

# Willkommen

im **solar**guide, dem Handbuch zur Planung von thermischen Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser!

*Dieser Wegweiser bietet Ihnen vorweg mehrere Leitfäden zum richtigen Umgang mit diesem Handbuch.*

The logo for 'solar guide' is centered in a white circle. The word 'solar' is in a lowercase, sans-serif font, and 'guide' is in a bold, lowercase, sans-serif font. A red curved line arches over the text from the left side.

## **Sie wollen:**

- GRUNDLEGENDE INFORMATIONEN ÜBER EINE SOLARTHERMISCHE ANLAGE UND IHRE KOMPONENTEN?

*Dann beachten Sie bitte besonders das Kapitel 2 ab Seite 5:*

1. Das Solarsystem
2. Der Kollektor
3. Der Speicher
4. Der Wärmetauscher
5. Die Regelung
6. Die Nachheizung
7. Die Wärmeträgerflüssigkeit
8. Die Sicherheitseinrichtungen
9. Weitere Komponenten

## **Sie wollen:**

- EINE SOLARTHERMISCHE ANLAGE AUSSCHREIBEN?

*Dann folgen Sie dem Leitfaden ab Seite 56:*

1. Ausschreibungsbogen (ab S. 56)
2. Anleitung zur Ausschreibung (S. 56)
3. Warmwasser-Bedarfsermittlung (S. 41)
4. Zirkulation (S. 82)
5. Bestandsaufnahme des Warmwasser-Systems bei bestehenden Gebäuden (S. 21)
6. Dimensionierung (S. 26)
7. Systemkonzeptfindung (S. 30)
8. Systemkonzeptbeschreibung (S. 33)
9. Allgemeine Anforderungen an das Dach (S. 20)
10. Kollektormontage (S. 85)
11. Verrohrung im Kollektorkreis (S. 72)

**Sie wollen:**

- **EINE GRUNDLEGENDE DIMENSIONIERUNG EINER SOLAROTHERMISCHEN ANLAGE DURCHFÜHREN?**

Dann folgen Sie dem Leitfaden ab Seite 26:

1. Diagramm zur Dimensionierung von solaren Warmwasserbereitungsanlagen (S. 26)
2. Die Warmwasser-Bedarfsermittlung (S. 42)
3. Der Standort (S. 27)
4. Der Deckungsanteil (S. 29)
5. Die Kollektorfläche (S. 29)
6. Das Speichervolumen 2 (S. 30)
7. Die Kollektorflächenkorrektur (S. 48)
8. Systemkonzeptfindung (S. 30)
9. Systemkonzeptbeschreibung (S. 33)

**Sie wollen:**

- **INFORMATIONEN ÜBER DIE OPTIMALE INTEGRATION VOM KOLLEKTORFELD IN DIE GEBÄUDEHÜLLE?**

Dann folgen Sie dem Leitfaden ab Seite 94:

1. Beispiele für die Integration der Kollektoren in die Gebäudehülle (S. 94)
2. Kollektormontage (S. 85)
3. Integration von Kollektoren in Steildächer (S. 86)
4. Aufstellung von Kollektoren auf Flachdächern (S. 89)
5. Moderne Gebäudeintegration (S. 94)
6. Realisierte Anlagen (S. 119)

**Sie wollen:**

- **EINE SOLAROTHERMISCHE ANLAGE INSTALLIEREN, IN BETRIEB NEHMEN UND WARTEN?**

Dann folgen Sie dem Leitfaden ab Seite 96:

1. Montagerichtlinien (S. 96)
2. Inbetriebnahme (S. 100)

3. Abnahme und Abnahmeprotokoll (S. 102)
4. Erstinspektion (S. 102)
5. Wartung und Wartungsprotokoll (S. 105)
6. Funktions- und Ertragskontrolle (S. 107)
7. Fehlerdiagnose (S. 110)

**Sie wollen:**

- **INFORMATIONEN ZUR DETAILPLANUNG DER SYSTEMKOMPONENTEN?**

Dann folgen Sie dem Leitfaden ab Seite 65:

1. Bereitschaftsspeicher und Nachheizung (S. 65)
2. Pufferspeicher (S. 66)
3. Trinkwasserspeicher (S. 69)
4. Wärmetauscher (S. 69)
5. Verrohrung im Kollektorkreis (S. 72)
6. Auswahl der Pumpe (S. 75)
7. Armaturen und Sicherheitseinrichtungen im Solarkreis (S. 77)
8. Zirkulation (S. 82)
9. Regelung (S. 83)
10. Wärmeträgerflüssigkeit (S. 84)

**Sie wollen:**

- **INFORMATIONEN ÜBER DIE KOSTEN, FINANZIERUNG UND FÖRDERUNG VON SOLAROTHERMISCHEN ANLAGEN?**

Dann folgen Sie dem Leitfaden ab Seite 59:

1. Investitionskosten (S. 59)
2. Wirtschaftlichkeit und Investitionsrechnung (S. 60)
3. Finanzierungsmöglichkeiten (S. 61)
4. Förderungen (S. 62)

# Inhalt

## 1. Sonnenaufgang im Wohnungsbau

1.1.	Was spricht für die Errichtung von Solaranlagen?	1
1.2.	Das spricht für Solaranlagen im Bereich des Mehrfamilienwohnbaus	1
1.3.	Einsatzmöglichkeiten von Solaranlagen in Mehrfamilienhäusern	1
1.4.	Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung	1
1.5.	Solaranlagen zur Brauchwasserbereitung und Heizungsunterstützung	1
1.6.	Erfolgsfaktoren für die thermische Solarnutzung	2
1.7.	Ziele des Handbuches	2
1.8.	Anlagenerrichtung im Zuge eines Neubaus oder einer Gebäudesanierung	3

## 2. Das Solarsystem und seine wichtigsten Komponenten

2.1.	Solarsystem	5
2.2.	Kollektor	6
2.2.1.	Flachkollektor/Vakuumröhrenkollektor	6
2.2.2.	Der Flachkollektor	6
2.2.3.	Der Absorber	6
	Beispiele für die Integration der Kollektoren in oder auf das Gebäude	8
2.3.	Speicher	11
2.3.1.	Aufgaben eines Warmwasserspeichers	11
2.3.2.	Pufferspeicher	11
2.4.	Wärmetauscher	12
2.5.	Regelung	12
2.6.	Nachheizung	13
2.7.	Wärmeträgerflüssigkeit	13
2.8.	Sicherheitseinrichtungen im Kollektorkreis	14
2.9.	Weitere Komponenten im Solarkreislauf	15
2.9.1.	Solarpumpe	15
2.9.2.	Entlüfter	15
2.9.3.	Verrohrung	15
2.9.4.	Rückschlagklappe	15
2.10.	Mögliche Betriebsarten der Kollektoranlage	16
2.10.1.	High Flow	16
2.10.2.	Low Flow	16
2.10.3.	Matched Flow	17
2.10.4.	Kollektorverschaltungen	17

### 3. Ablauf der Planung und Dimensionierung

<b>3.1. Abfolge von der Vorplanung bis zur Ausschreibung der Anlage</b> .....	19
3.1.1. Allgemeine Anforderungen an das Dach.....	20
3.1.2. Bestandsaufnahme des Warmwassersystems bei bestehenden Gebäuden.....	21
3.1.3. Leitungsführung und Aufstellort der Speicher.....	22
3.1.4. Fragen zur Vorplanung der Kollektorfläche.....	23
3.1.5. Abstimmung konventionelles System und Solarsystem.....	24
3.1.6. Anschluss an das konventionelle System.....	24
<b>3.2. Dimensionierung</b> .....	26
3.2.1. Grundlegende Dimensionierung.....	26
3.2.1.1. Diagramm zur Dimensionierung von solaren Warmwasserbereitungsanlagen.....	26
3.2.1.2. Warmwasserverbrauch und Speichervolumen 1.....	26
3.2.1.3. Der Standort.....	27
3.2.1.4. Der Deckungsanteil.....	29
3.2.1.5. Die Kollektorfläche.....	29
3.2.1.6. Das Speichervolumen 2.....	30
3.2.2. Systemkonzeptfindung.....	30
3.2.2.1. Vorgehensweise zur Systemkonzeptfindung.....	32
3.2.2.2. Systemkonzeptbeschreibung.....	33
System A.....	35
System B.....	35
System C.....	37
System D.....	38
System E.....	39
System F.....	40
3.2.3. Ergänzungen zum Dimensionierungsdiagramm.....	41
3.2.3.1. Der Warmwasserbedarf.....	41
Die Warmwassertemperatur.....	41
Legionellenproblematik.....	41
Der Warmwasserbedarf als Auslegungskriterium einer Solaranlage.....	42
Warmwasserbedarfsermittlung.....	42
3.2.3.2. Das Sonnenweg-Diagramm.....	46
3.2.3.3. Auswahl des Anlagentyps (Deckungsanteil).....	46
3.2.3.4. Korrektur der Kollektorfläche.....	48
3.2.3.5. Simulationsprogramme.....	50
3.2.3.6. Anhang: Auslegungsdaten des Dimensionierungsdiagramms.....	52
Referenzanlage zum Dimensionierungsdiagramm.....	53

### 4. Von der Ausschreibung zur Finanzierung

<b>4.1. Ausschreibung</b> .....	55
4.1.1. Die „Qualifizierte funktionale Ausschreibung“.....	55

4.1.2.	Der „Garantierte Solarertrag“ in der Ausschreibung.....	55
	Ausschreibungsbogen.....	ab 56
<b>4.2.</b>	<b>Entwurfs- und Genehmigungsplanung.....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.</b>	<b>Ausführungsplanung und Kostenberechnung.....</b>	<b>58</b>
<b>4.4.</b>	<b>Finanzierung und Wirtschaftlichkeit.....</b>	<b>59</b>
4.4.1.	Investitionskosten.....	59
4.4.2.	Möglichkeiten zur Kostenminderung.....	60
4.4.3.	Wirtschaftlichkeit und Investitionsrechnung.....	60
4.4.4.	Finanzierungsmöglichkeiten.....	61
4.4.5.	Ertragsgarantie.....	61
4.4.6.	Förderungen.....	62
4.4.7.	Versicherungen.....	62
<b>5.</b>	<b>Detailplanung der Komponenten.....</b>	
<b>5.1.</b>	<b>Bereitschaftsspeicher und Nachheizung.....</b>	<b>65</b>
<b>5.2.</b>	<b>Pufferspeicher.....</b>	<b>66</b>
<b>5.3.</b>	<b>Trinkwasserspeicher.....</b>	<b>69</b>
<b>5.4.</b>	<b>Wärmetauscher.....</b>	<b>69</b>
<b>5.5.</b>	<b>Verrohrung im Kollektorkreis.....</b>	<b>72</b>
5.5.1.	Kollektorverschaltung.....	73
5.5.2.	Druckverlustberechnung des Kollektorfeldes.....	73
5.5.3.	Wärmedehnung der Verrohrung.....	74
<b>5.6.</b>	<b>Auswahl der Pumpe.....</b>	<b>75</b>
<b>5.7.</b>	<b>Armaturen und Sicherheitseinrichtungen im Solarkreis.....</b>	<b>77</b>
<b>5.8.</b>	<b>Zirkulation.....</b>	<b>82</b>
<b>5.9.</b>	<b>Regelung.....</b>	<b>83</b>
<b>5.10.</b>	<b>Wärmeträgerflüssigkeit.....</b>	<b>84</b>
<b>6.</b>	<b>Bauphase.....</b>	
<b>6.1.</b>	<b>Montage.....</b>	<b>85</b>
6.1.1.	Kollektormontage.....	85
6.1.1.1.	Aufbau von Kollektoren auf Steildächer.....	86
6.1.1.2.	Aufbau von Kollektoren auf Flachdächer.....	89
6.1.1.3.	Berechnungen zum Aufbau von Kollektoren auf Flachdächer.....	90
6.1.1.4.	Bauablauf auf dem Dach.....	92
6.1.1.5.	Moderne Gebäudeintegration.....	94
6.1.2.	Montagerichtlinien für weitere Komponenten.....	96
	Anschluss der Kollektoren.....	96
	Entlüfter am Kollektorfeld.....	97
	Rückschlagklappe.....	97

Ausdehnungsgefäß .....	97
Montage der Kollektorkreispumpe .....	97
Rohrführung vom oder zum Speicher .....	97
Regelung.....	98
<b>6.2. Inbetriebnahme</b> .....	100
6.2.1. Spülen, Druckprobe, Befüllen und Einstellen .....	100
<b>6.3. Bauüberwachung</b> .....	101
6.3.1. Bauzeitenpläne und Koordination der Gewerke .....	101
6.3.2. Kontrolle der Komponenten und Hydraulik .....	101
6.3.3. Bauüberwachung, technische Abnahme und Einweisung .....	102
Die Abnahme und das Abnahmeprotokoll .....	ab 102
6.3.4. Erstinspektion .....	102
<b>7. Nachbetreuung</b>	
<b>7.1. Wartung</b> .....	105
7.1.1. Muster für ein Wartungsprotokoll .....	106
<b>7.2. Funktions- und Ertragskontrolle</b> .....	107
7.2.1. Funktionskontrolle .....	107
7.2.2. Ertragskontrolle .....	107
Messung und Datenerfassung.....	108
<b>7.3. Fehlerdiagnose</b> .....	ab 110
<b>8. Realisierte Anlagen</b>	
<b>8.1.</b> Alten- und Pflegeheim Wels Neustadt .....	119
<b>8.2.</b> Breimberg .....	120
<b>8.3.</b> Institut Hartheim .....	121
<b>8.4.</b> Kindergarten Leonding .....	122
<b>8.5.</b> Neubauzeile Linz .....	123
<b>8.6.</b> Nußbaumhof .....	124
<b>8.7.</b> Richterstraße Leonding .....	125
<b>8.8.</b> Sonnenhäuser in Arnstein .....	126
<b>8.9.</b> Styria-Kegelpriel.....	127
<b>8.10.</b> Süßenbrunnerplatz.....	128
<b>8.11.</b> Wohnhausanlage Weinzierl.....	129
Literaturverzeichnis .....	130
Bilderverzeichnis .....	131
Sachwortverzeichnis .....	132

## Solarenergie in Oberösterreich

Oberösterreich gilt europaweit als ein Spitzenreiter bei der Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Rund 550.000 m<sup>2</sup> Sonnenkollektorfläche auf unseren Dächern sprechen eine eindeutige Sprache. Diese herausragende Position lässt sich auf mehrere Gründe zurückführen: aufgeschlossene Nutzer von Solarenergie, innovative Unternehmen und das Land Oberösterreich, das mit seiner Politik, seiner Förderstrategie und der Einrichtung des O.Ö. Energiesparverbandes als unabhängige Energieberatungsstelle entsprechende Rahmenbedingungen geschaffen hat.

Bereits im Jahr 1994 wurden mit dem O.Ö. Energiekonzept die Weichen in Richtung einer nachhaltigen Energieentwicklung gestellt. Im März 2000 wurde einstimmig die zweite Phase dieses Konzeptes – „Energy 21“ – beschlossen. Dieses legt einen umfangreichen Maßnahmenkatalog und klare energiepolitische Zielsetzungen bis zum Jahr 2010 fest. Eines dieser Ziele ist die Förderung nachhaltiger Energietechnologien und die Unterstützung heimischer Unternehmen in diesem Segment. Daraus resultierend wurde im Jahr 2000 der Ökoenergie-Cluster Oberösterreich gegründet. Dieser ist ein Netzwerk für Unternehmen, die im erneuerbaren Energietechnologiebereich tätig sind. Eine maßgebliche Unternehmergruppe in diesem Netzwerk sind die Produzenten von thermischen Solarkollektoren.

Während sich der Markt im Einfamilienhausbereich in den letzten Jahren gut entwickelt – dies ist auch in der österreichischen Solarstatistik 2000 deutlich zu sehen, die oberösterreichische Spitzenposition wurde wieder ausgebaut –, wurde der Mehrfamilienhausbereich von dieser Entwicklung nicht entsprechend erfasst. Lediglich einige tausend Quadratmeter Sonnenkollektorfläche sind auf Mehrfamilienhäusern installiert. Dafür gibt es verschiedenste Gründe. Um die Unternehmen der Solarbranche bei der Marktbearbei-



V. l. n. r.: DI Michael Nagl, Dr. Gerhard Dell und Mag. Christiane Egger vom O.Ö. Energiesparverband



zung zu unterstützen und allfällige Hemmnisse zu überwinden, hat sich das Ökoenergie-Cluster Team gemeinsam mit dem ASiC – Austria Solar Innovation Center – Gedanken gemacht, mit welchen Maßnahmen man hier Unterstützung geben könnte. Ein Ergebnis ist dieses „Handbuch zur Planung von thermischen Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser“, das als Kooperationsprojekt der gesamten oö. Solarbranche erstellt wurde und vom Energie-Technologie-Programm Oberösterreich unterstützt wird. Die aktive Mitarbeit von sehr vielen AkteurlInnen der „Solar-szene“ an diesem Handbuch führte im Laufe des Projekts nicht nur zu gemeinsamen Qualitätsstandards, sondern auch zur Erkenntnis, dass gemeinsames Auftreten und ein Miteinander aller Kräfte neue Marktchancen eröffnen.

Ich darf mich bei allen, die an diesem Projekt mitgewirkt haben, recht herzlich bedanken und bin davon überzeugt, dass das vorliegende Handbuch eine wertvolle Hilfe zur Steigerung der Solarenergienutzung darstellt.

*Dr. Gerhard Dell*  
Landesenergiebeauftragter OÖ  
Geschäftsführer O.Ö. Energiesparverband







## 1.1. Was spricht für die Errichtung von Solaranlagen?

- Solaranlagen stellen mit einer Lebenserwartung von über 20 Jahren eine ausgereifte und zuverlässige Technik bei äußerst geringen Wartungskosten dar.
- Solaranlagen steigern sowohl den Wert von Immobilien als auch deren Image.
- Wohnungen in „solaren Mehrfamilienhäusern“ lassen sich leichter vermieten.
- Sie vermeiden Mehrbelastungen durch Energiepreiserhöhungen und schaffen somit eine krisensichere Kostenplanung.
- Betreiber von Solaranlagen kommen in den Genuss von Fördermitteln.
- Solaranlagen setzen ein weithin sichtbares Zeichen für Verantwortungsbewusstsein.
- Der Betreiber einer Solaranlage leistet einen aktiven Beitrag zum Klima- und Umweltschutz.
- Die Sonne stellt eine dauerhaft verfügbare Energiequelle dar.

## 1.2. Das spricht für Solaranlagen im Bereich des Mehrfamilienwohnbaus

- Mit zunehmender Anlagengröße kann eine Verringerung der spezifischen Systemkosten (Investitionskosten pro Quadratmeter Kollektorfläche) erzielt werden, da die Kosten für Montage, Installation, etc. nicht linear mit der Anlagengröße zunehmen. Im Vergleich zu marktüblichen Kleinanlagen betragen die spezifischen Systemkosten für Großanlagen weniger als die Hälfte, der Solarenergieertrag ist dagegen um 30 bis 50 % höher, sodass sich eine um den Faktor 3 bessere Wirtschaftlichkeit ergibt.
- Durch die meist kompakte Baustruktur der Mehrfamilienhäuser wird der Einbau von Solaranlagen begünstigt.
- In Mehrfamilienwohnbauten können große, zentrale Solaranlagen realisiert werden, wodurch sich kostengünstige CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenziale ergeben.

- Es ist ein großes Marktpotenzial im Bereich des Mehrfamilienwohnbaus zur Errichtung von Solaranlagen vorhanden, welches bis dato nur zaghaft angetastet wurde.

## 1.3. Einsatzmöglichkeiten von Solaranlagen in Mehrfamilienhäusern

Der Einsatz von thermischen Solaranlagen bietet sich in der Regel überall dort an, wo Wärme benötigt wird. In Mehrfamilienhäusern ist dies einerseits für die Brauchwassererwärmung und andererseits für die Raumwärmeversorgung der Fall.

**Dieses Handbuch hat hauptsächlich die Anwendung von Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung zum Thema.**

## 1.4. Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung

Für den Einsatz einer thermischen Solaranlage bietet sich vor allem der Bereich Brauchwassererwärmung an, da es in diesem Bereich (bis auf geringe Schwankungen im Sommer) das ganze Jahr über einen nahezu konstanten Verbrauch gibt.

Um eine möglichst große Auslastung zu erreichen, erfolgt die Auslegung von Sonnenkollektoranlagen in Mehrfamilienhäusern nach den im Sommer auftretenden Verbräuchen. In der Übergangszeit und in den Wintermonaten reicht das Energieangebot der Sonne aber immer noch zum Vorwärmen des Brauchwassers; d. h., das kalte Wasser muss vom Heizkessel bzw. von der elektrischen Heizpatrone nur noch um eine geringe Temperaturdifferenz nachgeheizt werden. Daher ist der Energieeinspareffekt auch im Winter beträchtlich.

Erfahrungswerte zeigen einen prozentuellen Anteil der Brauchwassererwärmung am gesamten Wärmebedarf in Mehrfamilienhäusern von ca. 10 % bei Altbauten. Bei Neubauten mit erhöhtem Wärmedämmstandard kann der Anteil bis zu 40 % betragen.

Je geringer der Heizenergiebedarf pro Wohneinheit, umso höher wird der prozentuelle Anteil der benötigten Energie für die Brauchwassererwärmung am gesamten Wärmebedarf.

## 1.5. Solaranlagen zur Brauchwasserbereitung und Heizungsunterstützung

Das zweite, aus ökonomischer Sicht sehr interessante Konzept ist das der teilsolaren Raumheizung. Die größer dimensionierte Kollektoranlage speist in die entsprechend ausgelegten Energiespeicher, die in der Lage sind, Wärme über einige Stunden (Nacht) bzw. einige Tage zu speichern. Die somit aus der Solaranlage beigestellte Energie kann zur Unterstützung der Raumwärmeversorgung genutzt werden.

### Die Voraussetzungen für ein solares Heizsystem sind:

- 1.) Ein entsprechender Wärmedämmstandard des Gebäudes.
- 2.) Einsatz von passiven Solartechnologien (hochwertige Fenster, Wintergärten und Atrien), die neben dem energetischen Effekt meist auch noch zusätzliche Reize in Form von Komfortgewinn und hellen Tageslichträumen bieten.
- 3.) Vorteilhaft für die Nutzung von Sonnenenergie zur Heizungsunterstützung ist auch die Kopplung mit einem Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem wie einer Flächenheizung (Fußboden- bzw. Wandheizung) oder großzügig ausgelegten Radiatoren.

## 1.6. Erfolgsfaktoren für die thermische Solarnutzung

Im nachfolgenden Abschnitt sind die wichtigsten Punkte angeführt, die für eine erfolgreiche Durchführung eines Solaranlagenprojektes zu berücksichtigen sind.

**Erstens** sind beim Einbau einer thermischen Solaranlage für eine Eigentums-, Gemeinde- oder Genossenschaftswohnung folgende Richtlinien zu beachten:

- Eigentumswohnungen: Es muss ein gültiger Mehrheitsbeschluss seitens der Wohnungseigentümer der betroffenen Liegenschaft vorliegen (alle im Grundbuch eingetragenen Eigentümer).
- Genossenschaftswohnungen: Entscheidungsträger ist der Hauseigentümer (Genossenschaft).
- Gemeindewohnungen: Entscheidungsträger ist der Hauseigentümer (Gemeinde).
- Hauptmietwohnungen: Entscheidungsträger ist der Hauseigentümer bzw. die Hausverwaltung. Eine Zustimmung bzw. Duldung durch andere Mieter im Haus ist nur dort erforderlich, wo diese durch Bauarbeiten (Installation etc.) betroffen sind. Für allfällige Schäden haftet der Solaranlagenbetreiber (siehe auch Versicherungen). Beim Einbau einer Solaranlage in ein zentrales Warmwassersystem ist die Zustimmung aller Eigentümer sowie zusätzlich bei einer durch die Solaranlage verursachten Änderung der Betriebskosten die Zustimmung aller Mieter erforderlich. Zudem kann zwischen Hauseigentümern und Mietern vereinbart werden, dass die anfallenden Investitionskosten anteilig von allen Mietern bzw. Eigentümern getragen werden und auch anfallende Reparaturkosten anteilig aufgeteilt werden.

**Zweitens** beachten Sie den folgenden Projektablauf:

- Ermittlung des Gebäudezustandes, des Rohrleitungsnetzes und des Warmwasserbedarfs
- Grundlegende Dimensionierung und Systemauswahl ..... (S. 26)
- Ausschreibung ..... (S. 19 und 55)
- Einreichplanung ..... (S. 19 und 57)
- Bewilligungen ..... (S. 57)
- Vergabe
- Ausführungsplanung ..... (S. 19 und 58)
- Kostenberechnung ..... (S. 58)
- Montage und Installationsarbeiten ..... (S. 85)
- Befüllung und Inbetriebnahme ..... (S. 100)
- Wärmedämmung (Isolierung)
- Abnahme und Abnahmeprotokoll ..... (ab S. 102)
- Betrieb
- Funktions- und Ertragskontrolle ..... (S. 107)
- Wartung ..... (S. 105)

## 1.7. Ziele des Handbuchs

In Umfragen bei Wohnbaugenossenschaften und Bauträgern wurde großes Interesse an der Möglichkeit der Nutzung der Sonnenenergie bekundet. Gründe, warum diese Unternehmen sich bisher noch nicht verstärkt mit dieser Technik auseinander gesetzt haben, waren meist mangelnde Information und Skepsis gegenüber der Systemtechnik.

Dieses Handbuch soll es Architekten, Bauträgern und Anlagenplanern nun einfach und zeitsparend ermöglichen, das an ihr Objekt angepasste Anlagenschema, dessen Komponentengrößen sowie die dafür entstehenden Kosten abzuschätzen. Es werden Tipps zur Montage bzw. Baubetreuung sowie zur Finanzierung und zu Förderungsmöglichkeiten gegeben.

Da die Dimensionierung und die Anlagenhydraulik wesentlich von der Art und Anzahl der zu versorgenden Wohnungen abhängen, wurden in diesem Handbuch nur Wohnanlagen mit mindestens 12 Personen betrachtet, so ergeben sich aussagekräftige Richtlinien für typische Mehrfamilienhäuser. Thermische Solaranlagen für Wohngebäude mit weniger als 12 Personen sind in Österreich bereits weit verbreitet und entsprechen in ihrer Funktion, Systemtechnik und Anwendung weitgehend jenen für Einfamilienhäuser. Solaranlagen an Gebäuden dieser Größenordnung sind meistens auf einen hohen Jahresdeckungsanteil für die Brauchwasserbereitung ausgelegt. Ergibt sich ein Überangebot an solarer Energie, wird diese oft zur Raumheizungsunterstützung verwendet. Aber auch der Tagesverlauf des Warmwasserverbrauchs ist bei diesen Anlagen ein anderer als bei großen Wohnanlagen.

Da dieser Anlagentyp nicht mit jenem der typischen Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser verglichen werden kann, aber auch weil diese Anlagen bereits sehr weit verbreitet sind und die Systemtechnik in diesem Bereich bereits ausgereift ist, wird in weiterer Folge auf diese nicht mehr näher eingegangen.

## 1.8. Anlagenerrichtung im Zuge eines Neubaus oder einer Gebäudesanierung

Ca. 85 % der Solaranlagen an Mehrfamilienhäusern wurden im Zuge eines Neubaus, die restlichen im Zuge einer Sanierung errichtet. Bei Sanierungen ist das Vorhandensein eines zentralen Warmwasserbereitungssystems von großer Bedeutung, da die vorhandenen Strukturen eine günstigere und unproblematischere Installation einer Solaranlage ermöglichen.

Ein Problem beim nachträglichen Einbau einer Solaranlage stellt oft der Platzbedarf der Wasserspeicher dar. Es soll stets darauf geachtet werden, dass das benötigte Speichervolumen in so wenige Speicher wie nur möglich aufgeteilt wird. Da die Größe des Speichers durch die Einbringöffnungen der Gebäudeteüren in den Keller oder an den sonstigen Aufstellungsort beschränkt ist, ist es bei Anlagen, die im Zuge einer Sanierung errichtet werden, des Öfteren nicht möglich, das benötigte Speichervolumen in einem einzigen Speicher unterzubringen. Dadurch ist man gezwungen Systeme mit so genannten „Speicherbatterien“ zu installieren. Eine Möglichkeit dies zu umgehen bietet die Vor-Ort-Schweißung von Pufferspeichern. Diese Lösung muss nicht unbedingt teurer sein als die Aufstellung mehrerer einzelner Standardspeicher, wenn man den erhöhten Verrohrungs- und Regelungsaufwand sowie die erhöhten Speicherverluste einer Speicherbatterie betrachtet.

Ist im Gebäude kein entsprechender Raum, in dem ein einzelner großer Speicher aufgestellt werden kann, muss man mehrere Speicher an verschiedenen Orten, zum Teil in großem räumlichem Abstand voneinander entfernt, im Gebäude installieren. Dadurch nehmen die Isolationsverluste der Leitungen zu den Speichern zu. Durch die Berücksichtigung von wichtigen Abmaßen in der Planungsphase eines Neubaus kann die oben angeführte Problematik vermieden werden.

**Die wichtigsten zu berücksichtigenden Größen sind:**

- Abmaße von Einbringwegen bzw. Einbringöffnungen
- Dachfläche
- Beschaffenheit des Daches
- Dachneigung
- Abmaße des Technikraumes (Höhe und Aufstellfläche)



solar **guide**

## 2.1. Solarsystem

Die wichtigsten Komponenten im Solarsystem sind das Kollektorfeld und der Solarspeicher. Im Kollektorkreislauf befindet sich ein Wärmeträgermedium (Wasser-Frostschutz-Gemisch), das von einer Umwälzpumpe durch das Kollektorfeld gepumpt wird.

Das Kollektorfeld wandelt die solare Strahlungsenergie in Wärme um und gibt sie durch Wärmeleitung im Absorberblech an das Wärmeträgermedium im Kollektorkreislauf ab. Das nun erwärmte Wärmeträgermedium gibt seine Energie über einen Wärmetauscher an das Trinkwasser (Brauchwasser) im Solarspeicher wieder ab. Das abgekühlte Wasser-Frostschutz-

Gemisch wird wieder durch das Kollektorfeld gepumpt und der Kreislauf beginnt von neuem. Wenn die gewünschte Brauchwassertemperatur erreicht ist, schaltet sich die Umwälzpumpe ab, womit die Solaranlage in Stillstand „Stagnation“ geht. Wird dieser Zustand erreicht und das Kollektorfeld durch die Sonneneinstrahlung weiter erwärmt, kann es zum Verdampfen des Wärmeträgers kommen.

Um für diesen Fall einer Beschädigung der Anlagenteile vorzubeugen sind Sicherheitseinrichtungen wie Sicherheitsventil, Rückschlagklappe und Ausdehnungsgefäß vorzusehen. Kann an Tagen mit geringerer Einstrahlung die gewünschte Temperatur im Solarspeicher nicht erreicht werden, wird das Brauchwasser durch die konventionelle Nachheizung aufbereitet.

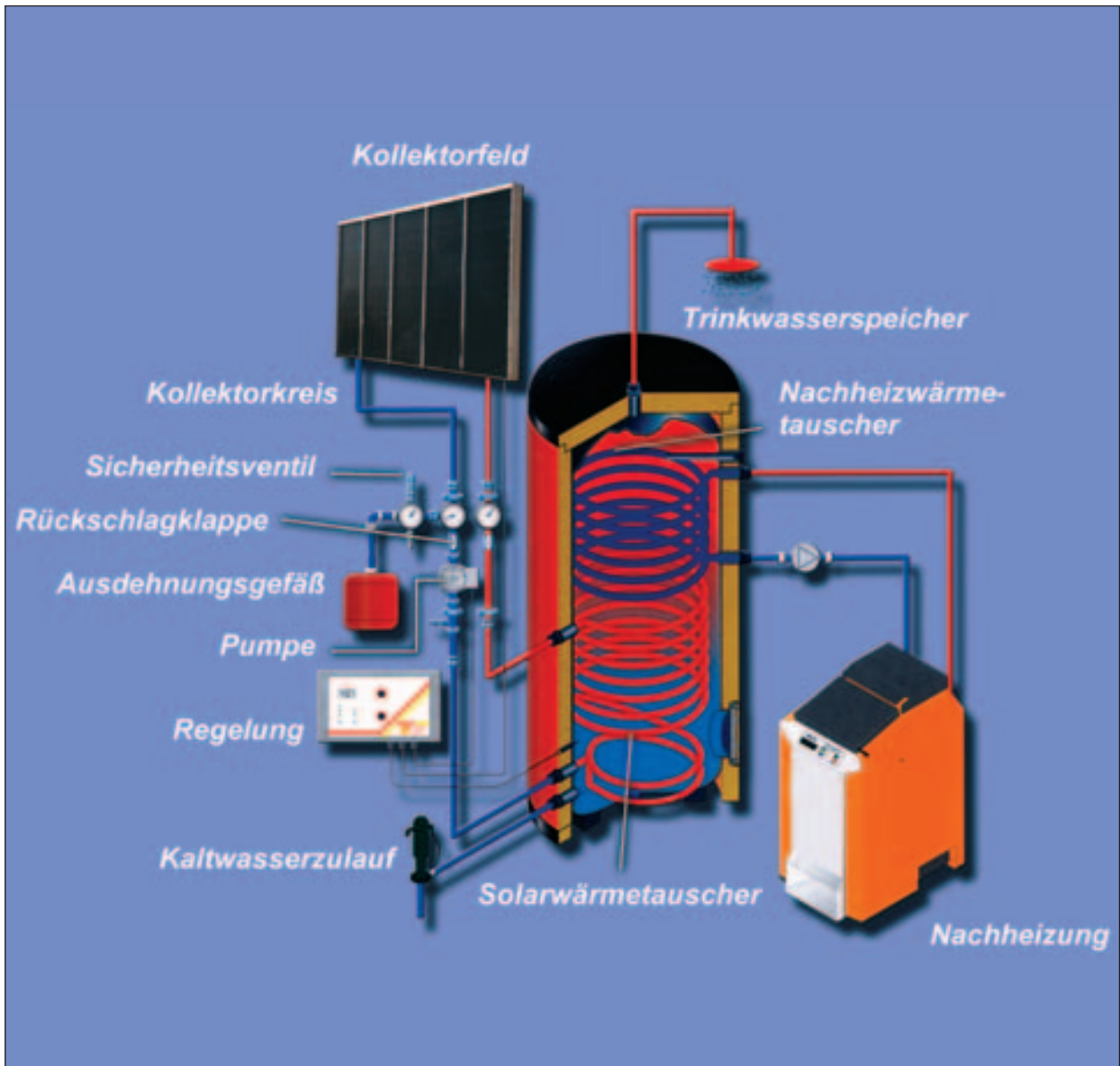


Abb. 2.1 das Solarsystem; Quelle: (1); Grafik: ASIc

## 2.2. Kollektor

Der Sonnenkollektor, das Kernstück jeder Solaranlage, wandelt die solare Strahlungsenergie in Wärme um und gibt sie durch Wärmeleitung im Absorberblech an das Wärmeträgermedium ab. Derzeit bestimmen zwei verschiedene Bauarten von Kollektoren zur Brauchwassererwärmung den Markt. Dies sind einerseits der Flachkollektor und andererseits der Vakuumröhrenkollektor.

### 2.2.1. Flachkollektor/ Vakuumröhrenkollektor

Bei der Trinkwassererwärmung bzw. Heizungsunterstützung im Mehrfamilienhausbereich kommen hauptsächlich Flachkollektoren zum Einsatz. Da Vakuumröhrenkollektoren meist teurer sind als Flachkollektoren, steigen bei ihrem Einsatz die Systemkosten an. Diese Mehrkosten werden normalerweise nicht durch einen entsprechend höheren Gewinn an solarer Nutzwärme kompensiert. Dies belegen Simulationsrechnungen und Erfahrungen aus der Praxis. Die Wirtschaftlichkeit solcher Systeme ist also schlechter als bei Flachkollektoranlagen. Das richtige Einsatzgebiet für Vakuumröhrenkollektoren liegt im Bereich der Prozesswärme auf einem Temperaturniveau um 100 °C. Hier können sie ihre Effizienzvorteile ausspielen [1].

Aus technischen Gründen kann der Einsatz von Vakuumröhren bei der Trinkwassererwärmung in Einzelfällen sinnvoll sein, wenn z. B. nur eine begrenzte Dachfläche zur Verfügung steht und dies durch eine höhere spezifische Kollektorleistung teilweise ausgeglichen werden soll oder wenn das Dach nur eine beschränkte Dachlast erlaubt. Die Röhren können ohne aufwändige Aufständerkonstruktion auf dem Flachdach montiert werden.



Abb. 2.2 Flachkollektor; Quelle: (3)



Abb. 2.3 Vakuumröhrenkollektor; Quelle: (3)

Beim Einsatz von Vakuumröhrenkollektoren sollte man berücksichtigen, dass wesentlich höhere Stillstandtemperaturen als bei Flachkollektoren auftreten, was eine höhere thermische Belastung der Anlagenkomponenten und der Wärmeträgerflüssigkeit mit sich bringt. Speziell für diese Anlagen werden vorgefertigte „verdampfungssichere“ Wärmeträgerflüssigkeiten erzeugt.

### 2.2.2. Der Flachkollektor

Flachkollektoren bestehen im Wesentlichen aus Kollektorgehäuse, beschichtetem Absorber, Wärmedämmung und Glasabdeckung. Kollektoren können vorzugsweise in das Dach integriert werden (preisgünstig, energetisch günstig, da keine Verbindungsleitungen im Freien, optisch ansprechend). Daneben bieten sich auch eine Aufdachmontage, eine Freiaufstellung bzw. eine Fassadenintegration an.

Vor allem für größere Kollektorflächen können so genannte Großflächenkollektoren (6–12 m<sup>2</sup>) eingesetzt werden. Die witterungsdichte Einbindung in die restliche Dachdeckung (ähnlich Dachfenstern) kann mit vorgefertigten Teilen erfolgen. Durch den verringerten Montage- und Verrohrungsaufwand können Kostenreduktionen erzielt werden.

### 2.2.3. Der Absorber

Er ist das Kernstück des Sonnenkollektors und wandelt die kurzwelligeren Sonnenstrahlen in Wärme um. Der Absorber besteht in der Regel aus einer Metallplatte oder Metallprofilen (Alu, Cu) und ist mit einer Vielzahl von Röhren (Absorberrohre) oder Kanälen versehen, durch die die Wärmeträgerflüssigkeit zirkuliert.



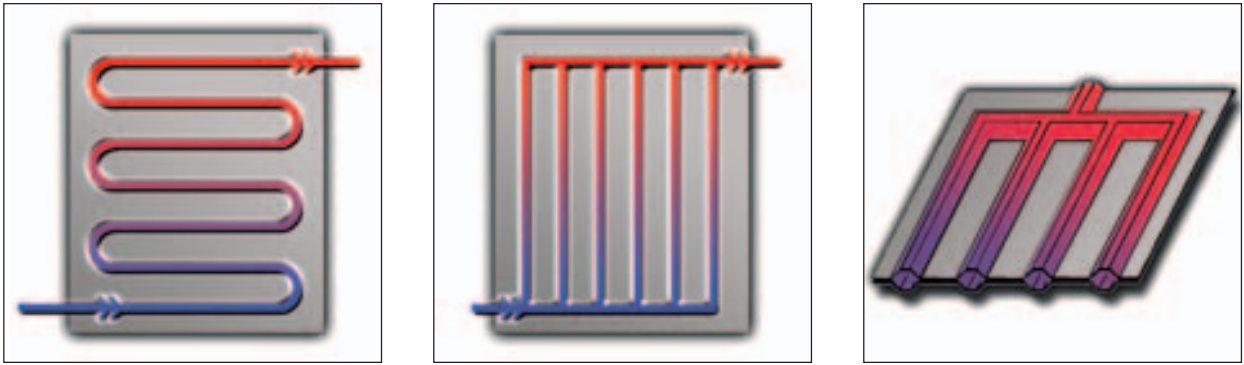


Abb. 2.4 Schemadarstellung von Serpentina-, Streifen- und Rollbondabsorber; Quelle: [6]; Grafik: ASIC

Die Sonne erhitzt den Absorber. Die durch die Rohre zirkulierende Flüssigkeit nimmt die Wärme des Absorbers auf und transportiert sie zum Solarspeicher. Mehr als 90 % der Absorber bestehen aus einer Kupferblech-Kupferrohr-Verbindung. Ein kleiner Teil der Absorber besteht aus Aluminiumblech und Kupferrohr. Die Leistungsfähigkeit des Absorbers hängt entscheidend von den optischen Eigenschaften der Beschichtung, der Materialwahl, der Geometrie und der Strömungsart der Wärmeträgerflüssigkeit ab und beeinflusst den Wirkungsgrad des Kollektors wesentlich. Hochselektiv beschichtete und alterungsbeständige Absorberflächen sind Stand der Technik.

