



Die fachgerechte Installation von thermischen Solaranlagen

Herausgeber:

Deutsches Kupferinstitut
Auskunfts- und Beratungsstelle
für die Verwendung von
Kupfer- und Kupferlegierungen.

Am Bonnhof 5
40474 Düsseldorf
Telefon: (02 11) 4 79 63 00
Telefax: (02 11) 4 79 63 10
e-mail: info@kupferinstitut.de
www.kupferinstitut.de

Erstellt in Zusammenarbeit mit:

- DGS – Deutsche Gesellschaft für
Sonnenergie e.V.
- DFS – Deutscher Fachverband für
Solarenergie e.V.
- Fraunhofer Institut für
solare Energiesysteme ISE
- Solarpraxis Supernova AG
- ZVSHK – Zentralverband
Sanitär Heizung Klima St. Augustin

Layout und Umsetzung:

Solarpraxis AG
© 2000

Überarbeitete Auflage 7/2003

Alle Rechte, auch die des
auszugsweisen Nachdrucks und
der photomechanischen oder
elektronischen Wiedergabe,
vorbehalten.

Die fachgerechte Installation von thermischen Solaranlagen

Inhalt:

1. Einleitung: Potential für das Handwerk	4
1.1 Die Sonne als Energiequelle	5
1.2 Wie funktioniert eine thermische Solaranlage?	5
1.3 Anwendungsgebiete thermischer Solaranlagen	6
1.3.1 Trinkwassererwärmung	6
1.3.2 Heizungsunterstützung	6
1.4 Welchen Kollektortyp für welchen Einsatzfall?	6
1.5 Dimensionierungshinweise für Solaranlagen	7
1.5.1 Solaranlagen nur in Südausrichtung?	7
1.5.2 Kluge Dimensionierung: ein Muss	7
1.5.3 Einfaches Anlagenkonzept wählen!	8
1.5.4 Warmwasserspeicher	8
1.5.5 Der Kollektorkreis	8
1.5.6 Die Regelung	9
2. Installationskomponenten	10
2.1 Kupferrohre	10
2.2 Fittings	10
2.2.1 Kapillarlötfittings	10
2.2.2 Pressverbindungen	10
2.2.3 Klemmringverschraubungen	10
2.3 Lote und Flussmittel	11
2.4 Verarbeitungs- und Verbindungstechniken	11
2.5 Wärmedehnung	11
2.6 Befestigungen	11
2.7 Zusammenbau von Kupfer mit anderen Werkstoffen in geschlossenen Anlagen	11
3. Anlagentechnische Besonderheiten	12
3.1 Druck und Temperaturen im Kollektor/Kollektorkreis	12
3.2 Verdampfung im Kollektorfeld	12
3.3 Wärmedämmung des Kollektorkreises	12
3.4 Ausdehnungsgefäße, Pumpen und Armaturen im Kollektorkreis	12
3.4.1 Ausdehnungsgefäße	12
3.4.2 Armaturen	13
3.4.3 Pumpen	14
3.5 Wärmeträger	14
3.6 Regelung	15
4. Inbetriebnahme, Wartung und Lebensdauer	15
4.1 Druckprobe und Spülen der Anlage	15
4.2 Befüllung des Kollektorkreises	15
4.3 Einstellung des Anlagendurchflusses	15
4.4 Überprüfung der Solarregelung	16
4.5 Entlüftung des Kollektorkreises	16
4.6 Inbetriebnahme, Wartung und Abnahme	17
4.7 Lebensdauer und Verschmutzung der Kollektoren	18
5. Normen und Regelwerke	18
6. Literaturliste	19
7. Anhang	20-22

1. Potential für das Handwerk

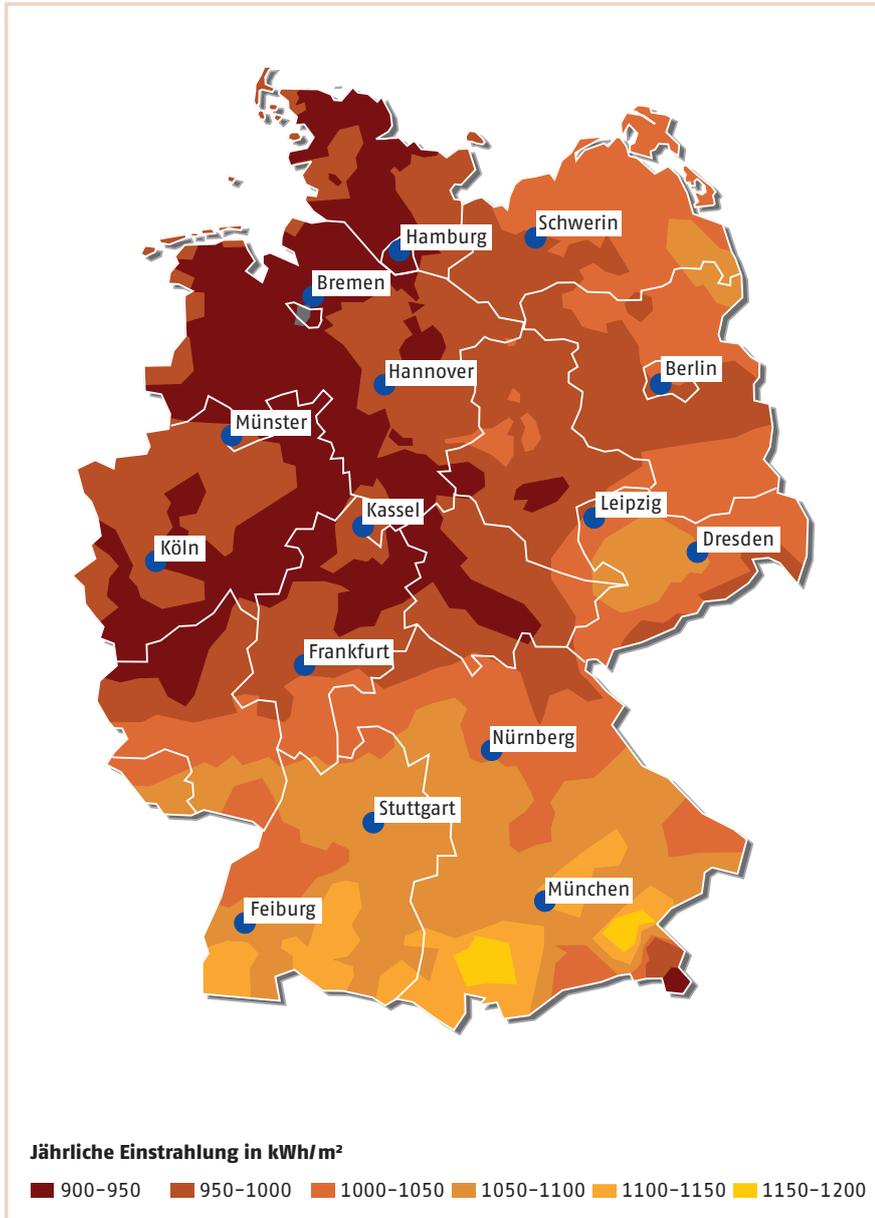


Abb. 1: Jährliche solare Einstrahlung auf eine horizontale Fläche in Deutschland. Grafik: Wagner, Quelle: Deutscher Wetterdienst

Abb. 2: Gemittelte tägliche Einstrahlung auf eine horizontale Fläche (Globalstrahlung) für Stuttgart.

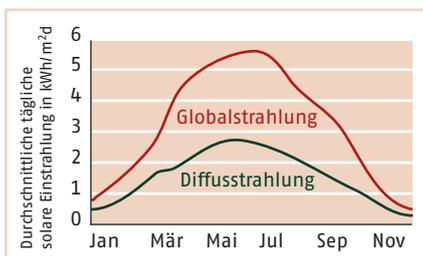


Tabelle 1: Installierte Gesamtfläche verglaster Kollektoren; Stand: 1997 [Quelle: DFS e.V. (D); Arge Erneuerbare Energien (Ös)].

Verglaste Kollektoren Stand 1997	gesamt installierte Fläche in Mio. m²	gesamt installierte Fläche in m²/ 1000 Einwohner
Deutschland	1,6	20
Österreich	1,2	160

Einleitung

Der Solarthermiemarkt ist schon heute und wird in verstärktem Maße auch in der Zukunft einer der größten Wachstumsmärkte für das Handwerk sein. Wachstumsraten, die in den 90ern jährlich 20% und mehr betragen, lassen den Solarmarkt zunehmend an Bedeutung gewinnen. Bereits zwei Fakten führen das hier ruhende Potential vor Augen.

1. Die zur Trinkwassererwärmung eingesetzte Kollektorfläche beträgt in etwa 1-1,5 m² pro Person. Bei rund 80 Mio. Einwohnern in Deutschland bedeutet dies eine benötigte Fläche von ca. 80-100 Mio m².
2. Die zur Verfügung stehende Dachfläche liegt bei 800 Mio m².

Die Nutzung der Solarthermie steht somit in Deutschland mit ca. 380000 m² neu installierter Kollektorfläche in 1997 noch am Anfang. Im Nachbarland Österreich mit ähnlichen klimatischen Verhältnissen ist dagegen pro Kopf schon ca. 10 mal mehr Fläche installiert worden.

Die Frage nach dem Solarmarkt lässt sich somit eindeutig beantworten: Das Potential ist riesengroß. Der fortschrittliche Handwerker erkennt die Chance, durch den Einsatz moderner und umweltfreundlicher Techniken – und dazu gehört die Solartechnik in ganz besonderer Weise – Kunden an sich zu binden und neue zu gewinnen. Zum Nutzen für den eigenen Betrieb und zum Nutzen für unsere Umwelt.

Gegenüber 1994 hat sich die gesamt installierte Fläche verglaster Kollektoren in Deutschland in 1997 fast verdreifacht.

1.1 Die Sonne als Energiequelle

Die Sonne liefert in 20 Minuten soviel Energie auf die Erde, wie die gesamte Menschheit in einem Jahr verbraucht. Selbst auf die Fläche von Deutschland strahlt die Sonne mehr als das 100fache des deutschen Energieverbrauchs ein. Solarenergie ist die größte und sicherste Energiequelle, die wir haben.

Stellen wir eine 1m² große Fläche senkrecht zu den Sonnenstrahlen, können wir darauf eine Leistung von bis zu 1000 W empfangen. Selbst bei bewölktem Himmel entfallen auf einen Quadratmeter durchaus noch mehrere hundert Watt. Auf ein Jahr hochgerechnet bedeutet dies, dass die Sonne auf einem m² horizontaler Fläche in Deutschland zwischen 900 und 1200 kWh/a Energie einstrahlt.

Ein Vergleich mit den Wüstenzonen am Äquator zeigt uns, dass dort mit rund 2200 kWh/m²a nur rund das Doppelte an Solarenergie zur Verfügung steht. Deutschland ist also durchaus solar begünstert. Im Öläquivalent (1 Liter Heizöl hat einen Heizwert von rund 10 kWh) bedeutet dies rund 100 Liter Heizöl je Quadratmeter, die wir in Deutschland jährlich von der Sonne empfangen. Die Erfahrung lehrt uns, dass die Energie der Sonne insbesondere von der Jahreszeit abhängt. Die mittlere tägliche Einstrahlung kann im Sommer mehr als fünfmal so hoch wie im Winter sein. Aber auch an einem klaren Wintertag können wir durchaus 3–4 kWh/m²d empfangen.

Die empfangene Sonnenstrahlung ist unabhängig von der Umgebungstemperatur. Der Markt bietet eine breite Palette hochwertiger Kollektoren und Systeme für die unterschiedlichen Einsatzgebiete wie Schwimmbaderwärmung, Warmwasserbereitung, Heizungsunterstützung und Prozesswärmeerzeugung.

Abb. 4: Arbeitsbereiche und Wirkungsgradkennlinien verschiedener Kollektortypen bei einer Einstrahlung von 800 W/m². Grafik: DGS e. V.

1.2 Wie funktioniert eine thermische Solaranlage?

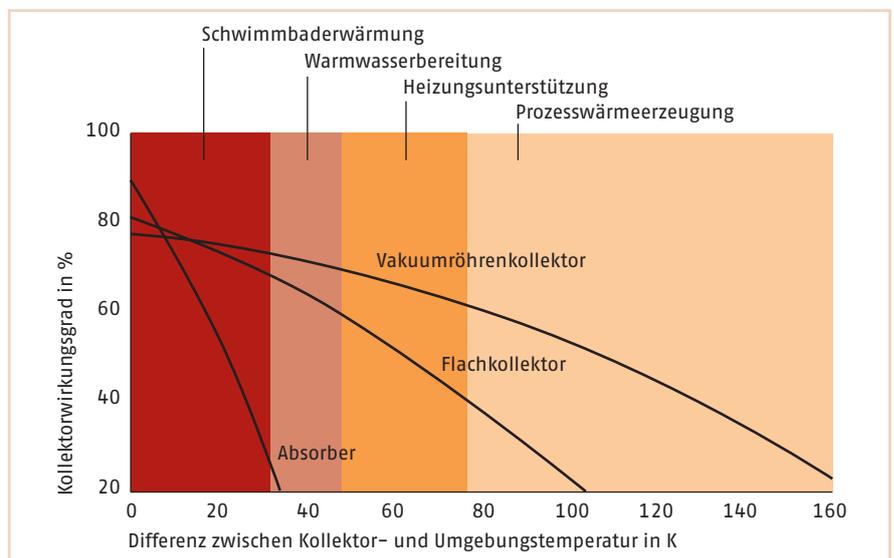
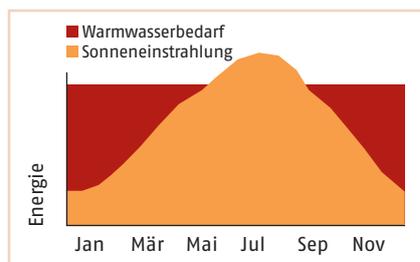
Herzstück einer thermischen Solaranlage ist der Kollektor. Ein Flachkollektor, die am weitesten verbreitete Bauform eines Kollektors, besteht aus einem – meist selektiv – beschichteten Kupferabsorber, der zur Absorption („Aufnahme“) der einfallenden Sonnenstrahlung und ihrer Umwandlung in Wärme dient. Zur Minimierung von thermischen Verlusten wird dieser Absorber in einen wärmege-dämmten Kasten mit transparenter Abdeckung (in der Regel aus eisenarmem Sicherheitsglas) eingebettet.

