
- Das in den Pufferspeichern bevorratete Heizungswasser kann über einen externen Wärmetauscher auf bis zu 90 °C erwärmt werden, da hier die Gefahr einer Verkalkung des Wärmetauschers (im Gegensatz zu Trinkwasserspeichern) nicht gegeben ist. Dies hängt aber auch vom Härtegrad des verwendeten Heizungswassers ab. Hat sich der im Heizungswasser befindliche Kalkanteil einmal abge-



Abb. 5.1 Pufferspeicher; Quelle: (8)

setzt, ist keine weitere Verkalkung mehr zu befürchten.

- Da den Trinkwasserspeichern stets frisches, sauerstoffreiches Trinkwasser (welches korrosionsaggressiv wirkt) zugeführt wird, sind diese mit einer antikorrosiven Schicht auszukleiden.
- Bei Trinkwasserspeichersystemen muss besonders auf die Verkalkung der externen Wärmetauscher vom Kollektorkreis Rücksicht genommen werden. Deshalb dürfen Trinkwasserspeicher auf nur höchstens 60 °C erwärmt werden.
- Hält man sich an die DVGW-Richtlinie, so muss das gesamte Trinkwasserspeichervolumen einmal täglich auf 60 °C erwärmt werden.

Vorteile von Trinkwasserspeichersystemen gegenüber Pufferspeichersystemen

- Da jede Wärmeübertragung durch externe Wärmetauscher mit Verlusten behaftet ist, muss stets darauf geachtet werden, dass nur so viele Wärmeübertragungen wie unbedingt notwendig durchgeführt werden. Bei Trinkwasserspeichersystemen wird die vom Kollektorfeld erhaltene Wärme über nur einen Wärmeaustausch direkt an das Trinkwasser übergeben.
- Bei Trinkwasserspeichersystemen entfällt die „Grädigkeit“ eines Wärmetauschers im Vergleich zu Systemen mit Pufferspeichern.

Anlagentyp	„effektives Speichervolumen“ in Liter/m ² Kollektorfläche
Vorwärmanlage	45
Kosten-Nutzen-optimierte Anlage	55
Anlage mit hoher Brennstoffeinsparung	70

Tab. 5.1 effektives Speichervolumen; Quelle: ASiC

Dimensionierung der Pufferspeicher

Die Größe des „effektiven Pufferspeichervolumens“ einer Solaranlage richtet sich nach der Kollektorfeldgröße und dem Anlagentyp.

Als „effektives Pufferspeichervolumen“ wird jenes Volumen bezeichnet, das rein zur Speicherung der Solarenergie dient. Wird zur Versorgungssicherung der Pufferspeicher mit dem konventionellen Kessel nachgeheizt, so ist dieser um das Nachheizvolumen (ca. 20 % des effektiven Pufferspeichervolumens) zu vergrößern.

Das benötigte effektive Pufferspeichervolumen wird im Dimensionierungsdiagramm mit Speicher 2 (rot) bezeichnet und ergibt sich wie in Tab. 5.1 ersichtlich.

Maßnahmen zur Verringerung der Wärmeverluste des Speichers an die Umgebung

Die Dicke der Speicherdämmung hängt vom Verbraucher ab. Sie muss für den Auslegungszeitraum dem Wärmeverlust entgegenwirken und die gespeicherte Wärme so gut wie möglich aufrechterhalten. Die Dicke wird durch technische Notwendigkeit und wirtschaftliche Überlegungen begrenzt. Der Speicher sollte einen möglichst geringen Wärmeverlustwert aufweisen. Dieser sollte den Wert von 0,5 W/K, bezogen auf eine Fläche von einem Quadratmeter, nicht übersteigen. In der Regel wird dies mit einer 15–20 cm dicken Dämmung erreicht. Die Dämmung muss eng am Speicher anliegen. Um die Dämmung im oberen, heißen Teil des Speichers nicht zu unterbrechen, sollten alle Anschlüsse diesen durch den kältesten Bereich des Speichers verlassen.

Bei der Ausführung der Anschlüsse, einschließlich ihrer Dämmung, ist besonders zu beachten, dass diese so ordentlich und fachmännisch wie nur möglich durchgeführt werden. Die Anschlüsse sind so auszuführen, dass der Speicher aufgrund Naturzirkulation nicht über Nacht entladen werden kann. Durch entsprechende Maßnahmen (Thermosiphon, Rück-

schlagventil) kann dem mit relativ wenig Aufwand entgegengewirkt werden. Leitungsöffnungen für kaltes Wasser sind im unteren, kalten Speicherbereich auszuführen, Anschlüsse für warmes Wasser im oberen, warmen Speicherbereich. Da die Speicherdämmung besonders im obersten Teil des Speichers nicht unterbrochen werden soll, ist es ratsam, den Warmwasseranschluss intern (im Speicher selbst) bzw. extern (zwischen Speicherwand und Außenhaut der Dämmung) durch die Bodendämmung zu leiten. Bei der internen Ausführung kommt es zur Störung der Speicherschichtung und das Warmwasser in der Leitung wird abgekühlt. Einer Wärmeleitung durch die „Füße“ des Speichers ist ebenso durch eine Bodendämmung entgegenzuwirken.

Wärmeschichtung

Der Warmwasserspeicher (Puffer- oder Trinkwasserspeicher) sollte stehend ausgeführt sein; dies ist Grundvoraussetzung für die Bildung einer Wärmeschichtung.

Unter Wärmeschichtung versteht man die Aufrechterhaltung der verschiedenen Temperaturen innerhalb des gleichen Warmwasserspeichers. Das warme Wasser eines Speichers muss sozusagen auf dem nachfließenden Kaltwasser „schwimmen“ und wird von diesem bei jeder Wasserzapfung nach oben gehoben.

Die Erhaltung der Wärmeschichtung ist für den Wirkungsgrad einer Solaranlage von großer Bedeutung.

Die Schichtungskennzahl N:

Die Speicherschichtung wird durch die Schichtungskennzahl N ausgedrückt und beschreibt den Abbau der Temperaturschichtung. Sie macht sich beim Entladen bemerkbar. Ein hohes N bedeutet, dass viel Wasser mit hoher Temperatur gezapft werden kann, der Speicher reagiert mit sprungartigen Temperaturverläufen. Gutes Schichtungsverhalten heißt ebenso, dass

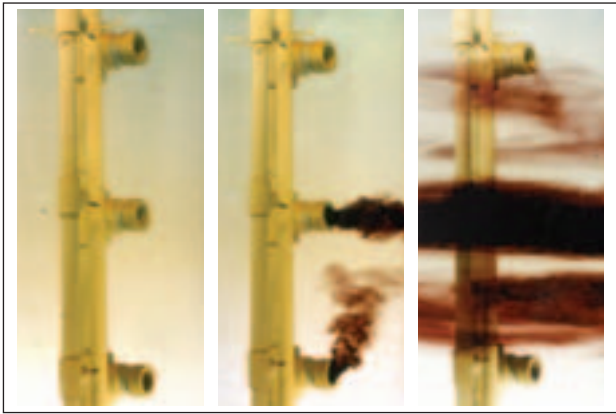


Abb. 5.2 Schichtladeeinheit; Quelle: (9)

Kaltwasser im untersten Teil des Speichers unverändert, im Idealfall also ca. 8–10 °C, kalt ist. Dadurch kann bei abnehmender Einstrahlung (gegen Abend) noch Wärme von der Sonne genutzt werden (wenn im Laufe des Tages Warmwasser gezapft wurde), da eine ausreichende Temperaturdifferenz für den Wärmedurchgang im Kollektor vorhanden ist.

Hohe Schichtungskennzahlen sind besonders dann wichtig, wenn für die Umwälzung des Speichervolumens viel Zeit benötigt wird. Dies ist bei Low-Flow-Anlagen (siehe Kapitel 2.10.) sowie bei großen Speichern und bei Langzeitspeichern der Fall. Prinzipiell ist bei der Beladung des Speichers darauf zu achten, dass es zu keiner Vermischung mit Wasser geringerer Temperatur kommt.

Externe Wärmetauscher garantieren, geringe Massenströme vorausgesetzt, gutes Schichtungs-Verhalten mit kleinen Zonen der Vermischung. Brauchwasser mit Nutztemperatur steht schnell zur Verfügung (bei entsprechender Temperaturspreizung im Kollektor). Höchste Schichtungskennzahlen N ergeben sich mit Schichtladeeinheiten-Vorrichtungen, in denen erwärmtes Wasser in jene Schicht des Speichers eingebracht wird, in der Temperaturgleichheit zwischen eintretendem Wasser und dem Speicher besteht (siehe Abb. 5.2).