Eine Unterteilung der Flachkollektoren ist nach dem verwendeten Absorbermaterial möglich:

#### Kupfer:

- Besitzt eine hervorragende thermische Leitfähigkeit.
- Ist leicht zu bearbeiten und ist in der Brauchwasser-Installationstechnik weit verbreitet.
- Weist eine sehr gute Alterungsbeständigkeit auf.

#### Aluminium:

- Hat im Vergleich zu Kupfer eine geringere Wärmeleitfähigkeit.
- Ist schwieriger zu bearbeiten.
- Es besteht die Gefahr einer elektrolytischen Korrosion mit höherwertigen Materialien.
- Der Vorteil liegt im niedrigeren Preis.

Reine Aluminiumabsorber werden heute kaum verwendet, wohl aber Aluminiumabsorber, deren Flüssigkeitskanäle aus Kupfer bestehen.

#### Edelstahl:

- Weist von den verwendeten Materialien die geringste Wärmeleitfähigkeit auf.
- Erfordert im Vergleich zu Kupfer oder Aluminium größere Wärmeübergangflächen bzw. kürzere Rippen des Absorbers zu den Wärmeträgermedien führenden Kanälen.

Eine weitere Möglichkeit zur Unterscheidung von Flachkollektoren ist die **Ausführung des Durchströmungskanals**. Hierbei wird unterschieden in Rohrabsoorber, die entweder als Streifenabsorber oder als Serpentinaabsorber aus Kupfer oder Aluminium erzeugt werden, Rollbondabsorber und vollflächig durchströmte Absorber (vgl. Abb. 2.2).

**Rollbondabsorber** werden aus Aluminium erzeugt, indem zwei Metallbleche entweder heiß oder kalt flächig verschweißt werden, nachdem die Kanäle vorher mittels Trennmittel vorgezeichnet wurden. Die Einzelkanäle werden durch Aufblasen mit hohem Druck ausgebildet. Ein Nachteil dieser Typen sind die an den Schweißstellen gelegentlich auftretenden Korrosionsschäden [6].

In Abb. 2.5 ist der grundlegende Aufbau eines mäander- oder serpentinaförmigen und in Abb. 2.6 der eines harfen- oder streifenförmigen Flachkollektors dargestellt. Das Kernstück stellt jeweils die beschichtete Absorberplatte mit den eingebetteten Absorberrohren dar. Die reflexionsarme Solarglasdeckscheibe und eine effektive Wärmedämmung minimieren Reflexions- und Wärmeverluste. Einfach abgedeckte, nicht selektiv beschichtete Absorber können für Temperaturdifferenzen von 30–40 °C zwischen Außen- und Absorbertemperatur mit zufrieden stellenden Energieerträgen eingesetzt werden. Sie eignen sich daher gut für die Brauchwassererwärmung im Sommer und die Vorwärmung in der Übergangszeit.



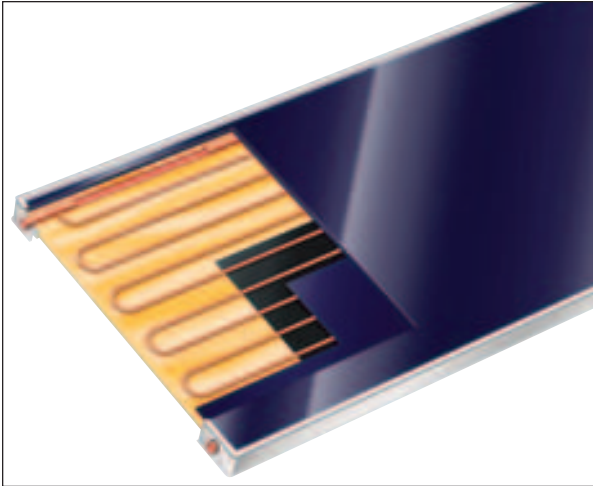


Abb. 2.5 Schnitt durch einen „mäander- oder serpen-  
tinenförmigen“ Flachkollektor; Quelle: (2)

Mit selektiver Beschichtung werden die Absorber zwar teurer, erzielen jedoch bei gleicher Kollektorfläche höhere Deckungsanteile bzw. kann die Kollektorfläche bei gleichem Deckungsanteil verringert werden. Ob selektiven oder nicht selektiven Absorbern der Vorzug gegeben werden sollte, entscheiden der Preis der Absorber und die unterschiedliche Energiekosteneinsparung bei gleich großer Kollektorfläche. Für Systeme zur Heizungsunterstützung, die auch in der Übergangszeit höhere Energieerträge erreichen sollen, sind selektiv beschichtete Kollektoren vorzuziehen.

Als spezielle Bauform von Flachkollektoren sind die CPC-Kollektoren zu nennen. Sie besitzen einen zusätzlichen Reflektor, der die Sonnenstrahlung auf den Absorber konzentriert. Dieser Absorber ist in der Regel wie eine einfache oder auch doppelte Parabolrinne aufgebaut und hinter dem Absorberstreifen angeordnet. Der Absorber wird so von der Vorder- und der Rückseite erwärmt.

Allgemein ist die Lebensdauer der Kollektoren stark von der Korrosions- und Temperaturbeständigkeit des

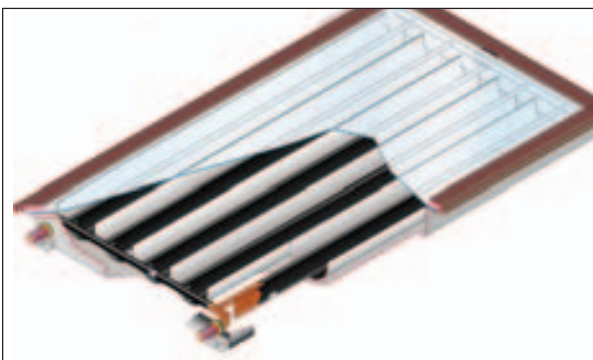


Abb. 2.7 Aufbau und Funktionsweise eines CPC-Kollektors; Quelle: (1)

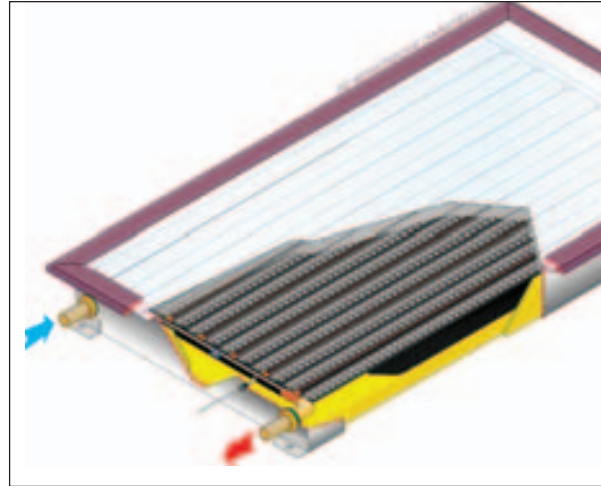


Abb. 2.6 Schnitt durch einen „harfen- oder streifen-  
förmigen“ Flachkollektor; Quelle: (1)

Absorbermaterials und seiner Beschichtung sowie der Witterungsbeständigkeit der transparenten Abdeckung und ihrer Aufbringung (Silikon, Gummidichtungen) auf den Kollektorrahmen abhängig.

#### Beispiele für die Integration der Kollektoren in oder auf das Gebäude:

Die Kollektoren der Solaranlage können auf verschiedenste Art und Weise am Gebäude montiert werden. Die Aufstellung der Kollektoren bei Wohngebäuden erfolgt aus Gründen der Verschattung und des Platzbedarfs vorwiegend auf dem Dach, sofern dieses von seiner Größe und seiner Ausrichtung her hierzu geeignet ist.

Eine Möglichkeit die Kollektoren am Dach zu befestigen bietet die **Aufdachmontage**. Hierbei werden die Kollektoren mit Halterungen über der Dachhaut befestigt. Weist das Dach nicht die richtige Ausrichtung für Sonnenkollektoren auf, so kann mit der Aufständigung auch die Lage der Kollektoren eingestellt werden. Bei Flachdächern kommt die Aufdachmontage mit Aufständigungen zur Anwendung.



Eine weitere Möglichkeit bietet die **Indachmontage**, bei der die Kollektoren direkt auf die Konterlattung des Dachaufbaus aufgesetzt werden. Ähnlich wie bei einem Dachfenster werden die Kollektoren mit einer Blecheinfassung versehen. Da die Dachhaut hierbei nicht verändert wird, ist die Indachmontage optisch oft ansprechender als die Aufdachmontage.

Immer öfter werden die Kollektoren auch in die **Fassade** eines Gebäudes integriert und bieten damit einen großen Spielraum für architektonische Gestaltungsmöglichkeiten.

*Hinweise zur Montage der verschiedenen Varianten wie*

- Aufdachmontage
- Indachmontage
- Aufgeständerte Montage auf Flachdächern
- Fassadenintegration

*finden Sie im Kapitel 6.1.*



Abb. 2.8.1 aufgeständerte Kollektorfläche; Quelle: (4)

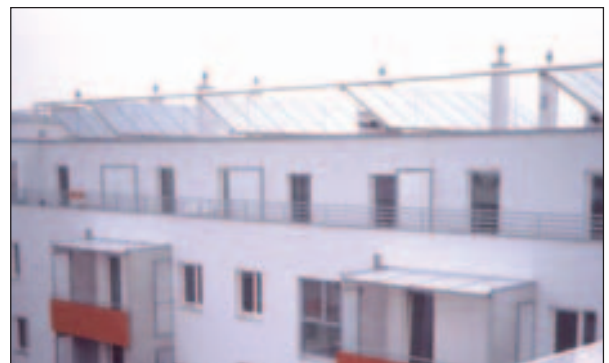


Abb. 2.8.2 aufgeständerte Kollektorfläche; Quelle: (4)



Abb. 2.9.1 Indachkollektorfläche; Quelle: (6)



Abb. 2.8.3 aufgeständerte Kollektorfläche; Quelle: (5)



Abb. 2.9.2 Indachkollektorfläche; Quelle: (6)





Abb. 2.9.3 Indachkollektorfläche;  
Quelle: (6)



Abb. 2.9.4 Aufdachkollektorfläche;  
Quelle: ASiC



Abb. 2.10.1 Fassadenkollektorfläche;  
Quelle: (7)



Abb. 2.10.2 Fassadenkollektorfläche; Quelle: (7)



Abb. 2.10.3 Fassadenkollektorfläche; Quelle: (8)



Abb. 2.10.4 Fassadenkollektorfläche; Quelle: (4)

## 2.3. Speicher

Die im Kollektor vom Wärmeträger aufgenommene Sonnenenergie wird üblicherweise in Wasserspeichern, die automatisch be- und entladen werden, gespeichert. Wasserspeicher bei Solaranlagen werden, je nach ihrer Speicherdauer, in Lang- und Kurzzeitspeicher unterteilt. Zur Trinkwassererwärmung im Mehrfamilienhausbereich werden üblicherweise Kurzzeitspeicher eingesetzt. Kurzzeitspeicher sind Warmwasserspeicher, die meist aus einem Stahlmantel, der auf der Innenseite mit einer lebensmittelechten, korrosions- und temperaturbeständigen Beschichtung (z. B. Email) überzogen ist, bestehen. Wird der Speicher zur Gänze aus rostfreiem Edelstahl gefertigt, so kann auf die Beschichtung verzichtet werden.

### 2.3.1. Aufgaben eines Warmwasserspeichers

Die Aufgabe des Solar-Warmwasserspeichers ist es, für eine bestimmte Zeitspanne die zeitlichen Unterschiede zwischen nutzbarer Sonnenenergie und Warmwasserbedarf zu überbrücken. Darüber hinaus kann auf einen Tag mit hoher solarer Einstrahlung ein Regentag folgen. Die Sonnenenergie kann deshalb nur dann sinnvoll genutzt werden, wenn diese zeitlichen Unterschiede zwischen Sonnenenergieangebot und Wärmebedarf durch einen Puffer ausgeglichen



Abb. 2.11 Brauchwasserspeicher; Quelle: (6)

werden. Reicht die solare Einstrahlung nicht aus, um die gewünschte Warmwassertemperatur zu erreichen (wie z. B. im Winterhalbjahr), muss die Möglichkeit einer konventionellen Nachheizung gegeben sein. Durch einen Biomasse-, Öl- oder Gaskessel wird dann die fehlende Energie nachgeliefert. Mit dieser Technik werden ein ständiges Ein- und Ausschalten (Takten) und die damit verbundenen Verluste der konventionellen Kesselanlage vermieden. Im Winterhalbjahr ist die Kesselanlage zur Raumheizung des Gebäudes meist durchgehend in Betrieb und die Erwärmung des Warmwassers erfolgt parallel.

Die wichtigsten Voraussetzungen, die nötig sind, damit ein Solar-Warmwasserspeicher den hohen Anforderungen gerecht wird, sind nachfolgend detailliert beschrieben.

### 2.3.2. Pufferspeicher

Für die kurzzeitige Wärmespeicherung eignet sich auch ein Heizungswasserspeicher, ein so genannter Pufferspeicher.

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



Abb. 2.12 Pufferspeicher; Quelle: (6)

## 2.4. Wärmetauscher

Der Solarkreislauf und das Brauchwassersystem müssen in unseren Breitengraden hydraulisch getrennt werden, da der Solarkreislauf mit einem Wasser-Frostschutz-Gemisch gegen Frostschäden geschützt wird. Die von den Kollektoren an den Wärmeträger im Solarkreislauf abgegebene Energie wird in Wärmetauschern entweder direkt an den



Abb. 2.13 interner Wärmetauscher; Quelle: (8)

Brauchwasserkreislauf oder an einen Sekundärkreislauf (Pufferspeicher) übergeben. Diese Wärmetauscher können entweder im Speicherinneren (interner Wärmetauscher) oder außerhalb (externer Wärmetauscher) des Speichers liegen.

Bei kleinen Anlagen ( $< 15 \text{ m}^3$ ) kommen innenliegende Wärmetauscher zum Einsatz, bei größeren Anlagen ( $> 15 \text{ m}^3$ ) externe Wärmetauscher (Plattenwärmetauscher) (Näheres siehe Kap. 5.4.).



Abb. 2.14 externer Plattenwärmetauscher; Quelle: (8)

solar  
guide

## 2.5. Regelung

Die Aufgabe der Regelung ist es, den Ablauf des Wärmetransportes im Solarkreis so zu steuern, dass die im Kollektorfeld gewonnene Wärme optimal ausgenutzt werden kann. Über den Speichertemperaturfühler kontrolliert die Regelung, ob solare Wärme benötigt wird.

Die Temperatur im Kollektorfeld wird durch den Kollektortemperaturfühler gemessen. Wird nun Wärme im Solarspeicher benötigt und ist die Kollektortemperatur größer als die Solarspeichertemperatur, wird die Umwälzpumpe eingeschaltet. Der im Solarkreis fließende Wärmeträger transportiert die gewonnene Wärme in den Solarspeicher. Ist die Kollektortemperatur nicht ausreichend, wird die benötigte Wärmemenge von der konventionellen Nachheizung erbracht. Durch die Speichertemperaturbegrenzung (Temperaturfühler am oberen Teil des Solarspeichers) wird der Solarspeicher von der Regelung auf seine maximal zugelassene Temperatur überprüft. Wird diese erreicht, schaltet die Regelung die Umwälzpumpe im



Abb. 2.15 Solarregelung; Quelle: (14)

Kollektorkreis ab, auch wenn noch genügend Strahlungsangebot vorhanden wäre. Dieser Zustand wird als „Stagnation“ bezeichnet. Tritt Stagnation an Tagen mit hoher Einstrahlung regelmäßig auf, ist dies meist ein Hinweis darauf, dass die Kollektorfläche der Anlage im Verhältnis zum entnommenen Warmwasservolumen zu groß gewählt wurde. Da die Anlagenteile unnötigen thermischen Beanspruchungen ausgesetzt werden und der Nutzungsgrad der Anlage sinkt, sollte allzu häufige Stagnation vermieden werden.



## 2.6. Nachheizung

**S**chwankungen im Strahlungsangebot und strahlungsarme Zeiten erfordern den Einsatz konventioneller Energie, wenn immer warmes Wasser vorhanden sein soll. In der Regel erfolgt die Einbindung des konventionellen Heizkessels über einen zweiten Wärmetauscher im Solarspeicher und/oder durch einen Elektroheizstab. Diese Nachheizung ist im obersten Drittel des Speichers angeordnet.

Das Nachheizvolumen sollte nicht größer als unbedingt notwendig angesetzt werden, da es das Speichervolumen für die Solaranlage unter Umständen verkleinert. Über die konventionelle Heizung eingebrachte Energie kann nicht mehr von der Solaranlage geliefert werden. Die Größe des Wärmetauschers wird durch die Kesselleistung und den Spitzenbedarf für Warmwasser bestimmt [5].



Abb. 2.16 Nachheizkessel; Quelle: (1)

## 2.7. Wärmeträger- flüssigkeit

**A**ls Wärmeträgerflüssigkeit wird in unseren Breiten ein Glykol-Wasser-Gemisch eingesetzt, das eine Frostsicherheit bis  $-25\text{ °C}$  gewährleistet. Bei Verwendung von reinem Wasser im Solarkreislauf würde im Winter bei niedrigen Temperaturen die Gefahr der Auffrierens und damit der Zerstörung der Rohrleitungen bestehen.

Da der Frostschutzzusatz die spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgers sowie durch Zunahme der Viskosität die Pumpenleistung erhöht, sollte nicht mehr Frostschutz als unbedingt notwendig zugesetzt werden. In der Regel ist eine Konzentration von 40 % Glykol ausreichend (Näheres siehe Kap. 5.10.).



Abb. 2.17 Frostschutzmittel; Quelle: (3)

## 2.8. Sicherheits- einrichtungen im Kollektorkreis

Die Sicherheitseinrichtung im Kollektorkreis besteht aus Ausdehnungsgefäß, Sicherheitsventil und Manometer.

Solaranlagen sind so zu planen und zu montieren, dass deren „Eigensicherheit“ gewährleistet ist. Das bedeutet, dass die Absicherung und Schaltung eines Solarkreises so ausgeführt werden muss, dass es auch bei längerer Wärmeeinwirkung auf das Kollektorfeld ohne Wärmeabfuhr durch den Solarspeicher zu keinem unzulässigen Druckanstieg oder Störfall kommt. Würde im schlimmsten Fall der Druck im Solarsystem über den zulässigen Druck ansteigen, öffnet sich das Sicherheitsventil und es kommt zum „Abblasen“ der Anlage. Dabei wird ein Teil des sich im Solarsystem befindlichen Wärmeträgers durch die sog. „Abblaseleitung“ abgelassen.

Der dabei entstehende Flüssigkeitsverlust muss anschließend unbedingt wieder ausgeglichen werden. Es sind hierfür zwei Arten von Sicherheitsventilen vorzusehen, dies sind ein Sicherheitsventil pro Kollektorfeld und ein Hauptsicherheitsventil. Der Ansprechdruck der Sicherheitsventile richtet sich nach dem max. zulässigen Druck des schwächsten Bauteiles (Näheres siehe Kap. 5.7.).

**Im Solarkreis muss wegen der folgenden zwei Effekte ein Ausdehnungsgefäß installiert werden:**

1.) Durch die Erwärmung der Wärmeträgerflüssigkeit im Kollektor dehnt sich diese aus. Um den System-



Abb. 2.18 Sicherheitsventil; Quelle: (8)



Abb. 2.19 Ausdehnungsgefäß; Quelle: ASIc

druck nicht zu erhöhen, muss dieses ausgedehnte Volumen vom Ausdehnungsgefäß aufgenommen werden.

2.) Ist die gewünschte Temperatur im Solarspeicher erreicht, schaltet die Regelung die Umwälzpumpe im Solarkreis aus und die Anlage geht in „Stillstand“. Durch die Sonneneinstrahlung steigt die Temperatur im Kollektorfeld weiter an und die Wärmeträgerflüssigkeit beginnt zu verdampfen.

Die Aufgabe des Ausdehnungsgefäßes ist es, die durch den Dampf aus dem Kollektorfeld verdrängte Flüssigkeit aufzunehmen. Auf diese Weise wird der Druck im Kollektorfeld begrenzt.

Beim Abkühlen der Anlage kondensiert der Dampf im Kollektorfeld. Durch den Druckausgleich wird das Kollektorfeld wieder mit Wärmeträgerflüssigkeit durchströmt (Näheres siehe Kap. 5.7.).

Das Manometer dient zur Überwachung des Kollektorkreislaufs sowie zur Einstellung des Vordruckes (siehe Kap. 5.7.).

Eine eigensichere Anlage bläst auch bei Anlagenstillstand nicht über das Sicherheitsventil ab!



## 2.9. Weitere

## Komponenten im

## Solarkreislauf

### 2.9.1. Solarpumpe

Als Solarpumpen kommen üblicherweise Umwälzpumpen mit speziellen Anforderungen zum Einsatz. Es muss darauf geachtet werden, dass die Pumpen für Glykol-Wasser-Gemische und Temperaturen bis zu 130 °C geeignet sind.

Damit eine genaue Anpassung an die tatsächlich erforderliche Leistung möglich ist, verfügen sie in der Regel über eine elektrische Drehzahlumschaltung (Näheres siehe Kap. 5.6.).

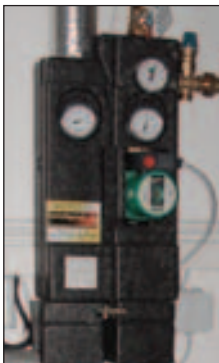


Abb. 2.20 Pumpengruppe; Quelle: ASiC



Abb. 2.21 Handentlüfter; Quelle: (1)



Abb. 2.22 autom. Entlüfter; Quelle: (1)

### 2.9.2. Entlüfter

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 (Näheres siehe Kap. 5.7.).

### 2.9.3. Verrohrung

Die Kollektorkreisverrohrung wird üblicherweise mit Kupferrohren durchgeführt. Es können aber auch nahtlose oder geschweißte Stahlrohre verwendet werden. Die Kollektorkreisverrohrung muss durchgehend isoliert werden (Näheres siehe Kap. 5.5.).

### 2.9.4. Rückschlagklappe

Die Rückschlagklappe verhindert eine Schwerkraftzirkulation im Kollektorkreis und damit eine mögliche Entladung des Solarspeichers.

## 2.10. Mögliche

## Betriebsarten der

## Kollektoranlage

Die Anlagenbetriebsart von Solaranlagen im Mehrfamilienhausbereich wird von dem gewählten Systemkonzept (siehe Kapitel 3.2.2.) bestimmt.

Prinzipiell gibt es drei Möglichkeiten, um die Wärmeleistung von der Kollektoranlage an den Speicher zu übertragen. Je nach Durchflussgeschwindigkeit des Wärmeträgers durch die Kollektoranlage unterscheidet man folgende Betriebsarten:

- **High-Flow-System**
- **Low-Flow-System**
- **Matched-Flow-System**

In Tabelle 2.1 sind der typische auf einen Quadratmeter Kollektorfläche bezogene Massenfluss und die im Kollektorfeld erreichbaren Temperatursprünge für die verschiedenen Betriebsarten des Kollektorkreises angeführt. Die angegebenen Temperatursprünge gelten für die volle Einstrahlung auf die Kollektorfläche (ca.  $800 \text{ W/m}^2$ ).

### 2.10.1. High Flow

Diese Betriebsart wird als „konventionell“ bezeichnet. Das Speichervolumen wird bei jedem Kollektordurchlauf langsam erwärmt, wodurch die gewünschte Nutztemperatur nur sehr langsam erreicht wird. Durch den hohen Massenfluss wird ein guter Wärmeübergang im Kollektor auf die Wärmeträgerflüssigkeit erzielt, wodurch sich der Kollektorwirkungsgrad verbessern lässt.

### 2.10.2. Low Flow

Die Temperatursprünge sind wesentlich höher, die Nutztemperatur im Speicher soll schon durch einen Kollektordurchlauf erzeugt werden. Der Wärmeträger wird auf ein hohes Temperaturniveau angehoben und ohne Verzögerung und Vermischungsverluste temperaturorientiert im Speicher abgelegt. Es steht also sehr schnell die gewünschte Temperatur zur Verfügung. Ein niedriger Durchfluss entspricht somit einer schnellen Systemreaktion. Notwendig ist hierfür eine temperaturorientierte Schichtung im Speicher.

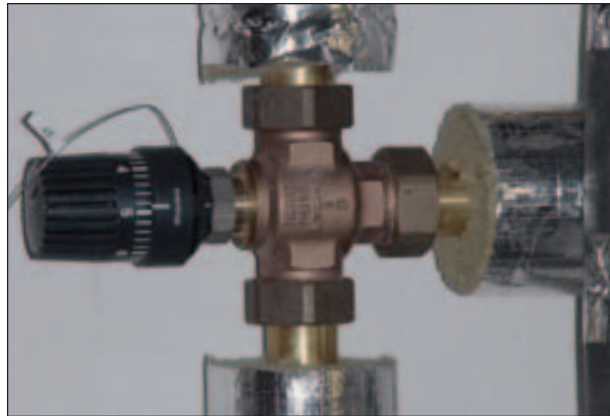


Abb. 2.23 Temperaturgesteuertes Dreiwege-Verteilventil; Quelle: ASIc

Eine optimale Ergänzung für Low-Flow-Systeme stellen so genannte Schichtladesysteme dar. Bei der Entwicklung von Schichtenspeichern wird besonders auf die Erhaltung dieser Schichtung geachtet (siehe Kapitel 5.2.). Diese Schichtladesysteme führen den Solarvorlauf in Abhängigkeit von seiner Temperatur und der Temperatursituation im Speicher in die jeweilige Speicherschicht mit der besten Temperaturübereinstimmung (siehe Abb. 5.1).

**Die am Markt erhältlichen Schichtladesysteme können generell in zwei Gruppen eingeteilt werden:**

- Selbstregelnde Systeme, die die Temperaturabhängigkeit des spezifischen Gewichtes flüssiger Medien nutzen (meist Klappensysteme) (siehe Kapitel 5.2.)
- Elektronisch-mechanisch gesteuerte Systeme (Ventilsysteme)

Selbstregelnde Systeme erlauben einen sehr geringen hydraulischen Aufwand und verzichten durch Art und Aufbau des Schichtenladers weitestgehend auf fehleranfällige Komponenten. Bei der elektronisch-mechanischen Schichtladung ermöglicht ein Ventil mindestens eine zweite Einspeisemöglichkeit für die Solaranlage in den Speicher. Bei Bedarf können weitere Ventile (wie in Abb. 2.23 ersichtlich) mit ähnlichen Steuerkriterien über die Speicherhöhe angebracht werden. Der Vorteil der elektronisch-mechanischen Variante ist die Verwendbarkeit von marktüblichen Brauchwasser- oder Pufferspeichern.

Die im Vergleich zur „konventionellen“ Betriebsführung höhere Temperaturspreizung bei Low Flow bewirkt schlechtere Kollektorwirkungsgrade, kann aber über das Jahr gesehen eine Verbesserung des Anlagenwirkungsgrades bringen, da auch bei kurzzeitiger

Betriebsart	spez. Kollektormassenfluss [kg/m <sup>2</sup> h]	Temperatursprünge zwischen Kollektorvor- und -rücklauf [°C]
High-Flow-System	30–70	max. 15
Low-Flow-System	10–18	max. 40
Matched-Flow-System	10–70	max. 40

Tab. 2.1 Unterscheidungskriterien der Betriebsarten; Quelle: ASiC

oder nur geringer Einstrahlung sofort Nutzwärme auf dem benötigten Temperaturniveau steht. Abhängig von der Systemkonfiguration können Anlagen, die als „Low Flow“ betrieben werden, höhere Erträge liefern als konventionelle „High Flow“-Anlagen [6].

### 2.10.3. Matched Flow

Hierbei werden die Vorteile von High Flow und Low Flow vereint. In Abhängigkeit von Strahlungsangebot, Verbrauchsanforderungen und Energieinhalt des Speichers wird der Kollektormassenfluss – Drehzahl geregelt – in Richtung günstigster Betriebszustand optimiert. Resultat ist ein optimales Speichermanagement, also maximale Energieausschöpfung bei High-Flow- und maximale Temperatur im Low-Flow-Betrieb. Matched-Flow-Systeme sind jedoch aufwändig, komplex und etwas teurer als Systeme mit festem Massendurchfluss [6].

### 2.10.4. Kollektorverschaltungen

#### High-Flow-Verschaltung:

Um bei hohen Massenströmen einen geringen Temperaturhub (in Bezug auf die gesamte Kollektorfläche) zu erreichen, sind eine geringe „thermische Länge“ sowie eine große Anzahl paralleler Leitungen erforderlich (siehe Kapitel 5.5.2.). Als „thermische Länge“ wird die Länge des Weges bezeichnet, auf der der

Wärmeträger im Kollektorfeld die Wärme von der Sonne aufnimmt. Je länger dieser Weg ist, umso stärker wird der Wärmeträger im Kollektorfeld erwärmt.

#### Low-Flow-Verschaltung:

Hier soll die Kollektorverschaltung eine große thermische Länge und eine geringe Anzahl paralleler Leitungen aufweisen, um den großen Temperatursprung bei geringen Massenströmen (in Bezug auf die gesamte Kollektorfläche) zu gewährleisten. Durch kombinierte Serien- und Parallelschaltung der Kollektorfelder können diese Bedingungen unter Beibehaltung der für hohe Wärmeübergangswerte erforderlichen höheren Strömungsgeschwindigkeit im einzelnen Kollektorrohr erreicht werden (siehe Kapitel 5.5.2.) [6].

#### Wärmetauscher:

Der bei Low Flow gewünschte große Temperaturhub setzt voraus, dass dieser auch vom Wärmetauscher weitergegeben werden kann. Andernfalls steigt die Kollektorrücklauftemperatur, was einen geringeren Kollektorwirkungsgrad mit sich bringt. Die bewältigbare Leistung ist im Wesentlichen von den Strömungsverhältnissen und der Größe des Wärmetauschers abhängig. Reicht ein Wärmetauscher nicht aus, so können zwei Wärmetauscher in Serie geschaltet werden (siehe Kapitel 5.4.) [3].



## 3.1. Abfolge von der Vorplanung

### bis zur Ausschreibung der Anlage

Arbeitsschritt	Beteiligte AkteurInnen										Bemerkung	
	Bauherr	Fachberater	Architekt	Planer	Kollektorhersteller	Installateur	Baumeister	Elektriker	Regelungstechniker	Isolierer		Dachdecker
<b>Planung</b>												
Beratung des Bauherrn/Bauträgers	●	●	●									
Vorprojekt/Variantenstudie	●	●	●	●	●	●	●					
Entscheidung	●	●	●									
Ausschreibung	●			●								
Einreichplanung		●	●	●	●	●	●					
Bewilligungen		●	●	●								
Vergabe	●											
<b>Ausführung</b>												
Ausführungsplanung		●		●	●	●		●				
Materialbestellung												
Decken- und Mauerdurchbrüche												
Fundamente/Verankerungen												
Kollektorfeld												
Dicht- und Einfassungsarbeiten												
Hydraulische Anschlüsse des Kollektors												
Installationsarbeiten												
Speicher und Verbindungen												
Installation der Messgeräte												
Sanitäranschlüsse												
Elektroinstallationen												
Befüllung und Inbetriebnahme												
Wärmedämmung												
Abnahme und Funktionsprüfung												
<b>Betrieb</b>												
laufende Funktionskontrolle	●											
Ertragskontrolle	●											
Wartung	●											

Tab. 3.1 Darstellung ASiC; Quelle: Solar-Net

Bei einem Solaranlagenprojekt beteiligen sich meist mehrere Personen bzw. Gewerke, deren Aufgabenbereich und zeitlicher Einsatz genau aufeinander abgestimmt werden müssen. Daher wird empfohlen, sich bereits frühzeitig einen Überblick über das Solarprojekt zu verschaffen. Da die Planung bzw. Durchführung eines Solaranlagenprojektes im Mehrfamilienwohnbau zurzeit noch keine Routinearbeit darstellt, wird anhand einer übersichtlichen Zusammenstellung ein optimaler Ablauf dargestellt. Hierbei werden die am Projekt beteiligten Personen bzw. Gewerke, deren Zusammenarbeit und Verantwortlichkeitsbereich in zeitlicher Abfolge bis zur Inbetriebnahme und Wartung der fertigen Anlage dargestellt (*siehe Tabelle vorige Seite*).

Bevor man den Bau einer thermischen Solaranlage in Erwägung zieht, sollte man sich die Frage stellen, ob das bestehende Objekt energetisch so weit saniert ist, dass eine Solaranlage eine sinnvolle Ergänzung darstellt. Dazu gehört eine Sanierung der Gebäudehülle, des Daches, der Kesselanlage und der Warmwasserzirkulation. Es ist nun zu klären, inwieweit das jeweilige Objekt den wesentlichen Rahmenbedingungen zur Installation einer Solaranlage entspricht bzw. welche Rahmenbedingungen zu deren Installation geschaffen werden müssen.

Nun sollte eine Bestandsaufnahme des bestehenden Warmwassersystems (einschließlich des Verteilsystems und der Armaturen) vorgenommen werden. Zur Unterstützung bei der Bestandsaufnahme (Ist-Daten-Erfassung) wurde eine Checkliste mit erklärendem Text zusammengestellt. Diese kann zur Durchführung der Ist-Daten-Erfassung kopiert und ausgefüllt werden.

### 3.1.1. Allgemeine Anforderungen an das Dach

Da für die Lebensdauer des Kollektorfeldes mit über 20 Jahren gerechnet werden kann, hat der bauliche Zustand des Daches, auf dem die Kollektoren errichtet werden sollen, eine sehr große Bedeutung.

#### Grundsätzlich sind für alle Dachformen folgende Fragen zu klären:

- Lässt die Statik eine Aufnahme der Kollektoren zu?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

Ggf. muss die Last der Kollektoren (unter Beachtung evtl. zulässiger Windlasten durch das Kollektorfeld) auf tragfähige Dachpunkte oder Wände abgeleitet werden.

- Ist die Dachabdeckung neu oder neu saniert, damit Sanierungsarbeiten nach Installation der Kollektoren mit höchster Wahrscheinlichkeit nicht erforderlich werden?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

Derartige Sanierungsarbeiten nach Aufbau des Kollektorfeldes sind meist nur unter erschwerten Bedingungen und zu hohen Kosten durchführbar, manchmal sogar erst nach Demontage des Kollektorfeldes.

- Ist die verfügbare Dachfläche so groß, dass sie das Kollektorfeld aufnehmen kann, ohne dass die Kollektoren sich gegenseitig verschatten?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

Bei Flachdächern ist deshalb überschlägig das 3fache der Kollektorfläche als Dachfläche erforderlich.

- Steht ausreichend südorientierte verschattungsfreie Montagefläche für die Kollektoren zur Verfügung?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

- Ist eine Verschattungsanalyse für die vorgesehene Montagefläche notwendig?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

(Die Dachfläche, die die Kollektoren aufnehmen soll, darf nicht durch andere Gebäude, Bäume etc. verschattet werden.)

- Ist die Dachfläche nicht zu stark durch Aufbauten (Kamin, Lüftungs- und Lichtschächte, Aufbauten für Aufzüge, Dachgauben) zergliedert, da sonst die Kollektoren in weit verteilten Teilfeldern angeordnet werden müssen?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

Die Anordnung weit verteilter Teilfelder erhöht die Anlagenkosten erheblich. Architekten sollten dies bei Neuplanungen berücksichtigen. Bei Steildächern ist die Neigung der Dachfläche (und damit auch der Kollektoren) vorgegeben; sie sollte in der Regel nicht durch eine Aufständerkonstruktion wie bei Flachdächern korrigiert werden [1].

#### Dachausrichtung

Die zur Verfügung stehende Dachfläche muss nicht unbedingt exakt nach Süden ausgerichtet sein.

Abweichungen von bis zu  $\pm 45^\circ$  aus der optimalen Südausrichtung führen nur zu geringen Einbußen. Bei stärkeren Abweichungen kann diese Einbuße durch eine größere Kollektorfläche ausgeglichen werden (Näheres siehe Kap. 3.2.3.4.).

### Dachneigung

Die Neigungen in Steildächern betragen im Allgemeinen zwischen  $25^\circ$  und  $55^\circ$ . Weist das Dach eine geringere Neigung als  $25^\circ$  auf, muss die Möglichkeit einer Aufständigung der Kollektoren in Betracht gezogen werden. Bei Vorwärmanlagen reicht auch eine Neigung von  $20^\circ$  aus. Steilere Neigungswinkel begünstigen die Energieausbeute im Winter (für Anlagen zur Heizungsunterstützung) und flachere Neigungswinkel die Energieausbeute im Sommer (für Anlagen zur Warmwasserbereitung).

### 3.1.2. Bestandsaufnahme des Warmwassersystems bei bestehenden Gebäuden

Ein weiterer wichtiger Faktor vor der Realisierung von Solaranlagen bei bestehenden Gebäuden ist der Zustand des Warmwassersystems. Der Zustand des Warmwassernetzes sowie die Art der Warmwasserbereitung sind sorgfältig zu erfassen.

- Ist ein neuer Kessel notwendig?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

Für die Kesselanlage ist die Restlaufzeit zu klären – bei einer Restlaufzeit von weniger als zehn Jahren ist sorgfältig zu prüfen, ob ggf. erforderliche Anpassungsarbeiten an die bestehende Kesselanlage kostenmäßig zu rechtfertigen sind.

Öl- und gasgefeuerte Brennwert- bzw. Niedertemperaturkessel können in der Regel problemlos weiterverwendet werden – vorausgesetzt der Kessel ist nicht älter als 8–10 Jahre und die zur Verfügung stehende Kesselleistung passt zu der erforderlichen Nachheizleistung. Moderne Pellets- oder Biomassekessel können ebenfalls ohne Schwierigkeiten in eine solargestützte Warmwasserbereitungsanlage integriert werden. Bei Stückholzkesseln ist allerdings zu beachten, dass genügend Puffervolumen sowohl für die Solaranlage als auch für den Kessel zur Verfügung steht. Keinesfalls darf der Kessel der Solaranlage Speicherplatz rauben. Kessel mit integriertem Speicher eignen

sich allerdings nicht in Kombination mit Solaranlagen, da sowohl die Anpassung der Kesselsteuerung sehr aufwändig ist, als auch besonders in den Sommermonaten hohe Bereitschaftsverluste auftreten [7].

- Sind Komponenten auszutauschen?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

Wenn ja, welche: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Es ist zu klären, welche Komponenten (Wärmetauscher, Speicher) auch weiterhin genutzt werden können. Dabei ist neben der Restlaufzeit auf den einwandfreien Zustand der Isolation sowie des Korrosionsschutzes zu achten.

- Können eventuell alte Trinkwasserspeicher als Pufferspeicher genutzt werden?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

- Die Verlustleistung für die Warmwasserzirkulation ist durch den Fachplaner zu messen oder möglichst zuverlässig abzuschätzen. Einfache Messungen (Gasverbrauch während der Nachtstunden ohne Zapfung bei laufender Zirkulation) können dabei hilfreich sein. Eine Ermittlung der Verlustleistung bestehender Zirkulationsleitungen anhand der Leitungslängen sollte mit einem spezifischen Wärmeverlust von mindestens 12 W/m durchgeführt werden (anstatt des für Neuanlagenverordnung gültigen Werts von 8 W/m für die neu installierten Rohrleitungen).