Beim Vakuumröhrenkollektor ist jeder Absorberstreifen in eine evakuierte Glasröhre eingebaut. Dies bewirkt eine sehr gute Wärmedämmung, so dass auch Arbeitstemperaturen im Prozesswärmebereich möglich werden (siehe auch Abb. 4).

Der Absorber wird von einer Wärmeträgerflüssigkeit (üblicherweise ein Gemisch aus Wasser und ökologisch unbedenklichem Frostschutzmittel) durchströmt, die zwischen Kollektor und Warmwasserspeicher zirkuliert. Thermische Solaranlagen werden über einen Solarregler in Betrieb genommen. Sobald die Temperatur am Kollektor die Temperatur im Speicher um einige Grad übersteigt, schaltet die Regelung die Solarkreisumwälzpumpe ein, und die Wärmeträgerflüssigkeit transportiert die im Kollektor aufgenommene Wärme in den Warmwasserspeicher (gleitende Temperaturdifferenzregelung).

Die konventionelle Heizung gewährleistet über den Speicherladekreis eine notwendige Nacherwärmung. Da sich Solaranlagen problemlos in die Gebäudetechnik integrieren lassen, sind sie mit einer Lebenserwartung von mehr als 20 Jahren eine ideale Ergänzung der modernen Heiztechnik.

Abb. 3: Warmwasserbedarf und Sonneneinstrahlung. Grafik: DGS e. V.



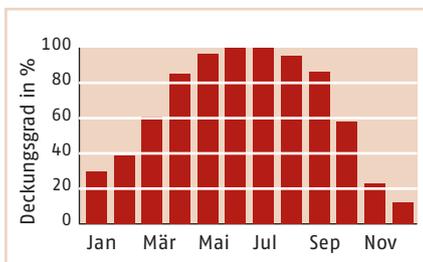
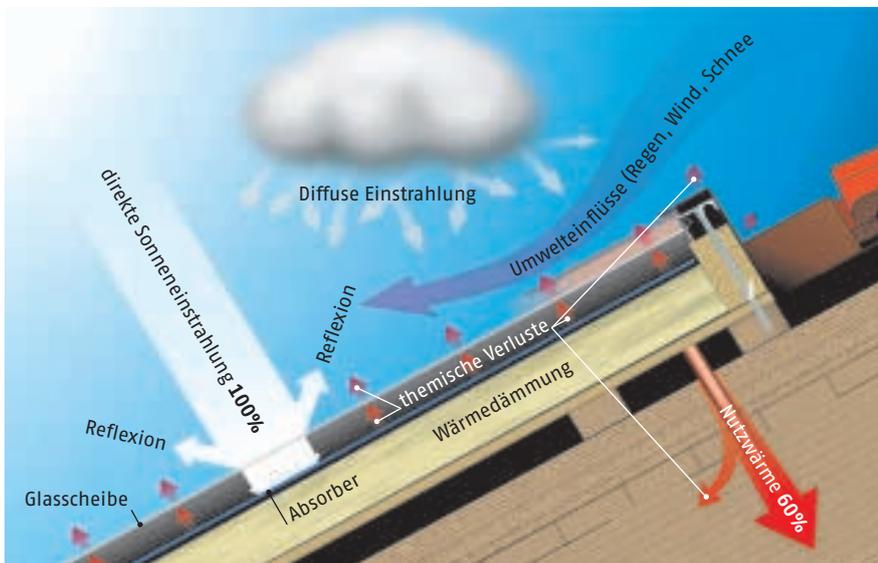


Abb. 5: Monatlicher Deckungsanteil einer Solaranlage am Energiebedarf für Warmwasser bei klassischer Dimensionierung. Grafik: DGS e.V.

Abb. 6: Schematische Darstellung der Energiegewinne und -verluste eines Flachkollektors. Grafik: Solarpraxis Supernova AG



1.3 Anwendungsgebiete thermischer Solaranlagen

1.3.1 Trinkwassererwärmung

Die Voraussetzungen für die Nutzung sind günstig, da der Warmwasserbedarf eines Haushaltes über das Jahr annähernd konstant ist. Die Übereinstimmung zwischen Energiebedarf und solarem Energieangebot ist hier daher größer als bei der Nutzung zur Raumheizung.

Mit einer richtig dimensionierten Anlage kann man jährlich 50–65% des Warmwasserbedarfs mit Sonnenenergie decken. Im Sommer kann meistens der gesamte Bedarf an Warmwasser über die Solaranlage bereitgestellt werden. Die angebotene Sonnenenergie lässt sich zudem noch besser nutzen, wenn anstatt der herkömmlichen Geräte Waschmaschinen und Geschirrspüler mit Warmwasseranschluss zum Einsatz kommen. Solaranlagen zur Warmwasserbereitung zeichnen sich durch eine einfache Anlagentechnik aus und sind technisch ausgereift.

1.3.2 Heizungsunterstützung

Die Reduktion der Transmissionswärmeverluste in Wohn- und Geschäftsgebäuden aufgrund gesetzlicher Maßnahmen sowie ausgereifte Solarsysteme mit verbesserten Leistungen lassen die Nutzung von Solarenergie für die Raumheizung immer interessanter werden.

Die Stiftung Warentest ermittelte 1998 in einem Test für Einfamilienhäuser die Deckungsgrade von Solaranlagen für Warmwasser und Heizung. Der Deckungsgrad lag beim Einfamilienhaus nach Wärmeschutzverordnung 1995 (Jahresenergiebedarf 18200 kWh) bei ca. 20%, beim Einfamilienhaus mit Niedrigenergiehausstandard (Jahresenergiebedarf 14900 kWh) bei ca. 25%. Die installierte Fläche der Flachkollektoren betrug ca. 12 m² bei einem eingesetzten Speichervolumen des Warmwasserspeichers von ca. 700 l.

Bei der Verwendung größerer Kollektorflächen (ca. 15–20 m²) und einem Pufferspeicher mit ca. 1500 l werden, wie Musteranlagen belegt haben, bereits solare Deckungsgrade von bis zu 33% erzielt. Dies genügt, um die Heizung und Warmwasserbereitung auch in den Jahresübergangszeiten vollständig mit Solarenergie abzudecken. Die Zufriedenheit der Besitzer solcher Anlagen bestätigt dies eindrucksvoll, da sie ihre „konventionelle“ Heizungsanlage noch ausgeschaltet lassen können, während die Nachbarn bereits auf die Gas- oder Ölheizung zurückgreifen müssen. Zusätzlich wird noch ein erheblicher Beitrag zur Verminderung des CO₂-Ausstoßes geleistet.

Der Nutzungs- bzw. solare Deckungsgrad steigt in dem Maße, wie die erforderlichen Heizwassertemperaturen sinken. Flächenheizungen sind deshalb geradezu prädestiniert für eine Kombination mit Solaranlagen.

1.4 Welchen Kollektortyp für welchen Einsatzfall?

Wichtig für die richtige Wahl des geeigneten Kollektortyps ist vor allem der geforderte Temperaturbereich. So ist ein unabgedeckter Absorber sicherlich für die Erzeugung von Prozesswärme nicht geeignet.

Im einzelnen müssen aber auch bestimmte Standortfaktoren (Einstrahlungswerte, Witterungsverhältnisse, Platzangebot), die einen Einfluss auf die Kollektorauswahl haben können, berücksichtigt werden. Ein guter Kollektor ist aber bei weitem noch kein Garant für eine gute Solaranlage. Vielmehr sollten alle Anlagenteile von hoher Qualität und optimal aufeinander abgestimmt sein.

1.5 Dimensionierungshinweise für Solaranlagen

1.5.1 Solaranlagen nur in Südausrichtung ?

Eine Dachfläche muss nicht unbedingt exakt nach Süden ausgerichtet sein, um als Montagefläche für Sonnenkollektoren dienen zu können. Abweichungen aus der Südrichtung von bis zu 30° führen bei den in Deutschland üblichen Dachneigungen nur zu geringen Einbußen. Selbst reine Ost- oder Westausrichtungen können durch eine entsprechend vergrößerte Kollektorfläche ausgeglichen werden. Der Neigungswinkel einer Dachfläche kann zwischen 20° und 60° betragen, wobei geringere Neigungswinkel die Energieausbeute der Solaranlage im Sommer begünstigen und steilere die Solarerträge im Winter. Bei Flachdächern bieten sich Aufständerungen an. Der Sonnenkollektor sollte nicht verschattet werden (z.B. durch Bäume, benachbarte Gebäude, Kamine oder Dachaufbauten).

1.5.2 Kluge Dimensionierung: ein Muss

Richtig dimensionierte Solaranlagen bieten die beste Gewähr für einen zufriedenstellenden Betrieb. Voraussetzung dafür ist eine möglichst genaue Kenntnis des Warmwasserverbrauchs, wobei auch Möglichkeiten zur Senkung des Bedarfs in Betracht zu ziehen sind. Als Anhaltspunkt für die Dimensionierung einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung eines Einfamilienhauses ergibt sich bei einem mittleren Wasserverbrauch von 50 Litern pro Person und Tag (bei 45°C) und dem Einsatz von Flachkollektoren eine Kollektorfläche von 1,0–1,5 m² pro Person. Bei der Grobauslegung von Vakuumröhrenkollektoren bei sonst gleichen Rahmenbedingungen ist eine Absorberfläche von 0,75–1 m² pro Person zu wählen.

Gute Argumente für den Einsatz von Flächenheizungen mit Kupferrohren

Flächenheizungen, d.h. Fußboden-, Wand- und Deckenheizungen, sind Strahlungsheizungen. Ihre Leistung stellt sich bereits bei geringfügig höherer Heizoberflächentemperatur als gewünschter Raumtemperatur ein. Vorlauftemperaturen $\leq 45^\circ\text{C}$ sind deshalb Standard und werden im größten Teil der Heizperiode deutlich unterschritten. Flächenheizungen erfüllen alle künftigen Anforderungen an moderne Heizungssysteme. Neben der bereits beschriebenen bedarfsdeckenden Heizleistung bei niedrigen Vorlauftemperaturen bieten Flächenheizungen noch folgende Vorteile:

Gute Energieausnutzung

Das gleiche Wärmeempfinden wird bereits bei geringeren Raumtemperaturen als bei Konvektionsheizungen (Heizkörperheizungen) erreicht.

Selbstregeleffekt

Die Leistungsabgabe einer Flächenheizung vermindert sich bei einer Raumtemperaturerhöhung durch Fremdwärme, z.B. Sonneneinstrahlung, von selbst.

Wohlbehagen

Durch die großflächige Erwärmung der Umgebungsfläche fühlt sich der Mensch angenehm wohl. Dieser Komfort ist, wie viele Nutzer von Flächenheizungen bestätigen, ein nicht zu vernachlässigender Faktor.

Hygiene

Der hohe Strahlungsanteil bei Flächenheizungen vermindert Staubaufwirbelungen. Besonders Allergiker wissen das zu schätzen. Bei Flächenheizungen, die fest in ein Gebäude integriert sind, spielt die Auswahl des Werkstoffes der Heizungsrohre eine wichtige Rolle. Neben der Langlebigkeit – es wird dabei von mindestens 50 Jahren ausgegangen – sind die Folge- oder Begleitkosten, die aus Rohrwerkstoffen resultieren, ein nicht zu unterschätzender Faktor, der in der Praxis allerdings oft vernachlässigt wird.

Aus folgenden Gründen ist Kupfer der ideale Werkstoff für Flächenheizungen:

- Kupfer ist alterungsbeständig und ändert seine mechanischen Eigenschaften im Laufe der Zeit nicht.
- Kupfer als metallischer Werkstoff lässt Sauerstoffdiffusion nicht zu. Zusatzkosten durch den Einsatz von Wärmetauschern oder Inhibitoren entfallen bei Anlagen mit Kupferrohren.
- Das Verbinden von Kupferrohren durch Löten, Pressen und Klemmen ist anerkannt sicher, im Estrich und unter Putz zugelassen und ermöglicht eine kostengünstige und abfallfreie Verlegung.
- Kupfer ist zu 100% und beliebig oft ohne Qualitätsverlust recycelbar. Kupferrohre sind kein Sondermüll.
- Flächenheizungen mit Kupferrohren können auch nach Jahren beliebig oft und ohne Schwierigkeiten erweitert werden.

Solaranlagen zur Raumheizung sind deshalb in Verbindung mit Flächenheizungen und Kupferrohren als Werkstoff eine gute Investition für die Zukunft.

1.5.3 Einfaches Anlagenkonzept wählen!

In Deutschland werden fast ausschließlich Zweikreisanlagen mit Zwangsumlauf eingebaut. Dabei wird eine Wärmeträgerflüssigkeit mittels einer Pumpe in den Warmwasserspeicher transportiert, wo sie die Sonnenwärme über einen Wärmetauscher an das Trinkwasser im Speicher abgibt. Um Solaranlagen vor Frostschäden zu schützen, befindet sich im Kollektorkreislauf ein Wasser-Frostschutz-Gemisch. Im zweiten „Kreis“ fließt das Trinkwasser zu den Zapfstellen. Die Anzahl von Pumpen und Ventilen ist so gering wie möglich zu halten.

1.5.4 Warmwasserspeicher

Der Warmwasserspeicher dient zur Bevorratung von thermischer Energie. Sein Volumen sollte etwa das 1,5- bis 2-fache des täglichen Warmwasserverbrauchs umfassen, das heißt 75 bis 100 Liter pro Person.

Üblicherweise kommen für die Trinkwassererwärmung emaillierte Stahlspeicher zum Einsatz, wie man sie aus der konventionellen Heizungstechnik kennt. Diese benötigen als Korrosionsschutz z.B. eine Magnesium- oder Fremdstromanode. Edelstahlspeicher verfügen über eine längere Lebensdauer, sind aber um einiges teurer.