Damit ein Speicher die Wärmeschichtung erhalten kann, sind eine Reihe konstruktiver Maßnahmen erforderlich. Durch Speichereinlaufberuhigungen werden Vermischungen eintretenden Kaltwassers mit bereits erwärmtem Wasser vermindert, dadurch wird die Schichtung weniger gestört. Da der Bereich der Vermischung also kleiner ist als ohne Einlaufberuhigung (Bereiche der Vermischung lassen sich nicht gänzlich vermeiden), resultiert daraus auch eine höhere Schichtungskennzahl N . Wird das eintretende

Schichtungskennzahlen

niedrig	1–10
hoch (gute Schichtung)	20–30

Tab. 5.2 Schichtungskennzahlen; Quelle: ASiC

Kaltwasser nicht gebremst, wird weiter oben befindliches Wasser abgekühlt und die entsprechenden Schichten müssen erneut aufgewärmt werden. Die untersten Speicherschichten werden durch die Verwirbelungen leicht erwärmt.

Dadurch sinkt der Kollektorwirkungsgrad und bei abnehmender Einstrahlung schaltet der Solarkreis früher aus.

Eine Kombination von Puffer und Trinkwasserspeicher stellt der Kombispeicher dar.

Kombispeicher sind in ihrem Grundaufbau Pufferspeicher für die Heizung, in deren oberem Bereich sich ein zweiter geschlossener Speicher für das Brauchwasser befindet. Systeme mit diesem Speicher werden auch als „Tank-in-Tank Systeme“ bezeichnet. (siehe Kap. 3.2.2.1.)

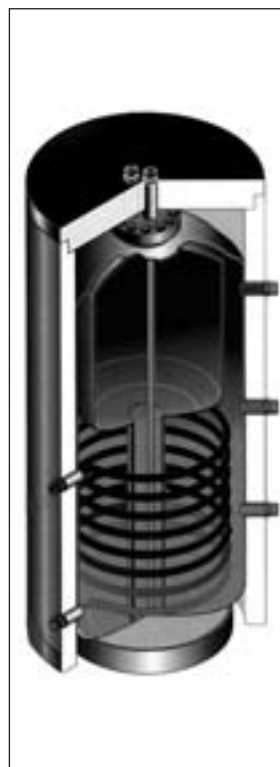


Abb. 5.3.1 Kombispeicher; Quelle: (1)



Abb. 5.3.2 Kombispeicher; Quelle: (8)

5.3. Trinkwasser- speicher

Bei der direkten Verwendung von Trinkwasserspeichern als Energiespeicher erfolgt deren Dimensionierung ähnlich jener bei Pufferspeichersystemen. Das gesamte Speichervolumen ergibt sich aus dem „effektiven Speichervolumen“ (Speicher 2) und dem Bereitschaftsvolumen (Speicher 1) (siehe Kap. 3.2.1.1. und Kap. 3.2.2.1.). Das Bereit-

schaftsvolumen ist hier jener Teil, der durch die Nachheizung zur Spitzenabdeckung auf Temperatur gehalten werden muss.

Auf Vor- und Nachteile bzw. Beschaffenheit dieser Speicherart wird ebenso im Kapitel 3.2.2.1. näher eingegangen.

Bei einer notwendigen Aufteilung des benötigten Speichervolumens in mehrere kleinere Behälter gelten bezüglich Speicherdämmung und Wärmeverluste dieselben Bedingungen, wie sie im Kapitel 5.2. beschrieben werden.

solar
guide

5.4. Wärmetauscher

Die Auslegung der Wärmetauscher (WT) zwischen Kollektorkreis und Solarspeicher, wie auch zwischen Pufferspeicher und konventionellem System, beeinflusst die Leistungsfähigkeit des gesamten Systems sehr stark.

Das Wärmeübertragungsvermögen eines Wärmetauschers wird durch den Wärmeübertragungskoeffizienten k mit der Einheit $[W/m^2 K]$ bestimmt. Durch Berücksichtigung der effektiven Fläche des Wärmetauschers und des logarithmisch verlaufenden Temperaturausgleichs zwischen den beiden Systemen kann die Wärmeflussgleichung für \dot{Q} mit der Einheit $[W]$ wie folgt angegeben werden:

$$\dot{Q} = k * A * \Delta\vartheta$$

Hierbei wird die effektive Wärmetauscherfläche mit A in m^2 und die logarithmische Temperaturdifferenz mit $\Delta\vartheta$ in K bezeichnet.

Interne Wärmetauscher

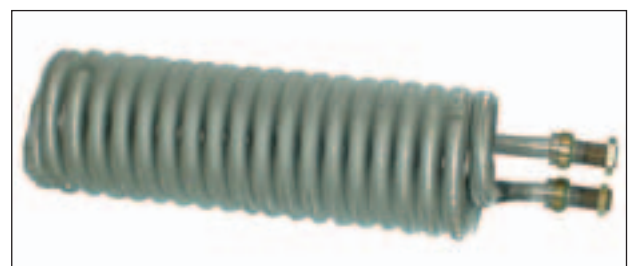
Innenliegende WT haben den Vorteil, dass keine direkten Wärmeverluste an die Umgebung auftreten und die Brauchwasserseite mittels Schwerkraft angetrieben wird. Nachteilig ist die Abhängigkeit der Übertragungsleistung von der Temperaturdifferenz zwischen Solarkreis und Speicherwasser.

Als Werkstoff kommen Kupfer (meist als Rippenrohr ausgebildet), emaillierte Stahlrohre und Edelstahlrohre zum Einsatz. Bezogen auf die gerippte Außenober-

fläche haben die Rippenrohrwärmetauscher einen k -Wert von 150 bis 500 $W/m^2 K$. Glattrohrwärmetauscher haben einen auf die Außenfläche bezogenen k -Wert von 350 bis 600 $W/m^2 K$. Zur Übertragung der gleichen Leistung bei gleicher Temperaturdifferenz muss ein Wärmetauscher ohne Rippen aufgrund der kleineren Außenoberfläche etwa 3- bis 4-mal so groß (bezogen auf die Innenoberfläche bzw. Länge) ausgeführt werden. Der Einfluss der Einbauachse (senkrecht oder waagrecht) spielt eine geringe Rolle. Die senkrechte Einbaulage ist vorzuziehen, da abfallender Kalk von den Wärmetauscherrohren nach unten fallen kann und so nicht auf dem Wärmetauscher liegen bleibt.

Die kompakten Rippenrohrwärmetauscher haben den Vorteil, dass an einem Flansch Wärmetauscher fast beliebiger Größe eingebaut werden können. Damit lässt sich der Speicher leicht für verschiedene Anwendungsfälle ausrüsten. Nachteilig sind die an den Flanschen regelmäßig auftretenden Wärmebrücken, welche die Wärmeverluste erhöhen [14].

Abb. 5.4 Rippenrohrwärmetauscher; Quelle: (8)



Dimensionierung:

- Eine Übertragungsfähigkeit $k \cdot A_{WÜ}$ von 30–40 W/K pro m^2 Kollektorfläche ist hier ausreichend.
- Der optimale Massenfluss im Kollektorkreis bei Systemen mit internen Wärmetauschern wäre 25–30 kg/h pro m^2 Kollektorfläche [15].

Überschlägig kann man nach folgenden Richtwerten dimensionieren [14]:

- Glattröhrwärmetauscher 0,2 m^2 pro m^2 Kollektorfläche
- Kupfer-Rippenröhrwärmetauscher 0,3–0,4 m^2 pro m^2 Kollektorfläche

Externe (außenliegende) Wärmetauscher

Externe Wärmetauscher kommen zum Einsatz, wenn die Übertragungsleistung eines innenliegenden Wärmetauschers nicht mehr ausreicht oder mehrere Speicher von einem Wärmetauscher gespeist werden sollen. Verbreitet sind Platten-, Rohrbündel- und Koaxialwärmetauscher. Ihr Sekundärkreislauf wird über eine Speicherladepumpe mit dem Speicherinhalt verbunden. Damit sind die Wärmeübertragungsbedingungen auf beiden Seiten des Wärmetauschers annähernd konstant. Daher ist bei diesen Wärmetauscher-typen der k-Wert mit 1.000–2.000 W/ m^2 K wesentlich höher als bei internen Wärmetauschern. Sie werden immer nach dem Gegenstromprinzip durchlaufen (Strömungsrichtung der beiden Medien sind gegenläufig), das bedeutet, dass die Temperaturdifferenzen in jedem Bereich des Wärmetauschers annähernd gleich groß sind. Installationsaufwand und Kosten sind etwas höher als beim internen Wärmetauscher. Üblicherweise werden für große Solaranlagen externe Wärmetauscher verwendet, diese übertragen die Wärme aus dem Kollektorkreis an den Pufferkreis (Beladewärmetauscher). Die Wärmetauscher, die aus dem Pufferspeicher an den Bereitschaftsspeicher (Trinkwasser) die Wärme übertragen, werden hingegen Entladewärmetauscher genannt.

Die Wärmeübertragung sollte so effizient wie möglich sein.

- Von der Kosten-Nutzen-Relation haben sich Plattenwärmetauscher mit einer Größe bewährt, die zu einer **Temperaturdifferenz** zwischen Primär- und Sekundärseite von ca. 5 K führt.