Die Verlustleistung der Warmwasserzirkulation beträgt: \_\_\_\_\_ [W].

Dieser Wert wurde: gemessen \_\_\_\_\_  
abgeschätzt \_\_\_\_\_

- Ist der Warmwasserbedarf des Objekts hinreichend genau durch Messung oder Überprüfung an vergleichbaren Objekten ermittelt worden? (siehe Kap. 3.2.1.).

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

- Sind die zukünftige Nutzung des Objekts und der sich daraus ergebende Warmwasserbedarf realistisch abgeschätzt?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_



- Ist das Zapfprofil mit jahreszeitlichen Schwankungen des Bedarfs zumindest grob bekannt?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

- Gibt es Betriebspausen bzw. Ferienzeiten?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

Wenn ja, wann:

von \_\_\_\_\_

bis \_\_\_\_\_

**Nach Durcharbeitung dieser Punkte lässt sich bereits eine einfache Vorplanung der benötigten Kollektorfläche und des Speichervolumens für den jeweils gewünschten Anlagentyp (abhängig von der Höhe des Deckungsanteils) mittels Dimensionierungsprogramm vornehmen (Näheres siehe Kap. 3.2.1.).**

**Ein Blick auf die Kostenkurve zeigt grob die zu erwartenden Kosten als erste Kostenschätzung (mittlere Kurve des Systemkostendiagramms in Kap. 4.4.).**

#### Anmerkung:

Für die Dimensionierung des Kollektorfeldes und des Solarspeichers ist die Verbrauchscharakteristik des Objektes entscheidend. Wird eine Dimensionierung anhand der in diesem Handbuch vorhandenen Dimensionierungsdiagramme vorgenommen, so wurde diesen Diagrammen das typische Verbrauchsprofil (Wochenprofil bzw. Jahresprofil) für Mehrfamilienhäuser zugrunde gelegt. Für die Auslegung des Bereichtsvolumens wurde ebenfalls vom Verbrauchsprofil (Tagesprofil) für Mehrfamilienhäuser ausgegangen. Sollte das ausgewählte Objekt nicht der Charakteristik eines Mehrfamilienhauses entsprechen (z. B. Campingplatz, Schule, Hotel, Jugendherberge), so ist entweder das Verbraucherprofil zu messen oder zur Abschätzung von Anhaltswerten in der Literatur [7] nachzulesen. Die Dimensionierung sollte dann anhand dieser Daten vorgenommen werden.

### 3.1.3. Leitungsführung, Aufstellort der Speicher

Folgende Fragen sind zu klären:

- Wie kann eine möglichst kurze Verrohrung ohne aufwändige Schlitzarbeiten erfolgen?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- Wo wird der Solarspeicher aufgestellt?

Dachheizzentrale \_\_\_\_\_

Keller \_\_\_\_\_

Technikraum \_\_\_\_\_

- Ist die Speicheraufstellung auf einer Geschoßdecke vorgesehen?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

- Muss eine Flächenlastberechnung vorgenommen werden?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

- Muss der Solarspeicher in mehrere Standspeicher aufgeteilt werden?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

Zu beachten sind hierbei die Abmaße von Fläche und Höhe des Aufstellraums, Einbringöffnungen sowie Kehren und Treppen auf dem Einbringweg. Typische Speicherabmaße sind in Tabelle 3.2 angegeben.

- Würde eine Schweißung vor Ort kostengünstiger sein?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

- Es soll die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass durch bauliche Veränderungen (Abtiefen des Kellerbodens, Umwidmung der Räume) manchen Problemen Abhilfe geschaffen wird.

Diese Abmaße sowie die Kollektorfeldgröße sind bereits in der Planungsphase eines Gebäudes zu berücksichtigen. Anhand des beigelegten Dimensionierungsdiagramms (Kap. 3.2.1.) können für eine bestimmte Bedarfscharakteristik des jeweiligen Objekts (Mehrfamilienhaus) die benötigten Größen ermittelt werden. Eine Marktübersicht der Speicher sowie deren genaue Abmaße werden in der „Marktübersicht Thermische Solaranlagen“ [22] gegeben. Bei Neubauten ist auch hier die Abstimmung mit dem Architekten hinsichtlich Leitungsschächten, den Abmessungen der Technikräume und den Einbringwegen unerlässlich.

Nennvolumen [Liter]	Höhe [m]	Durchmesser [m]	Kipphöhe [m]	Leergewicht ca. [kg]
1.500	2,25	1,2	2,55	230
2.000	2,25	1,3	2,85	360
3.000	2,85	1,5	3,25	460
4.000	3,00	1,6	3,35	550
5.000	3,00	1,8	3,45	650
6.000	3,30	1,8	3,75	750

Tab. 3.2 Kenndaten typischer Speicher (inklusive Isolierung); Quelle: [22]

Bei Sanierung im Bestand kann vielfach gemeinsam mit dem Architekten ein günstigerer Einbringweg gefunden oder geschaffen werden. Bei der Bewertung des Einbringwegs sind nicht nur die Türmaße zu berücksichtigen, meist sind die Kehren im Einbringweg (z. B. auf Treppenabsätzen oder am Ende von Treppen) viel kritischer.

Nach Durcharbeitung dieser Punkte ergeben sich möglicherweise durch einschränkende Randbedingungen für den Solarspeicher Änderungen an der Kollektorfläche. Leitungsführung und Aufstellart des Solarspeichers grenzen die Kosten weiter ein (günstige oder ungünstige Bedingungen, Zusatzkosten durch bauliche Maßnahmen).

### 3.1.4. Fragen zur Vorplanung der Kollektorfläche

- Kann eine erforderliche Aufständering kostenoptimal ausgeführt werden?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

Eine flache Anstellung bewirkt beste Ausnutzung der verfügbaren Fläche.

- Sind alle Möglichkeiten untersucht worden, geschlossene große Flächen zu belegen, um mit Großmodulen kostengünstig arbeiten zu können?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

- Gibt es für die nun ausgewählte Montagesituation Hindernisse (Denkmalschutz, Dachstatik)?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

- Ist die vorgesehene Montagefläche für die Lebensdauer der Solaranlage frei verfügbar (kein Sanierungsbedarf, keine vorgesehene Gebäudeaufstockung oder -erweiterung an dieser Stelle)?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

In dieser Phase ist eine enge Abstimmung mit dem Architekten unerlässlich. Oft führt die Zusammenarbeit zu Änderungen des ursprünglichen Entwurfs, die kostengünstige Alternativen für die Kollektormontage eröffnen. Die bisher geschätzte Kollektorfläche muss dabei als flexible Größe gesehen werden. Vielfach ist eine Gebäudeintegration oder eine optimierte Aufständering mit einer etwas kleineren oder etwas größeren Fläche viel einfacher möglich. Die sich neu ergebende solare Deckung und die neu ermittelten Kosten sind dabei natürlich mit dem Bauherrn abzustimmen.

Nach Durcharbeitung dieser Punkte kann die Kostenschätzung präzisiert werden, da klar wird, ob günstige Randbedingungen genutzt werden können oder ob ungünstige Randbedingungen vorliegen. Zugleich kann abgeschätzt werden, ob Gutschriften aus Gebäudeintegration zu erwarten sind.

### 3.1.5. Abstimmung konventionelles System und Solarsystem

Für das weitere Vorgehen sind Informationen über das konventionelle Warmwassersystem des Objekts unerlässlich. Vielfach wird diese Abfolge ignoriert. Die Folge sind Abstimmungsschwierigkeiten und Doppelarbeit. Es macht keinen Sinn, eine Solaranlage, die letztlich dem konventionellen System vorgeschaltet wird, für sich alleine weiterzuentwickeln. Die folgenden Angaben muss der Fachplaner ermitteln.

- Welcher Bereitschaftsspeicher wird fürs Warmwasser erforderlich (*eine Abschätzung des benötigten Volumens – Speicher 1 – liefert das Dimensionierungsdiagramm im Kap. 3.2.1. und das Kap. 5.1.*)?

---



---



---



---

- Ist für diesen Speicher/diese Speichergruppe noch ausreichend Platz verfügbar?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

- Ist ausreichend Platz für eine Vergrößerung des Bereitschaftsspeichers (Kaltwasservorlage) bzw. für einen eventuellen Vorwärmespeicher?

Ja \_\_\_\_\_

Nein \_\_\_\_\_

Die letztgenannten Punkte sind wieder in enger Abstimmung mit dem Architekten zu lösen. Wenn irgendwie möglich, sollte sich der Fachplaner ausreichend Platz sichern, um bei Bedarf einen Vorwärmespeicher einbauen zu können. Der Fachplaner sollte sich den eroberten Platz im Protokoll einer Baubesprechung ausweisen lassen.

- Welche Spitzenlasten werden erwartet (Stunden-spitzen, Zapfspitzen)? Sind diese Aussagen durch Erfahrungswerte aus dem Regelwerk/der Fachliteratur bzw. durch Erfahrungen an vergleichbaren Objekten hinreichend belegt? Wird innerhalb der kommenden Jahre eine deutliche Änderung der Spitzenlasten erwartet?

---



---



---



---



---

**Anmerkung:** Liegt die Verbrauchsstruktur eines Mehrfamilienhauses vor, ist das benötigte Bereitschaftsspeichervolumen gleich dem Volumen des Speichers 1 im Dimensionierungsdiagramm.

- Welche Kesselleistung steht zur Warmwasserbereitung zur Verfügung?

---



---



---



---



---

**Anmerkung:** Die verfügbare Kesselleistung ist nicht gleichbedeutend mit der Nennleistung des Kessels. Sie entspricht der Leistung, die der Wärmetauscher der Nachheizung an den Bereitschaftsspeicher abgeben kann.

Die Durcharbeitung dieser Punkte liefert die erforderlichen Informationen für die Auswahl der Systemvariante, die im nächsten Schritt dargestellt ist.

### 3.1.6. Anschluss an das konventionelle System

Eine hilfreiche Unterlage zur Wahl des passenden Systemkonzeptes stellt die Systemkonzeptfindung (Abb. 3.2.6) dar.

- Welche Systemvarianten sind angesichts der Bedarfssituation, der Größe der Anlage, der Spitzenlasten, des bestehenden Warmwassersystems und angesichts der verfügbaren Kesselleistung technisch sinnvoll?

---



---



---



---



---

- Welche der technisch sinnvollen Systemvarianten ist effizienter?

---



---



---



---



---

- Bestehen bei dieser Systemvariante technische Risiken?

---

---

---

---

- Die Auswahl der Systemvariante muss durch den Fachplaner erfolgen.

---

---

---

---



## 3.2. Dimensionierung

### 3.2.1. Grundlegende Dimensionierung

Um bereits in der ersten Planungsphase einer Solaranlage die Größenordnungen des benötigten Kollektorfeldes sowie den Platzbedarf für die (den) Speicher bestimmen zu können, wurde das nachfolgende Dimensionierungsdiagramm entwickelt. Das Dimensionierungsdiagramm wurde mit dem Simulationsprogramm T\*SOL berechnet und ermöglicht dem Planer mit äußerst geringem Aufwand, in Kürze die benötigten Abmaße und Dimensionen der wichtigsten Teile einer solaren Warmwasserbereitungsanlage festzulegen.

#### 3.2.1.1. Diagramm zur Dimensionierung von solaren Warmwasserbereitungsanlagen

##### *Ziele des Dimensionierungsdiagramms:*

- Das für Mehrfamilienhäuser entwickelte Dimensionierungsdiagramm dient zur Auslegung der Kollektor- und Speicherabmessungen für verschiedene Typen von solaren Warmwasserbereitungsanlagen und somit zur Festlegung der für die Installation einer Solaranlage notwendigen baulichen Abmessungen.
- Die nun nach dem Dimensionierungsdiagramm ausgelegte Kollektorfläche entspricht der benötigten Kollektorfläche bei SÜD-Ausrichtung unter einem Neigungswinkel zur Horizontalen von  $40^\circ$ . Weichen Ausrichtung und Neigung der für das Kollektorfeld zur Verfügung stehenden (oder geplanten) Fläche von denen des Dimensionierungsdiagramms ab, so ist die Größe des Kollektorfeldes anhand des Diagramms zur Korrektur des Kollektorfeldes zu korrigieren (siehe Kap. 3.2.3.4.).
- Nach Festlegung der wichtigsten Komponentengrößen (Kollektor und Speicher) kann anhand des Diagramms zur Systemkonzeptfindung bereits das für das jeweilige Objekt passende Anlagenschema gefunden werden.
- Durch einen Blick auf das Systemkostendiagramm können nun die zu erwartenden Kosten der Solaranlage abgeschätzt werden.

### **Musteranlage:**

Für das beschriebene Musterhaus soll eine **Kosten-Nutzen-optimierte** Solaranlage mit einem Deckungsanteil zwischen 35 % und 50 % zur Unterstützung der Warmwasserbereitung realisiert werden.

##### *Vorgehensweise:*

- 1.) Zuerst ist es wichtig, eine möglichst genaue Aussage über die Anzahl der derzeitigen (bestehendes Gebäude) oder zukünftigen (Neubau) Bewohner des Objektes zu treffen.
- 2.) Steht die Anzahl der Bewohner fest, so muss der Warmwasserverbrauch pro Person am Tag bei  $60^\circ\text{C}$  ermittelt werden. Bei der Vorgangsweise zur Ermittlung des Verbrauchs muss zwischen bereits bestehenden Objekten und Neubauten unterschieden werden.

#### 3.2.1.2. Warmwasserverbrauch und Speichervolumen 1

##### *Bestehende Objekte:*

Bei bereits bestehenden Objekten sollte der Warmwasserbedarf stets gemessen und an den Verbrauch für die Sommerperiode angepasst werden. Näheres zur Vorgangsweise bei der Messung (siehe Kap. 3.2.3.1.).

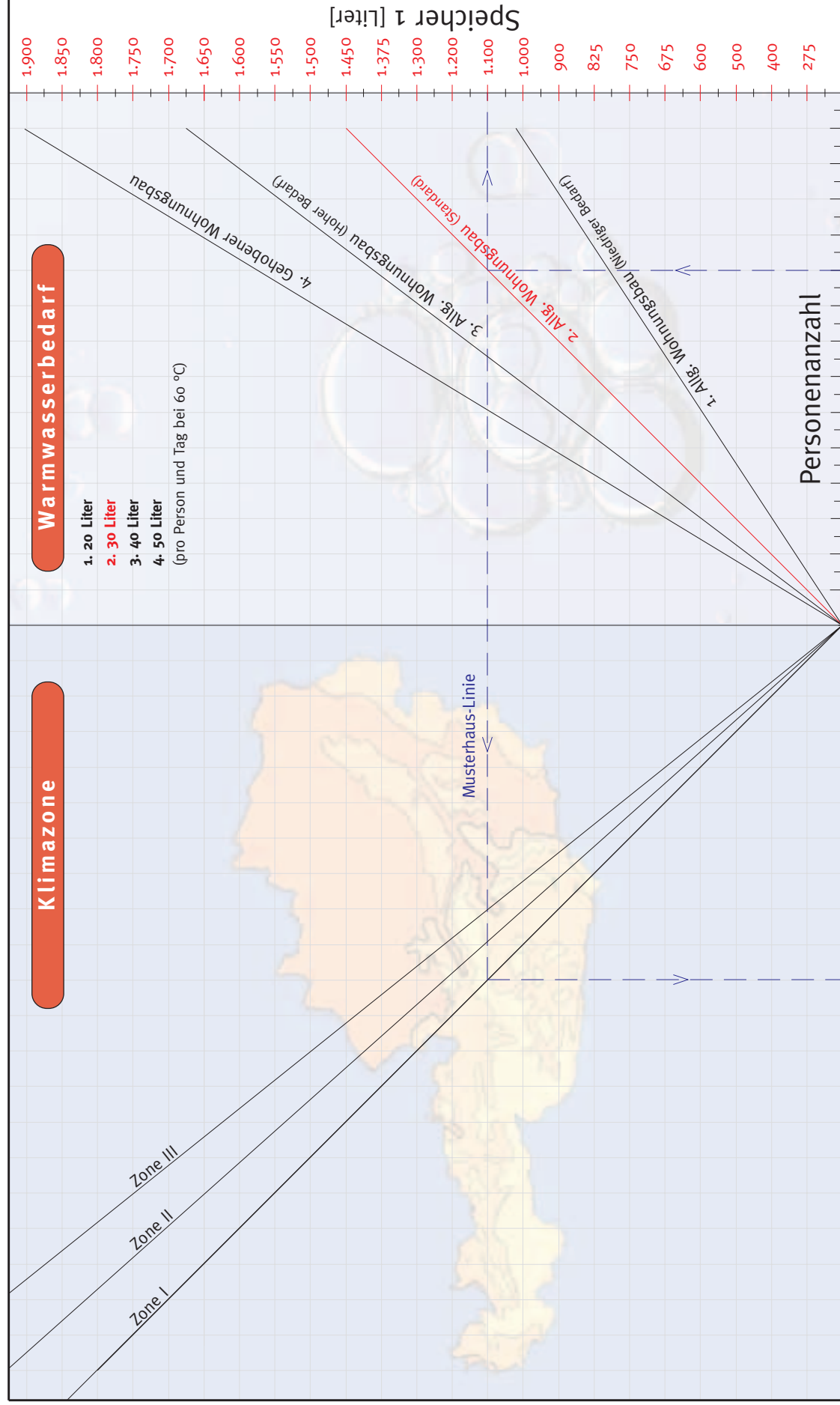
##### *Neubau:*

Hier kann naturgemäß keine Messung des Warmwasserbedarfs stattfinden. Man ist auf Messergebnisse vergleichbarer Objekte angewiesen und schätzt daher den Warmwasserbedarf (Näheres siehe Kap. 3.2.3.1.). Sind die Personenanzahl und der Verbrauch pro Person bei  $60^\circ\text{C}$  bzw. die Verbrauchscharakteristik des Objektes (niederer Bedarf, Standard usw.) bekannt, kann bereits durch Wahl der richtigen Linie die Größe des benötigten Bereitschaftsspeichers bestimmt werden. Man markiert zuerst den passenden Punkt auf der Personenanzahlskala und zieht eine vertikale Linie bis zum Schnittpunkt mit der entsprechenden Warmwasserverbrauchslinie. An deren Schnittpunkt zieht man eine horizontale Linie über die ganze Seite. Am rechten Rand schneidet die Linie nun die Skala für das Speichervolumen 1 (Bereitschaftsspeichervolumen). Linien bzw. Positionen sind in Abb. 3.2.2 dargestellt. Die Anzahl der Personen, der Warmwasserverbrauch pro Person sowie das Speichervolumen 1 sind nun zu notieren.

# Dimensionierungsdiagramm



# für Mehrfamilienhäuser



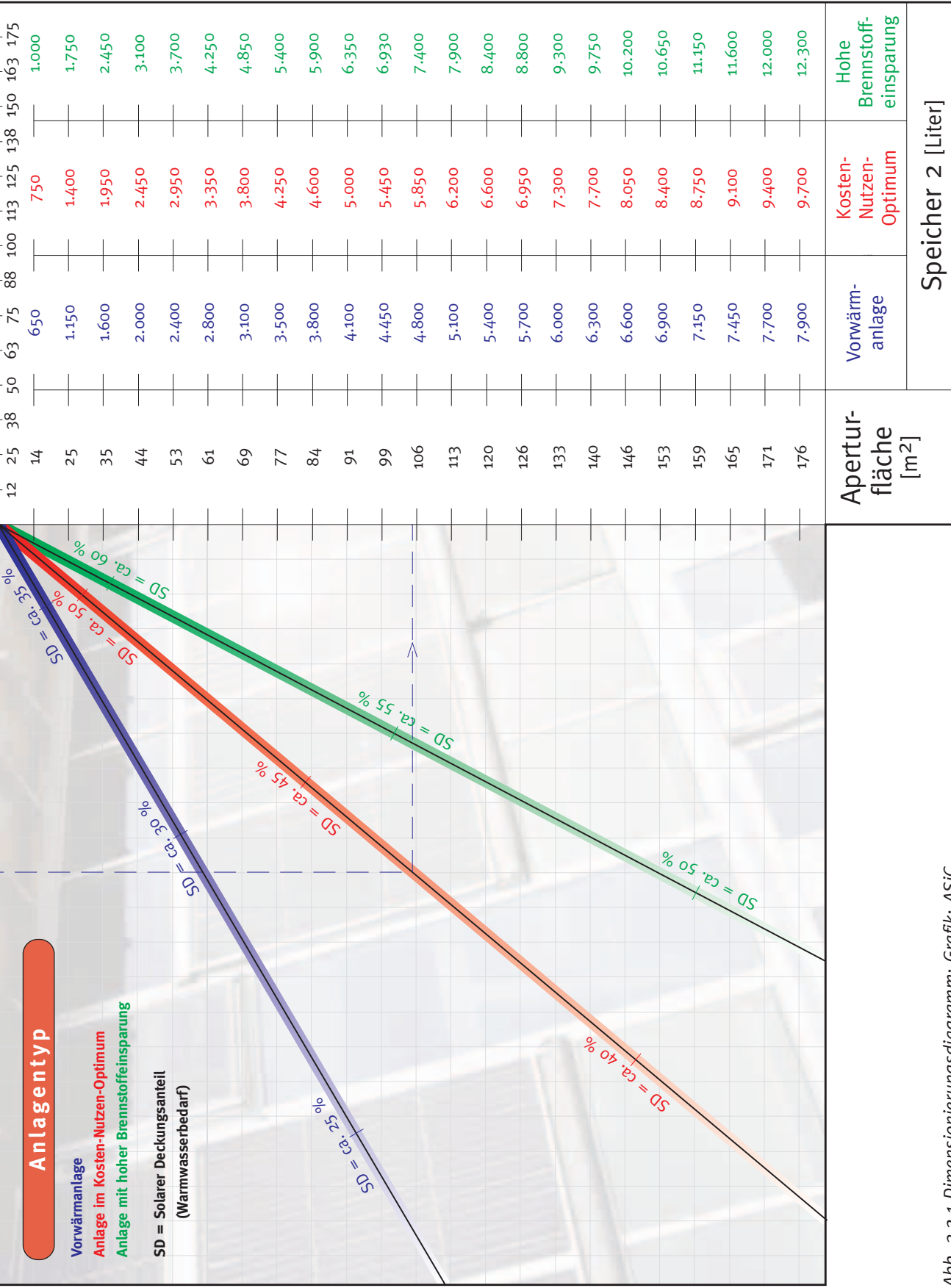
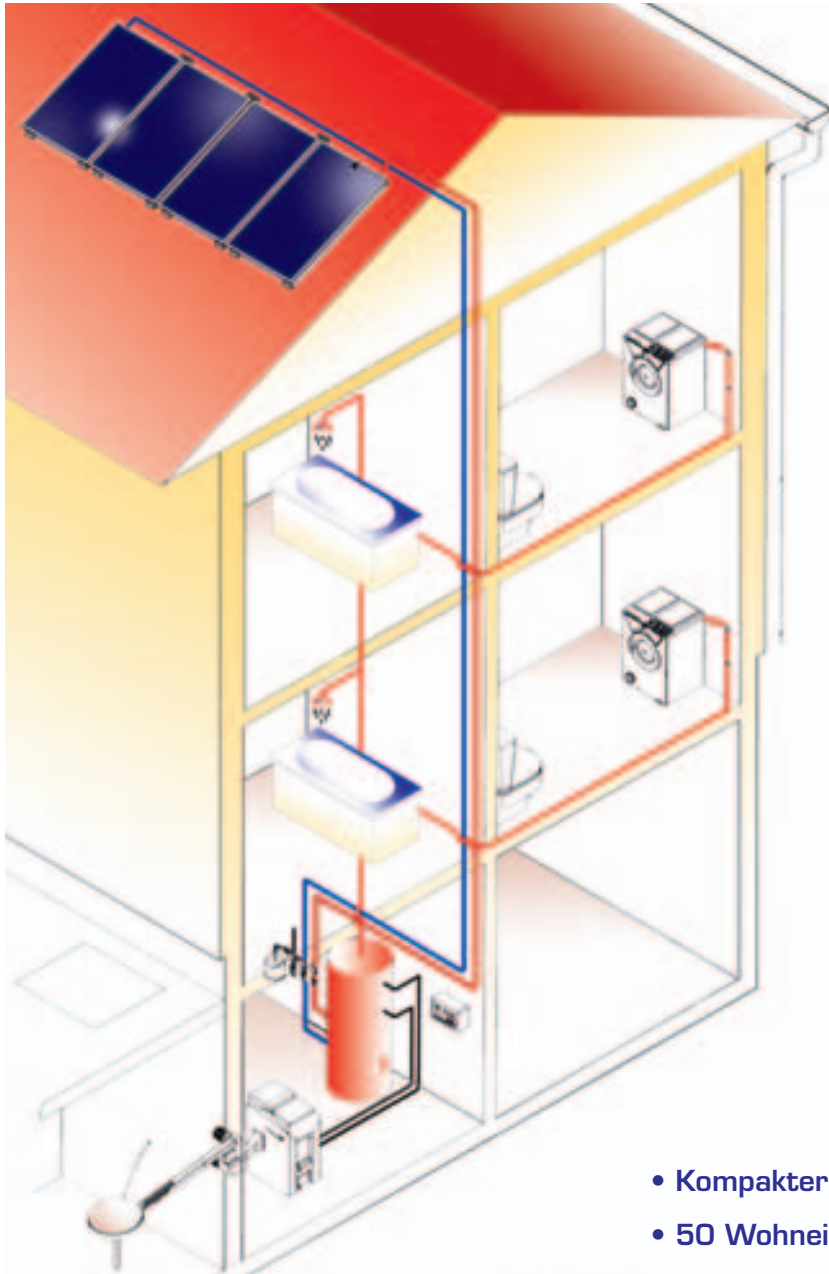


Abb. 3-2.1 Dimensionierungsdiagramm; Grafik: ASIC





**Musteranlage für das beschriebene Musterhaus**

- Kompakter Neubau
- 50 Wohneinheiten mit 125 Personen
- Durchschnittliches Verbraucherprofil eines MFH
- Allgemeiner Wohnungsbau (Standard)
- Standort: Linz
- Dachausrichtung: 30° Süd-West
- Dachneigung: 40°
- Dachintegration der Kollektoren möglich
- Zentrales Haustechniksystem
- Neu zu planender Technikraum
- Zirkulationsleitung: ca. 250 m
- Verfügbare Dachfläche von: 25 x 6 m
- Höchster Montagepunkt: 25 m

Der Umgang mit dem Dimensionierungsdiagramm wird mit nebenstehendem Musterhaus beispielhaft dargestellt. Dazu finden Sie im Text blau gedruckte

Passagen. Sie finden Schritt für Schritt entlang der Musterhaus-Linie durch die Segmente des Diagramms.



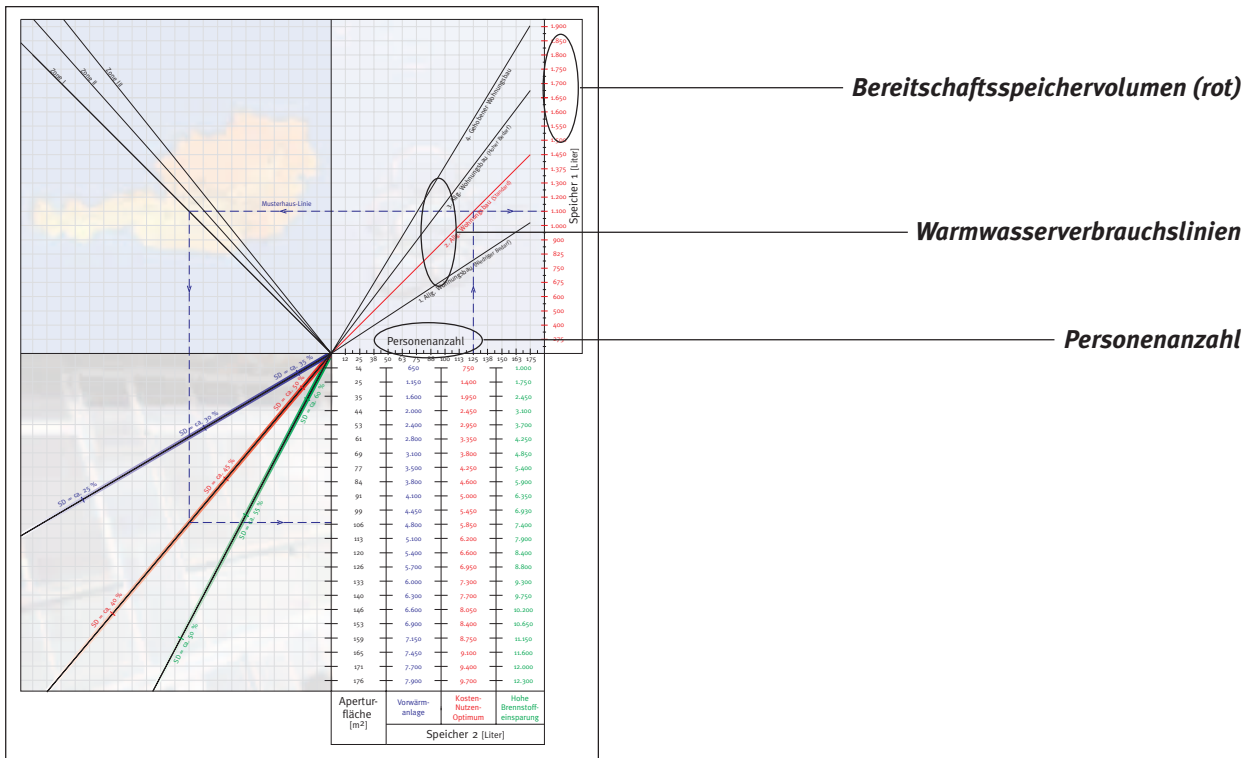


Abb. 3.2.2 Beschreibung des Dimensionierungsdiagramms – erster Quadrant

### Musterhaus:

1.) Das Gebäude ist mit 50 Wohneinheiten und insgesamt 125 Personen geplant.

- Da die Musteranlage ein Neubau ist, muss der Warmwasserbedarf nach Kap. 3.2.3.1. anhand der Verbrauchsdaten von vergleichbaren Objekten geschätzt werden.
- Für den allgemeinen Wohnungsbau (Standard) kann ein Warmwasserbedarf von **30 Litern pro Person und Tag bei 60 °C** geschätzt werden.
- Bereits in dieser Phase sollen Wassersparmaßnahmen und der Anschluss von Geschirrspülern bzw. Waschmaschinen im Verbrauch berücksichtigt werden. Es wird das für ein Mehrfamilienhaus typische Verbrauchsprofil angenommen. Durch den Anschluss von Geschirrspüler und Waschmaschine erhöht sich der Warmwasserbedarf um 10 Liter pro Person und Tag bei 60 °C, durch gleichzeitige Wassersparmaßnahmen kann er wiederum um diese 10 Liter pro Person und Tag bei 60 °C gesenkt werden, sodass der geschätzte Warmwasserbedarf schließlich wieder bei 30 Litern pro Person und Tag bei 60 °C liegt.

2.) Für die Auslegung der Solaranlage des Musterhauses wird demnach die Warmwasserverbrauchslinie **2 Allgem. Wohnungsbau (Standard)** im ersten Quadranten des Dimensionierungsdiagramms gewählt. Anhand der Belegungszahl von 125 Personen kann nun durch den Schnittpunkt einer vertikalen Hilfslinie (Musterhaus-Linie) mit der Warmwasserbedarfslinie das **Bereitschaftsspeichervolumen (Speicher 1)** mit ca. 1.100 Liter festgelegt werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass dieses Dimensionierungsdiagramm nur für die Verbrauchscharakteristik von Mehrfamilienhäusern zutreffend ist. Liegt eine andere Verbrauchscharakteristik (z. B. Schule, Hotel, Campingplatz usw.) vor, sind die Abmaße für das Bereitschaftsvolumen der jeweiligen Charakteristik (Spitzenlast) anzupassen.

### 3.2.1.3. Der Standort

Auf die Erde treffen je nach Bewölkung und Winkel der Sonneneinstrahlung zur Horizontalen zwischen 0 und 1.000 Watt pro Quadratmeter als Summe aus direkter und diffuser Strahlung auf. Ein Teil der diffusen Strahlung ergibt sich hierbei auch aus Reflexio-

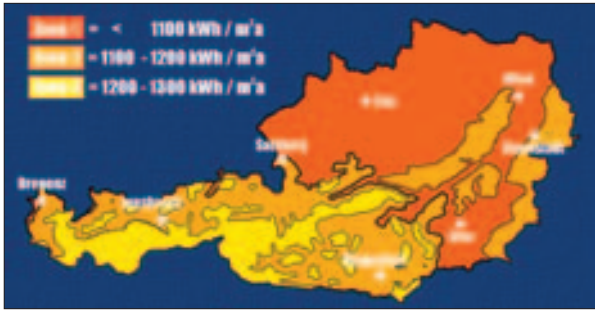


Abb. 3.2.3 Mittlere Globalstrahlungssummen auf die horizontale Fläche in Österreich: Januar bis Dezember (vereinfacht dargestellt); Grafik: ASiC; Quelle [23]

nen der umliegenden Flächen. Das Verhältnis von Diffus- zu Direkteinstrahlung kann je nach Bewölkung stark variieren und liegt für Mitteleuropa bei etwa 60 % Diffusanteil. Die Summe aus direkter, diffuser und reflektierter Strahlung wird Globalstrahlung genannt. Zur Auslegung einer Solaranlage muss das am jeweiligen Standort vorhandene Strahlungsangebot berücksichtigt werden. Die für das Strahlungsangebot maßgebliche Größe ist die mittlere, jährliche Globalstrahlungssumme in kWh/m<sup>2</sup>.

Anhand dieser Abbildung kann nun die für die Auslegung mittels Dimensionierungsdiagramm maßgebliche Zone des jeweiligen Standortes ermittelt werden. Im Dimensionierungsdiagramm ist somit die Linie der zutreffenden Zone auszuwählen.

**Musterhaus:**

3.) Anhand der Klimazonenkarte für österreichische Standorte (Abb. 3.2.3) wird für den Standort Linz die Zone 1 ermittelt. Ausgehend vom ermittelten Speichervolumen 1 schneidet eine horizontale Hilfslinie (Musterhaus-Linie) die Zonenlinie 1 und ergibt somit einen Zwischenpunkt zur Auslegung der Solaranlage.

Am Schnittpunkt der horizontal eingezeichneten Linie mit der zutreffenden Klimazonenlinie ist nun eine weitere Linie (vertikal) nach unten in den dritten Quadranten zu zeichnen.

Zur Beurteilung des konkreten Standortes für eine Solaranlage muss auch die Abschattung der direkten Sonnenstrahlung durch Berge, Gebäude, Bäume berücksichtigt werden. Hierzu können Sonnenwegs-Diagramme (siehe Abb. 3.2.17) verwendet werden.

Auswahl der zutreffenden Zone

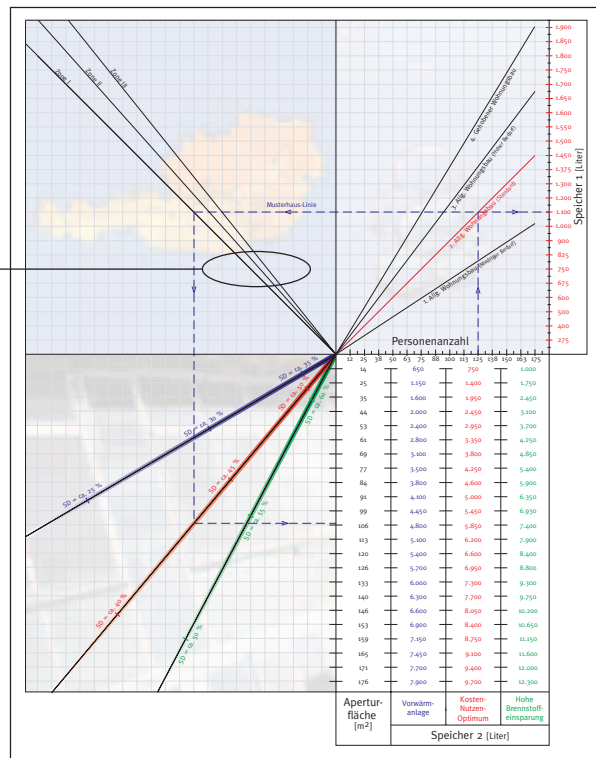


Abb. 3.2.4 Beschreibung des Dimensionierungsdiagramms – zweiter Quadrant

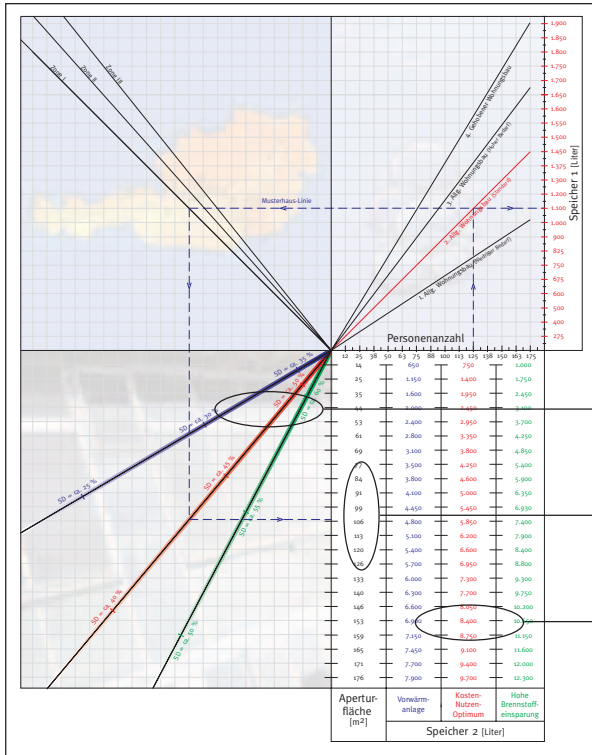


Abb. 3.2.5 Beschreibung des Dimensionierungsdiagramms – dritter Quadrant

Linien der unterschiedlichen Anlagentypen

Active Kollektorfläche (Aperturfläche)

Zugehöriges Speichervolumen 2 für die unterschiedlichen Anlagentypen

### 3.2.1.4. Der Deckungsanteil

In Kap. 3.2.3.3. werden die drei verschiedenen Anlagentypen beschrieben, wobei sich der solare Deckungsanteil ausschliesslich auf den Warmwasserbedarf bezieht:

- **Vorwärmanlage**
- **Anlage im Kosten-Nutzen-Optimum**
- **Anlage mit hoher Brennstoffeinsparung**

Nun liegt es am Auftraggeber, sich für eine dieser drei Varianten zu entscheiden.

Hat man sich für eine Variante entschieden, notiert man den Anlagentyp und wählt die passende Linie:

- **blau ... für Vorwärmanlage**
- **rot ... für Anlage im Kosten-Nutzen-Optimum**
- **grün ... für Anlage mit hoher Brennstoffeinsparung**

Man schneidet nun (wie in Abb. 3.2.5 ersichtlich) die vertikale Linie mit der Linie des ausgewählten Anlagentyps, markiert den Schnittpunkt und notiert den ungefähren, auf der Linie angegebenen solaren Deckungsanteil als Richtwert.

### 3.2.1.5. Die Kollektorfläche

Zieht man nun durch den markierten Schnittpunkt eine weitere horizontale Linie zum rechten Rand des Diagramms, kann die benötigte Kollektorfläche (blau) sowie das dazugehörige Pufferspeichervolumen (Speicher 2) abgelesen werden.

Die im Diagramm abzulesende benötigte Kollektorfläche bezieht sich auf die aktive Kollektorfläche (Netto-, Einstrahl- oder Aperturfläche), welche von jedem Kollektorhersteller angegeben wird und zur präzisen Angabe über die Leistungsfähigkeit der Solaranlage benötigt wird.