Ein Schritt weiter gehen Kombispeicher. Hier wird Pufferwasser solar erwärmt und das Trinkwasser entweder im Durchfluss oder in einem Trinkwasserbehälter, der sich innerhalb des Pufferspeichers befindet, auf Solltemperatur gebracht. Mit Hilfe von Kombispeicherkonzepten kann neben der Trinkwassererwärmung der Heizwärmebedarf eines Gebäudes zum Teil gedeckt werden. Dazu werden größere Speichervolumina und Kollektorflächen als bei der reinen Trinkwassererwärmung benötigt.

Gute Solarspeicher haben stehend eine schlanke, zylindrische Form, damit sich im Speicher eine Temperaturschichtung ausbilden kann. Dies erlaubt eine optimale Nutzung des erwärmten Trinkwassers im oberen Speicherbereich, ohne dass der gesamte Speicherinhalt auf die gewünschte Temperatur gebracht werden muss. Unerwünschte Durchmischung des Speicherinhaltes aufgrund zufließenden Kaltwassers wird durch eine spezielle Rohrkonstruktion oder eine Prallplatte verhindert. Die Anordnung des Solarkreis-Wärmetauschers im unteren, kälteren Speicherbereich bewirkt, dass der Kollektor durch niedrigere Einlauftemperaturen in einem günstigeren Wirkungsgradbereich arbeitet.

Damit die Nachheizung nicht ein unnötig großes Volumen nacherwärmen muss, ist der Ladekreis-Wärmetauscher im oberen Teil des Speichers untergebracht.

Der Speicher sollte auf seiner ganzen Oberfläche eng anliegend und vollständig mit einer guten Dämmung versehen sein. Insbesondere ist darauf zu achten, dass an den Anschlüssen die Rohrdämmung lückenlos an die Speicherdämmung schließt. Zur Vermeidung von Speicherentladung durch Naturzirkulation sollten die Anschlüsse, sofern nicht bereits speicherseitig vorgegeben, mit Wärmeschleifen versehen werden.

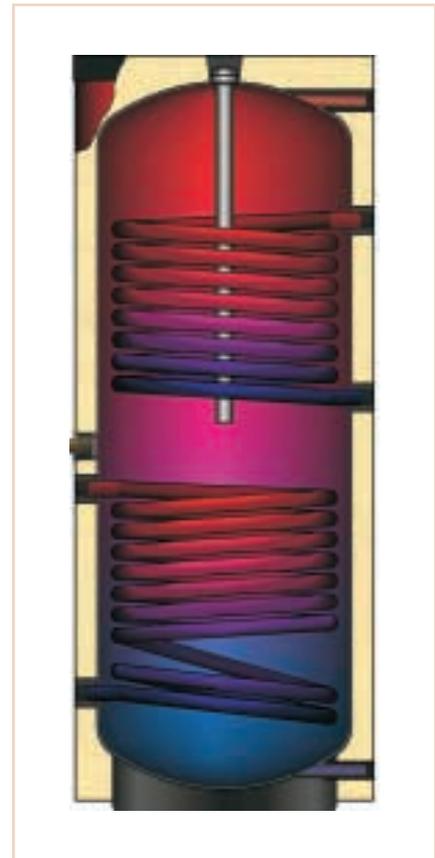


Abb. 7: Warmwasserspeicher mit zwei Wärmetauschern. Grafik: Solarpraxis Supernova AG

1.5.5 Der Kollektorkreis

Der Kollektorkreislauf dient zum Transport der Sonnenwärme vom Kollektor zum Warmwasserspeicher. Um Wärmeverluste gering zu halten, sollten die Wege zwischen Kollektor und Speicher möglichst kurz sein. Für Anlagen im Ein- und Zweifamilienhausbereich reichen meist Kupferrohre mit einem Durchmesser von 15–18 mm aus, um einen optimalen Wärmetransport zu gewährleisten.

Die Dämmung ist gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) vorzunehmen. Sie muss Temperaturen deutlich über 110°C standhalten und im Außenbereich UV- und witterungsbeständig sein. Als Dämmmaterialien kommen hauptsächlich Mineralwolle mit „wasserdichtem“ (!) Blechmantel und geschäumtes EPDM zum Einsatz.

Am Markt sind auch vorgefertigte Rohrleitungssysteme (z.B. als gedämmtes Doppelrohrsystem mit eingelegtem Elektrokabel für den Fühler) erhältlich.

Gängige Durchflussraten in kleinen Solaranlagen betragen 30 bis 50 Liter pro Stunde und m² Kollektorfläche. Die Kollektorkreisumwälzpumpe muss diesen Durchfluss sicherstellen können. Hierfür werden in der Regel konventionelle Heizungspumpen mit einer elektrischen Aufnahmeleistung zwischen 40 und 80W eingesetzt. Die Pumpe sollte immer im kälteren Rücklauf des Kollektorkreises eingebaut sein, um sie nicht unnötig den hohen Temperaturen im Vorlauf auszusetzen. Damit beim Auswechseln einer defekten Pumpe nicht das ganze System entleert werden muss, werden vor und hinter der Pumpe Absperrschieber montiert.

Die Thermometer in Vor- und Rücklauf dienen zur Betriebskontrolle der Anlage. Um die Solarwärme im Speicher zu halten, wird im Rücklauf ein Rückschlagventil montiert.

Das Entlüftungsventil wird an der höchsten Stelle im Kollektorkreis plaziert. (Auf spätere Zugänglichkeit achten!) Zur Anwendung kommen absperrbare Handentlüfter oder absperrbare Schwimmerentlüfter. Diese dienen zum manuellen Entlüften des Kollektorkreislaufes nach dem Befüllen mit Wärmeträgerflüssigkeit.

Das Ausdehnungsgefäß hält den Druck in der Anlage stabil und nimmt die durch unterschiedliche Temperaturen bedingte Volumenänderungen der Wärmeträgerflüssigkeit auf. Bei Stillstand des Kollektorkreislaufes kann der Kollektor so hohe Temperaturen erreichen, dass der Wärmeträger in den Kollektoren verdampft. Deshalb muss das Ausdehnungsgefäß so bemessen sein, dass es das Volumen der verdrängten Flüssigkeit aufnehmen kann.

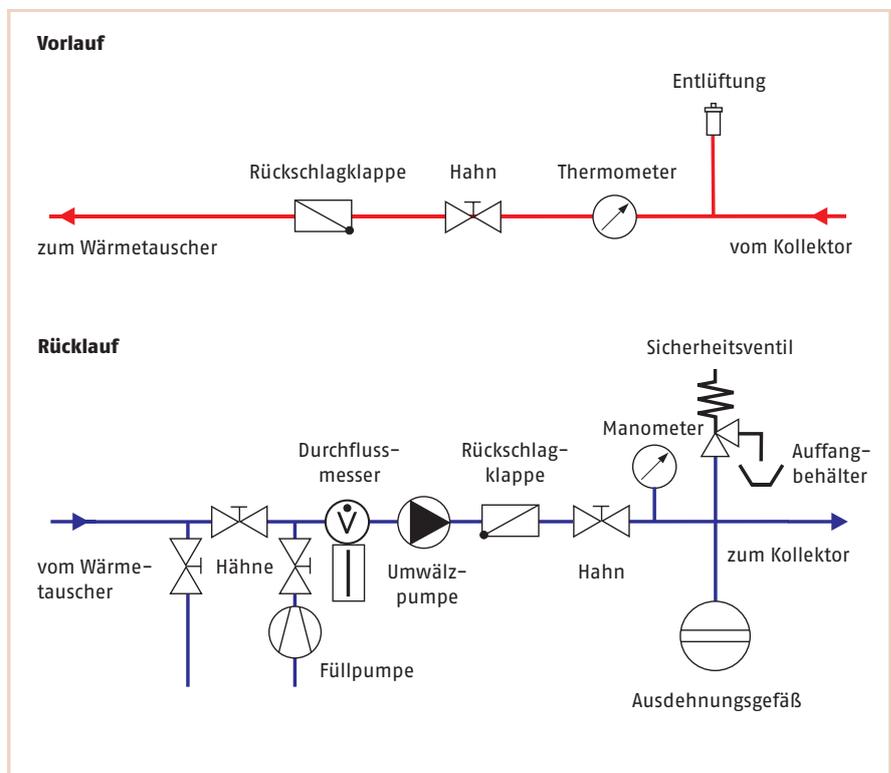


Abb. 8: Armaturen und Sicherheitseinrichtungen im Solarkreis.
Grafik: Solarpraxis Supernova AG

Typische Betriebsdrücke von Solaranlagen liegen bei 1,5– 3 bar. Mit einem Sicherheitsventil, das über ein Manometer kontrolliert wird, wird die Anlage abgesichert. In diesem Fall sollte das Ventil bei einem Ansprechdruck von 6 bar öffnen. Ein Auffangbehälter sollte die austretende Wärmeträgerflüssigkeit auffangen. Bei Verdampfen der Wärmeträgerflüssigkeit im Kollektor – und der daraus resultierenden Druckerhöhung – darf das Sicherheitsventil nicht ansprechen, da die Ausdehnungsgefäße auf Eigensicherheit der Anlage ausgelegt sein müssen.

1.5.6 Die Regelung

Meistens ist ein einfacher Temperaturdifferenzregler für die Regelung einer kleinen Solaranlage zur Warmwasserbereitung ausreichend. Ist die Temperatur im Kollektor höher als im Speicher, wird die Kollektorkreisumwälzpumpe in Betrieb gesetzt. Meist werden die Solarregler so eingestellt, dass für den Pumpenstart eine Temperaturdifferenz von etwa 5–8K zwischen Kollektor und Speicher notwendig ist. Sinkt diese Temperaturdifferenz auf 2–3K, wird die Solarkreis-Umwälzpumpe durch den Solarregler wieder außer Betrieb genommen.

2. Installationskomponenten



Die in solarthermischen Anlagen auftretenden Temperaturen, die selbst in Speichernähe noch 130°C betragen können, stellen deutlich höhere Anforderungen an die üblicherweise in Heizungsanlagen verwendeten Werkstoffe. Kupferrohre und -fittings sind deshalb auch für den Solarbereich unter Berücksichtigung der Regelwerke in besonderer Weise geeignet. Um sicher zu stellen, dass nur hochwertige Installationskomponenten eingesetzt werden, gilt für Verarbeiter, Planer und Bauherren die dringende Empfehlung, nur gütesichere Kupferrohre, Fittings, Lot und Flussmittel zu verwenden.

2.1 Kupferrohre

Als Kupferrohre werden die nach DIN EN 1057 „Nahtlose Rundrohre aus Kupfer für Wasser- und Gasleitungen, Sanitärinstallationen und Heizungsanlagen“ normierten Rohre verwendet. In dieser Norm werden nahtlose Rundrohre aus Kupfer mit einem Außendurchmesser von 6–267 mm beschrieben. Im Gegensatz zu den gängigen, für die Gas- und Trinkwasserinstallation vorgeschriebenen Kupferrohren der Abmessungen 12–54 mm mit Wanddicken zwischen 1,0 und 2,0 mm, können in der Heizungsinstallation auch Kupferrohre mit veringerten Wanddicken eingesetzt werden.

2.2 Fittings

In thermischen Solaranlagen werden zum Verbinden der Kupferrohre nach DIN EN 1057 hauptsächlich folgende Form- und Verbindungsstücke verwendet:

- **Kapillarlötfittings** nach DIN EN 1254-1 und DVGW-Arbeitsblatt GW 6 + 8
- **Pressfittings** nach DVGW-Arbeitsblatt W 534
- **Klemmringverschraubungen** nach DIN EN 1254-2 und DVGW-Arbeitsblatt W 534

Kapillarlötfittings, Pressfittings mit speziellem Dichtelement und Klemmringverschraubungen können auch unter den besonderen Anforderungen der Solarthermie zum Verbinden von Kupferrohren eingesetzt werden. Dies gilt zum Teil auch für O-Ring-Dichtungen, flach und konisch dichtende Verbindungen und andere Verbindungstechniken. Generell sind jedoch die Herstellerangaben bezüglich der Einsatzbereiche und -grenzen zu beachten. Gewinde sollten nicht mit Teflonband abgedichtet werden.

2.2.1 Kapillarlötfittings

Fittings nach DIN EN 1254-1 sind für Kupferrohrabmessungen von 6–108 mm Anschlussdurchmesser und Gewindeanschlussgrößen R/Rp 1/8 bis R/Rp 4 lieferbar (R = Außengewinde, Rp = Innengewinde). Vor dem Löten müssen die Lötflächen der Rohrenden und Fittings metallisch blank gereinigt werden. Hierzu sind metallfreie Reinigungsvliese, feine Stahlwolle, Schmirgelleinen (Körnung 240 oder feiner) oder Ring- und Rundbürsten mit Drahtborsten geeignet. Die Kapillarlöttechnik, die bei Verwendung von (kalibrierten) Kupferrohren nach DIN EN 1057 und Lötfittings nach DIN EN 1254-1 infolge der aufeinander abgestimmten Maßtoleranzen möglich ist, lässt das Lot auch gegen die Schwerkraft in den Spalt eindringen.

Die fachgerechte Vorbereitung und Durchführung der Lötung ist von wesentlichem Einfluss auf die spätere Betriebssicherheit der Anlage. Befinden sich nicht temperaturbeständige Werkstoffe (z. B. Kunststoffdichtungen) im Lötbereich (Wärmeleitung des Werkstoffes beachten), sind diese unbedingt ausreichend zu kühlen (nasse Lappen o.ä.). Alternativ kann in diesem Bereich eine der kalten Verbindungstechniken angewandt werden.

2.2.2 Pressverbindungen

Für den Einsatz von Pressverbindungen in Solaranlagen werden hochtemperaturbeständige Spezialdichtelemente angeboten, die sich von denen in Trinkwasserleitungen oder Heizungsinstallationen (bis 110°C) unterscheiden. Bei der Verarbeitung der Pressfittings ist stets die Montageanweisung des jeweiligen Herstellers zu beachten. Im wesentlichen gelten die folgenden Hinweise: Die Pressfittings sind vor Verwendung auf den korrekten Sitz des speziellen Dichtelements zu überprüfen. Die Rohrenden dürfen keine Reste von Graten oder Verschmutzungen z. B. durch Mörtel aufweisen, damit beim Aufschieben des Pressfittings auf das Rohr das Dichtelement nicht beschädigt wird.