D. h. $\Delta T \approx T'_{HF} - T''_{KF} = T''_{HF} - T'_{KF} = 5 \text{ K}$
 (siehe Abb. 5.6)



Abb. 5.5.1 Plattenwärmetauscher mit Isolierung; Quelle: (8)

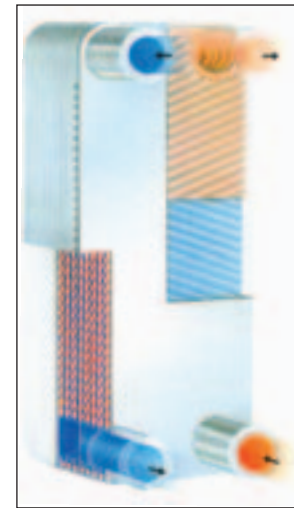


Abb. 5.5.2 Plattenwärmetauscher (Funktionsweise); Quelle: (10)

- Der Druckverlust auf beiden Seiten des Wärmetauschers sollte minimal sein und 150 mbar nicht übersteigen.

In Abb. 5.6 ist dieser Temperaturverlauf eines Gegenstromwärmetauschers schematisch dargestellt.

Darin ist:

- T' Flüssigkeitstemperatur der einströmenden Flüssigkeit in $^{\circ}\text{C}$
- T'' Flüssigkeitstemperatur der ausströmenden Flüssigkeit in $^{\circ}\text{C}$
- Index HF heißer Flüssigkeitsstrom
- Index KF kalter Flüssigkeitsstrom

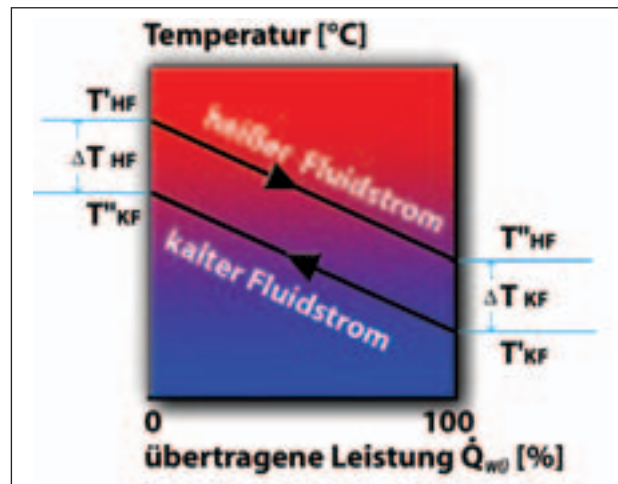


Abb. 5.6 Temperaturverlauf eines Gegenstromwärmetauschers; Grafik: ASiC; Quelle: [7]

Die im Wärmetauscher übertragene Leistung bestimmt sich zu:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{WÜ} &= \dot{m}_{HF} * c_{p, HF} * (T'_{HF} - T''_{HF}) \\ &= \dot{m}_{KF} * c_{p, KF} * (T''_{KF} - T'_{KF}) \end{aligned}$$

$\dot{Q}_{WÜ}$ übertragene Leistung in kW
 \dot{m} Massenstrom in kg/s
 c_p spezifische Wärmekapazität in kJ/(kg K)

Das Produkt aus $\dot{m} * c_p$ bezeichnet man als „Wärmekapazitätsstrom“.

Das Verhältnis vom Wärmekapazitätsstrom der heißen Flüssigkeit zur kalten (aufzuwärmenden) Flüssigkeit wird als Wärmeverhältnis C bezeichnet und sollte bei externen Plattenwärmetauschern stets „1“ betragen.

$$C = \frac{\dot{m}_{HF} * c_{p, HF}}{\dot{m}_{KF} * c_{p, KF}} = 1$$

Fazit:

- Wasser/Wasser-Plattenwärmetauscher

Wird ein externer Plattenwärmetauscher von beiden Seiten mit Wasser durchströmt, so sind die spezifischen Wärmekapazitäten c_p als **gleich** anzunehmen. Daher ist auch der Massenstrom auf beiden **gleich** zu wählen.

- Glykol/Wasser-Plattenwärmetauscher (Beladewärmetauscher Kollektorkreis/Solarspeicher)

Hierbei ist die spezifische Wärmekapazität $c_{p, HF}$ des Glykol-Wasser-Gemisches niedriger als die spezifische Wärmekapazität $c_{p, KF}$ des Speicherwassers. Bei einem Glykol-Wasser-Gemisch mit **40 % Glykolin** ist daher der *wasserseitige Massenstrom* um **ca. 10 %** geringer zu wählen als der Massenstrom im Kollektorkreis, damit die Bedingung nach $C = 1$ erfüllt wird.

Wie gut die Wärmeübertragung ist, wird durch die sog. „Übertragungsfähigkeit“ des Wärmetauschers bestimmt. Die Übertragungsfähigkeit ist das Produkt aus dem Wärmedurchgangskoeffizienten k und der Größe der Tauscherfläche $A_{WÜ}$. Es ist eine für das Produkt typische Kenngröße.

Für einen im Gegenstrom betriebenen Plattenwärmetauscher mit einem Wärmeverhältnis $C = 1$ kann die übertragene Leistung damit auch ausgedrückt werden als:

$$\dot{Q}_{WÜ} = k * A_{WÜ} * (T'_{HF} - T''_{KF})$$

Für eine Vorauslegung des Solarwärmetauschers kann für externe Plattenwärmetauscher von einer Übertragungsfähigkeit von $k * A_{WÜ} = \mathbf{100 \text{ W/K pro m}^2}$ **Kollektorfläche** ausgegangen werden [7].

In Tabelle 5.3 sind die wichtigen Auslegungswerte für einen externen Plattenwärmetauscher zwischen Kollektor- und Speicherladekreis angegeben.

Auslegungswerte für externe Plattenwärmetauscher	
spezifische Leistung Kollektorfeld	ca. 500 W/m ²
ΔT	ca. 5 K
Übertragungsfähigkeit	100 W/K/m ² Kollektorfläche
beiderseitiger Druckverlust	max. 150 mbar
Massenstrom Speicherladekreis \dot{m} in kg/s	ca. 90 % vom \dot{m} Kollektorkreis

Tab. 5.3 Auslegungswerte für externe Plattenwärmetauscher; Quelle: ASIc

5.5. Verrohrung im Kollektorkreis

Die im Kollektorkreis verwendete Verrohrung und deren Verbindung muss folgenden Anforderungen entsprechen:

- Temperaturbeständig bis -20 °C (bzw. tiefste Außentemperatur im Winter) und min. 200 °C (bzw. höchste Stillstandstemperatur im Sommer)
- Druckbeständig bis zum maximalen Betriebsdruck der Anlage
- Beständig gegenüber dem Frostschutz-Gemisch

Um einen energetisch sinnvollen Betrieb der Anlage zu gewährleisten, sollte der Druckverlust pro Meter Rohrleitung $1,5\text{ mbar}$ nicht übersteigen und die Strömungsgeschwindigkeit auf $0,5\text{ m/s}$ begrenzt werden. Die maximal zulässige Strömungsgeschwindigkeit in den Rohrleitungen ist mit 1 m/s beschränkt, da es sonst zu Materialabtrag und Geräuschbildung kommen kann.

Die erforderliche Pumpenleistung sollte (nach prENV 12977 –1) 1% der maximalen Kollektorfeldleistung nicht überschreiten (bei $500\text{ W/m}^2_{\text{Kollektor}}$ entspricht dies ca. 5 W elektrischer Pumpenleistung/ $\text{m}^2_{\text{Kollektor}}$). Als Werkstoffe für die Kollektorkreisverrohrung sollten Cu-Rohre gemäß DIN EN 1057 (DIN 1786), Stahlrohre gemäß DIN 2448, Edelstahlrohre sowie Edelstahlwellrohre verwendet werden. Kunststoffrohre sollten im Kollektorkreis nicht eingesetzt werden, da sie noch nicht mit einer Freigabe für Solaranlagen angeboten werden (thermische Belastung und UV-Beständigkeit). Ebenso sprechen Wechselwirkungen zwischen Zink und dem Glykol des Wärmeträgermediums gegen die Verwendung von verzinktem Stahlrohr [2].

Folgende Diagramme bilden die Grundlage zur Dimensionierung der jeweiligen Rohre (mit einer Mischung aus 50% Glykol und 50% Wasser bei 50 °C).

Anmerkung: Da der Kollektorkreis in unseren Breiten normalerweise mit einer Mischung aus 40% Glykol und 60% Wasser betrieben wird und der Druckverlust bei 20 °C Wärmeträgertemperatur berechnet werden sollte, kann für eine erste Abschätzung mit den nebenstehenden Diagrammen gearbeitet werden. Zur genaueren Auslegung der Kollektorkreispumpe sollten jedoch detailliertere Berechnungen erstellt werden.