#### Hinweis:

- Durch den Einsatz eines Kollektors mit besseren Leistungsmerkmalen kann der Deckungsanteil etwas gesteigert werden.
- Muss das benötigte Speichervolumen auf mehrere kleinere Speicher aufgeteilt werden, so ist durch die höheren Wärmeverluste mit einer Einbuße des Deckungsanteiles zu rechnen.

- Sind die Zirkulationsleitungen 24 h in Betrieb oder werden die Rohrleitungen nicht ausreichend gedämmt, so ist ebenfalls mit einem Rückgang des Deckungsanteils zu rechnen.

Für den Bauträger, Architekten oder Planer ist jedoch in der Vorplanungsphase nur eine Größe entscheidend: Welche Fläche wird auf dem Dach benötigt? Diese ist die Bruttofläche (Gesamtfläche), die zur Montage des Kollektorfeldes benötigt wird. Da meist in der Vorplanungsphase der zur Anwendung kommende Kollektor und dessen Abmaße noch nicht bekannt sind, kann überschlägig folgende Formel angewandt werden:

<p><b>A</b> Bruttokollektorfläche = ca. <b>1,15</b> * <b>A</b> Aperturfläche</p> <p><b>A</b> Bruttokollektorfläche = <b>benötigte Dachfläche in m<sup>2</sup></b></p> <p><b>A</b> Aperturfläche = <b>ausgewählte Aperturfläche des Kollektorfeldes</b></p>
--

### 3.2.1.6. Das Speichervolumen 2

Da das benötigte Pufferspeichervolumen vom Anlagentyp abhängt, muss hier die jeweils passende Skala gewählt werden. Man notiert sich nun die benötigte Quadratmeteranzahl Dachfläche und die aktive Kollektorfläche mit der Ergänzung „Aperturfläche“ sowie das dazugehörige und dem Anlagentyp entsprechende Pufferspeichervolumen (Speicher 2). Somit hat man die wichtigsten Abmaße der Solaranlage festgelegt.

Bei einem Neubau sollte der Architekt bereits in der Planungsphase die benötigten Abmaße für Kollektorfeld und Speicher berücksichtigen. Wichtig dabei sind Einbringwege, Einbringöffnungen, Raumhöhe und Aufstellfläche für den (die) benötigten Speicher sowie die, wenn möglich als geschlossene Einheit, zur Verfügung stehende Dachfläche mit der entsprechenden Ausrichtung und Neigung (siehe Kap. 3.1.1.).

Im Kapitel 3.1. wird auf die notwendigen Vorkehrungen für den Aufstellort (meist Heizraum oder Technikraum) sowie auf die zu berücksichtigenden Abmaße von verschiedenen Speichergrößen hingewiesen.

### Musterhaus:

4.) Die Dimensionierung wird durch eine weitere vertikale Hilfslinie in den dritten Quadranten ausgehend vom Zwischenpunkt des zweiten Quadranten (Schnittpunkt der ersten Horizontalen mit Zonenlinie 1) fortgesetzt. Diese vertikale Hilfslinie (Musterhaus-Linie) wird mit der Linie des gewählten Anlagentyps **Linie rot (Anlage im Kosten-Nutzen-Optimum)** geschnitten. Ausgehend von diesem Zwischenpunkt gelangt man nun durch eine weitere horizontale Hilfslinie zu der benötigten aktiven Kollektorfläche von ca. 105 m<sup>2</sup> (Aperturfläche) und einem für diesen Anlagentyp benötigten Speichervolumen (Speicher 2) von ca. 5.800 Litern.

5.) Durch die Südabweichung von 30° Richtung Westen muss die Kollektorfläche nach Tabelle 3.2.3 um 5 % vergrößert werden, um eine gleichwertige Energieausbeute zu erreichen. Die korrigierte aktive Aperturfläche beläuft sich somit auf ca. 110 m<sup>2</sup>.

### Zusammenstellung der ermittelten Daten:

- geplante Belegungszahl 125 Personen
- geschätzter Warmwasserbedarf von 30 Litern pro Person und Tag bei 60 °C
- Standort: Klimazone I
- Anlagentyp: Anlage im Kosten-Nutzen-Optimum
- Bereitschaftsspeichervolumen (Speicher 1) mit ca. 1.100 Liter
- korrigierte aktive Kollektorfläche (Aperturfläche) beläuft sich auf ca. 110 m<sup>2</sup>
- Speichervolumen (Speicher 2) von ca. 5.800 Litern

### 3.2.2. Systemkonzeptfindung

Mit der Kenntnis der benötigten Kollektorfläche (Aperturfläche) kann man nun mit Hilfe der Systemkonzeptfindung von den am häufigsten eingesetzten Systemkonzepten jenes auswählen, das für das vorliegende Gebäude optimal ist. Dieses Konzept kann in der Ausschreibung vorgeschlagen werden und dient somit als Anhaltspunkt für den Anbieter der Anlage. Zur Wahl stehen 6 verschiedene Systemkonzepte, auf die in Kapitel 3.2.2.2. detaillierter eingegangen wird.

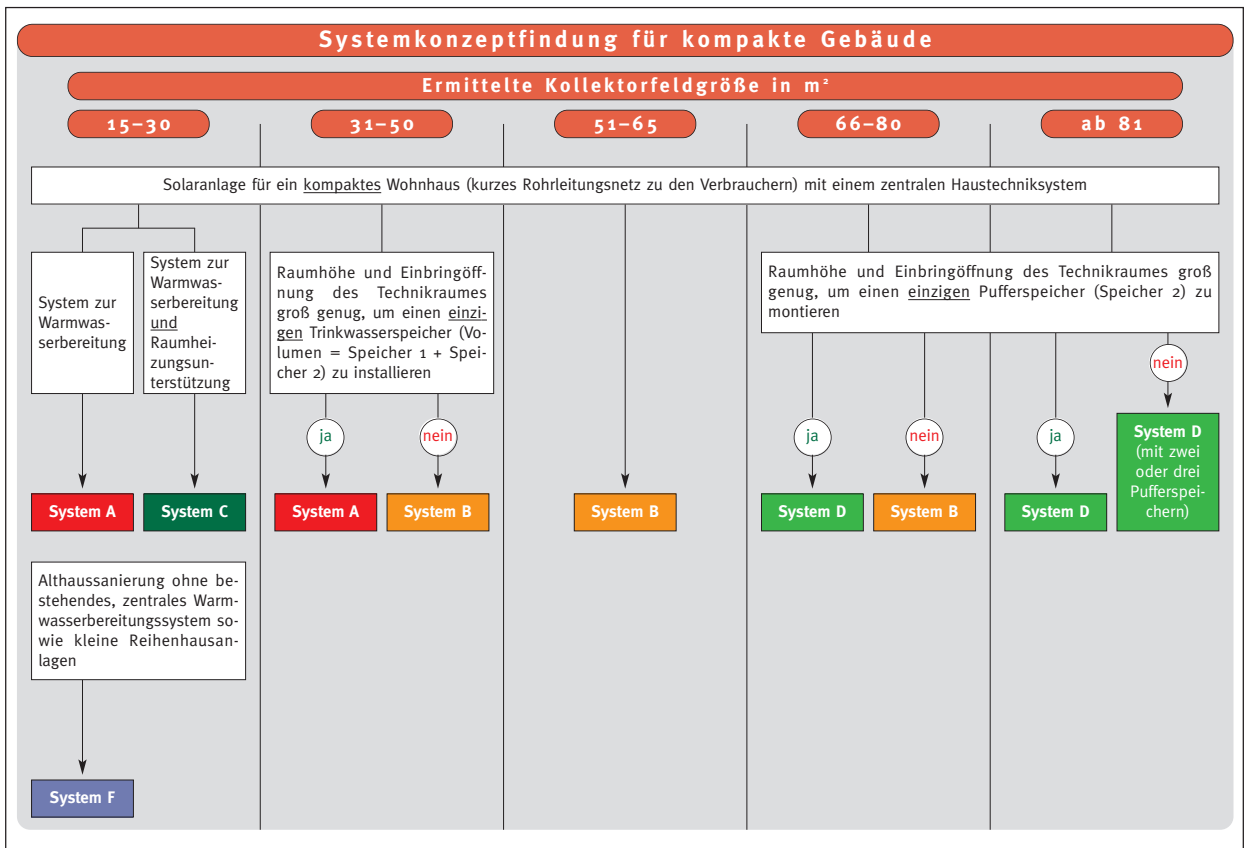
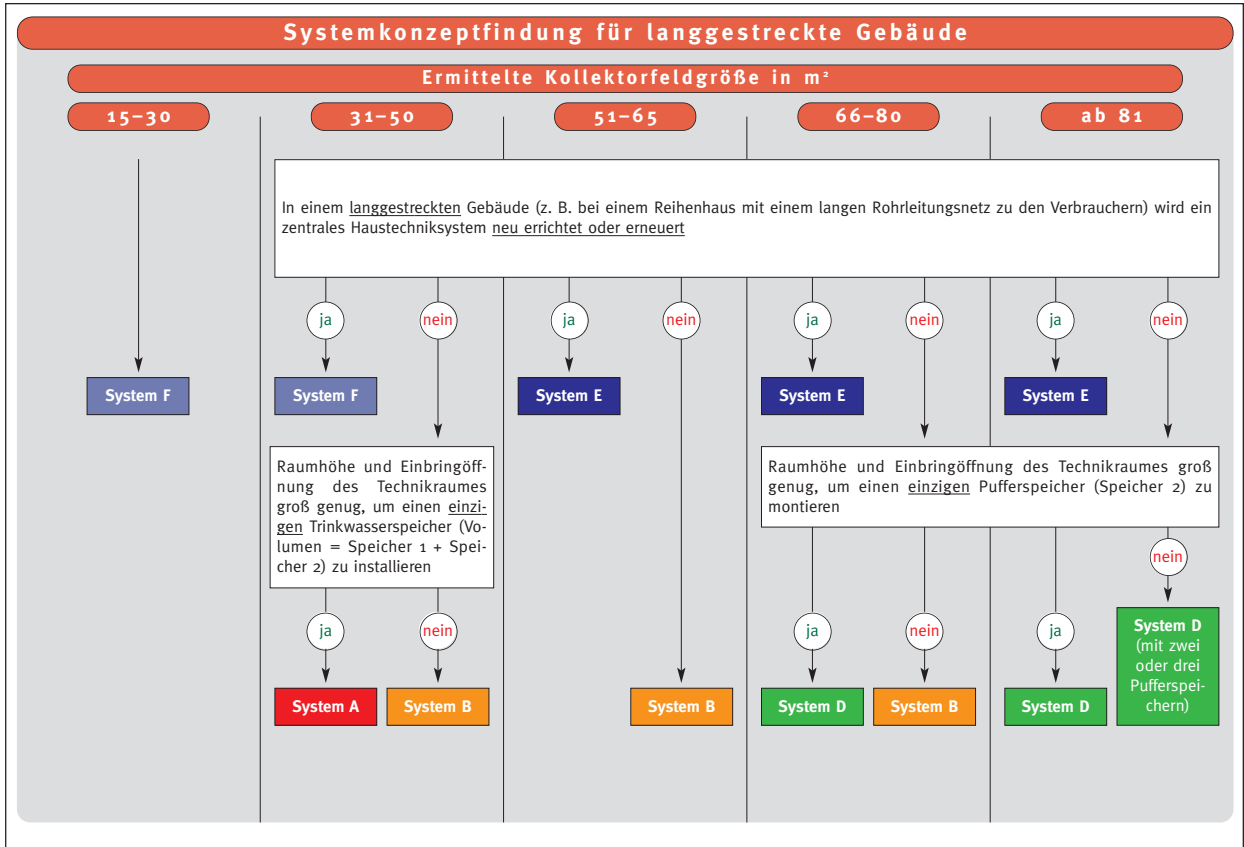


Abb. 3.2.6 Systemkonzeptfindung; Quelle: ASiC



### 3.2.2.1. Vorgehensweise zur Systemkonzeptfindung

- Mit der Kenntnis über die benötigte Kollektorfläche (Aperturfläche) kann in der Abb. 3.2.6 die passende Spalte ausgewählt werden.
- Hat man eine Spalte ausgewählt (z. B. 66–80 m<sup>2</sup>), so folgt man den Pfeilen innerhalb dieser Spalte bzw. den Beschreibungen in den grauen Feldern, bis man am unteren Ende der Spalte den Vorschlag für das passende Systemkonzept gefunden hat. Zwischen den Spalten darf nicht gewechselt werden.
- Da die Gebäudestruktur sowie das bereits vorhandene bzw. geplante Haustechniksystem bei jeder Anlage individuell verschieden sind, müssen auch die vorgeschlagenen Systemkonzepte an die jeweilige Situation angepasst werden. Die Beschreibungen betreffen die Struktur sowie das Rohrleitungsnetz und das Haustechniksystem des Gebäudes. Überschneiden die Beschreibungen mehrere Spalten, so treffen die Beschreibung bzw. Auswahlkriterien auch für diese Spalten zu.

Als Auswahlkriterium für das am besten geeignete Systemkonzept wird ein **zentrales Haustechniksystem** und ein **dezentrales Haustechniksystem** unterschieden.

- Im üblichen Fall, wenn das Bauobjekt eher kompakt und monolithisch ist (Geschoßwohnbau), sollte die Haustechnik für eine Solaranlage zentral organisiert sein: Ein zentraler Heizkessel, in dessen Nähe ein Raum, der sich zur Speicheraufstellung eignet, und eine zentrale Warmwasser(zirkulations)leitung sollten vorhanden oder geplant sein. Falls Einzelwohnungsheizungen im Sanierungsobjekt sind, sollte eine dezentrale Haustechnik im Zuge der Sanierung auf eine zentrale umgerüstet werden.
- Bei einem lang gestreckten Baukörper (Reihenhaus) oder im Dachgeschoßausbau kann die Verwendung von dezentralen Solaranlagen für einzelne Wohneinheiten oder Gruppen sinnvoll sein.
- Prinzipiell sollte die Speicheraufstellung so erfolgen, dass möglichst kurze Wege zu den Verbrauchern erreicht werden.

#### Musterhaus:

6.) Nun können die für den Architekten/Planer interessanten Daten abgeschätzt bzw. berechnet werden sowie das passende Systemkonzept festgelegt wer-

den. Für die Montage des Kollektorfeldes errechnet sich die benötigte Mindestdachfläche zu ca. 126,5 m<sup>2</sup> (110 x 1,15).

7.) Aus Tabelle 3.2.6 (Systemkonzeptfindung) kann nun mit folgenden Werten das passende Systemkonzept gefunden werden.

- Aperturfläche ist größer als 80 m<sup>2</sup>
- Kompaktes Gebäude
- Neubau
- Zentrales Haustechniksystem

Mit einer Aperturfläche größer als 80 m<sup>2</sup> befindet man sich in der rechten Spalte der Systemkonzeptfindung. Da es sich um ein kompaktes Gebäude handelt, wird das Systemkonzept D empfohlen.

Nun sollte die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, das benötigte Speichervolumen (**Speicher 2**) in nur einem Pufferspeicher unterzubringen. Der Architekt sollte daher bereits in der Planungsphase des Technikraumes diese Möglichkeit berücksichtigen. Bei der Musteranlage handelt es sich um einen Neubau, bei dem die Abmaße des Technikraumes noch frei zu planen sind. In der Tabelle 3.2 (Kenndaten typischer Speicher) sind die wichtigsten Abmaße einiger Standardspeicher dargelegt. Demnach käme für den vorliegenden Fall ein Pufferspeicher mit den in unterer Tabelle angeführten Abmaßen zur Anwendung.

#### Zusammenstellung der ermittelten Daten:

- Zur Installation der Solaranlage benötigte Mindestdachfläche: 126,5 m<sup>2</sup> (110 x 1,15)
- Empfohlenes Systemkonzept: System D
- Zu berücksichtigende Abmessungen für den Technikraum und die Einbringung des Pufferspeichers (siehe Seite 23, Tab. 3.2)
  - Pufferspeicherdurchmesser: 1,8 m (mit Isolierung)
  - Kippmaß des Speichers: 3,75 m
  - Leergewicht: 750 kg

8.) Mit der Kenntnis der Kollektorfeldgröße kann nun eine erste Abschätzung über die entstehenden Kosten der thermischen Solaranlage getroffen werden.

Im Diagramm für die durchschnittlichen Systemkosten (siehe Abb. 4.1) werden mit einer Kollektorfeldgröße von 110 m<sup>2</sup> spezifische Systemkosten von ca. 617,72 €/m<sup>2</sup> abgelesen.

Die erste Abschätzung der Kosten für das gesamte System beläuft sich somit auf 67.949,10 €.

Berücksichtigt man die in der Musteranlage möglichen günstigen Voraussetzungen wie:

- Eine Dachintegration der Kollektoren während der Bauphase des Gebäudes und somit entstehende Gutschriften für den Ersatz der Dacheindeckung durch die Kollektoren sowie eine gute Koordination des Kraneinsatzes zu deren Installation.
- Der Technikraum (Speicheraufstellung) sowie der Einbringweg werden bereits bei der Planung so bemessen, dass der Pufferspeicher (6.000 Liter) untergebracht werden kann und somit keine kostspielige Aufteilung des Speichervolumens in zwei Speicher notwendig ist.
- Bei frühzeitiger Einbeziehung der Solarplanung in die Gesamtplanung lassen sich meist auch kurze Leitungswege sowie eine möglichst zusammenhängende, großflächige Kollektorfläche realisieren.

So könnte die Anlage mit spezifischen **Systemkosten** von ca. **508,71 €/m<sup>2</sup>** realisiert werden. Dies entspricht dann Gesamtkosten von ca. **55.958,08 €**. Von diesem Betrag sind nun die Förderungen für Solaranlagen, die in jedem Bundesland in Österreich unterschiedlich sind, abzuziehen.

Adressen bezüglich Förderungen für die unterschiedlichen Bundesländer findet man im Kapitel 4.4.

### 3.2.2.2. Systemkonzeptbeschreibung

In diesem Kapitel findet man die genauere Beschreibung der 6 Systemkonzepte. Es werden deren Prinzip, Vor- und Nachteile, Betriebsweise sowie Besonderheiten bei der Dimensionierung beschrieben. In der Abb. 3.2.7 (*nächste Seite*) wird eine Übersicht der üblichen Systemkonzepte gegeben.

Eine im Rahmen des Projektes durchgeführte Recherche über Hydraulikkonzepte von thermischen Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser erbrachte eine Anzahl an verschiedenen Konzepten. Generell wird unterschieden nach:

#### **Systemgröße**

Die Systemgröße (Kollektorfläche und Speichervolumen) ergibt sich aus dem Verbrauch (Anzahl der zu

versorgenden Wohneinheiten bzw. Anzahl der Personen) und aus dem angestrebten solaren Deckungsanteil.

#### **Art der Energiespeicherung**

Die Energiespeicherung kann entweder mit einem einfachen Stahl- bzw. Pufferspeicher (die Energiespeicherung erfolgt ständig im selben Medium) oder mit einem Trinkwasserspeicher durchgeführt werden (hier erfolgt die Energiespeicherung im Trinkwasser, welches sich ständig erneuert).

#### **Einspeichersysteme – Mehrspeichersysteme**

Als generell vorteilhaft erweisen sich Speicherkonzepte – egal, ob die Ausführung als Trinkwasserspeicher oder Pufferspeicher erfolgt –, bei denen man das Speichervolumen in so wenige Speicher wie möglich aufteilt. Durch das schlechte Volumen-Oberflächenverhältnis ergeben sich höhere Wärmeverluste im Vergleich zu Einspeichersystemen.

Neben dem erhöhten Arbeitsaufwand für die hydraulische Verbindung der einzelnen Speicher, was natürlich gleichzeitig mit Mehrkosten zusammenhängt, bringen die Speicheranschlüsse bei Boilerbatterien (hier wird die Dämmhülle durchbrochen) zusätzliche Wärmeverluste mit sich [10].

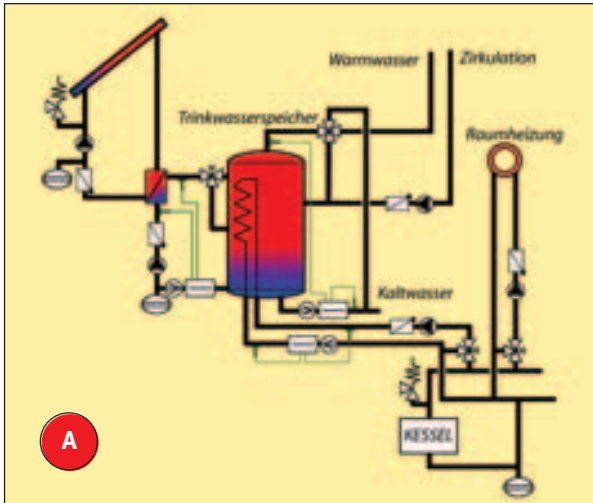
#### **Trink- oder heizungswassergeführte Systeme**

Bei trinkwassergeführten Systemen wird die Solarenergie mit nur einem Wärmetauscher an das in einem oder mehreren Boilern befindliche Trinkwasser übergeben, wobei das Trinkwasser selbst als Speichermedium dient. Bei heizungswassergeführten Systemen wird die Solarenergie zuerst an das in einem oder mehreren Pufferspeichern befindliche Heizungswasser übertragen. Erst dann wird die Energie mit einem zweiten Wärmeüberträger an das Trinkwasser übertragen.

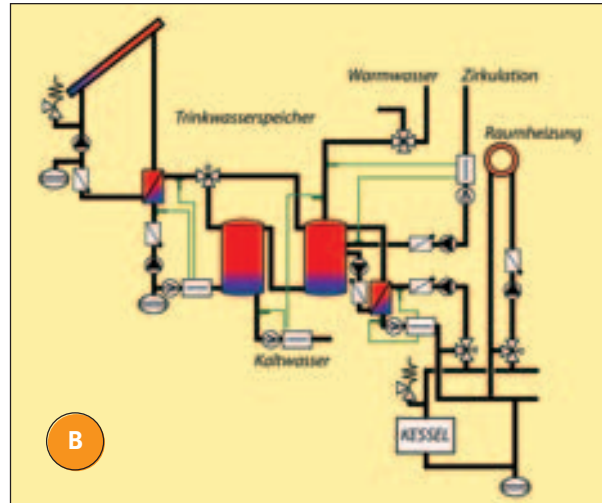
#### **Einbindung der Nachheizung**

Bei der Unterscheidung von Hydraulikkonzepten muss auch die Art der Einbindung der konventionellen Nachheizung berücksichtigt werden.

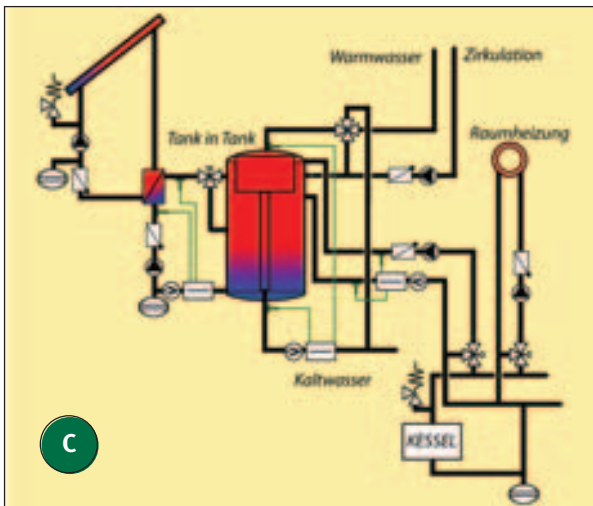
Im Konkreten kann die Nachheizung im Bereitschaftsspeicher, im Energiespeicher oder im Durchflussprinzip erfolgen [10].



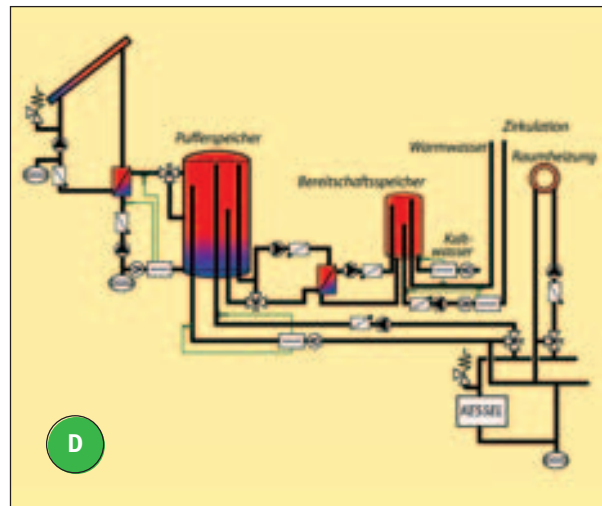
**System A** (zentraler Trinkwasserspeicher)



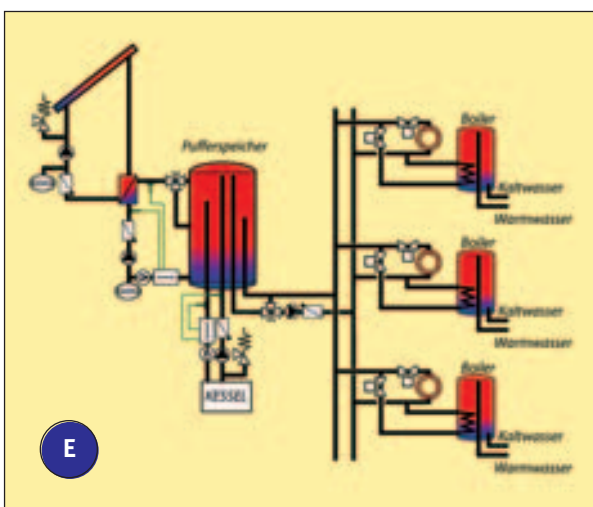
**System B** (Boilerbatteriekonzept)



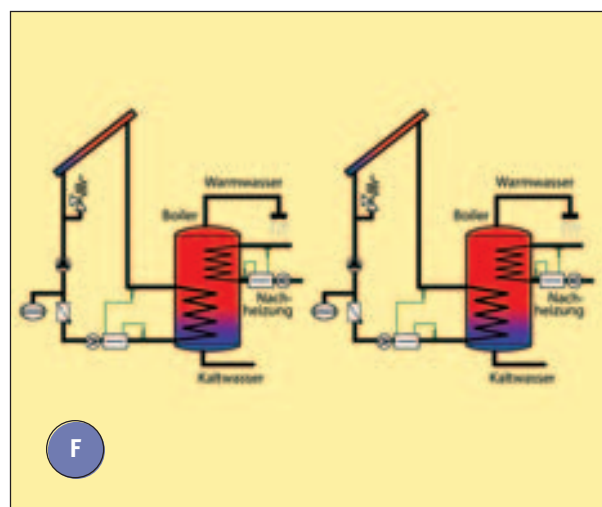
**System C** (zentrales Tank-in-Tank System)



**System D** (zentraler Puffer- und Bereitschaftsspeicher im Ladespeicherprinzip und mit Nachheizung im Pufferspeicher)



**System E** (2-Leiter-Netz mit zentralem Pufferspeicher und dezentraler Brauchwassererwärmung)



**System F** (dezentrales System ohne Pufferspeicher)

## System A

### **Zentraler Trinkwasserspeicher:**

Bei einer kleineren Anzahl zu versorgender Wohneinheiten wird ein größerer Trinkwasserspeicher (Boiler) verwendet, der durch einen externen Wärmetauscher als Wärmeüberträger zwischen Solarkreis und Trinkwasser beladen wird.

Ein Trinkwasserspeicher übernimmt sowohl die Spitzenlastversorgung als auch die Speicherung der solar eingebrachten Wärme. Beladen wird der Trinkwasserspeicher über ein externes Ventil, das über eine entsprechende Regelungstechnik gesteuert wird. Reicht das Strahlungsangebot der Sonne nicht aus, um das Wasser auf Solltemperatur zu bringen, wird der Bereitschaftsteil mit der konventionellen Heizung auf die nötige Bereitschaftstemperatur nacherwärmt. Diese Nachheizung erfolgt in Abhängigkeit von vorhandenem Bereitschaftsvolumen, verfügbarer Kesselleistung sowie des Spitzenbedarfs entweder mit innenliegenden oder mit externen Wärmetauschern. Werden größere Kollektoranlagen installiert, sind Hydraulikkonzepte mit Pufferspeicher, die Heizungswasser als Energiespeichermedium verwenden, vorzuziehen.

### **Prinzip:**

Trinkwassergeführtes Einspeichersystem.

### **Anwendung:**

Solarunterstützte Brauchwassererwärmung.

### **Betriebsart des Kollektorkreises:**

Üblicherweise High Flow, aber vorzugsweise Matched Flow. Wird der Kollektorkreis als Matched Flow betrieben, ist eine Zwei-Kreis-Temperaturdifferenzsteuerung mit Drehzahlregelung einzubauen.

### **Einsatzgebiet:**

Normalerweise kleine Anlagen unter 30 m<sup>2</sup>.

### **Vorteile:**

- Das System ist einfach, kompakt und kostengünstig in eine bestehende Heiztechnik einzubinden.

### **Nachteile:**

- Die Warmwasserverteilnetztemperatur muss hoch gehalten werden.
- Eventuelle Probleme wegen der Verkalkung des externen Wärmetauschers bei Temperaturen über 60 °C; d. h., die Vorlauftemperatur des Solarkreises muss niedrig gehalten werden.

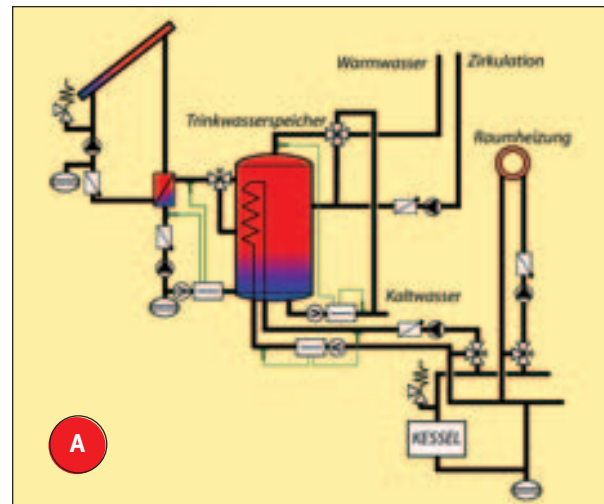


Abb. 3.2.8 Hydrauliksystem mit einem zentralen Trinkwasserspeicher

Da Trinkwasserspeicher allerdings nur bis zu bestimmten Größen hergestellt werden, müssen bei größeren Solaranlagen mehrere Speicher entweder seriell oder parallel geschaltet werden (System B).

### **Anmerkung:**

Da bei diesem System die Nachheizung im Trinkwasserspeicher erfolgt, ist das Gesamtspeichervolumen um einen „Bereitschaftsteil“ größer zu dimensionieren. Das Gesamtvolumen des Trinkwasserspeichers errechnet sich zu:

$$V_{\text{gesamt}} = \text{Speicher 1} + \text{Speicher 2}$$

... wobei das nachgeheizte Volumen im Trinkwasserspeicher dem Speichervolumen des Speichers 1 entspricht.

## System B

### **Boilerbatteriekonzept:**

Kann das erforderliche Speichervolumen nicht in Form eines Einzelspeichers untergebracht werden, so können auch mehrere Trinkwasserspeicher zum Einsatz kommen. Die nächste Abbildung zeigt ein solches „Boilerbatteriekonzept“ mit Einbindung der Nachheizung über einen externen Wärmetauscher im Bereitschaftsteil zur gesicherten Spitzenlastabdeckung.

### **Prinzip:**

Trinkwassergeführtes Mehrspeichersystem.

### **Anwendung:**

Solarunterstützte Brauchwassererwärmung.



**Betriebsart des Kollektorkreises:**

Üblicherweise High Flow, aber vorzugsweise Matched Flow. Wird der Kollektorkreis als Matched Flow betrieben, ist eine Zwei-Kreis-Temperaturdifferenzsteuerung mit Drehzahlregelung einzubauen.

**Einsatzgebiet:**

Für Anlagen über 30 m<sup>2</sup> Kollektorfläche und bei denen zu wenig Platz für die Aufstellung eines einzelnen Speichers vorhanden ist. Wenn nicht die Notwendigkeit besteht, unterschiedliche Verbraucher mit stark voneinander abweichenden Temperaturniveaus mit Solarenergie zu versorgen, sollte man bestrebt sein, das Speichervolumen in einem einzigen Behälter zusammenzufassen. Eine Aufteilung bis auf maximal vier Speicher kann aber toleriert werden.

Bei liegenden Speichern ist eine Aufteilung mit Serienschaltung sogar zweckmäßig, da nur dann gesichert ist, dass für die Speisung des Kollektoreinlaufs ein ausreichend kaltes Volumen zur Verfügung steht. Bei einer größeren Zahl steigen die Wärmeverluste wegen des ungünstigen Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen stark an. Zudem werden die Kosten für die Speicher selbst und auch für ihre Verrohrung untereinander erheblich höher. Die Speicher können prinzipiell seriell oder parallel verschaltet werden. Nach neuesten Messungen stellt sich bei einer Parallelschaltung der Speicher keine gleichmäßige Temperatschichtung ein. Aus diesem Grund wäre eine serielle Verschaltung vorzuziehen.

Beide Speicherschaltungen haben jedoch Vor- und Nachteile, die es im Einzelfall abzuwägen gilt.

**Vorteile:**

- Klassisches Standardsystem in der Haustechnik.
- Das System ist einfach in eine bestehende Heiztechnik einzubinden, vorausgesetzt, der Platzbedarf ist vorhanden.
- Es kann eine Temperatschichtung in den Speichern erreicht werden.
- Im Vergleich zu einem heizungswassergeführten Mehrspeichersystem hat man hier geringere Temperaturverluste, da nur ein Wärmetauschvorgang nötig ist.
- Einfache Nachrüstung ist möglich.

**Nachteile:**

- Speicherkosten sind höher, weil Boiler frischwasserfest (korrosionsbeständig) sein müssen.
- Eventuelle Probleme wegen der Verkalkung des externen Wärmetauschers bei Temperaturen über

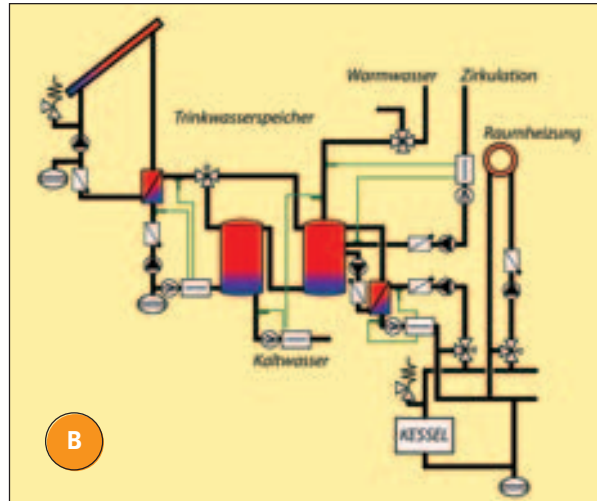


Abb. 3.2.9 zwei zentrale Trinkwasserspeicher und Einbindung der Nachheizung über einen externen Wärmetauscher

60 °C; d. h., die Vorlauftemperatur des Solarkreises muss niedrig gehalten werden.

- Aufwändiges Speichermanagement über Motorventile notwendig [11].
- Teure Einbauten, da große Rohrdimensionen im High Flow Betrieb.
- Thermische Desinfektion ist aufwändig, da das ganze Volumen durchwärmt werden muss. Die Gesamtspeicherverluste des Systems sind höher (dementsprechend muss hier auf eine gute Speicherdämmung besonders geachtet werden).

**Anmerkungen:**

Da bei diesem System die Nachheizung in den Trinkwasserspeicher erfolgt, ist das Gesamtspeichervolumen um einen „Bereitschaftsteil“ größer zu dimensionieren. Das Gesamtvolumen des Pufferspeichers errechnet sich zu:

$$V_{\text{gesamt}} = \text{Speicher 1} + \text{Speicher 2}$$

... wobei das nachgeheizte Volumen im Trinkwasserspeicher dem Speichervolumen des Speichers 1 entspricht.

**Vor- und Nachteile von Hydraulikkonzepten mit Trinkwasser als Speichermedium:****Vorteile:**

Durch die Verwendung eines Brauchwasserspeichers als Energiespeicher entfällt die Grädigkeit eines Wärmetauschers im Vergleich zu Systemen mit Pufferspeichern. Damit sinkt die mittlere Kollektortemperatur um eben diese Grädigkeit, was zu etwas höheren Solarerträgen führt.

Weiters können bei kleinen Anlagengrößen geringere Systemkosten als bei Konzepten mit Pufferspeichern erreicht werden. Unter „Grädigkeit“ versteht man den Temperaturverlust infolge des Wärmeaustausches bei externen Wärmetauschern, d. h., ca. 5 °C Temperaturunterschied zwischen der einströmenden heißen Flüssigkeit und der ausströmenden, erwärmten Flüssigkeit.

**Nachteile:**

Brauchwasserspeicher sind in der Regel aufgrund der Innenbeschichtung oder der Verwendung von Edelstahl wesentlich kostenintensiver als Pufferspeicher aus konventionellem, unbeschichtetem Stahl. Dadurch wird der Systempreis für das Solarsystem bei größeren Anlagen wesentlich erhöht. Werden, als Solar- oder Nachheizwärmetauscher, Plattentaucher verwendet, kann das bei Temperaturen über 60 °C zum Verkalken derselben führen, was zu Ertragsminderungen durch den reduzierten Durchfluss bis hin zum vollständigen Verschluss des Wärmetauschers führen kann. Weiters bedeuten technische Probleme dieser Art immer einen höheren Wartungs- und Erneuerungsaufwand. Das wiederum reduziert die Rentabilität der Anlage erheblich.

Erfahrungen mit Entkalkungsanlagen bei hohen Temperaturen sind rar. Zusätzlich bringen große Trinkwasserspeicher spezielle Anforderungen an die Wasserhygiene mit sich. Hält man sich bei der Auslegung und beim Betrieb der Warmwasserbereitungsanlage an die „Deutsche Legionellenverordnung“ (Deutscher Fachverband Solarenergie, 1994), muss zusätzlich zum Bereitschaftsvolumen, das ständig auf 60 °C gehalten werden muss, auch der restliche Teil des Trinkwasserspeichers einmal täglich auf 60 °C aufgeheizt werden. Diese Forderung wirkt sich negativ auf die Leistungsfähigkeit der Solaranlage aus, da durch diese so genannte Legionellenschaltung nur mehr begrenzt „kaltes“ Temperaturniveau für die Solaranlage zur Verfügung steht [12].

**System C**

**Zentrales Tank-in-Tank System:**

Im Vergleich zu den vorher behandelten Konzepten erfolgt hier die Energiespeicherung mittels Heizungswasser in einem konventionellen Stahlspeicher. Bei Systemen mit Heizungswasser als Energiespeichermedium erfolgt die Brauchwassererwärmung zumeist über externe Wärmetauscher in Verbindung mit kleinen Trinkwasserspeichern als Bereitschaftsspeicher.

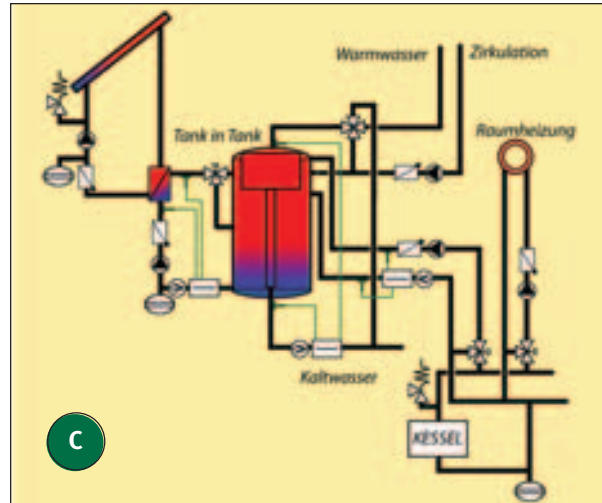


Abb. 3.2.10 Einspeichersystem mit Heizungswasser als Speichermedium

Eine Möglichkeit der Brauchwassererwärmung stellt bei kleinen Systemen (bis etwa 30 m<sup>2</sup> Kollektorfläche) ein im Energiespeicher integrierter Brauchwasserspeicher dar. Dieses aus der Schweiz stammende Hydraulikkonzept kann als Einspeichersystem realisiert werden, was geringere Speicherverluste mit sich bringt.