Für eine sichere Installation muss die Einstecktiefe des Fittings z. B. mit einem Filzstift am Rohr markiert werden. Diese Markierung ermöglicht eine optische Kontrolle der Einstecktiefe vor der Verpressung. Stützhülsen sind nicht notwendig. Das Verpressen erfolgt mit den vom Hersteller des Pressfittings benannten speziellen Werkzeugen. Fitting und Rohr werden hierbei unlösbar miteinander verbunden.

2.2.3 Klemmringverschraubungen

Klemmringverschraubungen – metallisch dichtend – gehören zur Gruppe der lösbaren Verbindungen für glatte Rohrenden (Glattrohrverbinder). Klemmringverschraubungen nach DIN-EN 1254-2 Teil 2 sind für Kupferrohrabmessungen nach DIN EN 1057 bis 108 mm lieferbar. Gewindeverbindungen gewährleisten die Kompatibilität zu anderen Verbindungssystemen.

2.3 Lote und Flussmittel

Bei der Erstellung von solarthermischen Anlagen ist nach DIN V ENV 12977-1 zu beachten, dass die in den Rohrleitungen verwendeten Materialien und Werkstoffe in der Lage sein müssen, „der höchsten Betriebstemperatur und dem höchsten Betriebsdruck (unter Stagnationsbedingungen) standzuhalten“. Dies ist insbesondere bei thermisch hoch belasteten Bereichen der Installation zu berücksichtigen.

Da **Weichlote** bzw. Weichlotpasten, die nach Herstellerangaben dauerhaft Temperaturen von über 110°C standhalten, in

Deutschland nicht angeboten werden, ist die Anwendung der Verbindungstechnik Weichlöten aufgrund der zu erwartenden hohen Temperaturen nicht zu empfehlen. Es sind also andere geeignete Verbindungstechniken (Hartlöten, Schweißen, Pressen oder Klemmen) zu bevorzugen.

Hartlote werden durch die Norm DIN EN 1044, Flussmittel nach DIN EN 1045 beschrieben. Hartlote und Flussmittel nach DVGW-Arbeitsblatt GW 2 sind in Tabelle 2 aufgeführt. Diese Hartlote sind uneingeschränkt für die in Solaranlagen auftretenden Temperaturen und Drücke geeignet.

Tabelle 2: Nach DVGW-Arbeitsblatt GW 2 zugelassene Hartlote und kaltwasserlösliche Flussmittel.
*) Bei Kupfer-Phosphor-Loten sind für Verbindungen von Kupfer an Kupfer keine Flussmittel erforderlich. Bei Verbindungen von Kupfer an Messing oder Rotguss muss jedoch ein Flussmittel eingesetzt werden.

Art des Lotes	Zusammensetzung des Lotes	Schmelzbereich (°C)	Flussmittel*	Wirkbereich (°C)
Hartlote	CP 203 (L-CuP6)	710-890	FH 10	550-800
	CP 105 (L-Ag2P)	645-825		550-800
	Ag 106 (L-Ag34Sn)	630-730		550-800
	Ag 104 (L-Ag45Sn)	640-680		550-800
	Ag 203 (L-Ag44)	675-735		550-800

Tabelle 3: Richtwerte für Befestigungsabstände wasserführender Kupferrohrleitungen nach DIN 1988

Außendurchmesser (mm)	12	15	18	22	28	35	42	54
Befestigungsabstand (m)	1,25	1,25	1,50	2,00	2,25	2,75	3,00	3,50

Ein Blick über die Grenze (Betrifft nur Österreich)

In Österreich dürfen Kupferrohrleitungen für solarthermische Anlagen mit Norm-Stillstandstemperaturen kleiner oder gleich 200° C und höchstzulässigen Betriebsdrücken kleiner oder gleich 6 bar nach den Ö-Normen M 7826-1 und -2 mit dem Lot S-Sn97Cu3 (DIN EN 29453) und einer entsprechenden, das selbe Lot enthaltende Lotpaste (Gemenge aus Flussmittel und Lot) weichgelötet werden. Die Verwendung von anderen Lotpasten ist nicht zulässig. Für Solaranlagen mit höheren Norm-Stillstandstemperaturen und/oder Betriebsdrücken gelten auch in Österreich die bereits vorher erwähnten Kriterien hinsichtlich der Auswahl geeigneter Verbindungstechniken.

2.4 Verarbeitungs- und Verbindungstechniken

Für das Verbinden von Kupferrohren in der Gas- und Flüssiggas- sowie der Trinkwasserinstallationen gelten die im DVGW-Arbeitsblatt GW 2 „Verbinden von Kupferrohren für die Gas- und Trinkwasser-Installation innerhalb von Grundstücken und Gebäuden“ festgeschriebenen Bestimmungen. Für alle anderen Anlagen ist die Anwendung des GW 2 nicht zwingend vorgeschrieben. Die Festlegungen dieses Arbeitsblattes gelten jedoch als anerkannte Regel für das Verbinden von Kupferrohren und sind damit auch für die Installation von thermischen Solaranlagen anwendbar.

Weitere Informationen sind unter anderem dem DKI Informationsdruck „i. 158 – Die fachgerechte Kupferrohrinstallation“ zu entnehmen.

2.5 Wärmedehnung

Ein Meter Kupferrohr dehnt sich – unabhängig vom Rohrdurchmesser – zwar weitaus geringer als nichtmetallische Werkstoffe aus, aber bei einer Temperaturdifferenz von 100K immer noch um ca. 1,7mm. Wird diese Tatsache bei der Rohrinstallation von warmwasserführenden Leitungen nicht beachtet und den Rohren keine Dehnungsmöglichkeit (Kompensatoren, Bögen, Gleitschellen) gegeben, kann es durch die auftretenden Spannungen zu Rissbildungen im Rohr, im Fitting oder in der Verbindungsstelle und damit zur Undichtigkeit kommen.

2.6 Befestigungen

Solaranlagen dürfen nicht an Gas- und Wasserleitungen befestigt werden. Sie dürfen nicht als Träger für andere Leitungen oder Lasten dienen. In wasserführenden Leitungen muss die Befestigung außerdem den Schallschutz gewährleisten; in warmwasserführenden Leitungen muss die Wärmedehnung der Rohrleitungen berücksichtigt werden. Bei Auswahl und Anordnung der Rohrbefestigungen ist auf diese Anforderungen zu achten.

2.7 Zusammenbau von Kupfer mit anderen Werkstoffen in geschlossenen Anlagen

Bei geschlossenen Anlagen besteht in Anlehnung an fachgerecht ausgeführte Warmwasserheizungsanlagen nach VDI 2035 bei gemeinsamer Installation von Kupferrohren sowie Rohren und Anlagenteilen aus anderen metallenen Werkstoffen keine Korrosionsgefahr.

Der für die Korrosion wichtige Reaktionspartner Sauerstoff wird schon bei der ersten Aufheizung des Wassers thermisch ausgetrieben und entweicht durch die Entlüftung der Anlage, bzw. wird gebunden. Eine mögliche Zufuhr von Sauerstoff, z. B. durch undichte Stopfbuchsen oder nicht sauerstoffdichte Kunststoffrohre, muss durch fachgerechte Installation verhindert werden. Verzinkte Rohre und Fittings dürfen nicht eingesetzt werden.

3. Anlagentechnische Besonderheiten

3.1 Druck und Temperaturen im Kollektor und Kollektorkreis

In den heute üblichen Kollektoren werden Stillstandstemperaturen über 200°C erreicht, bei Vakuumröhren bis zu 280°C. Derartig hohe Temperaturen entstehen nur im Kollektor bei Anlagenstillstand, z.B. bei Abschaltung der Kollektorkreispumpe.

Setzt sich die Anlage nach einer solchen Abschaltung bei hohen Temperaturen wieder in Betrieb, können im Kollektorkreis kurzzeitig Temperaturen deutlich über 110°C auftreten.

Um das Volumen (und damit den Preis) des Ausdehnungsgefäßes möglichst gering zu halten, wird das Sicherheitsventil in der höchstmöglichen Druckstufe gewählt. Begrenzender Faktor ist hierbei die Druckbeständigkeit des schwächsten Anlagenbestandteils. In der Praxis handelt es sich hier um das Ausdehnungsgefäß, die Pumpe oder der Kollektor.

3.2 Verdampfung im Kollektorfeld

Bei den marktüblichen Kollektoranlagen und Bauteilen, beschränken sich die Hersteller und Planer in der Regel auf Drücke von maximal 6 bar bzw. 10 bar im Kollektorkreis.

Bei diesen Drücken ist eine Verdampfung im Kollektorfeld jedoch möglich. Die Kollektoren sind auf diese Verdampfung und eine darauffolgende Kondensation des Wärmeträgermediums ausgelegt. Aufgrund der Temperaturverläufe im Kollektor und Kollektorkreis verdampft der gesamte Inhalt des Kollektors sowie ein kleiner Teil in den Anschlussleitungen. Dieses Dampfvolument muss in die Berechnung des Ausdehnungsgefäßes einfließen. (vgl. 3.4.1)

Bei der Montage von Automatikentlüftern und Sicherheitsventilen im Bereich der Dampfbildung muss unbedingt die Gefahr durch Dampfaustritt berücksichtigt werden. Automatikentlüfter müssen unter anderem daher durch einen vorgeschalteten Kugelhahn absperrbar sein.

3.3 Wärmedämmung des Kollektorkreises

Die hohen Temperaturen von über 110°C im Kollektor und im Kollektorkreis erfordern abgestimmte Wärmedämmungen der Kupferrohrinstallation. Im Außenbereich muss die Wärmedämmung zudem der UV-Strahlung, der Witterung und Vogelfraß widerstehen. Dort sind deshalb UV-beständige und/oder verblechte Werkstoffe mit entsprechender Temperaturbeständigkeit einzusetzen. Häufig verwendete Schaumwerkstoffe, die nur für Heizungsanlagen bis 90°C ausgelegt sind, versagen hier oft bereits nach wenigen Tagen.

Für die Anforderungen des Kollektorkreises sind spezielle geschäumte Werkstoffe auf dem Markt. Zudem besteht die Möglichkeit der Wärmedämmung durch Stein- oder Glaswolle sowie Melaminharz. Neben der klassischen Kombination Kupferrohr, Wärmedämmung und Elektrokabel sind am Markt vorgefertigte Rohrleitungen aus Kupfer inkl. Wärmedämmung und Elektrokabel für die Installation des Kollektorfühlers erhältlich.

Die Rohrleitungen sind gemäß den Dämmstärken der Energieeinsparverordnung zu isolieren.

3.4 Ausdehnungsgefäße, Pumpen und Armaturen im Kollektorkreis

3.4.1 Ausdehnungsgefäße

Befindet sich die Solaranlage im Stillstand, weil z.B. der Speicher bereits voll aufgeladen ist und kein Verbrauch stattfindet oder die Kollektorkreispumpe nicht in Betrieb ist, kann sich bei weiterer Sonneneinstrahlung in den Kollektoren Dampf bilden. Der Dampfraum entspricht in der Regel dem Kollektorvolumen und einem Teil des Volumens der Kollektoranschlussleitungen.

Um einen solchen Betriebsfall nicht zum Störfall werden zu lassen, wird im Regelwerk die Eigensicherheit der Anlage gefordert. Diese Forderung gilt u.a. dann als erfüllt, wenn das Ausdehnungsgefäß so bemessen ist, dass es sowohl die temperaturbedingte Volumenänderung der Wärmeträgerflüssigkeit als auch das Dampfvolument aufnehmen kann.

Zur Berechnung des Ausdehnungsgefäßes muss zunächst das Anlagenvolumen (V_a) bestimmt werden. Dieses ergibt sich aus der Summe der Inhalte der Kollektoren, der Rohrleitungen, des Wärmetauschers und der Armaturen. Während der Kollektorinhalt und der Inhalt des Wärmetauschers den Unterlagen des Kollektor- bzw. Speicherherstellers zu entnehmen sind, kann der Inhalt der Rohrleitungen anhand Tabelle 5 ermittelt werden.

Die temperaturbedingte Volumenänderung des Wärmeträgers (DV_2) ergibt sich aus dem Volumenausdehnungskoeffizienten (g) in Abhängigkeit von der mittleren Wassertemperatur und dem Glykolanteil des Wärmeträgers. Aus Tabelle 4 kann der hieraus errechnete prozentuale Faktor (n) der Volumenzunahme entnommen werden. Als mittlere Temperaturänderung der Wärmeträgerflüssigkeit, d.h. der Temperaturdifferenz zwischen Einfülltemperatur und mittlerer Temperatur des Wärmeträgers im hier betrachteten Fall der Dampfbildung im Kollektor, kann mit ausreichender Genauigkeit ein Wert von 110 K angenommen werden. Daraus ergibt sich die gesuchte Volumenänderung:

$$\Delta V_a = V_a \frac{n}{100}$$

Das vom Ausdehnungsgefäß zusätzlich aufzunehmende Dampfvolument (V_d) ist anzusetzen mit dem Inhalt aller Kollektoren plus dem Inhalt des jeweils ersten Meters der Anschlussleitungen der einzelnen Kollektorfelder.