Abb. 5.7 Kollektorfeldverrohrung; Quelle: ASIc



Abb. 5.8 Druckverlust in Kupferrohren; Grafik: ASIc; Quelle: [2]



Abb. 5.9 Druckverlust in Stahlrohren; Grafik: ASIc; Quelle: [2]

5.5.1. Kollektorverschaltung

Reihen- oder Serienschaltung:

Bei der Reihenschaltung wird jeder Kollektor mit dem gesamten Kollektorfeldvolumenstrom \dot{V}_{Feld} durchflossen. Der gesamte Druckverlust des Kollektorfeldes ist $\Delta p_{Feld} = n_{Serie} \cdot \Delta p_{Kollektor}$, wobei n_{Serie} die Anzahl der in Reihe (Serie) geschalteten Kollektoren darstellt. Da sich die Druckverluste hierbei aufsummieren, ist die Anzahl der in Serie geschalteten Kollektoren begrenzt. Diese Verschaltungsvariante wird bei Low-Flow-Anlagen eingesetzt, um große „thermische Längen“ und somit eine hohe Temperaturerhöhung der Wärmeträgerflüssigkeit zu erreichen.

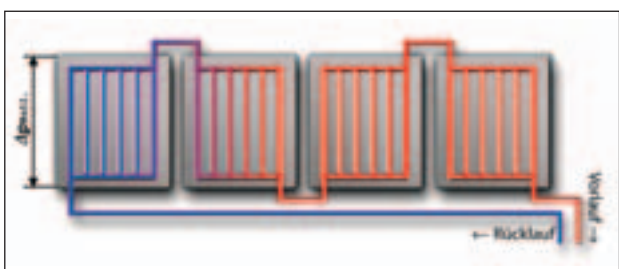


Abb. 5.10 Reihen(Serien-)schaltung; Grafik: ASiC

Parallelschaltung nach Tichelmann:

Hierbei wird jeder Kollektor mit dem Volumenstrom $\dot{V}_{Feld} / n_{parallel}$ durchströmt. Die einzelnen Druckverluste in den Kollektoren addieren sich nicht.

$$D. h.: \Delta p_{Feld} = \Delta p_{Kollektor}$$

Diese Verschaltungsvariante wird bei High-Flow-Anlagen eingesetzt. Die Folge sind kleine Temperaturerhöhungen bei größerem Kollektorfeldvolumenstrom.

Bei der Verrohrung nach Tichelmann wird darauf geachtet, dass die Druckverluste in allen Kollektoren gleich sind, damit eine gleichmäßige Durchströmung gewährleistet ist. Dies wird durch gleiche Rohrleitungslängen der Vor- und Rücklaufrohre erreicht.

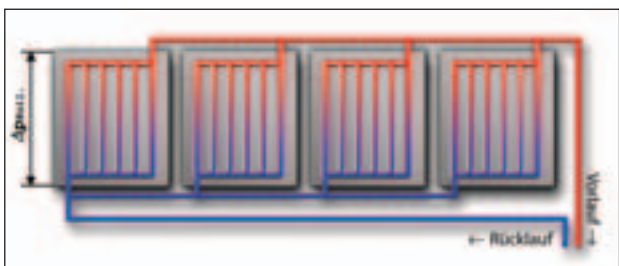


Abb. 5.11 Parallelschaltung; Grafik: ASiC

Kombination von Reihen- und Parallelschaltung nach Tichelmann:

Bei größeren Anlagen werden die Kollektoren des Kollektorfeldes durch eine Kombination der beiden vorher genannten Varianten so miteinander verschaltet, dass sich die gewünschte Temperaturerhöhung und eine möglichst gleichmäßige Durchströmung bei einem akzeptablen Gesamtdruckverlust einstellt.

Wird der Gesamtdruckverlust zu groß, muss das Kollektorfeld in mehrere Teilfelder aufgeteilt werden.

$$D. h.: \Delta p_{Feld} = n_{Serie} \cdot \Delta p_{Kollektor}$$

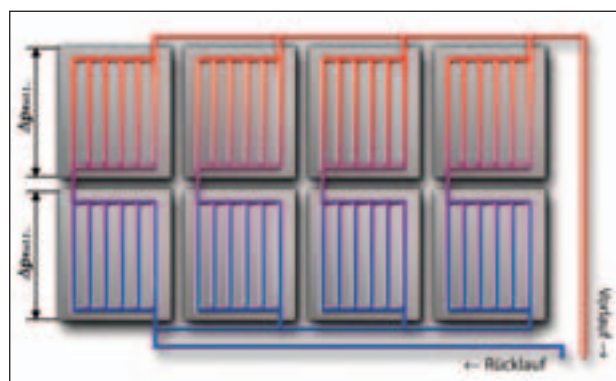


Abb. 5.12 Kombination; Grafik: ASiC

5.5.2. Druckverlustberechnung des Kollektorfeldes

Bei größeren Anlagen muss das Kollektorfeld in mehrere Teilfelder aufgeteilt werden. Die Verrohrung der Kollektoren untereinander ist so auszuführen, dass die Druckverluste in den einzelnen Kollektorbereichen möglichst gleich sind.

Eine gleichmäßige Durchströmung aller Teile des Kollektorfeldes ist für einen guten Solarertrag entscheidend. Bei vielen, parallel geschalteten Kollektoren versucht man dies durch die Verrohrung nach Tichelmann zu erreichen. Hier ist der Weg des Wärmeträgers durch alle Absorber gleich lang. Der Durchmesser der Verteil- und Sammelrohre muss hierbei größer sein als der des Strömungskanal im Absorber. Wie aber immer wieder in der Praxis festzustellen ist, gelingt der hydraulische Abgleich dadurch nicht immer, sodass Maßnahmen zur Androsselung der Stränge mit Strangregulierventilen notwendig sind. Aus dem Druckverlustdiagramm des Kollektorherstellers ist der entsprechende Druckverlust bei gewähltem Durchfluss abzulesen. Des Öfteren werden vom

Hersteller kollektortypenabhängige Angaben zum Anlagenschema gegeben, die bei der Planung des Kollektorfeldes zu berücksichtigen sind. Manchmal werden auch der Druckverlust für die Reihenschaltung von 2 bis n Kollektoren sowie eine Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung angegeben.

Werden Kollektoren in Reihe (hintereinander) geschaltet, so addieren sich die Druckverluste der einzelnen Kollektoren.

Werden Kollektoren parallel verschaltet, so addieren sich die Druckverluste der einzelnen Kollektoren nicht, die Druckverluste der Sammelleitungen hingegen schon. Der Gesamtdruckverlust des Kollektorfeldes berechnet sich zu:

$$\Delta p_{Feld} = n_{ser} * \Delta p_{Kollektor}$$

Δp_{Feld} Gesamtdruckverlust des Kollektorfeldes
in N/m² (= Pa = 10⁻⁵ bar)

$\Delta p_{Kollektor}$ Druckverlust eines Kollektors
in N/m² bei einem Volumenstrom \dot{V}_{Feld} / n_{par}

n_{ser} Anzahl der in Reihe geschalteten Kollektoren

n_{par} Anzahl der parallel geschalteten
Kollektorstränge

\dot{V}_{Feld} Volumenstrom durch das gesamte
Kollektorfeld in m³/s

Beispiel: 50 mbar = 0,05 bar = 5.000 Pa

In oben stehender Tabelle sind Richtwerte für den Druckverlust des gesamten Kollektorfeldes gegeben, deren Werte nicht überschritten werden sollten. Beinhaltet das Kollektorfeld mehr als 50 Liter Wärmeträgerflüssigkeit, so ist das Kollektorfeld in Teilfelder zu jeweils weniger als 50 Liter Inhalt aufzuteilen.

Kollektorfeld [m ²]	zulässiger Druckverlust [mbar]
6–30	100–200
30–100	200–400
100–200	400–600
200–500	600–800

Tab. 5.5 zulässiger Kollektorkreisdruckverlust; Quelle: ASiC

Diese sind absperrbar zu gestalten und jeweils mit einem Sicherheitsventil und einem Entlüfter (Handentlüfter) zu versehen.

5.5.3. Wärmedehnung der Verrohrung

In der unten stehenden Tabelle sind für zwei Materialien die Wärmedehnungen bei verschiedenen Temperaturdifferenzen für 1 m Rohrlänge angegeben. Das Zusammenschalten der Kollektoren zu Kollektorreihen ist nicht nur unter dem Aspekt der Hydraulik zu sehen, sondern es ist auch die Wärmedehnung in den Reihen zu beachten. Hier ist man auf die Angaben der Kollektorhersteller angewiesen, inwieweit Vorkehrungen zur Kompensation der Wärmedehnungen getroffen werden müssen. Bei einigen Kollektortypen sind bereits Kompensatoren zur Wärmedehnung eingebaut. Ist dies nicht der Fall, sind ausreichend Dehnelemente vorzusehen. Näheres zu Montagevorkehrungen siehe Kap. 6.1.2.