**Prinzip:**

Heizungswassergeführtes Einspeichersystem.

**Anwendung:**

Solare Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung.

**Betriebsart des Kollektorkreises:**

High Flow.

**Einsatzgebiet:**

Für Anlagen unter 30 m<sup>2</sup> Kollektorfläche, bei denen eine solare Heizungsunterstützung erwünscht ist.

**Vorteile:**

- Durch den integrierten Behälter entfallen der Wärmetauscher sowie die Pumpenkreise zwischen Pufferspeicher und Brauchwasserspeicher.
- Damit verbunden reduzieren sich die Montagezeiten.
- Wird der integrierte Brauchwasserspeicher mittels einer „Vorwärmstrecke“ bis in den unteren Teil des Pufferspeichers gezogen, kann eine gute Auskühlung des Puffermediums erreicht werden.
- Platzsparend.

- Einfach in bestehende Haustechnik zu montieren.
- Ein weiterer Vorteil liegt in der Einfachheit des Systems, da keine Drehzahlregelung notwendig ist (sehr wenige Störquellen).

#### Nachteile:

- Als nachteilig ist die Problematik der Versorgungssicherheit bei Spitzenlast zu betrachten.
- Muss ein größerer interner Brauchwasserbehälter als üblich gewählt werden, steigen die Kosten des Systems drastisch an.
- Als weiterer Nachteil kann ein wesentlich größeres bei zu geringen solaren Erträgen von der konventionellen Heizung auf Temperatur gehaltenes Pufferspeichervolumen als beim vergleichbaren System mit Bereitschaftsspeicher gesehen werden. Dieses vergrößerte Nachheizvolumen wird für die Abdeckung von Spitzenlasten benötigt.

Beim Konzept mit dem integrierten Brauchwasserspeicher erfolgt der Wärmeübergang zwischen stehendem Pufferspeichermedium und dem im integrierten Boiler enthaltenen Trinkwasser. Da dieser Wärmeübergang in der Regel sehr schlecht ist, muss der Inhalt der Brauchwasserspeicher in einem entsprechenden Verhältnis zur Boileroberfläche gewählt werden, um den Spitzenbedarf abzudecken. Die Möglichkeiten zur Spitzenabdeckung liegen einerseits in der Bevorratung einer ausreichenden Menge warmen Trinkwassers, was sehr große Volumina bedeutet, und andererseits in einer großen Behälteroberfläche, um möglichst viel Medium im Durchflussprinzip zu bereiten. Generell bedeuten diese integrierten Edelstahlbehälter bei einer entsprechenden Versorgungssicherheit aber wesentlich höhere Investitionskosten als ein vergleichbares Konzept mit Bereitschaftsspeicher.

### System D

#### Zentraler Puffer- und Bereitschaftsspeicher im Ladespeicherprinzip und mit Nachheizung im Pufferspeicher:

Die andere Möglichkeit, die Nachheizung in das System einzubinden, wird in der nächsten Abbildung dargestellt. Hier wird der kostengünstige Pufferspeicher um einen kleinen Bereitschaftsteil größer dimensioniert, welcher von der Nachheizung im Taktbetrieb aufgewärmt wird. Durch Vermischungen im Behälter (Umwälzungen, Wärmeleitung über Medium und Stahlmantel etc.) kann es hier zwar zu geringen Verschleppungen von Nachheizenergie in für die Solaranlage reservierte Bereiche kommen. Die Vorteile der

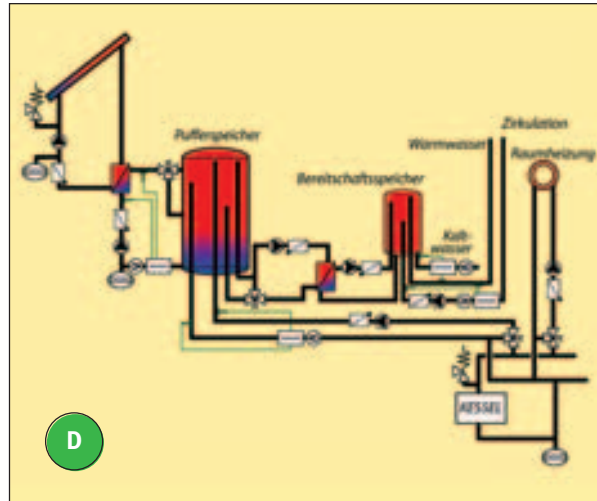


Abb. 3.2.11 zentraler Puffer- und Bereitschaftsspeicher im Ladespeicherprinzip und mit Nachheizung im Pufferspeicher

geringeren Kosten aufgrund der direkten Einbindung der Nachheizung wiegen diese energetischen Nachteile aber in den meisten Fällen auf.

Wird zur Raumheizung ein nicht leistungsgeregeltes System (z. B. Biomassekessel) verwendet, für das ja meist ein Pufferspeicher benötigt wird, kommt eigentlich nur eine solare Warmwasserbereitung mit Pufferspeicher in Frage.

#### Prinzip:

Heizungswassergeführtes Mehrspeichersystem.

#### Anwendung:

Solare Brauchwassererwärmung.

#### Betriebsart des Kollektorkreises:

Üblicherweise Low Flow, aber vorzugsweise Matched Flow. Wird der Kollektorkreis als Matched Flow betrieben, ist eine Zwei-Kreis-Temperaturdifferenzsteuerung mit Drehzahlregelung einzubauen.

#### Einsatzgebiet:

Für Anlagengrößen ab 66 m<sup>2</sup> Kollektorfläche geeignet.

#### Vorteile:

- Ab einer Kollektorfläche von ca. 66 m<sup>2</sup> ist dieses System meist kostengünstiger als ein System mit mehreren Trinkwasserspeichern.
- Ein Vorteil gegenüber den trinkwassergeführten Systemen ist die Ausnutzung des Speichervolumens (bis über 90 °C erwärmbar).



- Niedere Speicherkosten, da der Pufferspeicher kein Trinkwasser enthält.
- Speichermanagement über Schichtladelanzen möglich, dadurch keine mechanischen Verschleißteile.
- Thermische Desinfektion nur im Bereitschaftsspeicher nötig [11].

#### Nachteile:

- Eine Wärmetauscherstufe mehr als bei trinkwassergeführten Systemen, was einen Temperaturverlust bei der Beladung von etwa 5 °C bewirkt.
- Der Installationsaufwand ist bei diesem Systemtyp im Vergleich zu einem zentralen System mit Trinkwasserspeicher etwas größer, da zwei Wärmetauscher und zusätzliche Umwälzpumpen erforderlich sind. Dennoch sind bei größeren Anlagen die entstehenden Kosten wesentlich geringer.
- Schwer nachrüstbar.

Auch hier kann das Speichervolumen (falls aus räumlichen Gegebenheiten nicht anders möglich) in mehrere Pufferspeicher aufgeteilt werden. Die Aufteilung auf zu viele kleine Speicher sollte aus den oben genannten Gründen auf jeden Fall vermieden werden. Bei beengten räumlichen Verhältnissen, besonders der Einbringwege (Türen, Treppen, Kippmaß), sollte geprüft werden, ob anstelle von mehreren kleinen Pufferspeichern ein großer kellergeschweißter Speicher installiert werden kann.

Ein derartiger Speicher muss nicht teurer sein als eine Vielzahl von kleinen Einzelspeichern. Den nur eventuell höheren Kosten des kellergeschweißten Speichers stehen Einsparungen an Verrohrung und eventuellen Ventilen mit Regelung sowie reduzierte Wärmeverluste gegenüber.

#### Anmerkungen:

Das vom Kessel nachgeheizte Volumen sollte rund 20 % des ermittelten Pufferspeichervolumens (Speicher 2) betragen, 30 % sollten keinesfalls überschritten werden. Das freie Speichervolumen, das nicht ständig auf Bereitschaft gehalten wird, sollte dem Speichervolumen „Speicher 2“ (siehe Dimensionierungsdiagramm) entsprechen.

Das Gesamtvolumen des Pufferspeichers errechnet sich zu:

$$V_{\text{Puffer,gesamt}} = (\text{Speicher 2}) + (0,2 \times \text{Speicher 2})$$

Das Bereitschaftsspeichervolumen entspricht dem Volumen des Speichers 1.

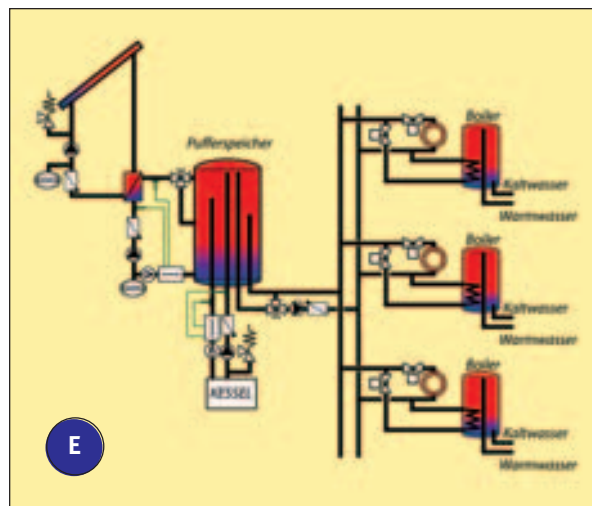


Abb. 3.2.12 Leiter-Netz mit zentralem Pufferspeicher und dezentraler Brauchwassererwärmung

#### Betriebsführung:

Der Kollektorkreisstrom sollte bei diesem System nicht allzu klein sein, da das System relativ schnell zur Überhitzung neigt. Sinnvolle Werte liegen zwischen 15 l/(m<sup>2</sup>h) und 20 l/(m<sup>2</sup>h) [7].

#### System E

##### 2-Leiter-Netz mit zentralem Pufferspeicher und dezentraler Brauchwassererwärmung:

Heizungswassergeführte zentrale Pufferspeichersysteme mit dezentralen Brauchwasserspeichern können überall dort sinnvoll eingesetzt werden, wo geringe „Energieabnahmedichten“ bezogen auf die Länge des Leitungsnetzes (z. B. Reihenhäuser) vorherrschen. Hier müsste ohne dezentrale Speicher in den Sommermonaten das gesamte Verteilnetz für die Warmwasserversorgung auf Temperatur gehalten werden, was zu beträchtlichen Netzverlusten führen würde [10].

#### Prinzip:

Heizungswassergeführtes Mehrspeichersystem.

#### Anwendung:

Solarunterstützte Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung.

#### Betriebsart des Kollektorkreises:

Üblicherweise Low Flow, aber vorzugsweise Matched Flow.

Wird der Kollektorkreis als Matched Flow betrieben, ist eine Zwei-Kreis-Temperaturdifferenzsteuerung mit Drehzahlregelung einzubauen.

**Einsatzgebiet:**

Für Anlagengrößen über 50 m<sup>2</sup> Kollektorfläche mit teilsolarer Raumheizung bei Niedertemperaturbetrieb.

**Vorteile:**

- Geringste Zirkulationsverluste.
- Geringerer Installationsaufwand im Neubau.
- Ausbaufähig.
- Effizientes Gesamtsystem mit niedrigen Leitungsverlusten.
- Thermische Desinfektion nur im Bereitschaftsspeicher nötig.
- Einfache Energiezählung mit einem Wärmemengenzähler pro Wohnung.
- Ein Vorteil gegenüber den trinkwassergeführten Systemen ist die Ausnutzung des Speichervolumens (bis über 90 °C erwärmbare).

**Nachteile:**

- Gesamtspeicherkosten durch dezentrale Boiler in den Wohnungen höher.
- Aufwändiges Speichermanagement über Motorventile notwendig.

**Anmerkungen:**

Da bei diesem System die Nachheizung im Pufferspeicher erfolgt, ist dieser um einen „Bereitschaftsteil“ größer zu dimensionieren. Das Gesamtvolumen des Pufferspeichers errechnet sich zu:

$$V_{\text{gesamt}} = \text{Speicher 1} + \text{Speicher 2}$$

... wobei das nachgeheizte Volumen im Pufferspeicher dem Speichervolumen des Speichers 1 entspricht.

Die Boiler in den jeweiligen Wohnungen sind nach den Richtlinien für Warmwasserspeicher zu dimensionieren.

**Vor- und Nachteile von Hydraulikkonzepten mit Heizungswasser als Speichermedium:****Vorteile:**

Der größte Vorteil liegt in den geringeren Kosten für Pufferspeichersysteme bei mittleren bis großen Anlagen im Vergleich zu Brauchwasserspeichern. Dies führt zu einer Reduktion des Systempreises. Da das Medium im Pufferspeicher nicht ausgetauscht wird, gibt es kein Verkalkungsproblem und der Energiespeicher kann somit nahe an die Siedetemperatur erwärmt werden, was einen wesentlich besseren Speichernutzungsgrad bedeutet. Bei vergleichbaren

Brauchwasserspeicherkonzepten müsste, um gleiche solare Deckungsanteile zu erhalten, das Speichervolumen durch den eingeschränkten Nutzungsbereich entsprechend vergrößert werden.

Aufgrund des wesentlich kleineren Trinkwasserspeichers (Bereitschaftsspeicher) ist ein der deutschen Legionellenverordnung entsprechender Betrieb einfach und ohne nennenswerte Ertragseinbußen der Solaranlage zu realisieren. Wird eine solche Anlage in ein bestehendes, zentrales Warmwasserbereitungssystem nachträglich integriert, dann kann der vorhandene Brauchwasserspeicher meist als Bereitschaftsspeicher weiterverwendet werden.

**Nachteile:**

Durch den erforderlichen zweiten Wärmetauscher steigt die erforderliche Kollektortemperatur um die Grädigkeit desselben. Dies führt zu geringfügig geringeren solaren Erträgen. Der Installationsaufwand ist bei diesem Systemtyp im Vergleich zu einem zentralen System mit Brauchwasserspeicher etwas größer, da zwei Wärmetauscher und zusätzliche Umwälzpumpen erforderlich sind. Dennoch sind bei mittleren bis großen Anlagen die Kosten geringer [10].

**System F****Dezentrales System ohne Pufferspeicher:**

Bei diesem Konzept wird jeder Wohneinheit eine eigene, komplette Solaranlage zugeteilt. In jeder Wohnung steht ein Warmwasserspeicher, welcher durch eine eigene Steigleitung zum Kollektorfeld mit Sonnenenergie versorgt wird. Die Wärme wird über einen internen Wärmetauscher an das Brauchwasser übergeben. Im Falle zu geringer Sonneneinstrahlung wird der Speicher meist elektrisch nachgeheizt.

**Prinzip:**

Trinkwassergeführtes Einspeichersystem.

**Anwendung:**

Solarunterstützte Brauchwassererwärmung.

**Betriebsart des Kollektorkreises:**

High Flow.

**Einsatzgebiet:**

Für Anlagengrößen unter 50 m<sup>2</sup> Gesamtkollektorfläche, bei Althausanierung ohne bestehendem, zentralem Warmwasserbereitungssystem, bei Dachgeschoßausbauten sowie bei kleinen Reihenhausanlagen.

### **Vorteile:**

- Klassisches Standardsystem für Solaranlagen (einfacher und übersichtlicher Aufbau).
- Einrichtungen für die Wärmeverbrauchsmessung entfallen, da jedem Verbraucher sein eigenes, komplettes System zugeteilt ist. Der Verbraucher kann dadurch sehr gut den Nutzen der Solaranlage kontrollieren und leicht den Einfluss seines persönlichen Warmwasserverbrauchs auf die Leistung der Solaranlage erkennen, wodurch sein Benutzerverhalten eventuell positiv beeinflusst wird.
- Dadurch, dass die Warmwasserleitungen zu den Entnahmestellen innerhalb der Wohnung sehr kurz sind, wird bei dieser Anlage keine Zirkulationsleitung benötigt.
- Thermische Desinfektion ist im Bereitschaftsspeicher nicht nötig, wenn dieser nicht größer als 500 Liter ist.

### **Nachteile:**

- Höherer Installations- und Platzaufwand, der dadurch gegeben ist, dass in jeder Wohnung eine eigene Kollektorz- und Kollektorrückleitung sowie sämtliche Komponenten der Solaranlage, wie Regelung, Ausdehnungsgefäß, Wärmetauscher, Umwälzpumpe und E-Patrone, installiert werden müssen. Dadurch ist dieser Anlagentyp auch mit höheren Anschaffungskosten verbunden.
- Die kleineren Umwälzpumpen besitzen einen schlechteren Wirkungsgrad. Dadurch ist der Strombedarf für Zusatzenergie in Summe im Vergleich zu einem zentralen System größer.
- Die zahlreichen kleinen Warmwasserspeicher weisen im Vergleich zu einem großen, zentral situierten Speicher auch ein ungünstigeres Verhältnis von Oberfläche zu Volumen auf, wodurch die Speicherverluste zusammen auch größer werden.
- Speicherkosten durch dezentrale Boiler in den Wohnungen höher.
- Ein weiterer Nachteil ist jener, dass das Kollektorfeld schlechter ausgenutzt wird. Im Sommer stehen die Kollektoren der Wohnungen, in welchen tagsüber wenig Bedarf an Warmwasser herrscht, still, während bei Verbrauchern mit hohem Warmwasserbedarf eventuell nachgeheizt werden muss.

### **Anmerkung:**

Die Speicher- und Systemkomponentendimensionierung erfolgt wie bei Kleinanlagen für Einfamilienhäuser.

Die Nachheizung erfolgt meist elektrisch (E-Patrone).

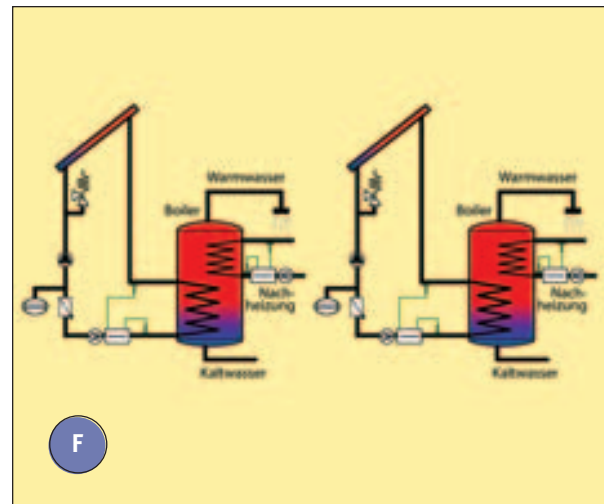


Abb. 3.2.13 dezentrales System ohne Pufferspeicher

## **3.2.3. Ergänzungen zum Dimensionierungsdiagramm**

### **3.2.3.1. Der Warmwasserbedarf**

#### **Die Warmwassertemperatur :**

Generell soll, um einerseits die Wärmeverluste möglichst gering zu halten und um andererseits Verkalzung bzw. Korrosion zu vermeiden, die angebotene Warmwassertemperatur von 60 °C nicht überschritten werden. Die Mindesttemperatur an der Zapfstelle sollte aus der Sicht der Nutzbarkeit 45 °C nicht unterschreiten. Zusätzlich muss aber auch auf hygienische Anforderungen Rücksicht genommen werden.

#### **Legionellenproblematik:**

Legionellen sind schwer nachweisbare Bakterien und natürlicher Bestandteil des Süßwassers. Sie können neben der Legionärskrankheit, die oft nicht sofort erkannt wird und mit tödlicher Lungenentzündung enden kann, auch das harmlose Pontiac-Fieber auslösen. Die Infizierung von gesunden Menschen ist sehr unwahrscheinlich und ist nur durch das Einatmen von kleinen Tröpfchen legionellenbelasteten Wassers möglich.

Diese Krankheit tritt sehr selten und vornehmlich bei großen Klimaanlageanlagen und Kühltürmen auf. Das Trinken dieses Wassers dagegen ist ungefährlich. Nach einer Richtlinie des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs aus dem Jahr 1993 (DVGW, 1994) sollten

Brauchwasserspeicher über 400 Liter Volumen bzw. über 3 Liter Wasserinhalt in den Trinkwasserrohren zwischen Wassererwärmer und Entnahmestelle einmal täglich über 60 °C aufgewärmt werden. Das Bereitschaftsvolumen sollte stets auf einer Temperatur von 60 °C gehalten werden. Optimale Vermehrungsbedingungen hat das Bakterium zwischen 25 °C und 50 °C. Über 55 °C wird es schnell abgetötet.

Wird im System eine Zirkulationsleitung verwendet, so darf diese nicht länger als 8 Stunden täglich unterbrochen werden (Näheres zu Zirkulationsleitungen siehe Kap. 5.8.). Für Österreich ist diese Richtlinie derzeit nicht zwingend vorgeschrieben, jede Anlage sollte aber so geplant bzw. installiert werden, dass ein Betrieb nach der DVGW-Richtlinie möglich ist.

### **Der Warmwasserbedarf als Auslegungskriterium einer Solaranlage:**

Die Auslegung einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung erfolgt nach dem durchschnittlichen Warmwassertagesbedarf im Sommerhalbjahr. Da der theoretische Bedarf und der tatsächliche Verbrauch eines Objektes sich beträchtlich unterscheiden können, ist bei einem existierenden Gebäude eine Messung des Verbrauchs unbedingt zu empfehlen.

#### **Warmwasserbedarfsermittlung:**

- Bedarfsermittlung bei bestehenden Gebäuden:

Es sollte nicht auf Daten aus Normenwerken für die konventionelle Technik zurückgegriffen werden, da diesen die Forderung nach einer hohen Sicherheit bei der Energieversorgung zu Grunde liegt. Im Bereich der Solartechnik soll jedoch eine Überdimensionierung des Solarsystems auch in Schwachlastzeiten im Sommer (Ferienzeiten mit reduziertem Verbrauch) möglichst vermieden werden.

- Messung des Warmwasserverbrauchs:

In **bestehenden Gebäuden** kann eine Verbrauchsmessung mit verhältnismäßig wenig Aufwand durch den Einbau von Volumenstromzählern oder Wasseruhren durchgeführt werden. Sind keine größeren Umbauten oder Nutzungsänderungen zu erwarten, erhält man so normalerweise sichere Auslegungswerte. Voraussetzung ist, dass man den Verbrauch im sommerlichen Schwachlastzeitraum misst, was aus zeitlichen

Gründen jedoch nicht immer möglich ist. Zumeist müssen die Messwerte aus beliebigen Zeiträumen auf die Sommerperiode umgerechnet werden. Wird z. B. der Warmwasserverbrauch im Winter gemessen, so ist der Messwert um ca. 40 % zu reduzieren, will man den Auslegungsverbrauch für die Sommerurlaubsperiode erhalten. Ein im Frühjahr oder Herbst ermittelter Verbrauch sollte um ca. 20 % vermindert werden. Ein typisches Verbrauchsprofil ist in Abb. 3.2.14 dargestellt.

Abbildung 3.2.15 zeigt den Warmwasserverbrauch in Liter bei 60 °C an den einzelnen Tagen einer beliebigen Woche des Jahres eines Mehrfamilienhauses mit ca. 100 Personen im allgemeinen Wohnungsbau (Standard).

Bevor aber eine Messung des Warmwasserverbrauchs durchgeführt wird, ist das Warmwassersystem auf eventuell mögliche Wassersparmaßnahmen zu prüfen.

- Was wird gemessen:

Für die Bedarfsermittlung ist es nicht nur wichtig, wie viel Warmwasser gezapft wird, sondern auch bei welcher Temperatur. Entscheidend ist die Energiemenge – nicht allein das Volumen, das entnommen wird.

Es sollte parallel zu der Verbrauchsmessung immer auch die Anzahl der von der Warmwasserbereitungsanlage versorgten Personen erfasst werden. Somit kann der Warmwasserbedarf pro Person ermittelt werden und damit der Einfluss einer eventuellen zukünftigen Belegschaftsschwankung berücksichtigt werden.

- Messzeitraum:

Prinzipiell gilt, dass jede Messung, und sei sie noch so kurz, nützliche Anhaltspunkte liefert. Im Idealfall sollte die Messperiode aber mindestens 4–6 Wochen dauern.

- Zeitpunkt Datenaus- oder Datenablesung:

Erfolgt die Datenerfassung mit Hilfe eines einfachen Zählwerkes oder eines Wärmemengenzählers, so muss zur Ermittlung von Tagesdaten die Datenaus- bzw. -ablesung einmal täglich vorgenommen werden, sofern keine Speicherung der Daten vorgenommen wird. Der günstigste Zeitpunkt zum Auslesen liegt zwischen dem späten Vormittag und dem Nachmittag. Der Zählstand sollte stets zur gleichen Tageszeit erfasst werden. Falls keine Möglichkeit besteht,



Abb. 3.2.14 typisches Profil des Warmwasserjahresverbrauchs in Liter pro Person und Tag bei 60 °C eines Mehrfamilienhauses; Grafik: ASiC; Quelle: [8]

Tageswerte zu bestimmen, stellen auch Wochen- oder Monatswerte eine geeignete Basis für die Bedarfsermittlung dar.

- Installation der Messgeräte zur Warmwasserermittlung:

#### Positionen der Durchflusszähler:

Bei der Erfassung des Warmwasserverbrauchs sind die Positionen der Durchflusszähler wichtig. Es darf nur der Warmwasserverbrauch erfasst werden, der auch tatsächlich durch den Warmwassererwärmer (im Normalfall ist dies der Bereitschaftsspeicher) strömt. Der Volumenstrom, der aus der Zapfstelle entnommen wird, ist nicht von Bedeutung, da hier je nach gewünschter Zapftemperatur mehr oder weniger Kaltwasser zugemischt wird.

Die richtige Positionierung der Durchflusszähler ist in Abb. 3.2.16 beschrieben. Zwischen Durchflusszähler und Eintritt der Kaltwasserleitung in den Bereitschaftsspeicher dürfen sich keine weiteren Abzweige und keine zusätzlichen Kaltwasserzuflüsse befinden.

Der Durchflusszähler darf keinesfalls in der abfahrenden Warmwasserleitung aus dem Bereitschaftsspeicher installiert werden, da dann fälschlicherweise der Zirkulationsmassenstrom mitgezählt wird.

#### Positionierung des Durchflusszählers bei Abzweigungen und Zuläufen:

Ist es nicht möglich, den Durchflusszähler direkt vor dem Eintritt in den Speicher zu positionieren, dann muss sichergestellt werden, dass eventuell vorhandene Abzweigungen oder Zuläufe über den Zeitraum

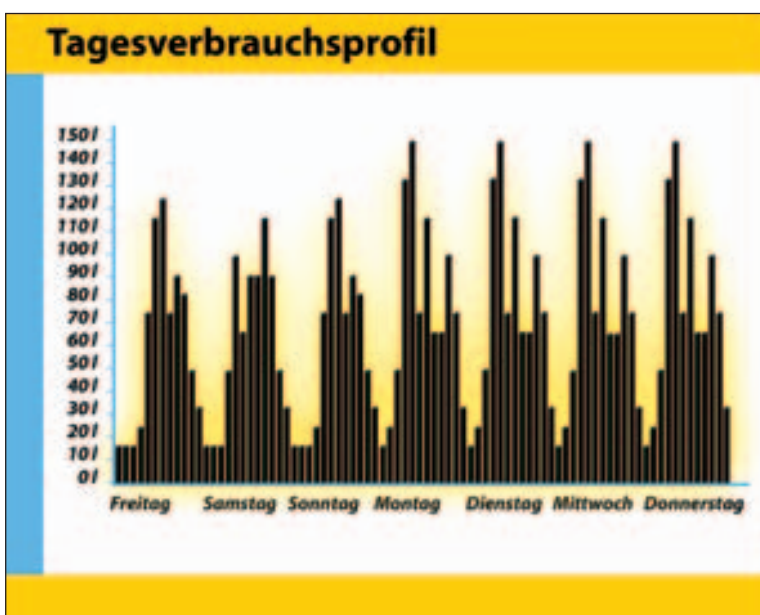


Abb. 3.2.15 typischer Warmwasserwochenverbrauch in Liter bei 60 °C eines Mehrfamilienhauses mit ca. 100 Personen im allgemeinen Wohnungsbau (Standard); Grafik: ASiC; Quelle: T\*SOL





Wird am Abgang des Warmwasserbereiters eine Temperatur von weniger als 60 °C gemessen, so ist der Warmwasserverbrauch, wie im nächsten Absatz beschrieben, umzurechnen.

- Umrechnung der gemessenen Wärmemengen bzw. der Volumenströme auf den zur Dimensionierung benötigten Verbrauch pro Tag und Person bei 60 °C:

Wird am Abgang des Warmwasserbereiters eine Temperatur von z. B. nur 50 °C erreicht und ist die Ermittlung des Verbrauches bei 60 °C erwünscht (bei gleicher Kaltwassereintrittstemperatur), so muss folgendermaßen umgerechnet werden.

#### Beispiel:

$$T_e = 10 \text{ °C}$$

Kaltwassereintrittstemperatur in den Warmwasserbereiter

$$T_a = 50 \text{ °C}$$

Warmwassertemperatur am Abgang des Warmwasserbereiters

$$V_a (50 \text{ °C}) = 2 \text{ m}^3/\text{Tag}$$

gemessener Warmwasserverbrauch des Objektes an einem Tag bei 50 °C

$$V_a (60 \text{ °C}) = V_a (50 \text{ °C}) * (T_a - T_e) / (60 - 10)$$

$$V_a (60 \text{ °C}) = 2 * (50 - 10) / (60 - 10)$$

$$V_a (60 \text{ °C}) = 2 * 40 / 50 = \underline{1,6 \text{ m}^3}$$

D. h. :

Einem Warmwasserzapfvolumen von 2 m<sup>3</sup> am Tag bei 50 °C entsprechen 1,6 m<sup>3</sup> Warmwasserzapfvolumen bei 60 °C.

Dieses Volumen muss nun auf Liter pro Person folgendermaßen umgerechnet werden:

Es gilt:

$$1 \text{ dm}^3 \text{ Wasser} \hat{=} 1 \text{ Liter Wasser}$$

Daher:

$$\underline{1,6 \text{ m}^3 \text{ Wasser} \hat{=} 1.600 \text{ Liter Wasser}}$$

Dieser Wert dividiert durch die Anzahl der im Objekt lebenden Personen ergibt den für die Dimensionierung maßgeblichen Verbrauchswert in Liter pro Person und Tag bei 60 °C.

- Bedarfsermittlung im Zuge einer Sanierung:

Nicht ganz so einfach stellt sich die Messdatenauswertung dar, wenn es sich um ein Gebäude handelt, das gleichzeitig auch saniert wird. Dann ist zu klären, inwieweit die Sanierung Auswirkungen auf den Verbrauch hat und wenn ja, welche. Beispielsweise könnte sich mit einer Erhöhung des Komforts die Nutzungsstruktur des Objektes ändern. Oder der Verbrauch pro Person ändert sich mit dem Einsatz wassersparender Armaturen. Ein Vergleich mit Verbrauchsdaten bereits vermessener Mehrfamilienhäuser ist in einem solchen Fall besonders wichtig.

- Bedarfsschätzung im Zuge eines Neubaus:

Bei der Planung von Solaranlagen in Neubauten können naturgemäß keine Messungen vorgenommen werden. Man ist daher gezwungen, auf Messwerte aus vergleichbaren Objekten für die Dimensionierung der Solaranlage zurückzugreifen.

Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, lieber mit einem geringeren Verbrauch zu rechnen, als zu hohe Werte anzusetzen. Für den allgemeinen Wohnungsbau (Standard) wird eine Auslegung auf einen durchschnittlichen Warmwasserverbrauch von 30 Liter pro Person und Tag bei 60 °C empfohlen. Dieser Wert kann bei Einsatz von diversen Wassersparmaßnahmen (z. B. Durchflussreduktionen für Duschköpfe) bis auf 20 Liter pro Person und Tag bei 60 °C reduziert werden.

Abhängig von der Charakteristik des Objektes können folgende Verbrauchswerte angenommen werden:

**Allgem. Wohnungsbau (niederer Bedarf)**

**= 20 Liter/Pers. und Tag bei 60 °C**

**Allgem. Wohnungsbau (Standard)**

**= 30 Liter/Pers. und Tag bei 60 °C**

**Allgem. Wohnungsbau (hoher Bedarf)**

**= 40 Liter/Pers. und Tag bei 60 °C**

**Gehobener Wohnungsbau**

**= 50 Liter/Pers. und Tag bei 60 °C**

Einige Merkmale der sanitären Ausstattung zur Unterscheidung zwischen **allgem. Wohnungsbau (Standard)** und gehobenem Wohnungsbau:

- Allgem. Wohnungsbau (Standard oder Normalausstattung) liegt vor, wenn die in der Tabelle 3.2.1 angegebenen Einrichtungen vorhanden sind.



Vorhandene Ausstattung je Wohnung	
<b>Bad</b>	<b>1</b> Badewanne 1.600 nach DIN 4471 <i>oder</i> <b>1</b> Brausekabine mit/ohne Mischbatterie und Normalbrause <b>1</b> Waschtisch
<b>Küche</b>	<b>1</b> Küchenspüle

Tab. 3.2.1 allgem. Wohnungsbau (Standard oder Normalausstattung); Quelle: DIN 4708

Vorhandene Ausstattung je Wohnung	
<b>Bad</b>	<b>1</b> Badewanne 1.600 nach DIN 4471 <b>1</b> Brausekabine mit/ohne Mischbatterie und Normalbrause <b>1</b> Waschtisch <b>1</b> Bidet
<b>Küche</b>	<b>1</b> Küchenspüle
<b>Gästezimmer</b>	<b>1</b> Badewanne <i>oder</i> <b>1</b> Brausekabine <b>1</b> Waschtisch <b>1</b> Bidet

Tab. 3.2.2 gehobener Wohnungsbau (Komfort); Quelle: DIN 4708

- Gehobener Wohnungsbau (Komfort) liegt vor, wenn die in der Tabelle 3.2.2 angegebenen Einrichtungen vorhanden sind.

#### Allgemein:

Es besteht die Möglichkeit Waschmaschinen und Geschirrspüler ebenfalls durch solar erwärmtes Warmwasser zu speisen. Falls dies erwünscht wird, müsste der geschätzte Warmwasserbedarf um ca. 5 Liter pro Person für den Anschluss einer Waschmaschine und um ebenfalls ca. 5 Liter pro Person bei einem gewünschten Anschluss des Geschirrspülers erhöht werden.

#### 3.2.3.2. Das Sonnenweg-Diagramm

In diesen Diagrammen ist für einen bestimmten Breitengrad für den 21. Tag jedes Monats die Sonnenhöhe (der Winkel von Sonneneinstrahlung zur Horizontalen) über dem Sonnenazimut (den Abweichungen des Sonnenstandes von der Südrichtung) aufgetragen. Zusätzlich ist noch die zugehörige Uhrzeit für den jeweiligen Sonnenstand eingetragen.

Im Sonnenweg-Diagramm (Abb. 3.2.17) können die Umriss (z. B. schwarze Linie) umliegender Erhöhungen eingezeichnet werden. Hierzu werden mittels Kompass und Neigungsmesser der Winkel der Erhö-

hung zur Horizontalen sowie deren Abweichung von der Südrichtung gemessen. Damit kann die für die Abschattung relevante Jahres- und Tageszeit abgelesen werden. Eine Solaranlage sollte zur optimalen Nutzung der Sonnenstrahlung so aufgestellt werden, dass die Abschattung in Zeiten, während denen die Sonnenenergie genutzt werden soll, möglichst gering ist.

#### 3.2.3.3. Auswahl des Anlagentyps (Solarer Deckungsanteil)

Die wichtigste Bewertungsziffer für eine thermische Solaranlage ist der solare Deckungsanteil. Mit diesem wird der solare Anteil am Energiebedarf beschrieben. Bei der Dimensionierung ist aus ökologischer Sicht ein möglichst hoher, aber aus ökonomischer Sicht ein niedriger solarer Deckungsanteil anzustreben. Der solare Deckungsanteil wird in diesem Handbuch wie folgt definiert:

$$\begin{aligned}
 SD &= \frac{\text{Solarenergie}}{\text{(Zusatzenergie + Solarenergie)}} \\
 &= \frac{Q_{\text{Solar}}}{(Q_{\text{Zusatz}} + Q_{\text{Solar}})}
 \end{aligned}$$

Hierbei werden die Verluste zur Nutzenergie hinzuge-rechnet. Eine Solaranlage zur Warmwasserbereitung kann nach drei verschiedenen Aspekten ausgelegt werden:

### 1. Vorwärmanlagen

Diese Dimensionierung entspringt dem ökonomi-schen Aspekt (wirtschaftliche Solaranlage und somit ein niedriger solarer Wärmepreis).

**Hierbei liegt der solare Deckungsanteil zwischen 25 % und 35 %.**

Bei einer Dimensionierung einer Vorwärmanlage wird versucht, möglichst niedrige Kosten für die solar erzeugte Wärme zu erzielen. Dieser Ansatz kann neben der Steigerung der Systemeffizienz und der Reduktion der Systemkosten am einfachsten durch kleinere Anlagendimensionen, welche auf kleinere

solare Deckungsanteile und dadurch höhere spezifi-sche Erträge abzielen, erreicht werden.

Die Hydraulikkonzepte werden so gewählt, dass Wär-meverteilverluste wie beispielsweise Zirkulationsver-luste von der Solaranlage nicht gedeckt werden kön-nen und somit vom konventionellen Nachheizsystem erwärmt werden. Dies bringt hinsichtlich günstiger Rücklauftemperaturen Vorteile für die Solaranlage, da als Last für das Solarsystem nur der Warmwasserver-brauch (Kaltwassertemperaturen zwischen 10 °C und 15 °C) zur Verfügung steht und die Zirkulationslast mit ungünstigen hohen Rücklauftemperaturen (50 °C bis 55 °C) von der Nachheizung gedeckt wird.

Nachteilig ist an diesem Dimensionierungsansatz, dass der solare Deckungsanteil am Gesamtenergiebe-darf zur Warmwassererwärmung und Verteilung sehr klein wird und insgesamt wenig an Primärenergie substituiert wird.