Um den während der Anlageninbetriebnahme durch Entlüftung auftretenden Volumenverlust auszugleichen sowie im Winter an den am höchsten gelegenen Stellen der Anlage einen Überdruck zu gewährleisten, ist bei der Bemessung des Ausdehnungsgefäßes eine sogenannte Wasservorlage (V_v) zu berücksichtigen. Diese beträgt

$$\text{bei } \Delta V_a > 15l: \quad V_v = 0,05 \Delta V_a$$

$$\text{bei } \Delta V_a < 15l: \quad V_v = 0,20 \Delta V_a$$

$$\text{mindestens aber: } V_{v \text{ min}} = 3l$$

Zur Ermittlung der erforderlichen Größe des Ausdehnungsgefäßes ist schließlich noch der Druckfaktor (D_1) zu bestimmen. Hierzu muss zuerst der Anlagendruck (p_e) ermittelt werden, der sich aus dem Ansprechdruck (p_{av}) des Sicherheitsventils abzüglich der Arbeitsdruckdifferenz von -10% des Ansprechdruckes, mindestens aber $-0,5$ bar, ergibt:

$$p_e = p_{av} - p_{da} = p_{av} - 0,5 \text{ bar}$$

Mit dem Anlagenfülldruck (p_0), d.h. der statischen Druckhöhe der Anlage plus einem Sicherheitszuschlag von $0,5-0,8$ bar, wird schließlich der Druckfaktor

$$D_1 = \frac{p_e + 1}{p_e - p_0}$$

und damit das Mindestnennvolumen ($V_n \text{ min}$) des Ausdehnungsgefäßes zu

$$V_n \text{ min} = D_1 (D_{Va} + V_d + V_V)$$

Anhand der Herstellerunterlagen ist dann ein Ausdehnungsgefäß mit einem Nennvolumen (V_n)

$$V_n \geq V_n \text{ min}$$

Da das tatsächlich verfügbare Nutzvolumen eines Ausdehnungsgefäßes wiederum von Anfangs- und Enddruck abhängig ist, wird empfohlen, das ausgewählte Gefäß nachzurechnen. Dazu dient die Formel:

$$V_{\text{Nutz}} = V_{\text{Nenn}} \times \left(1 - \frac{p_0 + 1}{p_e + 1} \right)$$

So hat ein Gefäß mit 25l Nennvolumen unter den Randbedingungen 1bar Fülldruck und 5,4bar Enddruck (Sicherheitsventil der Druckstufe 6bar) ein tatsächliches Nutzvolumen von lediglich 17,2 Liter!

Das Ausdehnungsgefäß ist so anzuordnen, dass es vor zu hohen Dauertemperaturen und Dampfschlägen geschützt ist. Es darf zum Kollektor hin nicht absperrbar sein. Im einzelnen sind die Bestimmungen der DIN 4807 und die Herstellerangaben zu beachten.

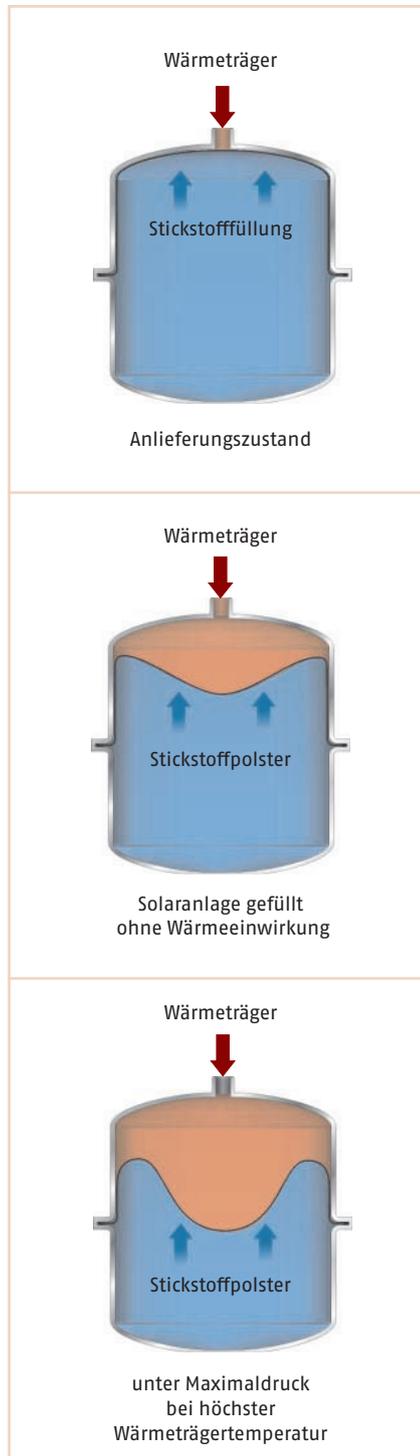


Abb. 9: Verschiedene Betriebszustände am Membran-Ausdehnungsgefäß (nach Viessmann). Grafik: Solarpraxis AG

Tabelle 4: Volumenänderung n des Wärmeträgers in %

mittlere Temperaturänderung (K)	Glykolanteil des Wärmeträgers (%)			
	20	30	40	50
110	5,79	6,01	6,43	6,76

Tabelle 5: Rohrabmessungen und Leitungsvolumen

Rohrabmessung $d_a \times s$ (mm)	spezifisches Leitungsvolumen V (l/m)
10 × 0,6	0,061
12 × 0,6	0,092
12 × 0,7	0,088
12 × 1,0	0,079
15 × 0,7	0,145
15 × 0,8	0,141
15 × 1,0	0,133
18 × 0,8	0,211
18 × 1,0	0,201
22 × 0,9	0,320
22 × 1,0	0,314
28 × 1,0	0,531
28 × 1,5	0,491
35 × 1,0	0,855
35 × 1,5	0,804
42 × 1,0	1,257
42 × 1,5	1,195
54 × 2,0	1,963

3.4.2 Armaturen

Wie in der Heizungsinstallation werden in Kollektorkreisen Thermometer, Manometer, Absperrrichtungen, Rückflussverhinderer, Strangreguliertventile, Entlüfter und andere Bauteile eingesetzt.

Alle Bauteile in Kollektornähe müssen eine angepasste Temperaturbeständigkeit deutlich über 110°C aufweisen.

Strangreguliertventile mit einer Anzeige des Durchflusses müssen wärmeträger- und temperaturbeständig sein. Ihre Anzeigen müssen in der Regel für das Wärmeträgermedium umgerechnet werden. Als Absperrrichtungen haben sich Kugelhähne bewährt.

Sicherheitsventile sind entsprechend den Angaben des Kollektor- oder Systemherstellers vorzusehen und auszuwählen.

Der Ansprechdruck des Sicherheitsventils darf maximal der Druckstufe des schwächsten Anlagenbestandteils entsprechen. In der Regel ist dieses das Ausdehnungsgefäß, seltener auch der Kollektor, Armaturen oder die Pumpe. Es sind die Bestimmungen des AD2000-Merkblatts A2 bezüglich der Ausführung und Kennzeichnung der Sicherheitsventile zu beachten.

Die Abblaseleitung des Sicherheitsventils muss so ausgeführt werden, dass im Fall von Dampfaustritt eine Gefährdung von Personen ausgeschlossen ist. Die Abblaseleitung wird zum Auffangen des Glykol-Wassergemisches in einen Auffangbehälter geführt. Dieser ist temperaturbeständig auszuführen und muss mindestens das Volumen des Kollektorfeldes aufnehmen können. Nach Möglichkeit ist eine Aufnahme des gesamten Anlageninhaltes zur Befüllung und bei Reparaturarbeiten sinnvoll. Eine Wiederbefüllung der Anlage sollte zudem manuell über eine Pumpe leicht möglich sein.

3.4.3 Pumpen

Die im Kollektorkreis eingesetzten Pumpen müssen temperaturbeständig sein. Der Einbauort ist so zu wählen, dass eine Überhitzung der Pumpe ausgeschlossen ist.

Der Anteil des Frostschutzmittels im Wärmeträgermedium sollte bei gängigen Pumpen 50% nicht überschreiten. Es besteht ansonsten die Gefahr der Motorüberhitzung. Außerdem kann die Pumpe bei niedrigen Kollektorkreistemperaturen aufgrund der hohen Druckverluste das Wärmeträgermedium evtl. nicht umwälzen.

Die Einbaulage der Pumpe sollte unbedingt den Vorgaben der Hersteller entsprechen. Um Beschädigungen der Pumpe zu vermeiden, ist der Kollektorkreis sorgfältig zu spülen (siehe Inbetriebnahme).

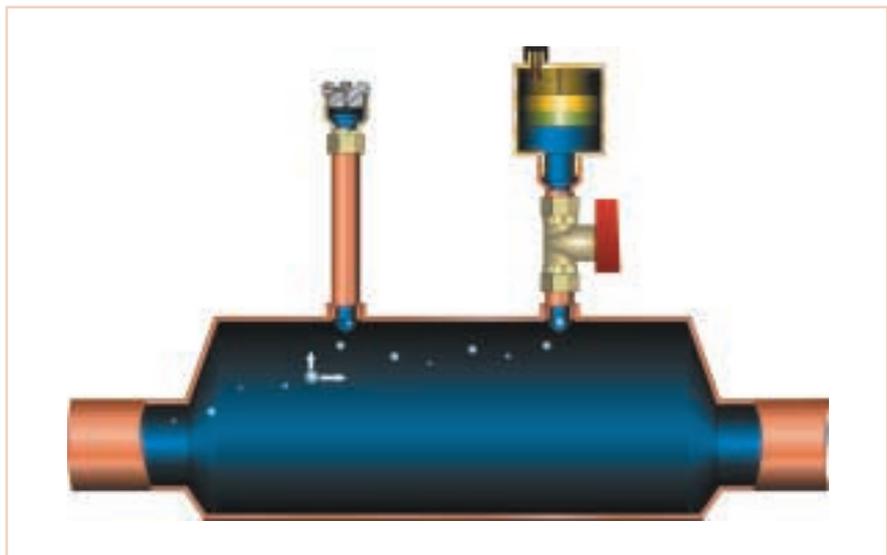
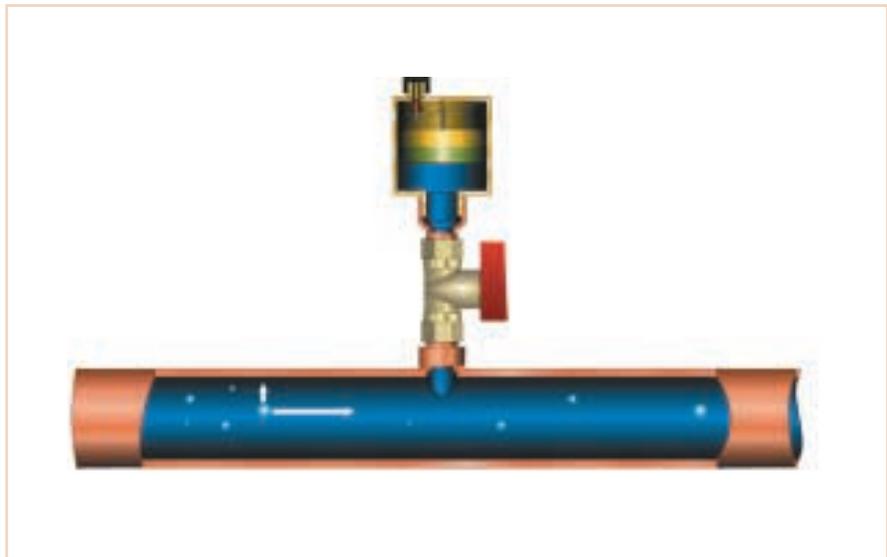


Abb. 10: Entlüftung ohne Beruhigung mit Automatikentlüfter und Kugelhahn.
Grafik: Solarpraxis AG

Abb. 11: Entlüftung in Beruhigungsstrecke: Kugelhahn mit Handentlüfter (li) und Automatikentlüfter (re).
Grafik: Solarpraxis AG

3.5 Wärmeträger

Als Wärmeträgermedien kommen heute vorwiegend ungiftige Wasser-Propylen-glykol-Gemische zum Einsatz. Aufgrund Ihrer hohen Toxizität werden hingegen nur noch selten Ethylenglykole eingesetzt, ihr Einsatz beschränkt sich dabei auf die Beladung von nicht trinkwasser-führenden Speichern.

Ein Frostschutz von ca. 40% Glykol im Gemisch verhindert sicher die Beschädigung der Anlage, zudem bleibt die Anlage bis ca. -24°C betriebsbereit, bei Temperaturen darunter bildet sich ein

zähflüssiger Eisbrei, der jedoch nicht in der Lage ist, die Rohrleitungen aufzusprengen. Andererseits kann es bei den heutigen Hochleistungsflachkollektoren sowie bei direktdurchströmten Vakuumkollektoren vorkommen, dass das konventionelle Wärmeträgermedium bei hohen Stillstandstemperaturen vorzeitig altert. Um dies zu vermeiden, kann der maximale Betriebsdruck der Anlage auf 4 bar begrenzt oder ein thermisch höher belastbares Wärmeträgermedium verwendet werden.

4. Inbetriebnahme, Wartung und Lebensdauer

Um den sicheren Betrieb der Anlagen mit dem Wärmeträgermedium zu gewährleisten, sind die folgenden Punkte zu beachten:

- nur für Solaranlagen ausdrücklich geeignete Frostschutzmittel einsetzen
- die verwendeten Materialien im Kollektorkreis müssen glykolbeständig sein (Herstellerfreigabe);
- ein Einstufungs- und Kennzeichnungsnachweis im Sinne von Anhang I Nr. 1.1 der GefStoffV des Frostschutzmittels ist beim Hersteller abzufragen;
- im Kollektorkreis niemals Zink einsetzen, da dies vom Glykol gelöst wird;
- Konzentrationen > 50% Glykol sind zu vermeiden, sie können zu Beschädigungen an Ausdehnungsgefäßen führen, benötigen höhere Pumpenleistungen und vermindern somit unnötigerweise den Wirkungsgrad der Anlage.

3.6 Regelung

Solaranlagen können bei guten Einstrahlungsbedingungen im Solarspeicher durchaus Temperaturen >90°C erzeugen. In der Vergangenheit wurden die Temperaturen im Solarspeicher häufig auf 60–65 Grad C begrenzt, um eine Verkalkung der trinkwasserberührten Seite des Solarwärmetauschers zu verhindern.

In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, daß das Verkalkungsrisiko an den in überwiegender Mehrzahl eingesetzten emaillierten *Glattrohr-Wärmetauschern* faktisch zu vernachlässigen ist. Ursache hierfür ist die glatte und zudem ständigen Wärmedehnungen unterworfenen Oberfläche, die ein Festsetzen von Kalkablagerungen wirksam verhindert. Der Kalk fällt jedoch als Schlamm im unteren Speicherbereich an und kann dort im Rahmen der Wartung bei Bedarf entfernt werden. Bei Temperaturen >60°C im Solarspeicher ist zum Schutz der Benutzer vor Verbrühungen ein thermostatischer Mischer in die Warmwasserleitung einzubauen. Dieser vermischt bei Bedarf kaltes Wasser mit dem heißen Wasser aus dem Solarspeicher und begrenzt die Temperatur in der Warmwasserleitung auf max. 60°C.