Wärmedehnung:	$\Delta T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T = 150 \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T = 200 \text{ }^\circ\text{C}$
unlegierter Stahl	1,2 mm/m	1,8 mm/m	2,4 mm/m
Kupfer	1,7 mm/m	2,6 mm/m	3,4 mm/m

Tab. 5.4 Wärmedehnung; Quelle: [1]

5.6. Auswahl

der Pumpe

Folgende Punkte sind zu berücksichtigen:

- Die Pumpe muss beständig gegen die am Einbaort vorhandenen oder maximal auftretenden Temperaturen sein (z. B. ca. 130 °C im Kollektorkreis).
- Sie muss für den verwendeten Wärmeträger geeignet sein (z. B. Mischung aus 40 % Glykol und 60 % Wasser).
- Die festgelegten und berechneten Werte für Förderhöhe und Durchfluss müssen erreicht werden.
- Sie soll im vorgesehenen Betriebspunkt mit gutem Wirkungsgrad arbeiten.
- Sie soll dauerstandfest bei häufigen Schaltvorgängen sein.
- Die Pumpe sollte preislich in einem akzeptablen Rahmen bleiben.

Die Pumpen in den Pufferspeicherlade- und -entladekreisen müssen keinen so hohen Anforderungen genügen. Sie werden wie Pumpen für die konventionelle Haustechnik ausgelegt.

Das wichtigste Auslegungskriterium für die Kollektorpumpe ist der auftretende Druckverlust im Kollektorkreis beim benötigten Volumenstrom. Der benötigte Volumenstrom der Kollektoren und deren Druckverlust wird zwar vom Hersteller angegeben, eine hinreichend genaue Berechnung unter Berücksichtigung des Wärmetauschers, der Rohrleitungen, Anzahl der zu erwartenden Rohrbögen, Abzweigungen und Einbauten bereitet aber meist im Vorfeld gewisse Schwierigkeiten.

Die Pumpengrößen ergeben sich aus den Gesamtdruckverlusten der einzelnen Systemkomponenten. Aus den entsprechenden Diagrammen der Pumpenhersteller werden die passenden Pumpen zur Überwindung der Druckverluste im Kollektorfeld bei einem gewünschten Volumenstrom ausgewählt (siehe Abb. 5.13).

Werden Schmutzfänger und Volumenstromzähler in den Kollektorkreis eingebaut, sind deren Druckverluste unbedingt zu berücksichtigen. Schmutzfänger sollten nach einer Anlaufzeit wieder ausgebaut werden, da sie leicht verstopfen und zu Störungen führen können.

Gesamtdruckverlust (Δp)

= Summe der Druckverluste aus:

Kollektorfeld

- + Kollektorkreisverrohrung
- + Wärmetauscher und Armaturen
- + Schmutzfänger und Durchflusszähler

Förderleistungen von Umwälzpumpen:

Die benötigte Leistung von Umwälzpumpen (elektrische Leistung) ergibt sich nach folgender Formel:

$$P_{el} = \frac{\dot{M} * \Delta p}{\rho * \eta} = \frac{\dot{V} * \Delta p}{\eta}$$

mit:

\dot{M} Massenfluss in kg/s

\dot{V} Volumenfluss in m³/s

P_{el} elektrische Pumpenleistung in W

Δp zu überwindender Druckverlust in Pa

ρ mittlere Dichte des Wärmeträgers in kg/m³

η Wirkungsgrad der Pumpe

Bei High-Flow-Anlagen ist aufgrund der Kollektorschaltung (Parallelschaltung für geringe thermische Länge) ein geringerer Druckverlust beiwert im Kollektor gegeben als bei Low-Flow-Anlagen (Serienschaltung für große thermische Länge). Bei Low Flow ist jedoch der Massenfluss (über die gesamte Kollektorfläche betrachtet) kleiner. Daraus resultiert in Summe eine wesentlich kleinere Pumpenleistung (ca. 30 %) als bei High Flow [3].

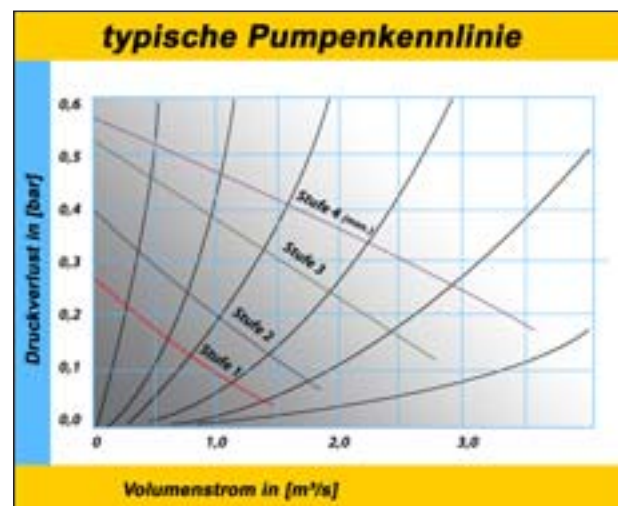


Abb. 5.13 typisches Pumpenkennliniendiagramm; Grafik: ASiC

Bei den typischen Low-Flow-Anlagen ist zu beachten, dass im Kollektorkreis steile Netzkennlinien und sehr flache Pumpenkennlinien vorliegen. Dies führt dazu, dass der Betriebspunkt der Pumpe im linken oberen Eck, d. h. bei schlechtem Wirkungsgrad liegt. Eine geringe Erhöhung des Druckverlustes hat dann einen starken Abfall des Volumenstroms zur Folge. Es lohnt sich, Pumpe und Hydraulik so zu dimensionieren, dass man nicht ganz „im Eck“ liegt. Die Anlage erhält dadurch eine höhere Arbeitszahl (= weniger Stromverbrauch im Verhältnis zur gewonnenen Energie).

Bei der Dimensionierung der Pumpe ist der erhöhte Druckverlust für Glykol-Wasser-Gemische bei tiefen Temperaturen zu berücksichtigen. Es kann immer vorkommen, dass der tatsächliche Druckverlust um 10–20 % höher liegt als der berechnete. Dies führt, wie bereits oben erwähnt, zu einer erheblichen Minderung des Volumenstroms. Die Pumpe ist also so auszulegen, dass auch bei leicht erhöhtem Druckabfall noch ausreichend Reserven vorhanden sind, um den erforderlichen Volumenstrom auch bei Temperaturen von 20 °C zu gewährleisten [4].

solar
guide

solar
guide

5.7. Armaturen und

Sicherheitseinrich-

tungen im Solarkreis

Kollektorfeld

Das jeweilige Sicherheitsventil am Kollektorfeld darf nicht zum Kollektorstrang hin absperierbar sein, muss für Temperaturen bis zu 225 °C zugelassen sein und die Kennzeichnung D/G tragen. Die Sicherheitsventile sollten über einen Ablauf (Abblaseleitung) aus Cu-Rohren zu einem Sammelbehälter im Gebäude führen.

Das Sicherheitsventil am Kollektorfeld

Bei einer Ausführung als Dampfkesselanlage der Gruppe III waren bislang die einzelnen Kollektorfelder (bis zu 50 Liter Inhalt) mit Absperreinrichtungen und Sicherheitsventilen zu versehen. Diese Maßnahme ist nach der neuen Niederschrift der deutschen Dampfkesselverordnung nicht mehr nötig, wenn die Vorlauf-temperatur des Kollektorkreises 120 °C nicht übersteigt und somit eine Eingruppierung in Gruppe II der Dampfkesselverordnung möglich ist. Da dann die Forderung nach Teilfeldern entfällt, sind im Bereich des Kollektorfeldes auch keine Sicherheitsventile mehr nötig. Demnach genügt nunmehr ein Sicherheitsventil (Hauptsicherheitsventil), das normalerweise im Keller parallel zum Ausdehnungsgefäß eingebaut wird [1].

Wird eine Anlage nun dementsprechend ausgeführt, sollte dennoch die Absperbarkeit und entsprechende Absicherung einzelner Kollektorfeldteile geprüft werden, um eventuell erforderliche Reparaturen an den Kollektoren ohne höheren Aufwand durchführen zu können [2].

Armaturen und Absperrventile

Die im Kollektorfeld notwendigen Armaturen und Absperrventile müssen den dort auftretenden Drücken und Temperaturen standhalten. Eine Auslegung auf mindestens 150 °C und eine Druckstufe von DN 16 wird hier empfohlen [1].

Entlüftung

Da durch Luftansammlung der Umlauf des Wärmeträgers im Solarkreis behindert bzw. im Extremfall zum Erliegen gebracht werden kann, ist die Entlüftung des

Kollektorfeldes sehr wichtig. Es können dazu Luftabscheider im Keller verwendet werden, dies setzt allerdings voraus, dass im gesamten Kollektorkreis Strömungsgeschwindigkeiten von mindestens 0,4 m/s vorliegen, damit die Luftblasen mit dem Volumenstrom sicher nach unten zum Luftabscheider mitgerissen werden. Zusätzlich sollten jedoch an exponierten Stellen außenbereichtaugliche Handentlüfter, die sicher verschlossen werden können, installiert werden. Die üblicherweise für Innenanwendung konstruierten und dann im Außenbereich eingesetzten Automatikentlüfter haben keine ausreichend lang anhaltende Funktionssicherheit gezeigt. Die Temperaturbeständigkeit der Absperrventile vor den Entlüftern muss bis zur Stillstandstemperatur der Kollektoren gesichert sein [1].