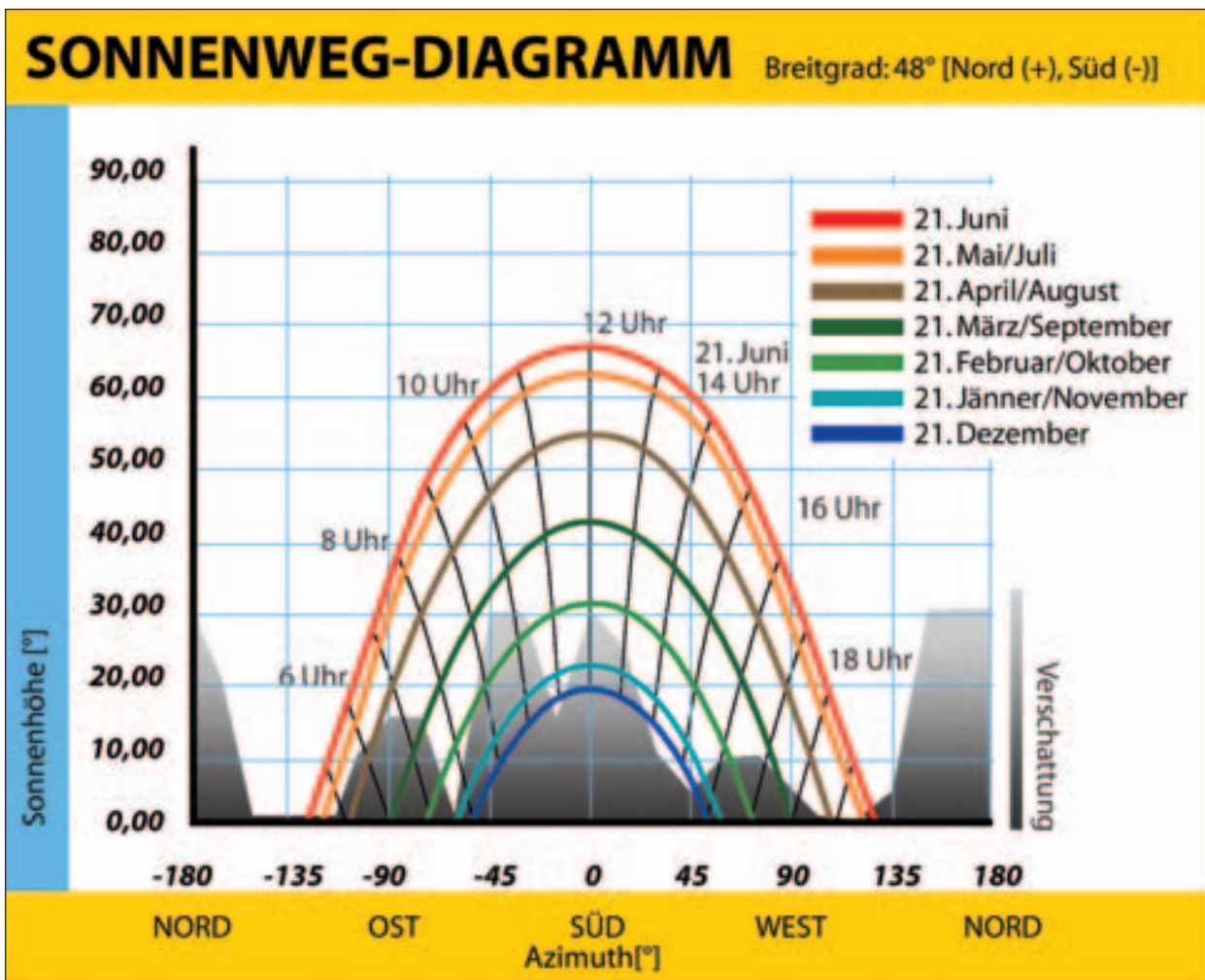


Abb. 3.2.17 Sonnenweg-Diagramm für Standorte mit 48° nördlicher Breite (Mitte Österreichs); Grafik: ASIc; Quelle: [24]

## 2. Kosten-Nutzen-optimierte Solaranlage

**Hierbei liegt der solare Deckungsanteil zwischen 35 % und 50 %.**

Je größer die Kollektoranlage wird, desto niedriger werden die Systemkosten pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche (Kap. 4.4.). Andererseits gilt: Je größer die Anlage, desto niedriger der Ertrag pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche. Aus dieser gegenläufigen Tendenz lässt sich ein Kosten-Nutzen-Optimum ableiten. Diese Dimensionierung wird als Richtlinie für den Mehrfamilienhausbereich vorgeschlagen und ist im Dimensionierungsdiagramm als Linie II gekennzeichnet.

## 3. Anlage mit hoher Primäreinsparung

Hierbei erfolgt die Dimensionierung aus dem ökologischen Aspekt (hohe Primärenergieeinsparung und somit größerer Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung).

**Der solare Deckungsanteil liegt hier bei über 50 %.**

Eine Dimensionierung über 65 % solarer Deckung bedingt aber Standzeiten der Kollektoranlage in den Monaten mit hoher Einstrahlung, was einen geringeren Kollektorertrag je m<sup>2</sup> Kollektorfläche mit sich bringt. Da im Bereich Mehrfamilienhäuser die ökonomische Komponente meist im Vordergrund steht, wird die Kollektoranlage so dimensioniert, dass Stillstandszeiten vermieden und somit keine Überschüsse erzeugt werden. Dies bedeutet zwar geringere solare Deckungsanteile, aber dafür höhere spezifische Kollektorerträge; damit wird die Anlage „wirtschaftlicher“. Ganz einfach ist nun der Zusammenhang mit dem zugrunde gelegten Warmwasserbedarf zu erkennen. Wird für die Dimensionierung der Solaranlage der Warmwasserverbrauch höher angenommen, als dieser in der Praxis auftritt, so sinken die spezifischen Erträge der Solaranlage, der Deckungsanteil wird aber größer und umgekehrt. Zu optimistische Verbrauchsabschätzungen können die Erträge der Solaranlage erheblich reduzieren und somit auch die Rentabilität negativ beeinflussen.

**Die CO<sub>2</sub>-Minderung als Maß für den Beitrag zum Klimaschutz, den die Solaranlage leistet.**

Daumenwerte für eine mittelgroße, Kosten-Nutzen-optimierte, solare Warmwasseranlage:

- Eine jährliche Brennstoffeinsparung von rund 0,5 MWh pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche.
- Eine CO<sub>2</sub>-Minderung von rund 2 Tonnen pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche während der Nutzungsdauer (Nutzungsdauer wurde mit 20 Jahren angenommen).

## 3.2.3.4. Korrektur der Kollektorfläche

Weicht die für die Kollektoren zur Verfügung stehende Fläche von der im Dimensionierungsdiagramm angenommenen SÜD-Ausrichtung und einem Neigungswinkel von 40° ab, so ist die Kollektorfläche zu korrigieren.

Aus Tabelle 3.2.3 kann die notwendige prozentuelle Vergrößerung der Kollektorfläche bei unterschiedlichen Abweichungen von der SÜD-Richtung und Neigungswinkeln entnommen werden.

### Beispiel:

Bei einer Abweichung von 30° aus der SÜD-Richtung und einem Neigungswinkel gegenüber der Horizontalen von 55° ist für solare Warmwasserbereitungsanlagen die aus dem Dimensionierungsdiagramm ermittelte Aperturfläche um 10 % zu erhöhen.

D. h.:

$$A_{\text{Apertur (korrigiert)}} = A_{\text{Apertur (Dimensionierungsdiagramm)}} * 1,1$$

Mit der korrigierten (angepassten) Aperturfläche sollte nun der im Dimensionierungsdiagramm abgelesene solare Deckungsanteil erreicht werden können.

Wurde die Aperturfläche korrigiert, so muss nun auch die benötigte Bruttokollektorfläche wie folgt angepasst werden:

$$A_{\text{Bruttokollektorfläche (korrigiert)}} = A_{\text{Apertur (korrigiert)}} * 1,15$$

Die Werte für die angepasste Bruttokollektorfläche und die Aperturfläche sind nun zu notieren bzw. für die weitere Planung zu berücksichtigen.

Wird beim Ausfüllen der Ausschreibung die bereits angepasste Aperturfläche eingesetzt, ist dies anzugeben.

### Anmerkung:

Die zuvor aus dem Dimensionierungsdiagramm ermittelten Speichergrößen bleiben bei einer notwendigen Korrektur der Kollektorfläche unbeeinflusst.

Dachmontage						
Abweichung von der Südrichtung						
Neigungswinkel	Südwest +45°	+30°	Süd 0°	-30°	Südost -45°	
	20°	5 %	5 %	5 %	5 %	5 %
	25°	5 %	5 %	5 %	5 %	5 %
	30°	5 %	5 %	0 %	5 %	5 %
	35°	5 %	5 %	0 %	5 %	10 %
	40°	5 %	5 %	0 %	5 %	10 %
	45°	5 %	5 %	0 %	5 %	10 %
	50°	10 %	5 %	0 %	10 %	15 %
	55°	10 %	10 %	5 %	10 %	15 %
	60°	15 %	10 %	10 %	15 %	20 %

Fassadenmontage		
Bei Südausrichtung und 90° Neigung		
Anlagentyp	<b>Anlagen zur solaren Warmwasserbereitung</b>	
	Vorwärmanlage	50 %
	Kosten-Nutzen-optimierte Anlage	60 %
	Anlage mit hoher Brennstoffeinsparung	90 %
	<b>Anlagen zur solaren Warmwasserbereitung mit Heizungsunterstützung</b>	
	Vorwärmanlage	50 %
	Kosten-Nutzen-optimierte Anlage	30 %
	Anlage mit hoher Brennstoffeinsparung	20 %

Tab. 3.2.3 Korrektur der Kollektorfläche; Dach- bzw. Fassadenmontage: Quelle [17]

### 3.2.3.5. Simulationsprogramme

Zur Auslegung des Dimensionierungsdiagramms wurde im Simulationsprogramm T\*SOL eine Musteranlage verwendet, die wie folgt aufgebaut wurde.

- Für die Auslegung der Kollektorfläche wurde ein Musterkollektor (Flachkollektor) mit durchschnittlichen Leistungsmerkmalen verwendet.
- Es wurde darauf geachtet, dass das benötigte Speichervolumen in so wenige Speicher wie möglich aufgeteilt wird. Es wurden hauptsächlich ein Pufferspeicher und ein Bereitschaftsspeicher verwendet. Bei größeren Speichervolumina wurden zwei Pufferspeicher eingesetzt.
- Ausrichtung des Kollektorfeldes nach SÜDEN unter einem Neigungswinkel von 40°.
- Die Zirkulationsleitungen werden 12 Stunden betrieben.
- Detailliertere Angaben zur Musteranlage siehe Kapitel 3.2.3.6.

Ertragsprognosen sind Bestandteil der Anlagenplanung und müssen spezifisch für die zu erstellende Anlage berechnet werden. Dem Planer stehen dabei eine Reihe gängiger Simulationsprogramme zur Verfügung.

Jedes Simulationsprogramm ist abhängig von den Eingabewerten sowie den im Rechengang verwendeten Modellen und Näherungen. Derzeit wird mit den „relativ einfachen“ Simulationsprogrammen (T\*SOL, POLYSUN) eine Zielsicherheit der Ertragsprognosen von ca. 10 % bis 15 % erreicht – vorausgesetzt, der Planer hat die richtigen Eingabewerte verwendet. Aufwändigere Simulationsprogramme (SHWwin, SunHotel, TRNSYS) können das real gemessene Ergebnis bis auf 5 % genau berechnen.

#### Allgemeine Anwendung finden drei Programme:

##### *f-chart*

Dies ist ein sehr einfaches Simulationsprogramm, das für größere Anlagen aber nur zur Abschätzung des Ertrages geeignet ist, da nur Einspeichersysteme berechnet werden können. Die Speicherverluste werden bei f-chart nur pauschal berechnet. Daher wird im Ergebnis die Nachheizleistung umso kleiner, je größer der Speicher dimensioniert wird – in Wirklich-

keit ist dem aber nicht so. Zur Optimierung von Anlagenkomponenten kann dieses Programm nicht herangezogen werden. Es ist ein DOS-Programm, welches auch als Windows-Version erhältlich ist.

##### *T\*SOL*

T\*SOL eignet sich wie POLYSUN für die Auslegung und Planung von thermischen Solaranlagen. Durch Variation der Anlagenparameter lassen sich die für die tatsächlichen äußeren Gegebenheiten optimale Abstimmung der Komponenten festlegen und deren Erträge vorherbestimmen. Mehrere klassische Anlagentypen können in verschiedenen Variationen simuliert werden. T\*SOL berechnet für jede Minute des Jahres die Systemtemperaturen und Betriebszustände.

Eine Kopplung an die Gebäudeheizung ist möglich. Schon während der Simulation lassen sich die sich einstellenden Temperaturen und Energieströme im Anlagenschema auf der Oberfläche des Programms ablesen. Durch die gelungene grafische Benutzeroberfläche lässt sich dieses Programm auch gut zur Präsentation beim Kunden einsetzen.

##### *POLYSUN*

Gemeinsam mit T\*SOL wird das in der Schweiz entwickelte POLYSUN am häufigsten zur Simulation von Solaranlagen verwendet. Es verfügt ebenso wie T\*SOL über mehrere systemspezifische Modelle. Die auszuwählenden Modelle sind ein Ein- und Zweispeichersystem sowie ein Tank-in-Tank System.

Zur Simulation von größeren Anlagen ist dieses Programm daher nur beschränkt einsetzbar. Von Nachteil ist eine schlechte Detaillierung bei der Warmwasserlast. So sind nur drei typische Zapfprofile verfügbar und Angaben zur Zirkulation müssen unhandlich in Einheiten der Speicherverluste eingegeben werden. Es können zwar Wochentage oder Perioden ohne Warmwasserzapfung (Ferien) festgelegt werden, aber Lastschwankungen, wie sie z. B. im Mehrfamilienhaus oder bei Beherbergungsbetrieben vorkommen, oder regelmäßig wiederkehrende Lastspitzen (Sportstättennutzung), lassen sich nicht erfassen.

Die Benutzeroberfläche des Simulationsprogramms ist klar und übersichtlich aufgebaut. Eine große Hilfe bietet der integrierte Kollektorkatalog. Ebenso ist eine größere Anzahl von meteorologischen Daten österreichischer Orte inkludiert.



**Detailliertere, genauere Simulationsprogramme sind:****TRNSYS**

TRNSYS ermöglicht die Bewertung von Konzepten zur rationellen Energienutzung und Systemen zur aktiven und passiven Sonnenenergienutzung. Um ein Energiesystem wie eine solare Brauchwasserbereitungsanlage zu simulieren, können aus einer Bibliothek die benötigten Anlagenkomponenten gewählt und aneinandergefügt werden.

Der modulare Aufbau des Programms ermöglicht es dem Anwender, selbst erstellte Komponenten einzubinden. Grafische Eingabeoberflächen und Pakete zur Ergebnisdarstellung vereinfachen die Bedienung. TRNSYS zeichnet sich vor allem durch seine große Flexibilität und durch unbegrenzte Variationsmöglichkeiten aus. Mit diesem Programm können die jeweiligen Anlagenparameter detailliert nachgestellt werden. Nachteilig ist allerdings, dass ein hohes Maß an Fachwissen vorausgesetzt wird und der Einarbeitungs- und Bedienungsaufwand im Vergleich zu systemspezifischen Programmen sehr hoch sind.

**SHWwin**

Mit dem in Delphi geschriebenen Programm können Solaranlagen zur Warmwasserbereitung, zur kombinierten WW-Bereitung und (teilsolaren) Heizung und zur teilsolaren Speisung von Fernwärmenetzen berechnet werden.

SHWwin verfügt über eine Datenbank, in der die Eingabedaten und Ergebnisse der Simulationsprojekte gespeichert werden. Zusätzlich verwaltet die Datenbank einen Pool aus Bauelementen, aus dem Daten in das jeweilige Simulationsprojekt kopiert werden können. Bei diesem Programm können, wie beim Simulationsprogramm TRNSYS, die genauen Abmaße

und Parameter der einzelnen Bauelemente eingegeben werden.

Eine grafische Auswertung der Ergebnisse ist möglich. Vergleichsrechnungen vergleichbarer Schemata (mit einfachen Speichern) mit TRNSYS zeigten eine gute Übereinstimmung. Das Programm wurde am Institut für Wärmetechnik der TU Graz zur Unterstützung mehrerer Forschungsprojekte entwickelt und kann unter <http://wt.tu-graz.ac.at> gratis bezogen werden.

**SunHotel**

Basierend auf TRNSYS wurden im Rahmen des Projektes „Sonnige Herbergen“ benutzerfreundliche sog. Decks für unterschiedliche Systemtypen entwickelt. Hinter der Oberfläche stehen komplexe Simulationsmodelle, die aus TRNSYS-Modulen aufgebaut sind. Im Mittelpunkt von SunHotel stehen vier unterschiedliche Pufferspeicherkonzepte, jedoch können auch „klassische“ Ein- und Zweispeichersysteme simuliert werden. Die in SunHotel verfügbaren Anlagen geben den derzeitigen Stand der Anlagentechnik (hauptsächlich für Deutschland) wieder. SunHotel kann optional auch die thermische Desinfektion von trinkwasserführenden Solarspeichern bzw. Bereitschaftsspeichern rechnen. Die Anlagendecks wurden mit Hilfe von Messdaten realer Anlagen erfolgreich gegengerechnet.

Entscheidend für eine zuverlässige Anlagensimulation ist die gute Übereinstimmung der realen (geplanten) Anlage mit dem im Simulationsprogramm ausgewählten Modell. Vor allem hinsichtlich der Einbindung der Nachheizung müssen Modell und reale Anlage übereinstimmen. Nicht ganz so genau muss hingegen die Betriebsführung der beiden übereinstimmen. Wichtig für die Auswahl eines Simulationsprogramms ist, dass die Verbrauchscharakteristik (Lastprofil) detailliert eingegeben werden kann.



### 3.2.3.6. Anhang: Auslegungsdaten des Dimensionierungsdiagramms

**Wohneinheiten (WE):**

Eine Wohneinheit besteht aus 2,5 Personen.

**Verbrauch:**

Die Verbrauchslinien beziehen sich auf eine Warmwassertemperatur von 60 °C. Eine Umrechnung bzw. Anpassung auf diese Temperatur wird in Kap. 3.2.3.1. beschrieben.

**Steigung der Verbrauchsgeraden:**

20 Liter/Pers. und Tag bei 60 °C	»	$y = 0,66 * x$
30 Liter/Pers. und Tag bei 60 °C	»	$y = 1 * x$
40 Liter/Pers. und Tag bei 60 °C	»	$y = 1,32 * x$
50 Liter/Pers. und Tag bei 60 °C	»	$y = 1,65 * x$

x...: x-Achse (Anzahl der Personen)

**Aperturfläche (Flachkollektor mit selektiver Beschichtung):**

$A_{\text{Koll. Apertur (Zone I)}}$   
 = [Verbrauch \* Anzahl der Personen]<sup>0,8</sup>/6,87 in [m<sup>2</sup>]  
 (für SD = 40–50)  
 (Verbrauch in L/Pers. und Tag bei 60 °C)

**Speicher 1: (Bereitschaftsspeichervolumen)**

Dimensioniert nach DIN 4708 Teil 1 und 3 für:  
 erforderliches Speichervolumen für  $W_{1,0}$   
 = Stundenwärmebedarf

mit:

Mittlere Temperatur des Speicherwassers in aufgeheiztem Zustand  $t'_a = 55$  °C  
 Kaltwassereintrittstemperatur  $t_a = 10$  °C  
 Mischfaktor des Speichers  $a = 0,10$

Bedarfskennzahl N:  $N = WE * 0,75$

diese entsteht aus:  $N = \frac{\text{Summe } (n * p * v * w_v)}{(3,5 * 5,820)}$

Die Bedarfskennzahl N ist die Anzahl der zu versorgenden Einheitswohnungen.

3,5 \* 5,820.....Wert für die Einheitswohnung

p = 2,5.....Personen pro Wohnung

$w_v = 5,820$  Wh.....Zapfstellenbedarf (eine Badewanne 1.600 DIN 4471) für allgem. Wohnbau (eine Badewanne 1.600 DIN 4471 mit 160 l und eine Brausekabine mit 75 l in 6 min)

n.....Wohnungsanzahl (jeweilige Anzahl gleicher Wohnungen)

v.....Zapfstellenzahl (Zapfstellen pro Wohnung)

Dabei wird nach der sanitären Ausstattung der Wohnung unterschieden in Wohnungen mit Normalausstattung und in Wohnungen mit Komfortausstattung.

Effektives Bereitschaftsspeichervolumen:

$$V_{\text{eff.}} = \text{Speichervolumen} + Q_{\text{Zirk.}} * 50 \frac{\text{Liter}}{\text{kW}}$$

(Speichervolumen ermittelt nach DIN 4708)

$Q_{\text{Zirk.}}$ .....Zirkulationsverluste (auf Personen bezogen, laut DIN 4708) genauere Beschreibung unter „Referenzanlage“ – „Warmwasserverbrauch“

**Solarer Deckungsanteil an der Brauchwasserbereitung:**

$$SD = \frac{\text{Solarenergie}}{(\text{Zusatzenergie} + \text{Solarenergie})} = \frac{Q_{\text{Solar}}}{(Q_{\text{Zusatz}} + Q_{\text{Solar}})}$$

Solarenergie = Kollektorkreisenertrag

Hierbei werden die Verluste zur Nutzenergie hinzugerechnet. Diese Form des Deckungsanteiles wird bei den Simulationsprogrammen „T\*SOL“ (T\*SOL, 1995) und „POLYSUN“ (POLYSUN, 1994) angewendet.

Die Linien des solaren Deckungsanteiles sind gegliedert nach:

- I. Vorwärmanlagen (< SD)
- II. Anlagen dimensioniert nach dem Kosten-Nutzen-Optimum (wirtschaftliche Anlagen)
- III. Anlagen mit hoher Brennstoffsubstitution (> SD)

**Speicher 2: (Pufferspeichervolumen)**

$V_{\text{Speicher 2}} = A_{\text{Koll. Apertur}} * 45$  [Liter]  
 für Vorwärmanlagen

$V_{\text{Speicher 2}} = A_{\text{Koll. Apertur}} * 55$  [Liter]  
 für wirtschaftliche Anlagen

$V_{\text{Speicher 2}} = A_{\text{Koll. Apertur}} * 70$  [Liter]  
 für Anlagen mit hoher Brennstoffeinsparung

**Klimazonen:**

- Zone I  
 Grundausslegung der Kollektorfläche = < 1.100 [kWh/m<sup>2</sup>a]
- Zone II  
 2. Bereich der Einstrahlung = 1.100 bis 1.200 [kWh/m<sup>2</sup>a]
- Zone III  
 3. Bereich der Einstrahlung = 1.200 bis 1.300 [kWh/m<sup>2</sup>a]

**Winkel der Zonenlinien und Zonenfaktor:**

Zone I: Winkel = 45°

Zone II:  $A_{\text{Koll. Apertur (Zone II)}} = A_{\text{Koll. Apertur (Zone I)}} * 1,050/1,150$   
 =  $A_{\text{Koll. Apertur (Zone I)}} * 0,913$   
 > Zonenfaktor II = 0,913 > Winkel = 48,24°

Zone III:

$A_{\text{Koll. Apertur (Zone III)}} = A_{\text{Koll. Apertur (Zone I)}} * 1,050/1,250$   
 =  $A_{\text{Koll. Apertur (Zone I)}} * 0,84$   
 > Zonenfaktor III = 0,84 > Winkel = 51,34°

**Referenzanlage zum Dimensionierungsdiagramm:**

Da von den am Markt erhältlichen Simulationsprogrammen das Simulationsprogramm T\*SOL in Österreich am häufigsten angewendet wird, wurden die Linienbereiche des solaren Deckungsanteiles im Dimensionierungsdiagramm ebenfalls mit T\*SOL berechnet.

Zur Simulation wurde folgendes Anlagenschema herangezogen:

Angaben zu den Systemkomponenten:

**Kollektor: (selektiv beschichteter Musterkollektor)**

Konversionsfaktor:	0,813
k <sub>1</sub> :	4,06 [W/m <sup>2</sup> K]
k <sub>2</sub> :	0,009 [W/m <sup>2</sup> K]
Winkelkorrekturfaktor:	diffus = 88 % bei 50° = 92 %
Aufstellwinkel:	40°
Azimutwinkel:	0°

**Leitungen:****1. Anlagen für 25 Personen**

Einfache Länge Verrohrung außerhalb:	5 m
Einfache Länge Verrohrung im Haus:	25 m
Durchmesser der Leitungen:	je nach Kollektorfläche berechnet
Dicke der Wärmedämmung außerhalb:	je nach Rohrdurchmesser berechnet
Dicke der Wärmedämmung im Haus:	je nach Rohrdurchmesser berechnet
Wärmeleitfähigkeit:	0,035
Zahl ungedämmter Armaturen:	5

**2. Anlagen für 100 Personen**

Einfache Länge Verrohrung außerhalb:	15 m
Einfache Länge Verrohrung im Haus:	40 m
Durchmesser der Leitungen:	je nach Kollektorfläche berechnet
Dicke der Wärmedämmung außerhalb:	je nach Rohrdurchmesser berechnet
Dicke der Wärmedämmung im Haus:	je nach Rohrdurchmesser berechnet
Wärmeleitfähigkeit:	0,035
Zahl ungedämmter Armaturen:	7

**3. Anlagen für 175 Personen**

Einfache Länge Verrohrung außerhalb:	25 m
Einfache Länge Verrohrung im Haus:	60 m
Durchmesser der Leitungen:	je nach Kollektorfläche berechnet
Dicke der Wärmedämmung außerhalb:	je nach Rohrdurchmesser berechnet
Dicke der Wärmedämmung im Haus:	je nach Rohrdurchmesser berechnet
Wärmeleitfähigkeit:	0,035
Zahl ungedämmter Armaturen:	10

**Externer Wärmeüberträger:**

Massenstrom Kollektorkreis:	40 l/m <sup>2</sup> Kollektorfläche
Massenstrom Speicherladekreis:	35 l/m <sup>2</sup> Kollektorfläche
Temperaturdifferenz Wärmeübertragung:	5 K
Wärmeübertragungsleistung:	500 W/m <sup>2</sup> Kollektorfläche
Wärmedurchgang (k * A):	100 W/(K * m <sup>2</sup> Kollektorfläche)

**Solarspeicher:**

Ohne Schichtladeeinheit	
Gesamtvolumen:	je nach Kollektorfläche und Anlagentyp
Anzahl der Speicher:	1
Dicke der Speicherdämmung:	100 mm
Wärmeleitzahl:	0,05 W/m K
Korrekturfaktor:	2

**Bereitschaftsspeicher:**

Gesamtvolumen:	(nach DIN 4708)
Anzahl der Speicher:	1
Dicke der Speicherdämmung:	80 mm
Wärmeleitzahl:	0,050 W/m K
Korrekturfaktor:	1,5

**Kaltwasser:**

Temperatur im August:	12 °C
Temperatur im Februar:	8 °C

**Nachheizung:**

Heizung mit Erdgas	
Nachheizung auch in Sommermonaten	
Leistung des Wärmeüberträgers:	3 W/K
Optimaler Nutzungsgrad:	90 %
Nutzungsgrad Sommerbetrieb:	50 %

**Warmwasserverbrauch:**

Durchschnittlicher Tagesverbrauch:	in Liter pro Person bei 60 °C (je nach Objekt)
Verbrauchsprofil aus Datei:	MEHRFAM.VER
Zirkulationsverlustleistung:	(auf Personen bezogen; DIN 4708) 0,75 kW/Person und Tag für 8–16 Wohnungen 1 kW/Person und Tag für 16–40 Wohnungen 1,25 kW/Person und Tag für 40–100 Wohnungen
Zirkulation einschalten um:	6.00 / 10.00 / 16.00
Zirkulation ausschalten um:	8.00 / 14.00 / 22.00
Rücklauf der Zirkulation in den Bereitschaftsspeicher	

**Standort:**

Wetterdatei:	(je nach Zone)
Geografische Breite:	(je nach Zone)

**Regelparameter:**

Die Solarpumpe wird über Temperaturdifferenz gesteuert.	
Einschalten bei:	6 K
Ausschalten bei:	2 K
Max. Temp. des oberen Solarspeichers:	90 °C
Solltemperatur BW:	60 °C

**Simulation:**

Starten am:	01.01.
Beenden am:	31.12.
Rechengenauigkeit:	in 3-min-Rechenschritten

## 4.1. Ausschreibung

Nach Ausfüllen der beiliegenden vorgedruckten Ausschreibungsformulare können diese versandt und damit dementsprechende Angebote der anbietenden Firmen eingeholt werden. Anschließend erfolgt die Entwurfs- und Genehmigungsplanung.

**Tipp: Kopieren der leeren Ausschreibung erspart Schreibarbeiten!**

### 4.1.1. Die „Qualifizierte funktionale Ausschreibung“

Bei einer „qualifizierten funktionalen Ausschreibung“ wird die funktionale Anlagenbeschreibung durch präzise Angaben mit prüffähigen technischen Kennwerten ergänzt. Die Ausschreibung enthält dann eindeutige und genaue Angaben zu:

- Warmwasserbedarf des Objekts und der gewünschten solaren Deckung
- gewünschten Montagevarianten des Kollektorfelds
- Systemverschaltungen
- gewünschter Belegung des Technikraums und der Rohrleitungsführung
- Einbindung der Anlage in die konventionelle Technik (Daten Heizkessel, vorhandene Warmwasserspeicher bzw. Warmwasserverteiler)
- bestimmten Mindestwerten für einzelne Komponenten (Kollektoren, Wärmetauscher, Wärmedämmung, Speicher, etc.)

Zum einen wird mit diesen Angaben dem Anbieter besser deutlich, auf welche Dinge es dem Fachplaner/dem Bauherrn ankommt und ob sein Produkt/seine Dienstleistung hier vorteilhaft im Wettbewerb steht. Wenn er dies bejaht, wird er stärker motiviert sein anzubieten. Zum anderen übernimmt der Fachplaner die Verantwortung für die Vorgaben, die er macht. Innerhalb dieser Vorgaben sinkt der Planungsaufwand für den Anbieter und er kann sich im Idealfall in einzelnen Angebotsgruppen nahezu wie in einer detaillierten Ausschreibung bewegen. Entsprechend sinkt der Kostenaufwand, den er einrechnen muss.

Dennoch ist die geteilte Planungsverantwortung (Vorgaben von Seiten des Fachplaners als Teile der Aus-

führungsplanung, restliche Ausführungsplanung durch den Anbieter) nicht unproblematisch. Insbesondere muss der Fachplaner qualifizierte Angaben zu Schnittstellen und zu Zusammenarbeit mit anderen Gewerken machen. Diese Abstimmungen sollte er keinesfalls dem Anbieter aufbürden – teure Missverständnisse sind dann vorprogrammiert!

Bei der „qualifizierten funktionalen Ausschreibung“ ist die Verantwortung für die Funktion der Anlage zwar juristisch im Einzelnen eindeutig geregelt, aber für juristische Laien vielfach nicht transparent. Dies ist trotz der unbestreitbaren Vorteile dieser Ausschreibungsform gegenüber der rein funktionalen und der detaillierten Ausschreibung zu bedenken und sollte den Planer veranlassen, die Entwurfsplanung besonders sorgfältig durchzuarbeiten und das Baumanagement mit den beteiligten Gewerken gut abzustimmen. In der „qualifizierten funktionalen Ausschreibung“ werden die Anforderungen und Garantieleistungen, denen die verschiedenen Systemkomponenten zu genügen haben, mit angeführt [4].

Über einen festgehaltenen garantierten Solarertrag kann dem Bauträger (Wohnbaugenossenschaft, Investor) zusätzliche Sicherheit geboten werden.

### 4.1.2. Der „Garantierte Solarertrag“ in der Ausschreibung

Zunächst müssen in der Ausschreibung die Rahmenbedingungen für das Objekt und die Anlage so genau beschrieben werden, dass der Anbieter eine Simulationsrechnung mit seinen Produkten vornehmen kann. Das zu verwendende Simulationsprogramm muss in der Ausschreibung eindeutig vorgegeben sein, ggf. mit Hinweisen zu bestimmten Eingaben. Man hat hierbei mit T\*SOL schon gute Erfahrungen gemacht.

#### Garantieabgabe

Der Anbieter garantiert einen bestimmten jährlichen solaren Nutzertrag auf Basis der durchschnittlichen Klimaangaben und der geplanten Angaben zum Warmwasserverbrauch und der Zirkulation.

#### Garantieerfüllung

Der Anbieter darf natürlich nicht dafür bestraft werden, wenn die Planannahmen zum Warmwasserverbrauch nicht eingelöst werden (z. B. verspäteter Zugang bei Neubau, Reorganisationen oder Änderung der

Betriebsweise beim Betreiber etc.). Auch für sehr gutes oder sehr schlechtes Wetter kann er nichts. Deshalb müssen die realen Betriebsbedingungen während der Messperiode berücksichtigt werden.

Die garantierte Wärmemengengröße wird gemessen (Wärmemengenzähler), gleichzeitig die Einstrahlung und der Warmwasserverbrauch, erforderlichenfalls auch die Zirkulation. Die Messeinrichtung sollte in der Regel auch vom Anbieter angeboten werden können. Dazu muss die Ausschreibung geeignete Vorgaben machen (Position Messaufnehmer, Genauigkeit, Durchsatz, Auflösung der Messwerte, wie, wann, von wem wird abgelesen).

Es wird ein Simulationsverfahren vereinbart, mit dem der Ertrag der Anlage unter den realen Betriebsbedingungen der Messperiode errechnet wird. Dazu wird natürlich dasselbe Simulationsprogramm verwendet mit denselben anlagenspezifischen Eingaben wie bei Abgabe der Garantie, allerdings muss vereinbart werden, in welcher Auflösung die Messwerte eingegeben werden (Durchschnittswerte oder Tages- bzw. Stundenwerte). Der gemessene Ertrag darf nicht mehr als 10 % vom Rechenergebnis abweichen. Diese Toleranz deckt alle Ungenauigkeiten der Messung und der Simulation ab.

#### Garantieleistung

Wird eine größere Abweichung festgestellt, leistet der Anbieter – je nach Vertragsart – kostenlose Nachbesserung oder zahlt ein Strafgeld, dessen Höhe nach der Höhe der Abweichung bemessen ist. Die Verbrauchsannahmen der Planung müssen hier besonders genau ermittelt sein. Dieses Verfahren kann sich nur dann durchsetzen, wenn Warmwasserverbrauch und Strahlungsdaten den Annahmen der Planung sehr nahe kommen.

Dann entsteht nämlich nur eine kleine Verschiebung des Garantiewerts in der Umrechnung auf reale Betriebsbedingungen und das Verfahren ist für alle Seiten transparent und glaubhaft. Immer dann, wenn die Betriebssituation sehr stark abweicht von der Situation, für die eine Garantie abgegeben wurde, können Missverständnisse und Frustrationen entstehen.

Dieses Verfahren kann also nur von solchen Planern eingesetzt werden, die eine solide Entwurfsplanung mit einer genauen Verbrauchsermittlung (am besten durch Messungen) durchführen.

#### Anleitung zum Ausschreibungsbogen

Der vorgedruckte Ausschreibungsbogen bildet das zentrale Element des Handbuchs und ist in seinem Aufbau selbsterklärend. Durch Verweise zu den passenden Kapiteln im Handbuch, welche zur Unterstützung dienen, gelangt die ausschreibende Stelle Schritt für Schritt zu einer vollständig ausgefüllten Ausschreibung.

Dem auszufüllenden Text liegen die Spezifikationen über die Anlagenbauteile bei, denen diese zu genügen haben. Um einen möglichst einwandfreien Betrieb der Anlage zu gewährleisten, wird vorgeschrieben, was bei der Montage zu berücksichtigen ist sowie die geltenden Normen und Nachweise, die zu erbringen sind. Werden gewisse Dienstleistungen oder Anforderungen an Komponenten, welche in der Ausschreibung angeführt sind, nicht eingefordert, so sind diese auszustreichen. Die Ausschreibung kann dann vervielfältigt und an die in Frage kommenden Anbieter versandt werden.

In der Baubeschreibung werden dem Anbieter die genauen Details des Objektes, für das eine thermische Solaranlage errichtet werden soll, angegeben. Dieses Kapitel bildet den aktiven Teil für die ausschreibende Stelle, für den Messungen, Schätzungen, Erhebungen und Dimensionierungen erforderlich sind. Zur Ermittlung des Warmwasserbedarfs sind, je nachdem, ob es sich um eine Sanierung oder um einen Neubau handelt, verschiedene Vorgehensweisen erforderlich. Genauere Angaben diesbezüglich findet man im Kapitel 3.2.3.1.

In den an die Baubeschreibung anschließenden Kapiteln sind Richtlinien bezüglich der Errichtung, der Eigenschaften von Komponenten, Normen und Nachweisen sowie Dienstleistungen der Anbieter angegeben. Diese sind gegebenenfalls bei speziellen Anforderungen oder Gegebenheiten zu ergänzen oder zu berichtigen.

# Ausschreibungsbogen

Gliederung:

1. Baubeschreibung.
2. Beschreibung der Spezifikationen, die von der Anlage zu erfüllen sind.  
Spezifikationen gibt es sowohl für die Komponenten der Anlage als auch für die Ausführung.
3. Aufzählung der mitgeltenden Normen/technischen Regeln, denen die Anlage zu genügen hat.
4. Aufzählung der Nachweise, die mit dem Angebot eingereicht werden müssen.
5. Beilagen.

## 1. Baubeschreibung

Die Solaranlage wird im Zuge einer/eines  Sanierung  Neubaus errichtet.

### 1.1. Der Warmwasserbedarf des Objektes (im Falle einer Sanierung) (s. Kap. 3.2.3.1.)

Der WW-Bedarf wurde  gemessen.  geschätzt.

Die Bewohnerzahl des Objektes beläuft sich auf ca. \_\_\_\_\_ Personen.

Der WW-Bedarf des Objektes beträgt insgesamt ca. \_\_\_\_\_ Liter (bei 60 °C) pro Tag.

### 1.2. Der Warmwasserbedarf des Objektes (im Falle eines Neubaus) (s. Kap. 3.2.3.1.)

Die Bewohnerzahl des Objektes beläuft sich auf ca. \_\_\_\_\_ Personen.

Der WW-Bedarf des Objektes wird auf \_\_\_\_\_ Liter (bei 60 °C) pro Tag und Person geschätzt.  
(s. Kap. 3.2.3.1.)

### 1.3. Die Wasserhärte [°dH] (falls bekannt) beträgt:

- 0–4 (sehr weich)
- 4–8 (weich)
- 8–12 (mittelhart)
- 12–18 (ziemlich hart)
- 18–30 (hart)
- über 30 (sehr hart)

### 1.4. Das Warmwassersystem

- Das WW-System wird neu erstellt.
- Das WW-System wurde im Jahr \_\_\_\_\_ neu erstellt.



Eine Warmwasserzirkulation ist vorhanden/vorgesehen.  ja  nein

Die einfache Länge der Zirkulationsleitung beträgt \_\_\_\_\_ m.

Der Dämmzustand der Warmwasser- und Zirkulationsleitungen ist mit

- gut  
 mittel  
 schlecht

zu bezeichnen. (s. Kap. 5.8.)

Die Verlustleistung der Zirkulation beträgt ca. \_\_\_\_\_ W/m.

Dieser Wert wurde  gemessen.  geschätzt.

Die Zirkulation wird \_\_\_\_\_ h am Tag betrieben.

Folgende bereits vorhandenen Komponenten können weiter verwendet werden.  
(mit Bezeichnung, Größe und Baujahr) (s. Kap. 3.1.)

---



---



---



---

Der vorhandene/vorgesehene Heizkessel ist ein \_\_\_\_\_ Kessel

mit einer Leistung von \_\_\_\_\_ kW, Baujahr \_\_\_\_\_ .

Die Heizlast des Gebäudes beträgt \_\_\_\_\_ kW.

Der WW-Speicher wird wie folgt vom Kessel beladen (nur wenn ein vorhandener WW-Speicher weiter verwendet werden soll).

---



---



---

### 1.5. Das gewünschte Systemkonzept (s. Kap. 3.2.2.)

Für die Anbindung der Solaranlage ist folgendes System vorgesehen (genaue Bezeichnung):

---



---

Als Betriebsart des Kollektorkreises wird  Low Flow  Matched Flow  High Flow

vorgeschlagen. (s. Kap. 3.2.2.1. und 2.10.)

Andere Betriebsarten müssen begründet werden.

## 1.6. Die Kollektoranlage

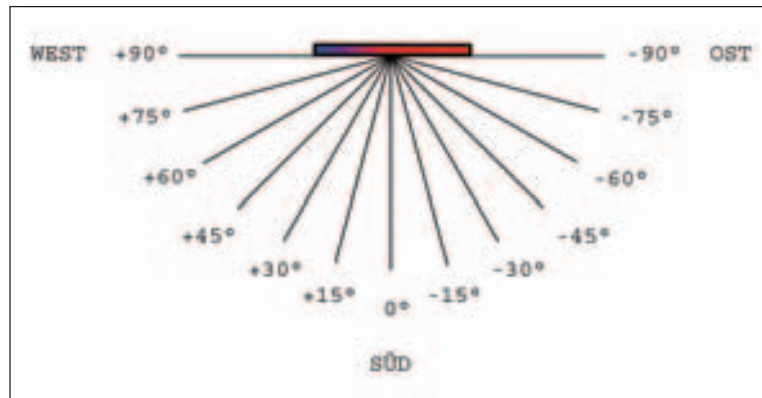
Vorgesehen ist eine Kollektoranlage mit insgesamt ca. \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup> Aperturfläche Flachkollektoren bei selektiver Beschichtung oder entsprechend dieser Fläche bei Verwendung anderer Kollektoren. (s. Kap. 3.2.1.1.)