4.1 Druckprobe und Spülen der Anlage

Der Kollektorkreis muss nach Fertigstellung einer Druckprobe unterzogen werden. Diese Druckprobe hat nach EN 12976-1 mit dem 1,5-fachen des maximalen Betriebsdruckes zu erfolgen.

Der Druck darf über die Prüfzeit (10 Minuten) nicht abfallen. Nach der Druckprobe wird der Druck abgesenkt und mit dem Spülen der Anlage begonnen. Dies ist zur Entfernung von Schmutzresten aus der Anlage unbedingt erforderlich und sollte mindestens 10 Minuten durchgeführt werden. Zum Spülen der Anlage ist der Wasser-schlauch an den Füllhahn „c“ anzuschließen, der davorliegende Hahn „b“ zu schließen und das aus dem Hahn „a“ austretende Wasser abzuleiten. Gegen Abschluß des Spülvorgangs ist der Hahn „b“ kurz zu öffnen, um die Kurzschlußstrecke ebenfalls zu spülen.

Um ein Sieden der Flüssigkeit in den Kollektoren zu verhindern, sollte die Anlage nicht bei starkem Sonnenschein gespült bzw. mit Wasser befüllt werden. Andernfalls sollten die Kollektoren abgedeckt werden. Bei Frost darf die Anlage auf keinen Fall mit Wasser gespült werden.

Achtung Frostgefahr:
Viele Kollektoren oder Rohrleitungen laufen nach der Druckprobe und dem Spülen nicht mehr leer. Es besteht damit die Gefahr von Frostschäden. Eine einmal mit Wasser gefüllte Solaranlage muss daher bei Frostgefahr sofort nach dem Spülen mit dem Wärmeträgermedium aufgefüllt und gut durchmischt werden!

4.2 Befüllung des Kollektorkreises

Der Gesamtinhalt des Kollektorkreises ist anhand von Tabelle 5 und den Herstellerangaben abzuschätzen.

Der unverdünnte Frostschutz wird mit Wasser in einem sauberen Eimer oder im Behälter einer Abdrückpumpe gemischt. Hierbei sollte ein vom Anlagenhersteller vorgegebenes Mischungsverhältnis erzielt werden. Das Mischen in der Anlage ist zu unterlassen. Vorgemischte Solarflüssigkeiten werden direkt in die Anlage gegeben.

- Den Füllschlauch an den Füllhahn „c“ (siehe Abbildung 12) anschließen.
- Nebenliegenden Absperrkugelhahn „b“ schließen und einen weiteren Schlauch vom Entleerungshahn „a“ in das Mischgefäß legen.
- Die Anlage mit Hilfe einer Bohrmaschinenpumpe, einer Kreiselpumpe oder einer Prüfpumpe über den Füllhahn „c“ befüllen.
- Den Anlagenbetriebsdruck am Einbauort des Manometers auf die statische Höhe der Anlage plus ca. 0,5–0,8 bar Überdruck einstellen.
- Die Kollektorkreispumpe in Betrieb nehmen, nach ausreichender Durchmischung etwas Wärmeträger aus einem Füll-/Entleerungshahn zapfen und nochmals auf Frostsicherheit überprüfen.

4.3. Einstellung des Anlagen-durchflusses

Der größte Teil der am Markt erhältlichen Kollektorkreisläufe wird mit einem Durchfluss von 30–50 l/m²h (Liter pro m² Kollektor und Stunde) betrieben. Eine Ausnahme bilden Low-Flow-Anlagen, welche mit 10–20 l/m²h betrieben werden. Der Durchfluss im Kollektorkreis ist an den meist in den Solarstationen integrierten Durchflusssteller abzulesen und über eine Variation der Pumpenstellung einzustellen. Dabei sind mögliche Abweichungen der Anzeige aufgrund der Viskosität des Wärmeträgermediums zu berücksichtigen. Die Einregulierung des Kollektorkreises entfällt bei drehzahleregelten Kollektorkreisumpen.

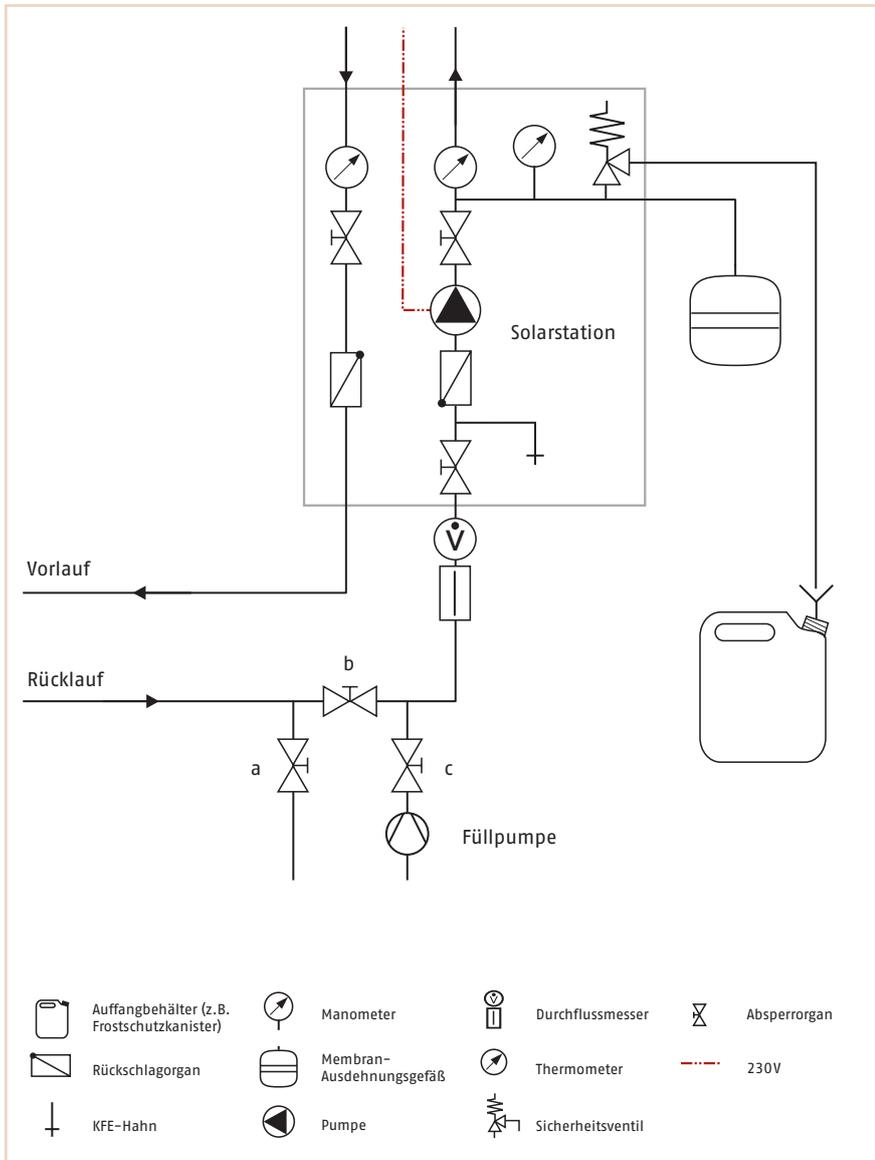


Abb. 12: Befüllung des Kollektorkreises
(Grafik: Solarpraxis AG)

4.4 Überprüfung der Solarregelung

Bei den meisten Systemen wird eine im Kollektorfeld gemessene Temperatur mit einer am unteren Teil des Solarspeichers gemessenen Temperatur verglichen. Ist die Differenz zwischen beiden Temperaturen größer als ein voreingestellter Wert, schaltet sich die Kollektorkreispumpe ein, und Energie wird vom Kollektor in den Solarspeicher gefördert.

Bei der Positionierung des Kollektorfühlers muss auf einen gut wärmeleitenden Sitz in Nähe des Kollektorfeldvorlaufs geachtet werden (= heißer Abgang der Kollektoren, s. Abb. 13). Der Temperaturfühler sollte in mittlerer Höhe des Kollektorkreiswärmetauschers montiert werden.

4.5 Entlüftung des Kollektorkreises

Durch Erzeugung eines Überdrucks bei Befüllen des Kollektorkreises wird im Anlagenbetrieb das Eindringen von Luft verhindert. Dringt aufgrund eines Druckverlustes Luft in den Kollektorkreis ein, verursacht diese die bekannten Symptome wie Gluckern und plätschernde Geräusche, bei größeren Luftmengen kommt die Umwälzung des Kollektorkreises zum Erliegen. Luft kann in Pumpen zu Schäden durch das Heißlaufen von Lagern führen, da die Pumpe durch das Wärmeträgermedium nicht ausreichend gekühlt wird. In Schwerkraftbremsen kann Luft ein Klappern verursachen, welches häufig der Pumpe zugeschrieben wird. In un-

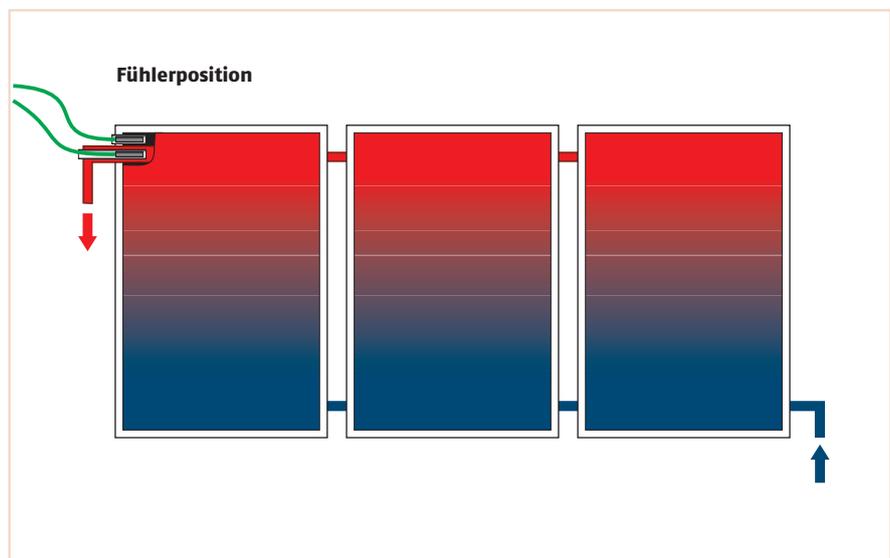
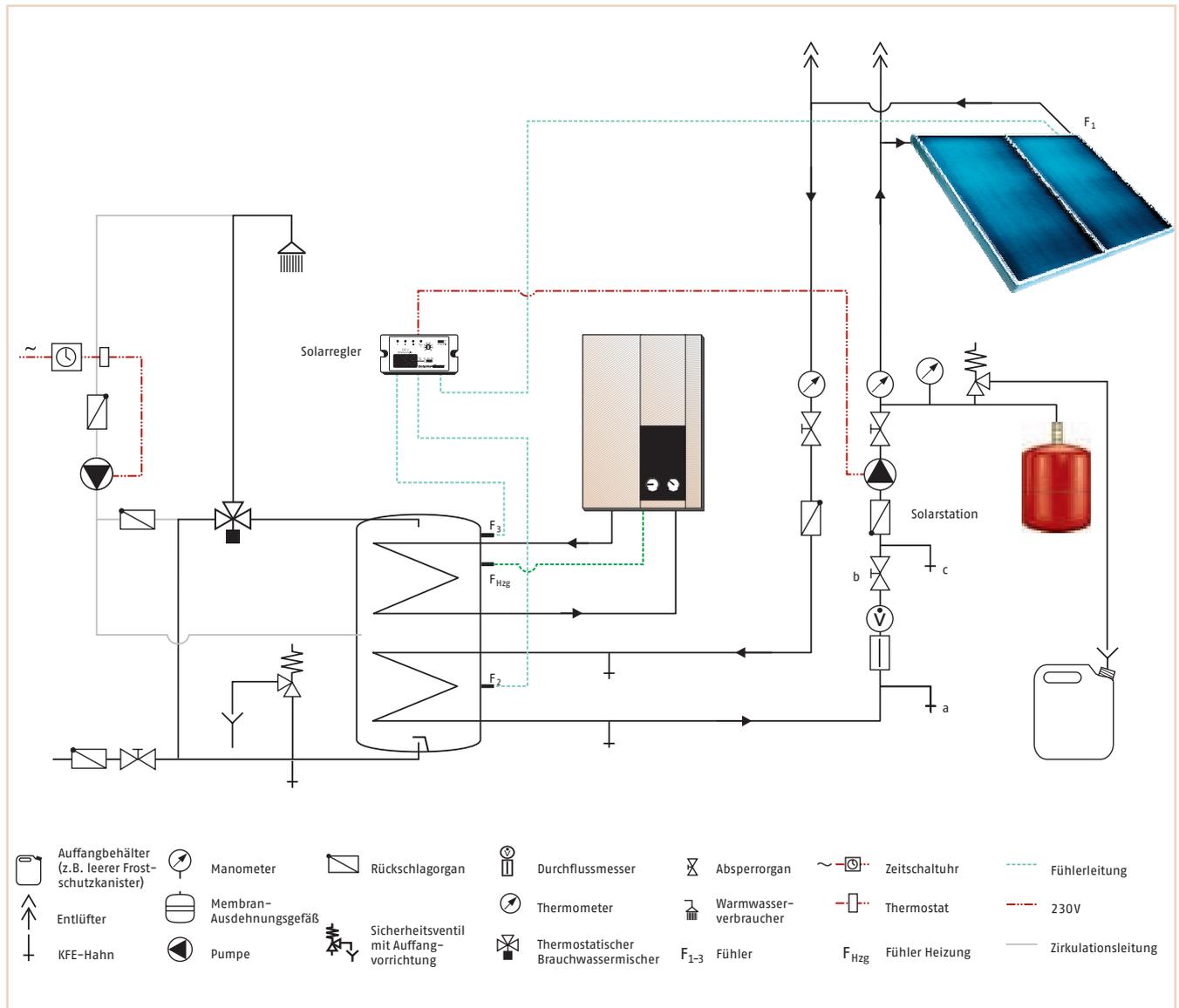


Abb. 13: Positionierung des Temperaturfühlers
in Tauchhülse (a) und im Kollektor (b).
Grafik: nach Stiebel Eltron

Abb. 14: Beispielhafter Schaltplan für eine typische Solaranlage zur Wassererwärmung (Grafik: Solarpraxis AG)



günstigen Fällen kann ein Luftpolster vor der Schwerkraftbremse ihr Öffnen beim Anlaufen der Pumpe verhindern. Dies führt dann wie bei einer im abgesperrten Zustand laufenden Pumpe zu deren Überhitzung und zu Lagerschäden.