Wärmedämmung und Ummantelung

Für die Dämmung von außenliegenden Rohrleitungen (d. h. der Witterung ausgesetzt) hat sich eine Dämmung in Anlehnung an die prENV 12977 -2 bei einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m K) bewährt (siehe Tab. 5.2). Bei Verwendung größerer Dämmdicken können zwar die thermischen Rohrleitungsverluste noch etwas minimiert werden, doch sollten hier der erzielbare Nutzen und der entstehende Aufwand sorgfältig abgeschätzt werden. Die Wärmedämmung muss im Kollektorfeld eine Temperaturbeständigkeit > 170 °C aufweisen.

Bei freiverlegten Rohrleitungen muss das Dämmmaterial gegen das Eindringen von Feuchtigkeit entweder durch die Eigenschaften des Materials selbst oder eine entsprechende Abdichtung gesichert werden. Feuchtigkeitsbeständige Dämmstoffe sollten zum Schutz vor Beschädigung durch Vogelfraß ebenfalls mit einer geeigneten Abdichtung versehen werden und eine Beständigkeit gegen UV-Strahlung aufwei-

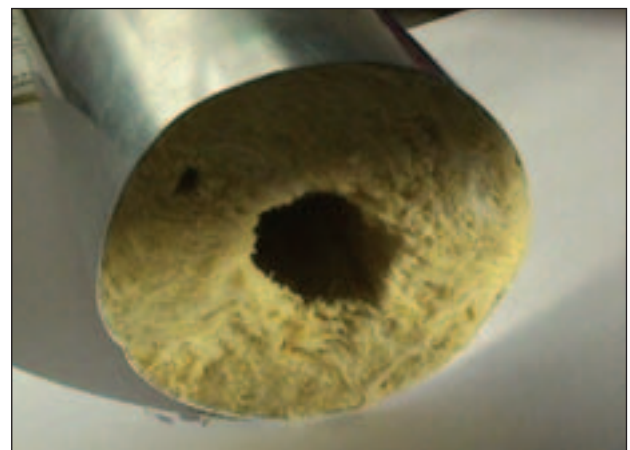


Abb. 5.14 Rohrwärmedämmung; Quelle: (6)

Rohraußendurchmesser [mm]	Rohrdicke [mm]	Dicke einer Lage Wärmedämmung [mm]
10	1	20
12	1	20
15	1	20
18	1	20
22	1	30
28	1,5	30
35	1,5	30
42	1,5	39
> 42	1,5	= Innendurchmesser

Tab. 5.6 Wärmedämmung für den Kollektorkreislauf; Quelle: CEN prENV 12977 -2

sen. Für die Ummantelung der Wärmedämmung im Außenbereich wird die Verwendung von Aluminiumblechen empfohlen, da bei verzinkten Blechen die Zinkblech-Ummantelung schon nach wenigen Jahren verbraucht sein kann und das Blech durchkorrodiert.



Abb. 5.15 Aluminiumummantelung für den Außenbereich; Quelle: (3)

Kollektorkreis

Die Sicherheitseinrichtungen sind abhängig von der Größe des Kollektorfeldes bzw. vom Flüssigkeitsinhalt des Solarkreises.

Die (Haupt-)Sicherheitsventile sind gemäß EN 12976 -1 zu dimensionieren, wobei die Nennweiten mindestens den folgenden Werten entsprechen müssen.

Die Sicherheitsventile müssen auf die Wärmeleistung des Kollektorstranges und/oder des Kollektorfeldes

abgestimmt sein und die maximale Leistung des Kollektorfeldes auch in Dampfform ableiten können. Das Hauptsicherheitsventil muss bis 120 °C zugelassen sein und die Kennzeichnung D/G/H tragen. Bei eigen-sicheren Anlagen können auch Hauptsicherheitsventile mit dem Buchstaben F verwendet werden. Der Ansprechdruck der Sicherheitsventile darf maximal dem für den Kollektor zugelassenen Betriebsüberdruck entsprechen. Der Schließdruck muss mindestens 90 % des Ansprechdrucks betragen.

Der Ansprechdruck des Hauptsicherheitsventils des Kollektorkreises ist so auszulegen, dass er deutlich unter dem Ansprechdruck der Kollektorfeldventile liegt. Bei Anlagen mit einer statischen Höhe von über 10 m Wassersäule am Einbauort des Hauptsicherheitsventils kann dieses den gleichen Ansprechdruck wie die Sicherheitsventile im Kollektorkreis aufweisen.

Ventilgröße (Eintrittsquerschnitt) DN	Kollektorfläche [m ²]
15	50
20	100
25	200
32	350

Tab. 5.7 Ventilgröße Eintrittsquerschnitt Sicherheitsventile für Kollektorfelder; Quelle: [2]



Abb. 5.16 Hauptsicherheitsventil einer Großanlage;
Quelle: ASiC

Die Abblaseleitungen der Sicherheitsventile sind so auszuführen, dass im Fall von Dampfaustritt eine Gefährdung von Personen ausgeschlossen ist. Die Abblaseleitung am Auslass des Hauptsicherheitsventils ist in ein ausreichend dimensioniertes und temperaturbeständiges Auffanggefäß zu führen.

Die Abblaseleitungen der Sicherheitsventile im Kollektorfeld sollen ebenfalls in diesem Auffanggefäß enden [2].

Rückschlagklappe

Die Rückschlagklappe hat die Aufgabe, die Schwerkraftzirkulation im Kollektorkreis zu unterbinden.

Wärmedämmung

Die Wärmedämmung der Rohrleitung im Kollektorkreis muss eine Temperaturbeständigkeit von > 130 °C aufweisen. Bei innengeführten Rohrleitungen ist normalerweise keine Durchfeuchtung der Dämmung zu befürchten, sodass hier auch nicht brennbare Steinwolle eingesetzt werden kann.

Die Abdeckung der Dämmung im Innenbereich kann entweder aus Kunststoff oder aus Zinkblech bestehen. Es hat sich eine Dämmung in Anlehnung an die prENV 1277 -2 bei einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m K) bewährt (siehe Tab. 5.2).

Ausdehnungsgefäß

Die Membrane der Ausdehnungsgefäße müssen glykolbeständig und ausreichend beständig gegen die dort bei Anlagenstillstand auftretenden Temperaturen sein.

Dimensionierung des Membranausdehnungsgefäßes

Das Ausdehnungsgefäß erfüllt drei Funktionen:

1. Flüssigkeitsaufnahme infolge Wärmeausdehnung im Solarkreis,
2. Flüssigkeitsaufnahme infolge Dampfbildung im Kollektor,
3. Aufnahme der Flüssigkeitsvorlage.

Die Auswahl des Ausdehnungsgefäßes erfolgt nach dem benötigten Mindestvolumen. Es wird dann das nächstgrößere erhältliche Ausdehnungsgefäß in den Kollektorkreis eingebaut.

Das Mindestvolumen V_N des Kollektorkreisausdehnungsgefäßes berechnet sich aus folgenden Formeln.

$$V_N > \frac{V_V + V_e + V_D}{N}$$

Berechnungsgang :

$$1. \quad V_e = V_G \cdot (\rho_{\text{kalt}} - \rho_{\text{warm}}) / \rho_{\text{warm}}$$

V_e Ausdehnungsvolumen des sich im Solarkreis befindlichen Gesamtwärmeträgerinhaltes

V_G Gesamtwärmeträgerinhalt des Solarkreises (Flüssigkeitsinhalt der Kollektoren, der Rohrleitungen, des Wärmetauschers und der Armaturen)

ρ_{kalt} Dichte der Wärmeträgerflüssigkeit bei der niedrigsten auftretenden Stillstandstemperatur (z. B. bei -12 °C bei Frostschutzgemischen)

ρ_{warm} Dichte der Wärmeträgerflüssigkeit bei der höchsten auftretenden Temperatur (diese Temperatur wird durch den zulässigen Druck des Sicherheitsventils bestimmt)

Die Werte für die Dichte des verwendeten Wärmeträgers in Abhängigkeit von Temperatur und Konzentration sind beim Frostschutzhersteller anzufordern.