Der solare Deckungsanteil des Wärmebedarfs für die Warmwasserbereitung wird als  $SD = \frac{\text{Solarertrag}}{\text{Solarertrag} + \text{benötigte Zusatzenergie}}$  definiert.

Er soll mindestens \_\_\_\_\_ % betragen und den Ergebnissen der Simulation entsprechen. (s. Kap. 3.2.3.3. und 3.2.1.1.)

### 1.6.1. Aufstellort der Kollektoren

Die Ausrichtung des Daches/der Kollektormontagefläche ist (Zutreffendes bitte ankreuzen):



#### Steildach

Die Neigung des Daches beträgt \_\_\_\_\_ °. (s. Kap. 3.1.)

Die Neigung des Kollektors soll betragen: \_\_\_\_\_ °. (s. Kap. 3.1.)

Die Kollektormontage soll erfolgen:  Indach  
(s. Kap. 6.1.1.)  Aufdach  
 mit Aufständering

Zur Verfügung steht dort eine Fläche von \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

mit \_\_\_\_\_ m in Richtung Dachgefälle und \_\_\_\_\_ m Breite.

Es handelt sich dabei um ein Dach aus:

- Tonziegel
- Faserzement
- Welleternit
- Blech
- Sonstiges

---



---



---



---

**Flachdach**

Zur Verfügung steht eine Fläche von \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>  
 mit einer Breite von \_\_\_\_\_ m in Richtung \_\_\_\_\_  
 und einer Tiefe von \_\_\_\_\_ m in Richtung \_\_\_\_\_ .

Es handelt sich dabei um ein

- Kiesdach
- Blechdach
- Foliendach
- Sonstiges

Die Aufständering muss einen Abstand von 1–2 m vom Dachrand einhalten.

Bei der Realisierung einer Vorwärmanlage ist die Neigung der Kollektoren der verfügbaren Fläche anzupassen. Sie sollte zwischen 20° und 40° liegen. Sollte der Neigungswinkel kleiner als 25° sein, ist die Gesamtaperturfläche um ca. 5 % zu erhöhen. (s. Kap. 3.2.3.4.)

**Fassade**

Zur Verfügung steht dort eine Fläche von \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>.

Die Höhe des höchsten Punktes dieser Fläche gegenüber dem Gelände beträgt \_\_\_\_\_ m.

Die Gesamtaperturfläche ist für die Anwendung der Fassadenintegration um \_\_\_\_\_ % zu vergrößern. (s. Kap. 3.2.3.4.)

- Die Kollektorfläche soll hinterlüftet montiert werden.
- Die Kollektorfläche soll zusätzlich als Gebäudedämmung dienen.

**1.6.1.1. Beschaffenheit der Kollektormontagefläche**

- Die Montage der Kollektoren soll als möglichst geschlossene Fläche erfolgen.
- Andere Montagevorschläge:

Die Montagefläche (s. Kap. 3.2.3.2. und 6.1.1.) ist:  nicht verschattet  
 verschattet

Hierzu nähere Angaben:

Die Höhe des höchsten Montagepunktes über dem Gelände beträgt \_\_\_\_\_ m.

## 1.7. Speicher (Aufstellort und Volumen): (s. Kap. 3.1.)

Als Aufstellort des Solarspeichers ist vorgesehen:

- Technikraum im \_\_\_\_\_
  - Dachheizzentrale
  - Kellerraum
  - Sonstiges
- 

Die dort bestehende/vorgesehene Einbringöffnung von außen hat eine Breite von \_\_\_\_\_ m  
und eine Höhe von \_\_\_\_\_ m.

Die lichte Raumhöhe des Technikraums beträgt \_\_\_\_\_ m  
und die verfügbare Aufstellfläche ist ca. \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>.

Die für die Montage von Armaturen zur Verfügung stehende Wandfläche beläuft sich auf  
rund \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>.

Im folgenden Abschnitt sind die gewünschten Systeme anzukreuzen und das benötigte Speichervolumen einzutragen. (siehe Kap. 3.2.1.1. und 3.2.2.2.)

### bei System A oder B

Als gesamtes Trinkwasserspeichervolumen sind ca. \_\_\_\_\_ Liter vorzusehen.

Davon sind für den Bereitschaftsteil ca. \_\_\_\_\_ Liter vorzusehen.

### bei System C

Das Volumen des eingehängten Bereitschaftsspeichers, das Pufferspeichervolumen sowie das vom Kessel nachzuheizende Volumen sind so zu dimensionieren, dass die auftretenden Spitzenlasten abgedeckt werden können.

### bei System D

Das gesamte Pufferspeichervolumen soll ca. \_\_\_\_\_ Liter betragen.

Der Bereitschaftsspeicher soll ein Volumen von ca. \_\_\_\_\_ Litern aufweisen.

### bei System E

Das Pufferspeichervolumen soll ca. \_\_\_\_\_ Liter betragen.

Das Volumen der einzelnen Bereitschaftsspeicher ist gemäß den bekannten Richtlinien für Warmwasserspeicher zu dimensionieren.

### bei System F

Das Volumen der einzelnen Bereitschaftsspeicher ist gemäß den Richtlinien von Solaranlagen für Einfamilienhäuser zu dimensionieren.

## 1.8. Rohrführung des Kollektorkreises

Die Leitungs-Entfernung vom Kollektorfeld zum Technikraum/Aufstellungsort des Speichers beläuft sich auf \_\_\_\_\_ m.

Die Rohrführung des Kollektorkreises kann wie folgt durchgeführt werden:  
(Beschreibung des möglichen Rohrverlaufes vom Kollektorfeld bis zum Technikraum)

---



---



---

Die Ausführung sollte in folgendem Zeitraum stattfinden:

---



---

## 2. Spezifikationen der Anlage und Dienstleistungen

Anlage:

Die Spezifikationen beziehen sich auf einzelne Komponenten (Kollektoren, Pumpen, Wärmetauscher, Regelung) und die Ausführung der Montage.

### • Kollektor und Kollektorverrohrung

Es ist generell darauf zu achten, dass eine gleichmäßige Durchströmung aller Absorber vorliegt. Werden die Kollektoren parallel verschaltet, ist dies eventuell mit einer „TICHELMANN“-Verschaltung zu realisieren. Bei Anlagen, die kleiner als 50 m<sup>2</sup> sind, sollte der Druckverlust des gesamten Kollektorfeldes 0,3 bar und bei Anlagen mit einer Größe zwischen 50 und 200 m<sup>2</sup> Kollektorfläche 0,6 bar nicht übersteigen. (siehe Kap. 5.5.)

Die Kollektorverrohrung ist in der Regel mit Kupfer auszuführen (DIN 1786). Lötverbindungen und Befestigungen sind entsprechend den Regeln der Technik so auszuführen, dass sie dauerhaft gegen die bei Stillstand des Kollektors auftretenden Temperaturen (bis zu 200 °C) und bis zu -20 °C (bzw. tiefste Außentemperatur im Winter) sowie gegenüber dem Frostschutzmittel-Gemisch beständig sind.

Kollektor und anschließende Rohrleitungen mit Wärmedämmung müssen dauerhaft temperaturbeständig gegen die bei Stillstand des Kollektors auftretenden Temperaturen sein. Dasselbe gilt für angrenzende Materialien der Durchführung in das Dachinnere. Zum Ausgleich von Wärmedehnungen sind ausreichend Dehnelemente vorzusehen. Die verwendeten Entlüfter müssen temperaturbeständig bis 150 °C sein.

### • Kollektor und Kollektorverrohrung müssen für die gewählte Betriebsart geeignet sein

- LOW FLOW, Volumenstrom im Kollektor      10–18 L/m<sup>2</sup>h
- HIGH FLOW, Volumenstrom im Kollektor      30–70 L/m<sup>2</sup>h
- MATCHED FLOW, Volumenstrom im Kollektor      10–70 L/m<sup>2</sup>h



### • Solarkreisverrohrung

Die Solarkreisverrohrung muss durchgehend isoliert sein, der eingesetzte Dämmstoff temperaturbeständig bis 180° C. Die Dämmstärke der Isolierung sollte mindestens dem Rohrdurchmesser entsprechen. Zum Ausgleich von Wärmedehnungen sind ausreichend Dehnelemente vorzusehen. Rohrleitungsbefestigungen sind körperschallgedämmt auszuführen. Außenliegende Rohrisolierungen müssen zusätzlich noch stabil gegen UV-Strahlung, Feuchtigkeit und Vogelpicken ausgeführt sein. Die Rohrleitungsquerschnitte im Solarkreis sind so auszuführen, dass der Druckverlust pro Meter Rohrleitung 1,5 mbar nicht übersteigt und die Strömungsgeschwindigkeit auf 0,5 m/s begrenzt wird. Bei Verwendung von Absorptionseventilatoren im Keller muss die Strömungsgeschwindigkeit in den fallenden Rohren zwischen 0,4 und 0,5 m/s liegen.

### • Wärmeträger

Das Frostschutzgemisch (Wasser-Propylenglykol) soll einen Kälteschutz bis -25 °C (ca. 40 % Polypropylenglykol) bieten, Korrosionsinhibitoren beinhalten und hochtemperaturbeständig sein. Weitere Anforderungen für den Wärmeträger nach EN 12975 -1 und EN 12976 -1.

### • Sicherheitseinrichtungen

Die Eigensicherheit der Anlage ist rechnerisch nachzuweisen.

Eigensichere Solaranlagen sind nach EN 12976 -1 wie folgt definiert:

„Absicherung und Schaltung der Sonnenheizungsanlagen sind so ausgeführt, dass anhaltende Wärmeaufnahme ohne Wärmeverbrauch nicht zu einem Störfall führt, dessen Behebung über den üblichen Bedienungsaufwand hinausgeht.“

Membrane der Ausdehnungsgefäße müssen glykolbeständig sein und ausreichend beständig gegen die dort bei Anlagenstillstand auftretenden Temperaturen. Ausdehnungsgefäße müssen nach unten hängend so eingebaut werden, dass sie nicht abgesperrt werden können und bei Auftreten eines Kollektorstillstandes die Flüssigkeit aus beiden Seiten ungehindert in das Gefäß strömen kann.

Die Sicherheitsventile sind gemäß EN 12976 -1 zu dimensionieren. Die Anlage hat den sicherheitstechnischen Anforderungen für Warmwasserbereitungsanlagen zu genügen. Das Hauptsicherheitsventil muss bis 120 °C zugelassen sein und die Buchstaben D/G/H tragen. Bei eigensicheren 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 des Ventils darf minimal 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.

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. Die Rückschlagklappe des Kollektorkreises ist zwischen dem Wärmetauscher und dem Ausdehnungsgefäß, in Durchtrittsrichtung zum Ausdehnungsgefäß, zu positionieren.

### • Pumpen

Die im Solarkreis verwendete Pumpe muss geeignet für Glykol und temperaturbeständig bis 120 °C sein. Die Pumpe ist so zu bemessen, dass auch bei Temperaturen unter 30 °C der erforderliche Kollektordurchsatz gewährleistet ist, auch dann, wenn eine Förderhöhe 20 % oberhalb der berechneten Förderhöhe erforderlich ist. Es sind Schmutzfänger oder Filter vorzusehen. Anforderungen der Pumpe entsprechend EN 809 und EN 1151.

### • Externe Wärmetauscher

Die Leistung des externen Solarwärmeüberträgers muss 500 W pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche betragen. Die logarithmische Temperaturdifferenz darf nicht mehr als 6 K betragen. Der Druckverlust auf beiden Seiten darf 150 mbar nicht übersteigen. Das Wärmeverhältnis beider Seiten soll „1“ betragen. Der Einbau der externen Wärmetauscher muss so erfolgen, dass ein nachträgliches Spülen derselben möglich ist. Anforderungen gemäß EN 307.

### • Interne Wärmetauscher

Die Übertragungsfähigkeit eines eventuell eingesetzten internen Wärmetauschers soll zwischen 40 und 50 W/K pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche liegen.

### • Speicher

Die Wärmedämmung der Energiespeicher soll mindestens 150 mm Steinwolle oder gleichwertig betragen. Der Wärmeverlustwert bezogen auf die Fläche von einem Quadratmeter sollte kleiner als 0,5 W/K sein.

Trinkwasserspeicher müssen eine lebensmittelechte und dauerhaft korrosionsfeste Beschichtung aufweisen oder aus Edelstahl gefertigt sein.

Oben oder seitlich aus dem Speicher hinaus- oder hineinführende Anschlüsse sollten in Form eines „U“ (ca. 10 x Rohrdurchmesser fallend und ungedämmt) gestaltet sein, um thermosiphonische Strömungen zu unterbinden.

Maßnahmen zur Verbesserung der Speicherschichtung sind zu erläutern. Weitere Anforderungen gemäß EN 60335 –2.

### • Regelung/Steuerung

Grundsätzlich muss die gesamte Regelung/Steuerung des Solarsystems folgenden Anforderungen genügen:

- Dem Kollektorfeld muss stets die niedrigst mögliche Systemtemperatur angeboten werden.
- Die Regelung/Steuerung 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 Funktion der Geräte und der Ablauf der Steuerung/Regelung müssen in einer Reglerbeschreibung dokumentiert werden.
- Die Schaltwerte (Ein- und Ausschaltswelle oder eine der Schwellen und die zugehörige Hysterese, gegebenenfalls auch Verzögerungszeiten) müssen ohne großen Aufwand an Systembesonderheiten angepasst werden können.
- Die Fühler müssen fest fixiert sein und dürfen nicht verrutschen.
- Die Steuer- und Regelfühler müssen so in das System integriert werden, dass sie zu jedem Zeitpunkt und in jedem Betriebszustand, in denen ihr Signal benötigt wird, einen unverfälschten Messwert liefern.
- Die Genauigkeit der Regelgruppen (Fühler und Elektronik) muss so hoch sein, dass auch bei niedrig gesetzten Schaltschwellen Fehlschaltungen vermieden werden.
- Die Steuerung/Regelung muss eine Funktionskontrolle für das System ermöglichen, sofern diese Funktionskontrolle nicht separat (unabhängig vom Regler) im System installiert ist.
  - Der Temperaturfühler des Kollektorfeldes ist am Vorlauf des wärmsten Kollektors oder am wärmsten Punkt des Kollektorfeldes anzubringen.
  - Die Temperaturfühler zur Speichertemperaturerfassung sind in Tauchhülsen aus korrosionsbeständigem Material zu positionieren und auf einen festen Sitz zu prüfen.

- Die Fühlerpositionierung muss exakt ausgeführt sein und mit der Ausführungsplanung übereinstimmen.
- Die Steuerung der Kollektorkreispumpe ist freigestellt, doch müssen mindestens die Betriebsergebnisse einer üblichen Differenztemperatursteuerung erreicht werden.
- Wird Matched Flow als Betriebsart gewünscht, muss hier eine Zweikreis-Temperaturdifferenzsteuerung mit Pumpendrehzahlregelung eingebaut werden.
- Kollektorkreispumpe und Beladepumpe müssen bei Temperaturen  $> 110\text{ °C}$  im Kollektor bzw. bei voll befülltem Speicher (Speicherinhalt  $> 90\text{ °C}$  bei Pufferspeicher und  $65\text{ °C}$  bei Trinkwasserspeicher) zuverlässig außer Betrieb gehen und außer Betrieb bleiben, solange diese Bedingungen vorliegen.

Unter Umständen müssen elektrische Geräte/Anschlüsse an anderer Stelle montiert werden, um nicht bei Wartungsarbeiten in den Bereich von Spritzwasser zu kommen.

#### • Messeinrichtung

Hat die Anlage eine Kollektorfeldgröße von über  $40\text{ m}^2$ , soll zur Regelung der Solaranlage ein Kombigerät eingesetzt werden, welches sowohl ein manuelles Ablesen der Anlagenparameter (Druck, Temperaturen, Wärmemengen sowie Betriebsstunden der Pumpen und Ventile) als auch eine Fernüberwachung der Anlage ermöglicht. Die Positionen der Messstellen müssen den Positionen im beigelegten Schema entsprechen.

#### *Dienstleistungen:*

- Simulationsrechnung
- Baustelleneinrichtung und Baustellenabbau (Gerüst, Kran, Sicherheitsvorkehrungen)
- Einbau der Messeinrichtungen zur Ertragskontrolle
- Erforderliche Druck- und Dichtheitsprüfungen
- Probetrieb, Einweisung des Betreibers
- Erstinspektion der Anlage (6–8 Wochen nach Errichtung)
- Dokumentation der Anlage und Betriebsanleitungen
- Garantie des mit T\*SOL oder POLYSUN simulierten Kollektorkreisenertrages (Abweichungen der Messung von der Simulation von bis zu 10 % erlaubt)
- Wartung der Anlage (ev. Wartungsvertrag)

### 3. Mitgeltende Normen

Die verwendeten Kollektoren müssen Bauart zugelassen sein und eine Prüfung je nach Kollektortestmethode:

- ÖNORM M 7714 (österreichische Norm)
- DIN 4757 Teil –3 und –4 (deutsche Norm)
- EN 12976 –1 (europäische Norm)
- ISO TC 180 SC5 und ISO 9806 –1 und –2 (internationale Norm)

in allen Punkten erfolgreich und mangelfrei bestanden haben. Eine Beantragung der Prüfungen ist nicht ausreichend.

Für die übrige Anlage gilt nach den neuen europäischen Normen:

- *prEN 806 –1 (Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen innerhalb von Gebäuden für Trinkwasser für den menschlichen Gebrauch)*
- *prEN 12828 (Heizungssysteme in Gebäuden, Planung und Installation von Warmwasser-Heizungsanlagen)*
- *prENV 12977 –1 (Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Teil 1, allgemeine Anforderungen)*
- *prENV 12977 –2 (Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Teil 2, Prüfverfahren)*
- *prENV 12977 –3 (Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Teil 3, Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen)*
- *EN 60335 –2 (Besondere Anforderungen für Wassererwärmer – Warmwasserspeicher und Warmwasserboiler)*

Die Anlage ist systemtechnisch so auszustatten, dass ein Betrieb nach der deutschen Legionellenverordnung DVGW 551 bzw. DVGW 552 möglich ist.

Die Betriebsanleitung muss Informationen entsprechend EN 12976 –1 enthalten.

Die Dämmung aller Rohrleitungen muss einer 100-%igen Dämmung entsprechend Heizanlagenverordnung entsprechen (Reduktion der Dämmung in Durchbrüchen wie in Heizanlagenverordnung beschrieben).

Die Dichtheit von Dachdurchdringungen muss gewährleistet sein.

Alle geforderten Eigenschaften müssen zum Zeitpunkt der Angebotsabgabe erfüllbar sein, Zertifikate und Prüfzeugnisse müssen bis spätestens 10 Tage nach Angebotsabgabe vorgelegt werden können.

#### **4. Nachweise**

- **Kollektor**

Parameter der Leistungsprüfung nach einer der folgenden Kollektortestmethoden:

- DIN 4757 Teil –3 und –4
- EN 12976 –1
- ÖNORM M 7714
- ISO TC 180 SC5 und ISO 9806 –1 und –2

einschließlich Stillstandstemperatur, Prüfdatum, Prüfstelle sowie Nummer der Prüfung, Nummer der Bauartzulassung, zulässiger Betriebsdruck, Abmessungen vom Kollektor, vorgesehene Anzahl Kollektoren, hydraulische Anordnung vorgesehener Regelvolumenstrom, Schema der Feldverrohrung, Wind- und Schneelasten; Dach-(Punkt)belastung (im Auftragsfall).

- **Kollektoranschlussverrohrung**

Herstellernachweis für die Eignung der Wärmedämmung bei hohen Temperaturen, ggf. Herstellernachweis für die Eignung der verwendeten Lötverbindungen bei hohen Temperaturen.

- **Sicherheitseinrichtungen**

Vorgesehene Ausdehnungsgefäße mit Bezeichnung des werkseitigen Vordrucks, rechnerischer Nachweis der

Eigensicherheit, ggf. Nachweis der Abkühleinrichtungen, vorgesehene Absicherung der Pumpenkreise (Anspruchdruck der Sicherheitsventile).

- **Speicher**

Vorgesehene Volumina, Abmessungen einschließlich Kippmaß, Kennwerte Dämmung bzw. Wärmeverluste, Erläuterung der Maßnahmen zur Speicherschichtung.

- **Verrohrung und Pumpen**

Druckverlustberechnung der Pumpenkreise, Kennlinien der vorgesehenen Pumpen mit Kennzeichnung des Auslegungspunktes, Anschlüsse und elektrische Leistungsaufnahme der Pumpen, die Ausstattung der Pumpen mit Schmutzfängern und Absperrhähnen ist zu spezifizieren.

- **Wärmetauscher**

Erläuterung über die verwendeten Wärmetauscher, Spezifikationen am Auslegungspunkt, ggf. Kennlinien (im Auftragsfall).

- **Wärmeträger**

Datenblatt des verwendeten Wärmeträgers.

- **Regelung/Steuerung**

- Erläuterung von Steuerung/Regelung,
- Erläuterung der Abschaltung von Kollektorkreis- und Beladepumpe,
- Liste und Bezeichnung der vorgesehenen Sensoren (im Auftragsfall); bei sehr großen Anlagen auch Steuerablaufdiagramme (im Auftragsfall).

## 5. Beilagen

- **Solaranlage**

- gewünschtes Anlagenschema mit Positionen der Messstellen für die Ertragskontrolle

- **Gebäudepläne** (*bitte ankreuzen*)

- Dachdraufsicht (bauseitige Fixpunkte einzeichnen und diverse statische Angaben)
- Südansicht vom Dach
- Fensterplan und Fassadenschnitt (bei Fassadenkollektoranlage)
- Kellergrundriss
- Lageplan (mit Nordpfeil)
- Plan des Technikraumes
- Schnitt/Geschoßplan
- Schema vom bestehenden Warmwassersystem





## 4.2. Entwurfs- und Genehmigungsplanung

In der anschließenden Entwurfsplanung arbeitet der Fachplaner den gesamten Entwurf nochmals durch und präzisiert die Kostenschätzung.

Vereinbarungen über Montageflächen, Leitungsführung, Aufstellort und Einbringweg der Speicher müssen spätestens zu diesem Zeitpunkt durch schriftliche Protokolle fixiert werden, um Planungssicherheit zu gewährleisten. Änderungen in diesen Punkten seitens des Bauherrn und Architekten (Änderungen Raumplan, Änderungen Raumschließung, Änderungen Dachsituation) müssen schriftlich zur Kenntnis gebracht werden.

Es empfiehlt sich, parallel zur Entwurfsplanung die Genehmigungsplanung abzuarbeiten. Für Kollektoranlagen besteht die Genehmigungsplanung meist aus folgenden Punkten:

- Erforderliche statische Nachweise Dach- oder Aufständerung.
- Ggf. erforderliche Genehmigung der Denkmalbehörden, Abstimmung mit Anforderungen aus Kompensationsmaßnahmen wie z. B. Gründächer.

- Einpassen des Entwurfs in die Förderbedingungen eines Förderprogramms, das der Bauherr in Anspruch nehmen möchte.

Hierzu gehört die Erfüllung von zu erwartenden Bewilligungsaufgaben wie Gebäudeintegration, Messwerterfassung oder auch Nachweise zur Energieeinsparung und Emissionsminderung. Diese Dinge müssen bereits in den Entwurf eingearbeitet werden – erfolgt die Berücksichtigung erst bei der Ausführungsplanung, führt das in der Regel zu Mehrarbeit.

Erfahrungsgemäß gibt der Bauherr die Ausführungsplanung erst frei, wenn er hinreichend Sicherheit über die erforderlichen finanziellen Aufwendungen hat und dazu gehört die Zuversicht, mit dem vorgelegten Entwurf Förderkriterien erfüllen zu können.

### Baupolizeiliche Richtlinien

Für die Errichtung bzw. Aufstellung von Solaranlagen ist eine baubehördliche Bewilligung erforderlich. Um diese zu erlangen, ist an die zuständige Außenstelle der Baupolizei bei den Bezirksämtern meist ein formloses Ansuchen zu stellen. Manche Stellen bieten auch vorbereitete Formulare an. Beizulegen sind Plan des Hauses in dreifacher Ausfertigung, Maßstab 1:100, unterzeichnet von Baumeister und allen im Grundbuch eingetragenen Eigentümern, Grundbuchauszug, Ansicht, Schnitt der geplanten Solaranlage.

## 4.3. Ausführungs- planung und Kostenberechnung

In der abschließenden Ausführungsplanung wird der vom Bauherrn genehmigte Entwurf mit konkreten Produkten ausgeführt. Dies führt – da nun durch das ausgewählte Angebot auch die Kosten für alle zu verwendenden Bauteile eingesetzt werden können – zur Kostenberechnung.

### ***Einsparpotenziale bei der Ausführung nutzen!***

- Kostenreduktionen bei der Speicherwahl ausnutzen. Die Mehrkosten für eine Aufteilung des SolarSpeichers in Einzelspeicher sind immer zu vergleichen mit Mehrkosten, die eine Umgestaltung des

Einbringwegs (Vergrößerung der Türöffnung), ein anderer Aufstellraum oder eine geringe Absenkung des Kellerbodens erfordern würden.

- Kostenreduktionen durch kurze, gerade Verrohungswege innerhalb der Anlageninstallation ausnutzen.
- Ungerechtfertigter Aufwand bei Schaltschränken für Stromanschlüsse und Regelgeräte. Fast immer kommen die Pumpen mit einfachen 230-V-Anschlüssen aus. Die Regelgeräte werden in einem wandmontierbaren Gehäuse der erforderlichen Schutzklasse geliefert.
- Isolation von Rohrleitungen mit montageaufwändigen Systemen anstatt mit vorkonfektionierten Dämmschalen.
- Beschriftung und Kennzeichnung ist wichtig, jedoch sind preiswerte Systeme ausreichend [4].



## 4.4. Finanzierung und Wirtschaftlichkeit

### 4.4.1. Investitionskosten

Die Frage nach den zu erwartenden Kosten für den Bau einer thermischen Solaranlage in Mehrfamilienhäusern steht meist im Mittelpunkt des gesamten Projektablaufs. Im Vergleich zu marktüblichen Kleinanlagen betragen die Investitionskosten (bezogen auf die Kollektorfläche) für diese Großanlagen weniger als die Hälfte, der Solarenergieertrag ist dagegen um 30–50 % höher, sodass sich eine um den Faktor 3 bessere Wirtschaftlichkeit gegenüber derzeitigen Kleinanlagen ergibt.

Die flächenbezogenen Investitionskosten der Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung variieren zwischen 508,71 und 2.034,84 €/m<sup>2</sup> – in Einzelfällen sogar darüber. Kleinere Solaranlagen (< 10 m<sup>2</sup>) mit Vakuumröhren-Kollektoren liegen im oberen Kostenbereich, während größere Systeme (> 100 m<sup>2</sup>) mit Flachkollektoren unter 508,71 €/m<sup>2</sup> realisiert werden können. In Abb. 4.1 sind die durchschnittlich zu erwartenden

Investitionskosten für solare Warmwasserbereitungsanlagen in Abhängigkeit von der Kollektorfeldgröße abzulesen. Die mittlere (schwarze) Linie dient in der Vorplanungsphase zur Orientierung für den Bauherrn, um eine ungefähre Vorstellung von den zu erwartenden Kosten zu bekommen. Diese Kosten, es werden die Kosten für Solaranlagen mit Flachkollektoren betrachtet, setzen sich zusammen aus:

- **Planung**
- **Materialkosten**
- **Montagekosten** (Arbeitszeit, Krankkosten usw.)
- **exkl. Ust**

Sind genauere Details über die Montageart des Kollektorfeldes, der Speicheraufstellung sowie der Verrohrung bekannt, kann man abschätzen, ob die Kosten eher in Richtung der roten Linie steigen oder in Richtung der grünen Linie fallen werden.

#### Günstige Rahmenbedingungen:

- Einfache Dachintegration, Gebäudeintegration.
- Geringer Montageaufwand durch geringe Bauhöhen, kurze Anbindung an die Nachheizung sowie geringer Aufwand bei Speicheraufstellung.

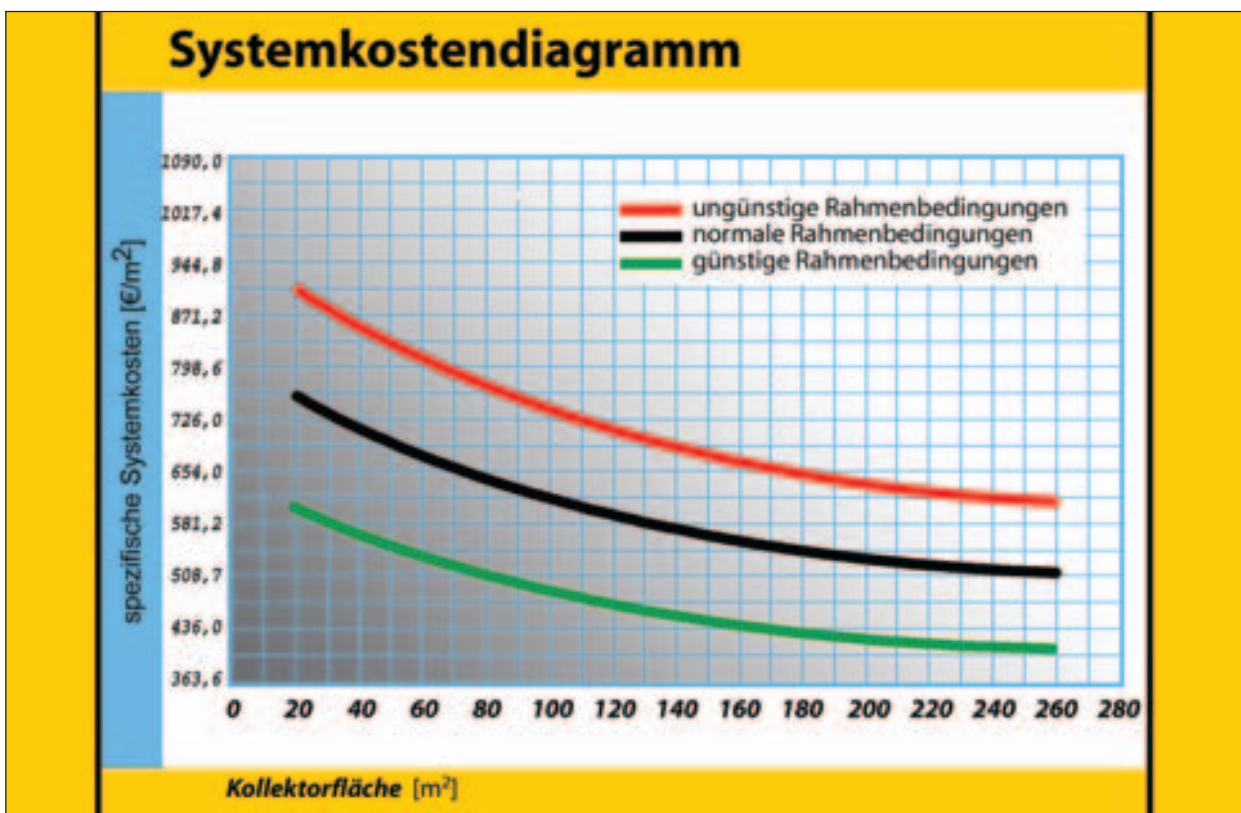


Abb. 4.1 spezifische Systemkosten in € pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche (erstellt anhand der Daten einer repräsentativen Anzahl bereits realisierter Anlagen in Deutschland und Österreich); Grafik: ASiC; Quelle: [25], [12], ASiC

- Das benötigte Speichervolumen in eine möglichst geringe Anzahl von Speichern aufteilen.

#### **Ungünstigere Rahmenbedingungen:**

- Aufwand für Unterbau und Aufständerungen beim Kollektorfeld.
- Lange Verrohungswege.
- Mehraufwand an Aufstellungs- und Anschlussarbeiten durch Aufteilung des Solarspeichervolumens in mehrere Speicher.
- Errichtung im Zuge einer Sanierung (um ca. 10 % höhere Kosten als im Neubau).

#### **4.4.2. Möglichkeiten zur Kostenminderung**

- Frühzeitige Einbeziehung der Solarplanung in die Gesamtplanung des Neubaus oder der Sanierungsmaßnahme. Nur durch frühzeitige Abstimmung lassen sich günstige Montagesituationen und kurze Leitungswege sicherstellen.
- Ausdrückliche Einbeziehung aller Solarmaßnahmen in den Bauzeitenplan, um eine optimale Abstimmung der Gewerke zu erreichen und Doppelarbeiten sicher zu vermeiden. Dies ist besonders wichtig bei allen Maßnahmen zur Gebäudeintegration. Vielfach wird der Kostenvorteil, den z. B. Vormontage bieten kann, durch unnötige Wartezeiten auf der Baustelle wieder zunichte gemacht.
- Vormontagemöglichkeiten nutzen. Dies gilt insbesondere bei aufgeständerten Kollektoren. Vormontierte Einheiten benötigen einen Kran, der an der Baustelle meist ohnehin vorhanden ist. Oft genug wird aber die Nutzung des Krans nicht abgesprochen und der Kran wird dann einige Stunden vor Anlieferung der Kollektorelemente abgezogen oder abgebaut.
- Möglichkeiten zur großflächigen Kollektormontage nutzen, vorzugsweise als Gebäudeintegration. Mit den entsprechenden Gutschriften eingerechnet, lassen sich Kostenminderungen von 50,87–109,01 €/m<sup>2</sup> erreichen, bei großflächiger Fassaden- oder Dachintegration vielfach über 109,01 €/m<sup>2</sup>.
- Einfache, standardisierte Systemschaltungen verwenden mit den vom Hersteller vorgegebenen Komponenten.

#### **4.4.3. Wirtschaftlichkeit und Investitionsrechnung**

Unter Wirtschaftlichkeit wird meist nur eine Rückzahlung des Investitionsaufwands über eingesparte Betriebskosten während der Nutzungsdauer der Anlage verstanden. Eine Solaranlage erzeugt aber nicht nur Wärme, sie stellt auch eine Maßnahme zum Klimaschutz dar. Ein Heizkessel erzeugt Wärme und emittiert dabei Abgase, eine Solaranlage hingegen erzeugt dabei keine klimaschädlichen Emissionen.

#### **Klimaschutz ist aber auch nicht kostenlos zu haben!**

Zur Ermittlung von Kosten-Nutzen-Relationen werden zwei unterschiedliche Verfahren angewendet:

- *Annuitätenverfahren*
- *Kapitalwertverfahren*

#### **• Annuitätenverfahren nach VDI 2067:**

Hierbei werden zuerst die jährlichen Wartungs- und Betriebskosten (bzw. bei einer Solaranlage deren Einsparungen) zuzüglich dem jährlichen Kapitaldienst (Tilgung, Zins) ermittelt. Die Annuität wird dann so berechnet, als erfolge die Tilgung über die gesamte Nutzungsdauer. Die Annuitäten sind in VDI 2067 tabelliert. Es ergibt sich zum Beispiel für eine Nutzungsdauer von 20 Jahren und bei einem Zinssatz von 6 % p. a. eine Annuität von 8,72 % der Investitionssumme. Da dieses Rechenverfahren statisch ist, werden die Kostensteigerungen für die Betriebskosten nicht berücksichtigt. Sind die Einsparungen durch die Solaranlage genauso hoch wie die Annuität, ist die Wirtschaftlichkeit der Anlage gegeben. Ist dies nicht der Fall, so gibt die Differenz jene Summe an, die der Investor zuschießen muss.

#### **• Kapitalwertverfahren nach VDI 2067:**

Es werden auch hier zunächst die jährlichen Einsparungen ermittelt. Die gesamten Einsparungen während der Nutzungsdauer werden dann auf den sog. Barwert umgerechnet. Der Barwert ist jener Wert, den man heute auf die Bank legen müsste, um jedes Jahr den Geldwert der Einsparung auszahlen zu können. Dazu multipliziert man die jährlichen Einsparungen mit dem sog. Barwertfaktor, der tabelliert ist. Bei diesem dynamischen Verfahren können Kostensteigerungen berücksichtigt werden. In entsprechender Weise werden die jährlich wiederkehrenden Ausgaben auf einen Barwert umgerechnet und dieser vom Barwert der Einsparungen abgezogen. Von diesem Barwert zieht man die Investitionskosten ab. Eine etwaige



Förderung wird zu diesem Barwert addiert, wenn sie zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme gezahlt wird. Wird die Zahlung der Förderung auf mehrere Jahre aufgeteilt, ist der Zahlung entsprechend ein Barwert auszurechnen.

Der Kapitalwert ist dann die Summe der Werte (Barwert, Investitionskosten, Förderung). Ist der Kapitalwert positiv, so gibt er an, wie viel Gewinn der Investor macht. Ist der Kapitalwert negativ, so entspricht dies der „Eigenbeteiligung“ des Investors, welche nicht durch Einsparungen abgedeckt ist.

Diesen Betrag muss er rechnerisch zum Investitionszeitpunkt „auf die hohe Kante“ legen, um allen Ausgaben während der Nutzungsdauer nachkommen zu können [25].

#### 4.4.4. Finanzierungsmöglichkeiten

##### • Drittmittelfinanzierung

Hilfreiche Umsetzungsmodelle zur breiten Markteinführung von thermischen Solaranlagen stellen oftmals Drittmittelfinanzierungen und die Garantie des Ertrages aus thermischen Solaranlagen dar.

Ein immer häufiger zur Anwendung kommendes Finanzierungsmodell im Mehrfamilienhausbereich ist das sog. „Contracting“ (englisch Vertragsschließung). Die finanziellen Vorteile (Energieeinsparung) der Investition kommen dabei dem Contractor zugute, welcher damit seine Investitionskosten refinanziert. Die grundsätzliche Idee von Contracting- bzw. Drittmittelfinanzierungsmodellen ist:

- Die Energieeffizienz-Maßnahme wird von einem Contractor geplant, finanziert und durchgeführt.
- Die Refinanzierung der Investition erfolgt über den Wärmepreis oder über die Energiekosteneinsparungen.

Prinzipiell sind verschiedene Contractingmodelle möglich, wobei aber im Wesentlichen zwischen **Einspar- und Anlagencontracting** unterschieden wird.

Beim sog. **Anlagencontracting** plant, finanziert, errichtet und betreibt der Contractor eine Energieversorgungsanlage. Der Nutzer zahlt für den Energiebezug einen vertraglich festgelegten Preis.

Beim **Einsparcontracting** wird eine Energiesparinvestition durch einen Contractor durchgeführt, der auf eigene Rechnung plant, errichtet, vorfinanziert und betreibt. Die Refinanzierung erfolgt aus der erzielten

Einsparung an Endenergie. Der Zahlungsfluss an den Contractor kann so gestaltet werden, dass die gesamten Einsparungen der Rückzahlung dienen, oder der Nutzer wird von Beginn an mit einem gewissen Anteil an den Einsparungen beteiligt.

Spricht man von Contracting im Zusammenhang mit thermischen Solaranlagen, handelt es sich meist um ein Anlagencontracting.

Contracting ist eine Win-win-Strategie, bei der alle Beteiligten Vorteile erwarten dürfen. Gebäudeeigentümer können mangelnde Eigenmittel auf einen Dritten übertragen und somit trotzdem Investitionen, die sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoll sind, möglich machen. Die Rechte und Pflichten beider Vertragspartner, Vertragsdauer und die Kosten des Nutzers werden im sog. Contracting-Vertrag genau definiert. Mit Ende der Vertragsdauer, die in Abhängigkeit der Zahlung des Nutzers zwischen 5 und 20 Jahre beträgt, geht meist die Anlage in das Eigentum des Nutzers über [12].