Automatik-Entlüfter sollten während der Druckprobe, beim Nachfüllen, bei Druckerhöhungen und im Betrieb der Anlage über einen vorgeschalteten Kugelhahn abgesperrt sein. Außerdem müssen sie eine Temperaturbeständigkeit von >150°C besitzen.

Alternativ können ganzmetallene Handentlüfter mit Lufttöpfen eingesetzt werden. Die Lufttöpfe können dabei aus einem Stück Kupferrohr oder vorgefertigten Einheiten bestehen und müssen zu Vermeidung von Wärmeverlusten sorgfältig wärmegeämmt werden.

4.6 Inbetriebnahme, Wartung und Abnahme

Die Errichtung, Inbetriebnahme und Abnahme einer Solaranlage unterliegt den jeweils landesrechtlichen Anforderungen, z.B. Forderung der Fach- und Unternehmerbescheinigung.

Obwohl Solaranlagen einen geringen Wartungsaufwand erfordern, empfiehlt es sich, in regelmäßigen Abständen die Funktion und den Zustand der Anlagen zu prüfen. Besonderes Augenmerk erfordert der Anlagendruck. Bei Unterschreiten des Mindestdruckes muss die Anlage vom Fachmann nachgefüllt werden. Dabei ist auf die Frostschutzkonzentration gemäß den Herstellerangaben zu achten, die spätestens alle zwei Jahre zu überprüfen und ggf. neu aufzufüllen ist.

Die Wartung des Solarspeichers und der damit verbundenen Anlagentechnik ist gemäß DIN 1988 durchzuführen.

5. Normen und Regelwerke

Gemäß Regelwerk ist eine Bedienungs- und Wartungsanleitung an gut sichtbarer und geschützter Stelle im Aufstellraum der Anlage aufzubewahren. Die Vor- drucke der Checklisten im Anhang ergänzen die Unterlagen der Hersteller und erleichtern die Installation und Inbetriebnahme sowie die korrekte Wartung der Solaranlage.

4.7 Lebensdauer und Verschmutzung der Kollektoren

In der Praxis hört man sehr häufig die Frage nach der Lebensdauer der Solaranlage. Untersuchungen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (bmb+f) haben klar gezeigt, dass Solaranlagen bei fachgerechter Wartung und regelmäßiger Kontrolle durch den Kunden eine Lebenserwartung von mehr als 20 Jahren besitzen. Neben dieser Frage wird oft auch die nach der Folge von Verschmutzung der Kollektoren gestellt. Die bereits erwähnte Untersuchung gibt auch hier eine klare Antwort. Anlagen an normalen Standorten in Stadt und Land verlieren durch Verschmutzung maximal ca. 2% ihrer Leistungsfähigkeit, weshalb eine Reinigung nicht erforderlich ist.

Normen und Regelwerke

DIN 4757-2

Sonnenheizungsanlagen mit organischen Wärmeträgern; Anforderungen an die sicherheitstechnische Ausführung

DIN EN 12975-1

Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile; Kollektoren, Teil 1: Allgemeine Anforderungen

DIN EN 12975-2

Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile; Kollektoren; Teil 2: Prüfverfahren

DIN EN 12976-1

Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile; Vorgefertigte Anlagen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen

DIN EN 12976-2

Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile; Vorgefertigte Anlagen, Teil 2: Prüfverfahren

DIN V EN V 12977-1

Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile; Kundenspezifisch gefertigte Anlagen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen

DIN V EN V 12977-2

Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile; Kundenspezifisch gefertigte Anlagen, Teil 2: Prüfverfahren

DIN V EN V 12977-3

Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile; Kundenspezifisch gefertigte Anlagen, Teil 3: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern

DIN 1055-4

Lastenannahmen für Bauten; Verkehrslasten; Windlasten nicht schwingungsanfälliger Bauwerke

DIN 1055-5

Lastenannahmen für Bauten; Verkehrslasten; Schneelast und Eislast.

DKI Informationsdruck i.158

Die fachgerechte Kupferrohrinstallation

Fachinformation Thermische Solaranlagen Ausgabe Jan. 1998

ZVSHK, St. Augustin

DIN EN 1044

Hartlöten/Lötzusätze

DIN EN 1045

Hartlöten; Flussmittel zum Hartlöten; Einleitung und technische Lieferbedingungen

DIN EN 1057

Installationsrohre aus Kupfer, nahtlos gezogen

DIN EN 1254-1

Kupfer und Kupferlegierungen; Fittings; Kapillarlötfitings für Kupferrohre (Weich- und Hartlöten)

DIN EN 1254-2

Kupfer und Kupferlegierungen; Fittings; Klemmverbindungen für Kupferrohre

DIN 1988-2

Technische Regeln für Trinkwasserinstallationen (TRWI): Planung und Ausführung; Bauteile; Apparate; Werkstoffe; Technische Regel des DVGW

DIN 1988-4

Technische Regeln für Trinkwasserinstallationen (TRWI): Schutz des Trinkwassers; Erhaltung der Trinkwassergüte; Technische Regel des DVGW

DIN 4807

Ausdehnungsgefäße

VDI 2035-2

Vermeidung von Schäden an Wasserheizungsanlagen – wasserseitige Korrosion

DVGW-Arbeitsblatt GW 2

Verbinden von Kupferrohren für die Gas- und Trinkwasser-Installation innerhalb von Grundstücken und Gebäuden

DVGW-Arbeitsblatt GW 6

Kapillarlötfitings aus Rotguss und Übergangsfittings aus Kupfer und Rotguss; Anforderungen und Prüfbestimmungen

DVGW-Arbeitsblatt GW 8

Kapillarlötfitings aus Kupferrohren; Anforderungen und Prüfbestimmungen

DVGW-Arbeitsblatt W 534

Rohrverbinder und Rohrverbindungen

AD 2000 Merkblatt A2

Ausführung und Kennzeichnung von

Sicherheitsventilen

6. Literaturliste

Interaktive Beratung zu Förderprogrammen: www.solarfoerderung.de

Allgemeine Buchveröffentlichungen

Thermische Solaranlagen Marktübersicht Leitfaden für den Kauf von Solar-Brauchwasseranlagen

Schüle, R., Ufheil, M., Neumann, C., 1997, Ökobuch-Verlag, ISBN 3-922964-66-4, EUR 15,30

Marktübersicht Solarkollektoren CD-ROM Datenbank mit ca. 250 Solarkollektoren

2003, Solarpraxis AG, EUR 69,00

Solaranlagen. Handbuch der thermischen Solarenergienutzung

Ladener, H., Spaete, F., 7. Auflage 2001, Ökobuch-Verlag, ISBN 3-923129-31-9, EUR 29,60

Solarwärme optimal nutzen – Technik, Planung und Montage

Schreier, N., Wagner, A., Orths, R., Rotarius, T., 17. Auflage, 2002, Wagner & Co. Solartechnik GmbH, ISBN 3-923129-36-X, EUR 19,80

Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden

Marko, A., Braun, P.O., Roth, W. (Hrsg.), 1996, Springer Verlag, ISBN 3-540603-6-97, EUR 81,75

Langzeiterfahrung Solarthermie – Wegweiser für das erfolgreiche Planen und Bauen von Solaranlagen

Peuser, F.A., Remmers, K.H., Schnauss, M., 2001, Solarpraxis AG, ISBN 3-934595-01-4, EUR 49,00

Große Solaranlagen – Einstieg in Planung und Praxis

Remmers, K.H., 2. überarbeitete Auflage 2002, Solarpraxis AG, ISBN 3-934595-06-5, EUR 65,00

Sonnenwärme für den Hausgebrauch: Ein Ratgeber für Auswahl und Kauf der eigenen Solaranlage

Dr. Sonne Team, 2000, Solarpraxis AG, ISBN 3-934595-01-4, EUR 19,00

Tragkonstruktionen für Solaranlagen, Planungshandbuch zur Aufständigung von Solarkollektoren

Erfurth + Partner, Steinbeis-Transferzentrum, Solarpraxis, 2001, Solarpraxis AG, EUR 59,00

Heizen mit der Sonne

Arbeitsgemeinschaft erneuerbare Energien, 1999, ISBN 3-901425-04-7, EUR 23,92

Das Solarbuch, Fakten, Argumente, Strategien

Witzel, W., Seifried, D., Ökobuch Verlag, 2000, EUR 15,30

Fachzeitschriften

Erneuerbare Energien – Zeitschrift für Energiealternativen

Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf

Energiedepesche Bund der Energieverbraucher e.V., Josefstr. 24, 53619 Rheinbreitbach, ISSN 0933-8055

Solarthemen – Der unabhängige Informationsdienst zu regenerativen Energien

Freies Redaktionsbüro für Umwelt- und Zukunftsfragen GbR, Bültestr. 85, 32545 Bad Oeynhausen; ISSN 1434-1530

Sonnenenergie – Zeitschrift für regenerative Energiequellen und Energieeinsparung

offizielles Fachorgan der DGS e.V., Solarpraxis AG, Torstrasse 177, 10115 Berlin, ISSN 0172-3278

Sonnenenergie – Zeitschrift der Schweizerischen Vereinigung für Sonnenenergie (SSES), Aarbergasse 61, CH-3011 Bern, ISSN 0379-65256

Sonne Wind & Wärme Bielefelder Verlagsanstalt GmbH & Co.KG, Niederwall 53, 33602 Bielefeld; ISSN 0944-8772

Test Kombi-Solaranlagen, Sonne tanken, Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung

Stiftung Warentest, 04/2003, www.stiftung-warentest.de, Abruf: EUR 2,00

Test Eine Technik zum Erwärmen, Solaranlagen zur Warmwasserbereitung

Stiftung Warentest, 04/2002, www.stiftung-warentest.de, Abruf: EUR 2,00

Grundlagenbücher

Solare Weltwirtschaft

Scheer, H., 2002, Verlag Antja Kunstmann, ISBN 3-888972-28-0, EUR 16,90

Jahrbuch Erneuerbare Energien

2002/2003, Steiß, Fithjof, Stiftung Energieforschung Baden Württemberg, 2003, EUR 35,20

Regenerative Energiesysteme

Quaschnig, V., Hauer, 2. Auflage 1999, Verlag Carl Hauser, ISBN 3-446193-69-3, EUR 40,00

Handbuch der innovativen Haustechnik

dilesgo (Hrsg.), 2000, ISBN 3-89554-120-6, EUR 47,66

BINE-Informationspakete

Wärmespeicher

Fisch, N., Köbler, R., 3. Auflage, 1998, TÜV Verlag GmbH, ISBN 3-8249-0442-8

Solare Nahwärme

Hahne, E., TÜV Verlag GmbH, 1998, ISBN 3-8249-0470-5

Aus dem Verlagsprogramm des Deutschen Kupferinstitutes

Architektur & Solarthermie, Dokumentation zum Architekturpreis, 2002, ISBN 3-935243-12-x, EUR 25,00

CD-ROM Solares Heizen

Neues Informationsmedium zur Motivation von Planern und Handwerkern für solares Heizen, EUR 10,00

Handbücher

Solarthermische Anlagen – Leitfaden für das SHK-, Elektro- und Dachdeckerhandwerk, für Fachplaner und Architekten, Bauherren und Weiterbildungsinstitutionen

6. Auflage 2002, DGS Landesverband Berlin-Brandenburg e.V., ISBN 3-9805738-4-2, EUR 50,00

Beratungspaket Solarthermie – Kunden kompetent beraten – Solartechnik erfolgreich verkaufen

Berthold Breid, 2001, Solarpraxis AG, ISBN 3-934595-14-6, EUR 59,00

Schulung Solarthermie, Beratung – Planung – Installation

Körner, W., Kirchhoff, W., Schabbach, T., 1997, Bezug: Handwerkskammer Kassel, Tel. 0561/7888-0

7. Anhang

Checklisten zur Ergänzung der Herstellerunterlagen

Wartungsprotokoll

Anlagenstandort: _____

Betreiber: _____

	o.k.
Kollektorkreis	
Anlagendruck _____ bar bei _____ °C Vorlauftemperatur	
Dichtheit des Kollektorkreises geprüft	
Sicherheitsventil geprüft	
Frostschutz bis - _____ °C geprüft	
Kollektorkreis entlüftet	
Volumenstrom geprüft: _____ l/min	
Rückschlagklappe in Funktion	
Schmutzfänger gereinigt (wenn vorhanden)	
Sonnenkollektor	
Sichtprüfung der Kollektoren durchgeführt	
Sichtprüfung der Kollektorhalterung durchgeführt	
Sichtprüfung der Dachdichtheit durchgeführt	
Sichtprüfung der Wärmedämmung durchgeführt	
emaillierte Solarspeicher	
Schutzstrom der Opferanode _____ mA	
Kontrollleuchte der Fremdstromanode leuchtet grün	
Regelung	
Pumpenfunktion in den Stellungen An / Aus / Auto geprüft	
Regelung zeigt _____ Betriebsstunden in der Zeit von _____ bis _____.	
Temperaturanzeige aller Fühler kontrolliert	
Nachheizung funktionstüchtig	
gewünschte Solltemperatur wird eingehalten	
Thermostatisches Mischventil in Funktion	
Wärmemengenzähler (WMZ) (soweit vorhanden)	
WMZ zeigt in der Zeit von _____ bis _____ kWh an	

Datum

Name

Unterschrift/Stempel

Checkliste: Planung und Installation der Solaranlage

Anlagenstandort: _____

Betreiber: _____

	o.k.
Sind die Angaben des Lieferanten zur Kollektoraufstellung beachtet worden ?	
Wurden die max. Kollektorneigungswinkel und Ausrichtungen eingehalten ?	
Ist bei dachintegrierten Kollektoren auf eine Hinterlüftung geachtet worden ?	
Ist die Verankerung der Kollektoren gegen Windstöße und Schneelasten ausreichend ?	
Ist der Kollektor für Wartungsarbeiten zugänglich ?	
Ist am oberen Anlagenpunkt eine Entlüftung vorgesehen ?	
Ist ein ausreichender Blitzschutz/Erdung für Kollektoren und Kollektorkreisleitung vorhanden ?	
Ist der Kollektorfühler richtig montiert und wird nicht verschattet ?	
Ist ein Überspannungsschutz für den Kollektorfühler angeschlossen ?	
Ist der Kollektorkreis an einen Potentialausgleich angeschlossen ?	
Ist der Speicherfühler richtig plaziert und ausreichend befestigt ?	
Sind Kollektor und Speicherfühler korrekt an die Regelung angeschlossen ?	
Wird am Sicherheitsventil des Kollektorkreises austretende Solarflüssigkeit aufgefangen ?	
Sind Vor- und Rücklauf richtig angeschlossen ?	
Wurde die Pumpe im Rücklauf eingebaut ?	
Sind die Rohrleitungen unter Berücksichtigung der Wärmedehnung verlegt worden ?	
Ist die Rohrdämmung im Außenbereich vor Vogelfraß geschützt, wasserdicht, temperatur- und UV-beständig ?	
Sind die Dachdurchführungen der Rohrleitungen dicht ausgeführt ?	
Wurde das Dach auf Dichtheit geprüft ?	
Ist die Begrenzung der Trinkwasserleitung auf 60°C gewährleistet ?	
Ist der Frostschutzanteil ausreichend ?	
Sind die Bedienungsanleitung und Wartungsanweisungen ausgehändigt worden ?	