Beispiel:

Wärmeträger mit 40 % Polypropylenglykol und 60 % Wasser

$$\rho_{\text{kalt}} = 1.053 \text{ [kg/m}^3\text{] bei } -12 \text{ °C}$$

$$\rho_{\text{warm}} = 966 \text{ [kg/m}^3\text{] bei } 120 \text{ °C}$$

$$d. h. \quad (\rho_{\text{kalt}} - \rho_{\text{warm}}) / \rho_{\text{warm}} = 0,09$$

2. $V_D = V_A \cdot 1,1$

V_D : Dampfvolumen

V_A : Flüssigkeitsvolumen im Kollektorfeld
(Inhalt der Absorber- und Sammlerrohre)

1,1 : Sicherheitsfaktor

3. $V_V = V_G \cdot (0,01 \text{ bis } 0,1)$

Im Expansionsgefäß sollte immer ein gewisser Flüssigkeitsinhalt sein, damit die Membran nicht am oberen Rand anliegt und damit keinen Druck mehr halten kann. Die Flüssigkeitsvorlage wird von den Herstellern je nach Größe des Ausdehnungsgefäßes mit $V_V = V_G \cdot (0,01 \text{ bis } 0,1)$ vorgegeben.

V_V : Flüssigkeitsvorlage

V_G : Gesamtwärmeträgerinhalt des Solarkreises

Ist das gesamte mögliche Volumen im Expansionsgefäß ($V_V + V_e + V_D$), so darf der Anlagendruck den im Sicherheitsventil voreingestellten Druck (P_e) nicht übersteigen.

$$\text{Nutzefekt } N = (P_e - P_o) / (P_e + 1) \leq 0,5$$

Der Nutzeffekt N sollte ca. 50 % nicht überschreiten, da sonst eventuell die Gefäßmembran überdehnt wird.

P_e (bar): Ansprechdruck des Sicherheitsventils

P_o (bar): Vordruck im Ausdehnungsgefäß

Dieser Druck ergibt sich aus der geodätischen Höhe der Anlage (Höhendifferenz zwischen höchstem Punkt – meist Kollektorfeld – und Ausdehnungsgefäß im Technikraum) sowie zuzüglich 1 bar, damit der Wärmeträger im höchsten Punkt der Anlage auch im kalten Zustand immer noch einen **Überdruck** von 1 bar aufweist. Würden diese 1 bar nicht berücksichtigt, könnte es beim Abkühlen des Kollektorkreises durch undichte Entlüfter oder Verschraubungen zum Ansaugen von Luft kommen. Dieser Vorgang wird als „Atmen“ der Anlage bezeichnet.

Beispiel:

Anlage mit 25 m Höhendifferenz (entspricht ca. 2,5 bar)

$$P_o = 2,5 + 1 = 3,5 \text{ bar}$$

Alle Drücke sind als Überdrücke einzusetzen!

Somit ergibt sich für das Mindestvolumen des Ausdehnungsgefäßes:

$$V_N > \frac{V_V + V_e + V_D}{N}$$



Abb. 5.17 Membranausdehnungsgefäß; Quelle: ASiC

Solarspeicherkreis

Einteilung in zwei Systeme (Pufferkreissystem und Trinkwasserspeichersystem)

Pufferkreissystem

Im Allgemeinen empfiehlt es sich, die Behälter auf Betriebstemperaturen unter 100 °C zu begrenzen und gemäß den Anforderungen der Gruppe V der Dampfkesselverordnung auszulegen. An den Pufferspeichern ist eine Maximaltemperaturbegrenzung auf die Maximaltemperatur der gewählten Druckbehältergruppe vorzunehmen. Dies kann durch die Einstellung der maximalen Speichertemperatur am Solarregler oder in Anlehnung an EN 12976 –1 durch einen zusätzlichen Sicherheitstemperaturbegrenzer geschehen.

Die Speicher sind mit einer entsprechenden Absicherung über ein Sicherheitsventil, das den Pufferspeicher, den Wärmetauscher und die Rohrleitungen absichert, auszuführen. Das Sicherheitsventil muss für die Wärmeleistung des Kollektorfeldes und für die Größe des Speichers geeignet sein. Der Kennbuchstabe H ist hier normalerweise ausreichend. Es ist ein Entlüfter an der höchsten Stelle des Kreislaufes vorzusehen. Ventile, Klappen und Thermosiphone wirken Fehlströmen entgegen. Diese sind vor allem bei der Verschaltung von mehreren Speichern vorzusehen. Werden die Pufferspeicher in einem geschlossenen Kreislauf errichtet, ist der Einbau eines Ausdehnungsgefäßes notwendig. Es ist darauf zu achten, dass am Einbauort des Ausdehnungsgefäßes eine Temperatur



Abb. 5.18 Pufferentladekreis; Quelle: ASiC



Abb. 5.19 Boilerbatterie; Quelle: (6)

von 70 °C nicht dauerhaft überschritten wird. Für die Verrohrung gelten die Normen aus der Heizungsinstallation und die dort zugelassenen Materialien. Da in dem geschlossenen System keine Korrosion zu erwarten ist, kann auch unlegierter Stahl verwendet werden.

Trinkwasserspeichersystem

Die Sicherheitsventile der Trinkwasserspeicher sind wie die für Pufferspeichersysteme zu dimensionieren. Das Sicherheitsventil ist in den Kaltwasserzulauf ein-

zubauen und darf zum Trinkwasserspeicher nicht absperrbar sein. Um ein Ansprechen des Sicherheitsventils durch die Ausdehnung des Wassers bei Erwärmung zu vermeiden, muss auch im Trinkwassersystem ein Ausdehnungsgefäß installiert werden.

Dies muss DIN 4807 T1 und DVGW W 270 konform sein. Die Trinkwasseranlage ist gemäß den Regeln der DIN 1988 und den Arbeitsblättern des DVGW auszuführen [2]. Die Wärmedämmung der Rohre muss 100 % gemäß Heizungsanlagenverordnung ausgeführt werden.

5.8. Zirkulation

Damit das Warmwasser in jeder Wohnung zu jeder Zeit zur Verfügung steht, ist bei einer zentralen Haustechnik (zentrale Warmwasserbereitung im Heizraum) aufgrund der zumeist sehr langen Leitungswege eine Zirkulationsleitung notwendig. In dieser Leitung wird das warme Wasser zu gewissen Stunden oder ganztägig umgewälzt. Die durch die Zirkulationsleitung verloren gehende Wärme wird vielfach unterschätzt. Messungen liegen meist keine vor. Bei bekannter Verrohrungsführung kann die Verlustleistung jedoch in guter Näherung abgeschätzt werden. Die Verlustleistung sehr gut gedämmter Zirkulationsrohre (gemäß Heizanlagenverordnung) beträgt bei neuer Dämmung rund $8 \text{ W/m}_{\text{Rohr}}$, vorausgesetzt, das Rohr verläuft im Gebäudeinneren oder an gut isolierten Außenwänden. Für weniger gut gedämmte Rohre sollten mindestens $10 \text{ W/m}_{\text{Rohr}}$ angenommen werden.

Ältere Zirkulationsleitungen in Bestandsbauten zeigen meist sehr hohe Verluste (bis zu $35 \text{ W/m}_{\text{Rohr}}$). Bei bestehenden Gebäuden wird daher nachdrücklich darauf hingewiesen, dass die Zirkulationsverluste zumindest durch eine einmalige Messung bestimmt

werden sollten. Auch eine hilfsweise Ermittlung (Messung des Gasverbrauchs bei ausgeschalteter Heizung und laufender Zirkulation während der Nacht) ist immer noch besser als Planannahmen. Bei einer Messung des Warmwasserbedarfs (siehe Kap. 3.2.1.1.) als Grundlage zur Dimensionierung einer Solaranlage werden die Zirkulationsverluste ohnedies erfasst. Wand- und Deckendurchbrüche, die nach der Heizanlagenverordnung nur mit der halben Dämmdicke versehen sind, sollten pauschal durch einen Aufschlag von 10 % berücksichtigt werden [7].

Für die Verlustleistung $\dot{Q}_{\text{Zirkulation}}$ von sehr gut gedämmten Zirkulationsleitungen gilt somit:

$$\dot{Q}_{\text{Zirkulation}} = (L_{\text{Zirkulation}} * 8 \text{ W/m}) * 1,1$$

$L_{\text{Zirkulation}}$ Länge der Zirkulationsleitung

Anmerkung:

Ein gut gedämmtes Rohr zeichnet sich nach der Heizungsanlagenverordnung durch eine Dämmstärke von $d_a/d_i = 3$ und einem λ (Wärmeleitfähigkeit) von $0,035 \text{ W/m K}$ aus. Tabelle 5.4 zeigt die nach der Heizanlagenverordnung erforderlichen Dämmstärken.

Nennweite DN der Rohrleitung	Mindeststärke der Dämmung bei einem $\lambda = 0,035 \text{ W/m K}$
bis DN 20	20 mm
DN 22 bis DN 35	30 mm
DN 40 bis DN 100	= DN in mm
> DN 100	100 mm

Tab. 5.8 erforderliche Dämmstärken für Warmwasserleitungen; Quelle: [13]

5.9. Regelung

Die Aufgabe der Regelung einer Solaranlage ist es, für ein optimales Be- und Entladen des Solarspeichers zu sorgen. Ist die Regelung schlecht oder falsch eingestellt, kann sie die Effizienz einer Solaranlage erheblich mindern. Die Erfahrung hat gezeigt, dass Anlagen mit einfachen und überschaubaren Regelungen auf Dauer besser funktionieren als komplizierte Regelungen mit unüberschaubaren Regelungsstrategien. Bei einfach aufgebauten Regelungen können Fehlfunktionen vom Bedienungspersonal schneller erkannt und somit eher behoben werden. Zusätzlich unterliegt die Kontrolle und die Einregulierung von komplexen Regelungen hohem Zeitaufwand.

Damit thermische Kapazitäten oder sonstige Besonderheiten der Anlage berücksichtigt werden können, sollten nur Regelungen eingesetzt werden, bei denen man die Ein- und Ausschalttemperaturen oder eine der beiden mit der dazugehörigen Schalthysterese sowie eine Pumpennachlaufzeit einstellen kann. Die Einstellwerte müssen für jede Anlage einzeln abgestimmt werden.

Es sollte jeder Auftraggeber darauf bestehen, dass ihm zusätzlich zur Dokumentation über Aufbau und Funktion des Systems eine detaillierte Beschreibung zu Funktion und Einstellparametern der Regelung ausgehändigt werden. Ein großes Augenmerk muss auf die hohe Genauigkeit aller verwendeten Regel-

komponenten gelegt werden. Die genauesten Fühler verlieren aber ihre Sinnhaftigkeit, wenn sie falsch positioniert oder mangelhaft installiert werden (Näheres siehe Kap. 6.1.2.).

Hinweise zur Regelungsstrategie:

- Dem Kollektorfeld muss stets die niedrigst mögliche Systemtemperatur angeboten werden.
- Die Regelung des Solarsystems darf keine negativen Auswirkungen auf das Betriebsverhalten des nachgeschalteten konventionellen Systems haben (gilt auch umgekehrt).
- Die Investitionskosten und der Aufwand für die benötigte elektrische Hilfsenergie (Regler, Pumpe, gesteuerte Ventile etc.) und für die Wartung müssen in vertretbaren Grenzen liegen.
- Die Genauigkeit der Regelgruppen (Fühler und Elektronik) muss so hoch sein, dass auch bei niedrig gesetzten Schaltschwellen Fehlschaltungen vermieden werden.
- Die Regelung muss eine Funktionskontrolle für das System ermöglichen, sofern diese Funktionskontrolle nicht separat (unabhängig vom Regler) im System installiert ist.
- Kollektorkreispumpe und Beladepumpe müssen bei Temperaturen $> 110\text{ °C}$ im Kollektor bzw. bei voll befülltem Speicher (Speicherinhalt $> 90\text{ °C}$ bei Pufferspeicher und 65 °C bei Trinkwasserspeicher) zuverlässig außer Betrieb gehen und außer Betrieb bleiben, solange diese Bedingungen vorliegen.



Abb. 5.20 Solarregelung; Quelle: (14)

5.10. Wärmeträgerflüssigkeit

Jedes System, in dem Wärme von einem Ort zum anderen transportiert werden soll, benötigt einen Wärmeträger, der zur besseren Transportierbarkeit flüssig oder gasförmig sein sollte. Er wird von der Wärmequelle (Sonnenkollektor) erwärmt und zur Wärmesenke (Wärmetauscher) transportiert. Wasser erfüllt praktisch alle Anforderungen für einen Wärmeträger. Seine Dichte und die spezifische Wärmekapazität sind besonders hoch. Einziges Hindernis ist die fehlende Frostsicherheit. Durch die Zugabe von Frostschutzmitteln wird in unseren Breitengraden die Sprengwirkung des Wassers in den Leitungen verhindert. Es muss darauf geachtet werden, dass keine höhere als die wirklich benötigte Konzentration an Frostschutzmittel verwendet wird, da mit steigender Konzentration einerseits die Wärmeleitfähigkeit und

somit der Wärmeübergang von der Wärmetauscherwand (bzw. Kollektorinnenrohr) an den Wärmeträger herabgesetzt wird, und andererseits durch die höhere dynamische Viskosität der Druckverlust und damit auch die benötigte Energie für die Umwälzpumpe erhöht wird. Dadurch verschlechtert sich der Wirkungsgrad der Anlage. In Mitteleuropa wird daher eine Mischung aus 40 % Glykol und 60 % Wasser eingesetzt, das entspricht einem Kälteschutz von -25 °C . Ab einer Konzentration von 40 % Glykol kann es auch bei niedrigeren Temperaturen zu keiner Sprengwirkung mehr kommen (siehe Abb. 5.21). Durch Zugabe von Korrosionsinhibitoren im Wasser-Propylenglykol-Gemisch wird einer Korrosion des Rohrmaterials im Kollektorkreis entgegengewirkt. Je niedriger der pH-Wert des Wärmeträgers ist, umso aggressiver greift er die verwendeten Materialien im System an (Korrosion). Um den Korrosionsschutz zu gewährleisten, ist ein pH-Wert von mindestens 6,5 erforderlich, der jährlich kontrolliert werden sollte. Alle drei bis vier Jahre sollte eine Kontrolle der Konzentration des Frostschutzmittels erfolgen.

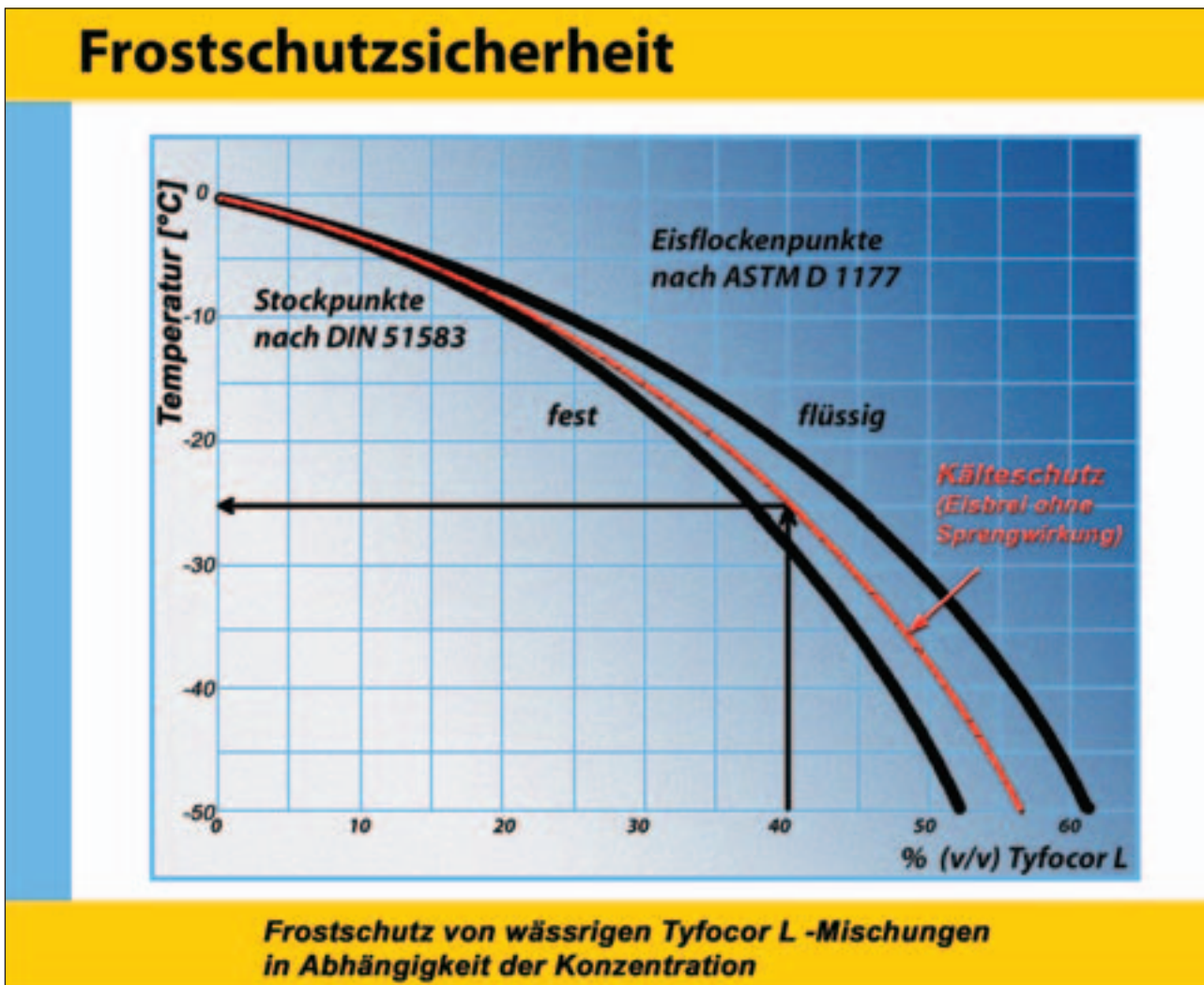


Abb. 5.21 Frostschutzsicherheit; Grafik: ASiC; Quelle: (11)