Inbetriebnahme-/ Übergabeprotokoll

Anlagenstandort: _____

Betreiber: _____

	o.k.
Füllen der Anlage	
Anlage gespült	
Druckprobe bei _____ bar Prüfdruck	
Wärmeträgermedium, Hersteller:	
Einfüllmenge _____ l, Gemisch _____ %, geprüft bis - _____ °C	
Vordruck am Ausdehnungsgefäß _____ bar	
Anlagenbetriebsdruck _____ bar bei _____ °C Vorlauftemperatur	
Ansprechdruck des Sicherheitsventils _____ bar	
Ableitung mit Auffanggefäß am Sicherheitsventil des Kollektorkreises angeschlossen	
Kollektorkreis entlüftet	
Automatikentlüfter mit vorgeschaltetem Kugelhahn abgesperrt	
Fremdstromanode in Funktion gesetzt	
Pumpe	
Drehrichtung kontrolliert	
Volumenstrom _____ l/h	
Rückstellklappe in Arbeitsstellung	
Regelung	
Temperaturdifferenz des Kollektorkreisreglers auf _____ K eingestellt	
Funktionskontrolle der Regelung durchgeführt	
Temperatur für die Nachheizung auf _____ °C eingestellt	
Maximalbegrenzung der Speichertemperatur auf _____ °C eingestellt	
Thermostatisches Mischventil auf max. 60°C eingestellt	
Einweisung des Anlagenbetreibers	
Grundfunktion und Bedienung des Solarreglers	
Funktion und Bedienung der Nachheizung	
Funktion der Fremdstromanode	
Wartungsintervalle	
Unterlagen zur Solaranlage ausgehändigt	
Betriebsanweisung übergeben	

Datum

Name

Unterschrift/Stempel

Verlagsprogramm

Dach und Wand

- Verhalten von Kupferoberflächen an der Atmosphäre; Bestell-Nr. s. 131
.....
Dachdeckung und Außenwandbekleidung mit Kupfer; Bestell-Nr. i. 30
.....
Ausschreibungsunterlagen für Klempnerarbeiten an Dach und Fassade
.....
Blau-Lila-Färbungen an Kupferbauteilen

Sanitärinstallation

- Kupfer in Regenwassernutzungsanlagen; Bestell-Nr. s. 174
.....
Korrosion und Korrosionsschäden an Kupfer und Kupferwerkstoffen in Trinkwasserinstallationen; Bestell-Nr. s. 177
.....
Metallene Werkstoffe in der Trinkwasser-Installation; Bestell-Nr. i. 156
.....
Durchführungsanleitungen für die Kupferrohrverarbeitung zum Rahmenlehrplan GWI 1/92 „Unlösbare Rohrverbindung und Rohrverarbeitung“; Bestell-Nr. i. 157
.....
Die fachgerechte Kupferrohrinstallation; Bestell-Nr. i. 158
.....
Die fachgerechte Installation von thermischen Solaranlagen; Bestell-Nr. i. 160

Werkstoffe

- Schwermetall-Schleuder- und Strangguss – technische und wirtschaftliche Möglichkeiten; Bestell-Nr. s. 165
.....
Zeitstandeigenschaften und Bemessungskennwerte von Kupfer und Kupferlegierungen für den Apparatebau; Bestell-Nr. s. 178
.....
Ergänzende Zeitstandversuche an den beiden Apparatewerkstoffen SF-Cu und CuZn20Al2; Bestell-Nr. s. 191
.....
Einsatz CuNi10Fe1Mn plattierter Bleche für Schiffs- und Bootskörper / Use of Copper-Nickel Cladding on Ship and Boat Hulls; Bestell-Nr. s. 201
.....
Kupfer-Nickel-Bekleidung für Offshore-Plattformen / Copper-Nickel Cladding for Offshore Structures; Bestell-Nr. s. 202
.....
Werkstoffe für Seewasser-Rohrleitungssysteme Materials for Seawater Pipeline Systems; Bestell-Nr. s. 203
.....
Kupfer / Vorkommen, Gewinnung, Eigenschaften, Verarbeitung, Verwendung; Bestell-Nr. i. 4
.....
Niedriglegierte Kupferwerkstoffe; Bestell-Nr. i. 8
.....
Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und Sondermessing); Bestell-Nr. i. 5
.....
Rohre aus Kupfer-Zink-Legierungen; Bestell-Nr. i. 21
.....
Bänder, Bleche, Streifen aus Kupfer-Zink-Legierungen; Bestell-Nr. i. 22
.....
Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber); Bestell-Nr. i. 13
.....
Kupfer-Zinn-Knetlegierungen (Zinnbronzen); Bestell-Nr. i. 15
.....
Kupfer-Nickel-Legierungen; Bestell-Nr. i. 14
.....
Kupfer-Aluminium-Legierungen; Bestell-Nr. i. 6
.....
Kupferwerkstoffe im Automobilbau; Bestell-Nr. i. 9
.....
Gewichtstabellen für Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 29
.....
Dekorativer Innenausbau mit Kupferwerkstoffen
.....
Messing – Ein moderner Werkstoff mit langer Tradition
.....
Von Messing profitieren – Drehteile im Kostenvergleich
.....
Von Messing profitieren – Mit Messing installieren
.....
Messing ja – Spannungsrisikokorrosion muss nicht sein!
.....
Messing ja – Entzinkung muss nicht sein!

Verarbeitung

- Konstruktive Gestaltung von Formgussstücken aus Kupferwerkstoffen; Bestell-Nr. s. 133
.....
Kupfer-Zink-Legierungen für die Herstellung von Gesenkschmiedestücken; Bestell-Nr. s. 194
.....
Löten von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 3
.....
Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 7
.....
Schweißen von Kupfer; Bestell-Nr. i. 11
.....
Schweißen von Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 12
.....
Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 18
.....
Mechanische, chemische und elektrolytische Oberflächenvorbehandlung von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 23
.....
Beschichten von Kupfer und Kupfer-Zink-Legierungen mit farblosen Transparentlacken; Bestell-Nr. i. 24

Elektrotechnik

- Drehstrom, Gleichstrom, Supraleitung – Energie-Übertragung heute und morgen; Bestell-Nr. s. 180
.....
Brandsichere Kabel und Leitungen; Bestell-Nr. s. 181
.....
Energiesparen mit Spartransformatoren; Bestell-Nr. s. 183
.....
Fehlauslösungen von Fehlerstrom-Schutz-einrichtungen; Bestell-Nr. s. 184
.....
Wechselwirkungen von Blindstrom-Kompensationsanlagen mit Oberschwingungen; Bestell-Nr. s. 185
.....
Vom Umgang mit Blitzschäden und anderen Betriebsstörungen; Bestell-Nr. s. 186
.....
Sparen mit dem Sparmotor; Bestell-Nr. s. 192
.....
Bedarfsgerechte Auswahl von Kleintransformatoren; Bestell-Nr. s. 193
.....
Energiesparpotentiale bei Motoren und Transformatoren; Bestell-Nr. i. 1
.....
Kupferwerkstoffe in der Elektrotechnik und Elektronik; Bestell-Nr. i. 10
.....
Kupfer in der Elektrotechnik – Kabel und Leitungen
.....
Kupfer spart Energie
.....
Geld sparen mit Hochwirkungsgrad-Motoren

Umwelt / Gesundheit

- Versickerung von Dachablaufwasser; Bestell-Nr. s. 195
.....
Kupfer in kommunalen Abwässern und Klärschlamm; Bestell-Nr. s. 197
.....
Sachbilanz einer Ökobilanz der Kupfererzeugung und -verarbeitung; Bestell-Nr. s. 198
.....
Sachbilanz zur Kupfererzeugung unter Berücksichtigung der Endenergien; Bestell-Nr. s. 199
.....
Untersuchung zur Bleiabgabe der Messing-legierung CuZn39PB3 an Trinkwasser – Testverfahren nach British Standards BS 7766 and NSF Standard 61; Bestell-Nr. s. 200
.....
Kupfer – Lebensmittel – Gesundheit; Bestell-Nr. i. 19
.....
Recycling von Kupferwerkstoffen; Bestell-Nr. i. 27
.....
Kupfer und Kupferwerkstoffe ein Beitrag zur öffentlichen Gesundheitsvorsorge; Bestell-Nr. i. 28
.....
Kupfer – der Nachhaltigkeit verpflichtet
.....
Kupfer in unserer Umwelt
.....
Natürlich Kupfer – Kupfer ökologisch gesehen
.....
Türgriffe: Eine Infektionsquelle in Krankenhäusern? / Doorknobs: a source of nosocomial infection?
.....
Wieviel Blei gelangt ins Trinkwasser?

Spezielle Themen

- Kupferwerkstoffe im Kraftfahrzeugbau; Bestell-Nr. s. 160
.....
Die Korrosionsbeständigkeit metallischer Automobilbremsleitungen – Mängelhäufigkeit in Deutschland und Schweden; Bestell-Nr. s. 161
.....
Kupfer – Naturwissenschaften im Unterricht Chemie; Bestell-Nr. s. 166
.....
Grundlegende korrosionschemische Eigenschaften von Kupferwerkstoffen; Bestell-Nr. s. 176
.....
Ammoniakanlagen und Kupfer-Werkstoffe?; Bestell-Nr. s. 210
.....
Kupferwerkstoffe in Ammoniakkälteanlagen; Bestell-Nr. s. 211
.....
Kupfer – Ein Metall mit Zukunft; Bestell-Nr. i. 75

DKI-Fachbücher*

je EUR 4,35

- Kupfer
.....
Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen
.....
Treiben von Kupfer und Kupferlegierungen
.....
Chemische Färbungen von Kupfer und Kupferlegierungen
.....
Kupfer als Werkstoff für Wasserleitungen
.....
Kupferrohre in der Heizungstechnik
.....
Kupfer in der Landwirtschaft
.....
Guss aus Kupfer und Kupferlegierungen – Technische Richtlinien
.....
Kupfer im Hochbau EUR 24,00****
.....
Planungsleitfaden Kupfer – Messing – Bronze EUR 17,90****
.....
Architektur und Solarthermie
Dokumentation zum Architekturpreis EUR 25,00

CD-ROM des Deutschen Kupferinstituts

- Werkstoff-Datenblätter EUR 10,00
.....
Kupferschlüssel EUR 10,00
.....
Solares Heizen EUR 10,00
.....
Was heißt hier schon „harmonisch“? EUR 10,00
.....
Faltmuster für Falzarbeiten mit Kupfer
Muster für Ausbildungsvorlagen in der Klempnertechnik EUR 10,00

Lernprogramm

- Die fachgerechte Kupferrohr-Installation EUR 20,00***

Lehrhilfen

- Werkstofftechnik – Herstellungsverfahren
2 Sammelmappen mit farbigen Klarsichtfolien und Texterläuterungen Band I EUR 125,00**
Band II EUR 100,00**

Filmdienst des DKI

- Das Deutsche Kupferinstitut verleiht kostenlos die nachstehend aufgeführten Filme und Videos:
.....
„Kupfer in unserem Leben“
Videokassette, 20 Min.; Schutzgebühr EUR 21,50.
Verleih kostenlos
.....
„Fachgerechtes Verbinden von Kupferrohren“
Lehrfilm, Videokassette, 15 Min.; Schutzgebühr EUR 10,00. Verleih kostenlos
.....
„Kupfer in der Klempnertechnik“
Lehrfilm, Videokassette, 15 Min.; Schutzgebühr EUR 10,00. Verleih kostenlos
.....

- * Fachbücher des DKI sind über den Fachbuchhandel zu beziehen oder ebenso wie Sonderdrucke, Informationsdrucke und Informationsbroschüren direkt vom Deutschen Kupferinstitut, Am Bonneshof 5, 40474 Düsseldorf.
** Dozenten im Fach Werkstofftechnik an Hochschulen erhalten die Mappen kostenlos
*** Sonderkonditionen für Berufsschulen
**** Sonderkonditionen für Dozenten und Studenten

Fordern Sie bitte unverbindlich das Dienstleistungs- und Verlagsverzeichnis des DKI an.

**Auskunfts- und Beratungsstelle
für die Verwendung von
Kupfer und Kupferlegierungen**

Am Bonneshof 5
40474 Düsseldorf
Telefon: (02 11) 4 79 63 00
Telefax: (02 11) 4 79 63 10
e-mail: info@kupferinstitut.de

www.kupferinstitut.de

Firmenstempel