##### **Eine Liste der Contractinganbieter finden Sie unter:**

<http://www.eva.ac.at/contracting/firmeninhalte.htm>

##### **Weitere Informationen:**

O.Ö. Energiesparverband  
Landstraße 45, A-4020 Linz  
Tel. +43/732/6584-4380  
Internet: <http://www.energiesparverband.at>

#### 4.4.5. Ertragsgarantie

Die Ertragsgarantie einer erbauten Solaranlage bietet dem Betreiber (Wohnhausgenossenschaft, Investor) eine Absicherung für die Funktionssicherheit der errichteten Anlage.

Hierbei garantiert die ausführende Firma (oder ein Zusammenschluss des Planers und der ausführenden Firmen sowie des Kollektorherstellers zu einer Arbeitsgemeinschaft) für eine bestimmte Wärmelieferung der Solaranlage. Die zu garantierende Wärmemenge wird mittels eines anerkannten Simulationsprogrammes (siehe Kap. 3.2.3.5.) berechnet und festgelegt.

Mittels Messdatenerfassung (Messung über zwei oder drei Jahre) wird die tatsächlich von der Solaranlage erbrachte Wärmelieferung bestimmt und somit der garantierte Wert überprüft. Die zur Bestimmung der

Wärmelieferung notwendigen Messdaten werden mittels Datenfernübertragung ausgelesen und ausgewertet. Nach Inbetriebnahme der Solaranlage beginnt je nach Vereinbarung die ein- bis zweijährige Garantiezeit. Werden nach Ablauf der Garantiezeit die garantierten Werte nicht erreicht, so wird eine sorgfältige Analyse der Anlage empfohlen.

Stellt sich nach einer Analyse ein Verschulden seitens des/der Anlagenerrichter/s heraus, so tritt der Garantiefall ein. Je nach vertraglicher Vereinbarung werden dem Anlagenbetreiber (Wohnhausgenossenschaft, Investor) entweder ein Teil der Investitionssumme oder die auf die Nutzungsdauer der Anlage berechneten, nicht eingesparten Brennstoffkosten rückerstattet.

Mit der Einführung und Durchführung von Ertragsgarantien kann das weit verbreitete Vorurteil, dass bei Solaranlagen keine fundierten Ertragsprognosen gestellt werden können, nun endgültig abgebaut werden. Durch die Ertragsgarantie wird einer Überdimensionierung der Anlagen entgegengewirkt, die Qualität der Planung und Ausführung verbessert sowie dem Anlagenbetreiber eine entsprechende Sicherheit für die Funktionstüchtigkeit gewährleistet.

#### **Nähere Informationen zum Thema Ertragsgarantie und Vermessung von Solaranlagen:**

ASiC – Austria Solar Innovation Center  
Durisolstraße 7, TOP 50,  
A-4600 Wels  
www.asic.at

#### **4.4.6. Förderungen**

Von wesentlicher Bedeutung für die Markteinführung thermischer Solaranlagen an Mehrfamilienhäusern ist die Gewährung von Fördermitteln. Diese Fördermittel sollen als Anreiz für den Bauträger, Energieversorger oder Verbraucher dienen, erneuerbare Energieträger zu Energiebereitstellung im Wohnbau einzusetzen.

In allen Bundesländern Österreichs werden Förderungen für Solaranlagen vergeben, wobei man zwei verschiedene Arten der Förderung unterscheidet:

Einerseits die Direktförderung, die speziell für die Unterstützung zum Bau einer Solaranlage vergeben wird, und andererseits eine Förderung im Zuge der Wohnbauförderung. Diese wird aufgrund energiesparender Bauweise und Nutzung von erneuerbaren Energiequellen um einen gewissen Betrag erhöht.

Bei der Art der Förderung unterscheidet man im Wesentlichen zwischen:

- **nicht rückzahlbarer Zuschuss**
- **Annuitätenzuschuss**
- **Darlehen**

Beim **nicht rückzahlbaren Zuschuss** wird der Förderwerber mit einem einmaligen Zuschuss zu den Investitionskosten begünstigt, den er nicht mehr zurückzahlen muss.

Kommt der Förderungswerber in den Genuss eines **Annuitätenzuschusses**, so werden ihm zu den Annuitäten für ein Fremddarlehen Zuschüsse gewährt. Diese sind entweder nach einigen Jahren verzinst wieder zurückzuzahlen oder nicht rückzahlbar.

**Darlehen:** Hierbei erhält der Förderungswerber ein Landesdarlehen zu meist sehr günstigen Konditionen. Je nach Bundesland unterscheidet sich das Darlehen in Höhe und Art der Bemessungsgrundlage. Die Förderungen werden entweder pauschaliert oder in Abhängigkeit der Kollektorfeldgröße (Anlagengröße), der Größe des Wohnobjektes, der simulierten Erträge, einer Verknüpfung der beiden letztgenannten Größen oder des Gesamtenergiekonzeptes bemessen.

Nebenstehend sind die für die verschiedenen Bundesländer relevanten Förderstellen angeführt.

#### **4.4.7. Versicherungen**

Schadensfälle an Solaranlagen können durch eine Versicherung abgedeckt werden. Üblicherweise werden folgende Schadensursachen anerkannt:

- Brand, Blitzschlag, Explosion
- Sturm, Hagel, Schneedruck, Felssturz, Steinschlag
- Austreten von Leitungswasser aus den Rohrleitungen infolge Bruch oder Frost der Zu- und Ableitungsrohre

Diese Sparten können in einer Eigenheimversicherung gebündelt werden. Haftpflichtschäden, die aufgrund des Betriebs einer Solaranlage dritten Personen entstehen, finden Deckung in der Haftpflichtversicherung für Haus- und Grundbesitz.

### **Wichtige Adressen bezüglich der Förderung von thermischen Solaranlagen für:**

- *Burgenland*

Amt der Burgenländischen Landesregierung	Freiheitsplatz 1 7001 Eisenstadt Tel. (026 82) 600-0
--	--

- *Kärnten*

Amt der Kärntner Landesregierung	Mießtalerstraße 6 9020 Klagenfurt Tel. (0463) 536-30 861
----------------------------------	--

- *Niederösterreich*

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung	Landhausplatz 1 3109 St. Pölten Tel. (027 42) 200-40 36
--	---

- *Oberösterreich*

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung	Harrachstraße 16a 4020 Linz Tel. (0732) 77 20-0
--	---

- *Salzburg*

Amt der Salzburger Landesregierung	Michael-Pacher-Straße 36 5020 Salzburg Tel. (0662) 80 42-42 52
------------------------------------	--

- *Steiermark*

Amt der Steiermärkischen Landesregierung	Dietrichsteinplatz 15 8010 Graz Tel. (0316) 877-0
--	---

- *Tirol*

Amt der Tiroler Landesregierung	Neues Landhaus 6010 Innsbruck Tel. (0512) 508-27 30
---------------------------------	---

- *Vorarlberg*

Amt der Vorarlberger Landesregierung

Römerstraße 15  
6900 Bregenz  
Tel. (055 74) 511-26 119

- *Wien*

*Genauere Förderrichtlinien und Antragsformulare sind erhältlich bei*

MA 25, Muthgasse 62  
1194 Wien  
Tel. (01) 4000-90 561

- *Betriebliche, kirchliche und öffentliche Einrichtungen sowie Vereine, die eine Förderung bei der Österreichischen Kommunalkredit AG beantragen*

Österreichische Kommunalkredit AG

Türkenstraße 9  
1090 Wien  
Tel. (01) 31 631-0



Zusätzlich zu den Landesförderungen kann auch auf den jeweiligen Gemeinden ein Ansuchen auf Förderung gestellt werden.

## 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)
- $\Delta T$  .....Temperaturdifferenz zwischen kaltem und erwärmtem Wasser in K
- $\rho$  .....Dichte des Wassers in kg/m<sup>3</sup>
- $V$  .....Volumen des zu erwärmenden Wassers in m<sup>3</sup>

**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/m<sup>2</sup> K
- $A$  .....Oberfläche des Speichers in m<sup>2</sup>
- $\Delta T$  .....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

**P**ufferspeicher 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 <sup>2</sup> 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 sprunghaftigen Temperaturverläufen. Gutes Schichtungsverhalten heißt ebenso, dass

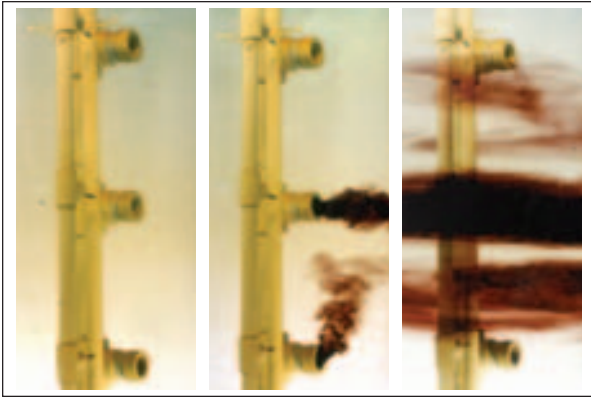


Abb. 5.2 Schichtladeeinheit; Quelle: (9)

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.)

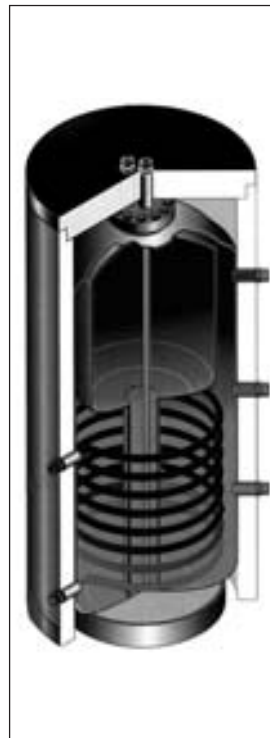


Abb. 5.3.1 Kombispeicher; Quelle: (1)



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.



## 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

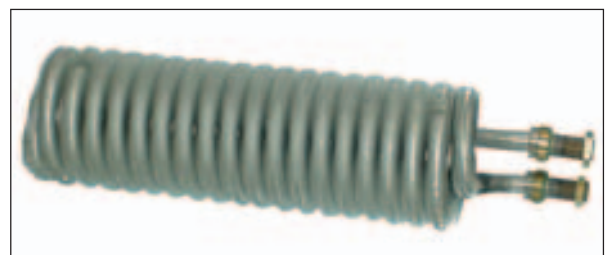
Innenliegende WT haben den Vorteil, dass keine direkten Wärmeverluste an die Umgebung auftreten und die Brauchwasserseite mittels Schwerkraft angetrieben wird. Nachteilig ist die Abhängigkeit der Übertragungsleistung von der Temperaturdifferenz zwischen Solarkreis und Speicherwasser.

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<sup>2</sup> Kollektorfläche ist hier ausreichend.
- Der optimale Massenfluss im Kollektorkreis bei Systemen mit internen Wärmetauschern wäre 25–30 kg/h pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche [15].

Überschlägig kann man nach folgenden Richtwerten dimensionieren [14]:

- Glattrohrwärmetauscher 0,2 m<sup>2</sup> pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche
- Kupfer-Rippenrohrwärmetauscher 0,3–0,4 m<sup>2</sup> pro m<sup>2</sup> 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<sup>2</sup> 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)

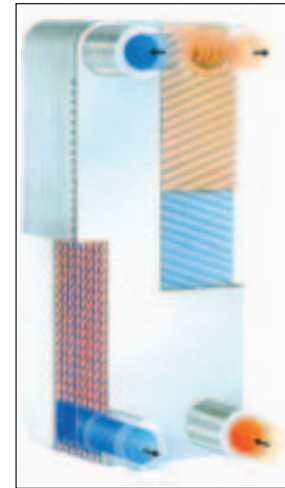


Abb. 5.5.2 Plattenwärmetauscher (Funktionsweise); Quelle: (10)

- 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 °C
- $T''$  ..... Flüssigkeitstemperatur der ausströmenden Flüssigkeit in °C
- Index *HF* ..... heißer Flüssigkeitsstrom
- Index *KF* ..... kalter Flüssigkeitsstrom

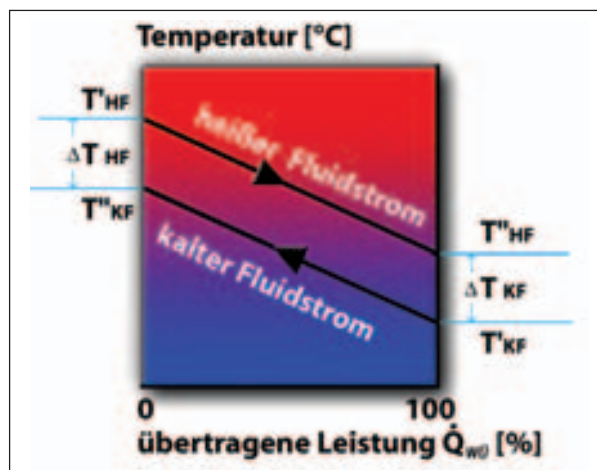


Abb. 5.6 Temperaturverlauf eines Gegenstromwärmetauschers; Grafik: ASiC; Quelle: [7]

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  $k * A_{WÜ} = 100 \text{ W/K pro m}^2$  **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 <sup>2</sup>
$\Delta T$	ca. 5 K
Übertragungsfähigkeit	100 W/K/m <sup>2</sup> 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  $-20\text{ °C}$  (bzw. tiefste Außentemperatur im Winter) und min.  $200\text{ °C}$  (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  $1\text{ m/s}$  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.  $5\text{ W}$  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  $50\text{ °C}$ ).

*Anmerkung:* Da der Kollektorkreis in unseren Breiten normalerweise mit einer Mischung aus  $40\%$  Glykol und  $60\%$  Wasser betrieben wird und der Druckverlust bei  $20\text{ °C}$  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

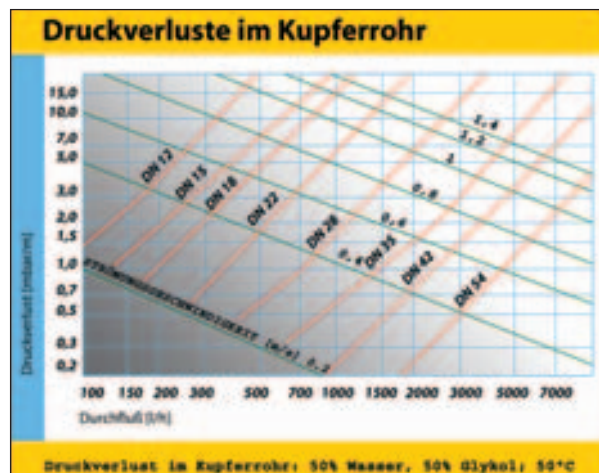


Abb. 5.8 Druckverlust in Kupferrohren; Grafik: ASIc; Quelle: [2]



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  $\dot{V}_{\text{Feld}}$  durchflossen. Der gesamte Druckverlust des Kollektorfeldes ist  $\Delta p_{\text{Feld}} = n_{\text{Serie}} \cdot \Delta p_{\text{Kollektor}}$ , wobei  $n_{\text{Serie}}$  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.

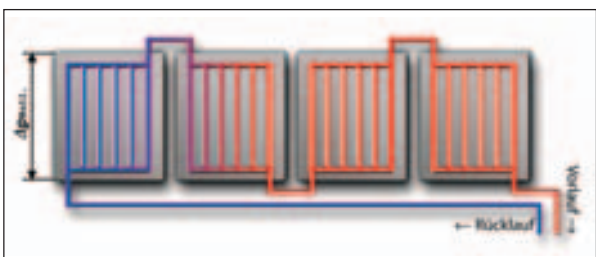


Abb. 5.10 Reihen(Serien-)schaltung; Grafik: ASiC

#### Parallelschaltung nach Tichelmann:

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

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

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 Rohrleitungs-längen der Vor- und Rücklaufrohre erreicht.

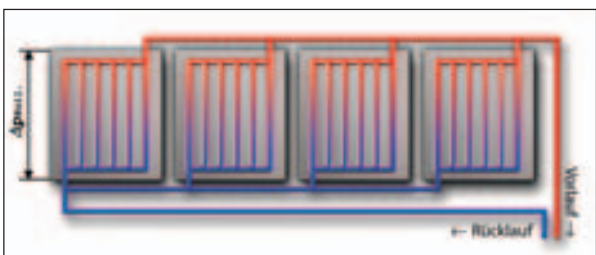


Abb. 5.11 Parallelschaltung; Grafik: ASiC

#### 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.

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

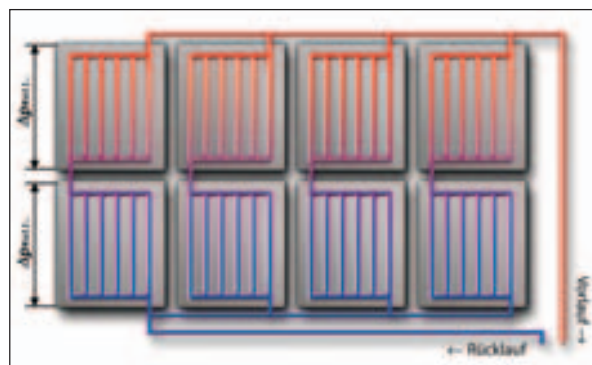


Abb. 5.12 Kombination; Grafik: ASiC

### 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 Strangreguliertventilen 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:

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

$\Delta p_{Feld}$  ..... Gesamtdruckverlust des Kollektorfeldes in N/m<sup>2</sup> (= Pa = 10<sup>-5</sup> bar)

$\Delta p_{Kollektor}$  ..... Druckverlust eines Kollektors in N/m<sup>2</sup> 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 m<sup>3</sup>/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 <sup>2</sup> ]	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 Einbauort 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 Kollektorkreispumpe 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 ( $\Delta p$ )

= 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 m<sup>3</sup>/s
- $P_{el}$  ..... elektrische Pumpenleistung in W
- $\Delta p$  ..... zu überwindender Druckverlust in Pa
- $\rho$  ..... mittlere Dichte des Wärmeträgers in kg/m<sup>3</sup>
- $\eta$  ..... Wirkungsgrad der Pumpe

Bei High-Flow-Anlagen ist aufgrund der Kollektorschaltung (Parallelschaltung für geringe thermische Länge) ein geringerer Druckverlustbeiwert 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].

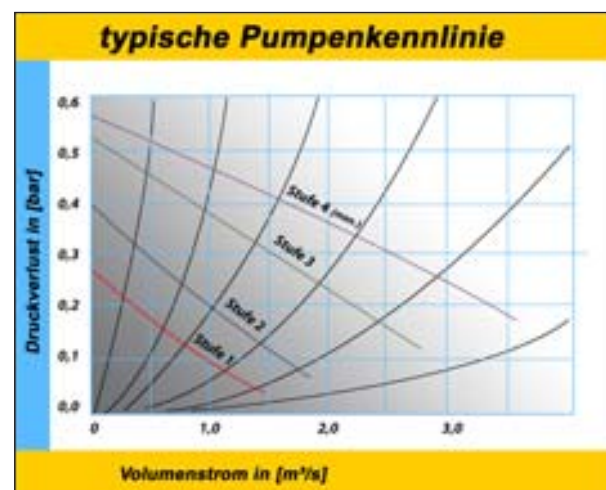


Abb. 5.13 typisches Pumpenkennliniendiagramm; Grafik: ASiC

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].



## 5.7. Armaturen und Sicherheitseinrichtungen im Solarkreis

### Kollektorfeld

Das jeweilige Sicherheitsventil am Kollektorfeld darf nicht zum Kollektorstrang hin absperrbar 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 Absperrrichtungen 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 Absperrbarkeit 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 Stillstandtemperatur 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 prEN 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-

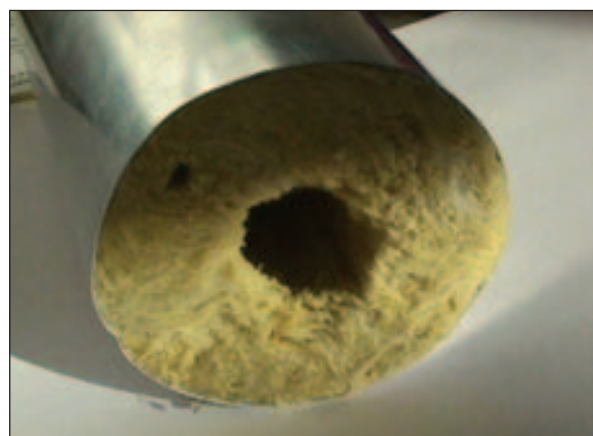


Abb. 5.14 Rohrwärmedämmung; Quelle: (6)



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.

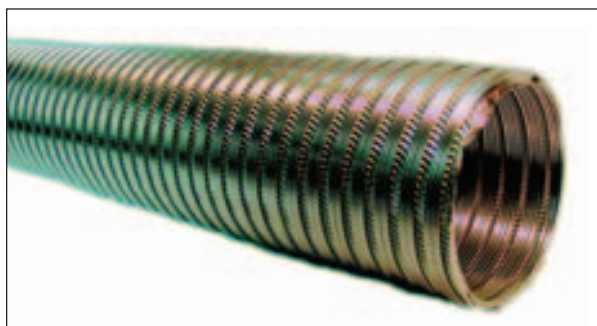


Abb. 5.15 Aluminiumummantelung für den Außenbereich; Quelle: (3)

### 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 [m²]
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  $> 130\text{ °C}$  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  $0,035\text{ W/(m K)}$  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)

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

$\rho_{\text{warm}}$  ..... 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

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

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

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

2.  $V_D = V_A * 1,1$

- $V_D$  : Dampfvolumen
- $V_A$  : Flüssigkeitsvolumen im Kollektorfeld  
(Inhalt der Absorber- und Sammlerrohre)
- 1,1 : Sicherheitsfaktor

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

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

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

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

**D**amit 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 hilfswise 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  $\lambda$  (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 $\lambda = 0,035 \text{ W/m K}$
<b>bis DN 20</b>	<b>20 mm</b>
<b>DN 22 bis DN 35</b>	<b>30 mm</b>
<b>DN 40 bis DN 100</b>	<b>= DN in mm</b>
<b>&gt; DN 100</b>	<b>100 mm</b>

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  $65\text{ °C}$  bei Trinkwasserspeicher) zuverlässig außer Betrieb gehen und außer Betrieb bleiben, solange diese Bedingungen vorliegen.



Abb. 5.20 Solarregelung; Quelle: (14)



## 5.10. Wärmeträger- flüssigkeit

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  $-25\text{ °C}$ . 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.

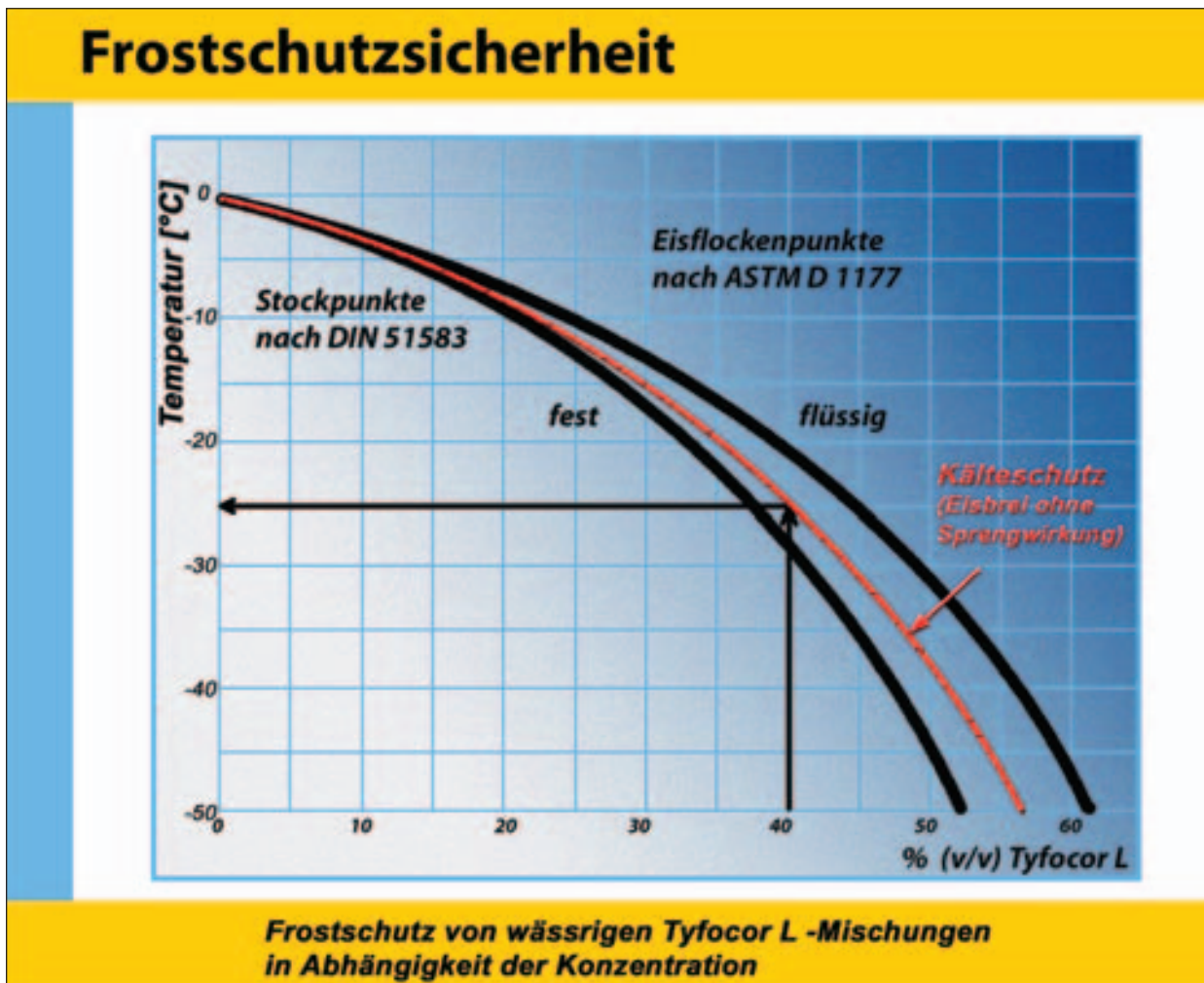


Abb. 5.21 Frostschutzsicherheit; Grafik: ASiC; Quelle: (11)



## 6.1. Montage

### 6.1.1. Kollektormontage

*Allgemeine Anforderungen an das Dach:*

Da für die Lebensdauer des Kollektorfeldes mit über 20 Jahren gerechnet werden kann, hat der bauliche Zustand des Daches, auf dem die Kollektoren errichtet werden sollen, eine sehr große Bedeutung (*Näheres zu den Anforderungen an das Dach in Kap. 3.1.*).

Generell empfiehlt es sich, bereits in der Planungsphase darauf zu achten, dass das gesamte Kollektorfeld als möglichst zusammenhängende und einheitliche Fläche installiert werden kann. Dies verringert den Verrohrungs- und Montageaufwand.

Bei größeren Kollektorflächen sollte die Möglichkeit einer Kranmontage in Betracht gezogen werden. Für diesen Fall wurden Großflächenkollektoren entwickelt, welche mittels Autokran transportiert und anschließend an der entsprechenden Montagestelle positioniert werden (*siehe Abb. 6.1.1 und Abb. 6.1.2.*).

Demnach sind für den Mehrfamilienhausbereich großformatige Kollektoren (am Markt sind Kollektormodulgrößen zwischen 4 m<sup>2</sup> und 12 m<sup>2</sup> Fläche erhältlich) den im Einfamilienhausbereich üblichen kleinformatischen vorzuziehen.

Für den Aufbau des Kollektorfeldes am Dach gibt es in Abhängigkeit der Dachform und der Beschaffenheit verschiedene Möglichkeiten.

- Indachmontage
- Aufdachmontage
- Flachdachaufständerung



Abb. 6.1.1 Kranmontage; Quelle: (5)



Abb. 6.1.2 Kranmontage; Quelle: (12)

Eine weitere Möglichkeit bietet die Integration der Kollektoren in die **Fassade**.

Bietet sich am Dach oder an der Fassade keine Möglichkeit zur Kollektormontage, kann das Kollektorfeld auch auf einer Wiese oder an einem angrenzenden Hang in der Nähe des Technikraums aufgestellt werden (Freiaufstellung).



Abb. 6.2 Freiaufstellung; Quelle: (3)

### 6.1.1.1. Aufbau von Kollektoren auf Steildächern

Das Steildach sollte eine Ausrichtung von Südost bis Südwest haben und eine Neigung zur Horizontalen zwischen  $25^\circ$  und  $50^\circ$ . In diesem Bereich ist nur mit einer geringen Effizienzeinbuße der Solaranlage gegenüber der optimalen Südausrichtung bei einer Neigung von  $30\text{--}45^\circ$  zu rechnen. Stärkere Abweichungen aus der Südrichtung (Südost bis Ost oder Südwest bis West) verursachen stärkere Effizienzeinbußen. So ist z. B. bei Westausrichtung und einer Neigung von  $30^\circ$  gegenüber der optimalen Südausrichtung und einer Neigung von ebenfalls  $30^\circ$  mit einem solaren Minderertrag von etwa 25 % zu rechnen. (Bei flacher geneigten West- oder Ostdächern fällt der Unterschied etwas geringer aus.)

Derartige Orientierungen sind nur dann akzeptabel, wenn eine kostengünstige Integration der Kollektoren in das Dach möglich ist. Nicht sinnvoll ist es, durch eine Aufständerkonstruktion die Neigung oder die Ausrichtung des Steildaches zu korrigieren. Meist sind die Kosten dafür zu hoch, sodass sie durch die Effizienzsteigerungen nicht ausgeglichen werden. Allenfalls sollte erwogen werden, bei einer Montage der Kollektoren auf einem Dach mit sehr geringer Neigung (z. B.  $15^\circ$ ) durch eine einfache Unterkonstruktion an der Kollektoroberkante einen etwas steileren Anstellwinkel zu erreichen.

#### Indachmontage

Bei der Indachmontage schließt die Kollektorabdeckung nahezu bündig mit der Dachebene ab. Die Kollektoren werden in Eindeckrahmen eingelegt, der Dachanschluss erfolgt ähnlich wie bei Dachfenstermontagen.



Abb. 6.3.1 Indachkollektoreindeckung; Quelle: (3)



Abb. 6.3.2 Indachkollektoreindeckung; Quelle: (3)

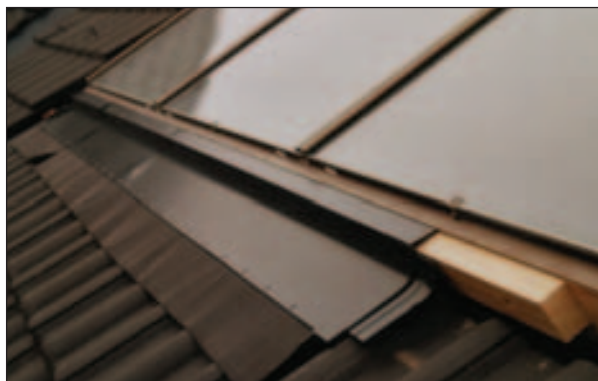


Abb. 6.3.3 Indachkollektoreindeckung; Quelle: (3)

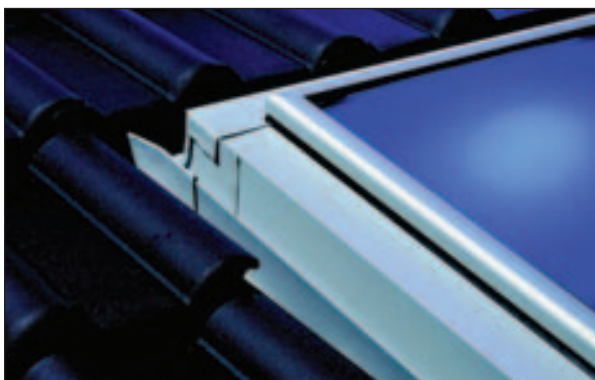


Abb. 6.3 Indachkollektor; Quelle: (13)



Abb. 6.3.4 Indachkollektoreindeckung; Quelle: (3)



Abb. 6.3.5 Eindeckung eines Indachkollektors; Quelle: (3)



Abb. 6.3.6 Eindeckung eines Indachkollektors; Quelle: (3)



Abb. 6.3.7 Indachkollektorfeld; Quelle: (3)



Abb. 6.3.8 Indachkollektorfeld; Quelle: (3)

Es ist zu beachten, dass die Dichtheit der Dachhaut auch nach der Integration der Kollektoren erhalten bleibt und keine Schwachstellen eingebaut werden. Abhängig vom Kollektorfabrikat kann eine Mindestdachneigung vorgeschrieben sein, ab der der Kollektorhersteller noch für eine zuverlässige Dachdichtheit garantiert.

Bei Indachkollektoren befinden sich die Anschlüsse für den Vor- und Rücklauf des Solarkreises unterhalb der Eindeckbleche bzw. des Dacheindeckrahmens. Diese sind daher UV- und wettergeschützt, wodurch die sonst notwendigen Schutzmaßnahmen gegen äußere Witterungseinflüsse entfallen können.

Sollte die Dachneigung für eine Integration zu gering sein, so muss auf die Aufdachmontage ausgewichen werden. Die Integration der Kollektoren in die Dachhaut führt zu einem besseren optischen Gesamteindruck des Kollektorfeldes als eine Aufdachmontage. Bei der Auswahl der belegten Flächen gilt es architektonische Gestaltungsmöglichkeiten zu nutzen, klare Akzente zu setzen und bestehende Linien aufzunehmen.

Bei der Montage von Indachkollektoren ist auf eine gute Blecheindeckung und auf Dichtheit der Eindeckung zu achten.

#### Montagehinweise:

- Die Kollektoren müssen fest mit der Dachlattung, der Schalung oder den Sparren verbunden werden.
- Die Befestigung der Eindeckbleche am Kollektor kann mit Nieten oder Butylband erfolgen. An der Dachkonstruktion können die Bleche mit Nägeln oder Holzschrauben befestigt werden.
- Blechbauteile werden üblicherweise verlötet, wobei das Lot für das Blechmaterial geeignet sein muss. Ein Verbinden mittels Blindnieten ist aber auch denkbar.
- Bleche und Bleischürze werden über Falze verbunden.
- Die Bleche der Eindeckrahmen können mittels Liegehaften an der Dachkonstruktion befestigt oder am Kollektor verschraubt/vernietet werden. Traufseitige Anschlussbleche werden über angelötete Blechstreifen an der Dachkonstruktion befestigt [16].



**Anschlüsse:**

Anschlüsse an zu integrierenden Bauteilen sind nach den Fachregeln des Dachdeckerhandwerks auszuführen. Bei der Auswahl der Materialien ist die elektrochemische Spannungsreihe zu beachten.

**Sonderformen:**

- Indachmontage mit rahmenloser Eindeckung
- Indachmontage mit vorgefertigten Dachelementen Solar-Roof

**Aufdachmontage**

Hierbei werden die Kollektoren auf dachparallelen Befestigungspunkten oberhalb der eigentlichen Dachhaut angebracht. Dabei bleibt die normale Dachhaut vollständig in ihrer Abdichtfunktion erhalten. Es müssen lediglich Halter (befestigt an den Dachsparren) unter der Dacheindeckung herausgeführt werden (siehe Abb. 6.4.1). An den Haltern werden dann Montageschienen für die Kollektoren angebracht. Dichtrahmen etc. sind nicht notwendig, sodass der Austausch einzelner Kollektoren relativ einfach möglich ist.

Die Dachentwässerung von höher gelegenen Dachteilen kann ohne Behinderung unter den Kollektoren hindurch erfolgen. Die vom Kollektorfeld abgehenden Rohre sollten – wo immer möglich – unter dem Dach verlegt werden. Dies setzt i. d. R. allerdings ein nicht ausgebautes Dachgeschoß voraus. Auf dem Dach verlegte Rohre werden als optische Beeinträchtigung empfunden, zudem sind die Anforderungen an ihre Wärmedämmung höher (Blechummantelung) als bei innenliegenden Rohren. Da eine Zusatzlast von etwa 30–40 kg je m<sup>2</sup> Kollektorfläche – Kollektoren und Rohre mit Wärmeträger, Befestigungseisen – auf das Dach aufgebracht wird, ist zu prüfen, ob noch genügend statische Reserven vorhanden sind.



Abb. 6.4.1 Montage einer Halterung; Quelle: (3)



Abb. 6.4.2 Montage einer Halterung; Quelle: (3)



Abb. 6.4.3 Befestigung der Kollektoren; Quelle: (3)

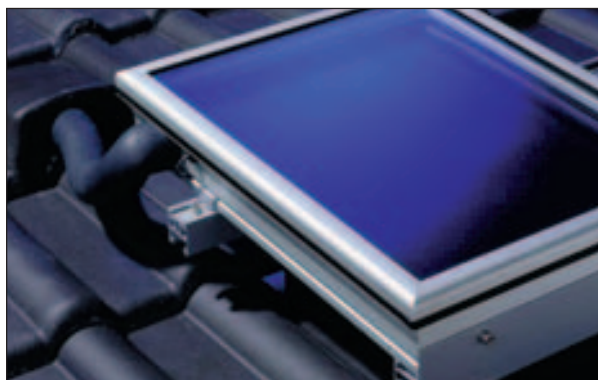


Abb. 6.4 Aufdachkollektor; Quelle: (13)



Abb. 6.4.4 Aufdachmontage mit Aufständerung; Quelle: (3)

## Arbeitsschutz und Sicherheit am Dach

Zur leichteren Montage und eventuellen Wartung der Anlage auf dem Dach empfiehlt es sich, Stufen zur Begehbarkeit, Stufenziegel oder Dachhaken für das Anbringen von Dachleitern im Bereich des Kollektorfelds vorzusehen. In schneereichen Gebieten sollten Schneefanggitter an den Dachkanten angebracht werden, um Passanten vor Dachlawinen zu schützen.

Die Bedeutung des Arbeitsschutzes kann bei Dacharbeiten nicht oft genug erwähnt werden. Neben der sicheren Befestigung von Seilen mit Falldämpfern sind am Körper so genannte Auffanggurte zu tragen. Die Variante „Seil um den Bauch“ ist lebensgefährlich und zu unterlassen.



Abb. 6.5 Absicherung bei einer Steildachmontage; Quelle: (3)

### 6.1.1.2. Aufbau von Kollektoren auf Flachdächern

Auf Flachdächern werden die Kollektorfelder üblicherweise mit Aufständern (Gestellen mit einem Anstellwinkel von  $30^\circ$  bis  $45^\circ$ ) montiert. Die Gestelle sind meist in mehreren Reihen hintereinander angeordnet. Dabei wird vielfach nicht beachtet, dass es zu einer erheblichen Abschattung der Kollektorreihen untereinander kommt, wenn die Reihen zu dicht hintereinander stehen (Näheres zum Mindestabstand der Reihen siehe nächstes Kapitel).

Die Gestelle werden entweder an Konsolen oder Stützen befestigt oder mit entsprechenden Beschwerungen versehen (kiesgefüllte Wannen oder Gehwegplatten). Ist das Flachdach mit einer Schweißbahn aus Kunststoff versehen, sind, um Beschädigungen der Dachbahnen zu vermeiden, gewisse Vorkehrungen zu treffen werden. Dazu müssen Bauschuttmatten untergelegt werden oder die Auflageschienen ganzflächig mit geschlossporigem Schaumstoff unterklebt werden.

In vielen Fällen hat es sich bewährt, die Gestellreihen zur Stabilisierung zusätzlich quer zu verbinden. Durch die Gitterstruktur aus längs laufenden Kollektorreihen und quer laufenden Verbindungsschienen kann eine niedrige Flächenlast bei hohem Eigengewicht realisiert werden, die Verschiebungen und Abhebungen entgegenwirkt. Der statische Nachweis für die Wind- und Schneelastsicherheit muss nach EN 12976 –1 geführt werden.



Abb. 6.6.1 Aufständern des Kollektorfeldes am Flachdach; Quelle: (4)



Abb. 6.6.2 Aufständern des Kollektorfeldes am Flachdach; Quelle: ASIC

Folgende Punkte sind bei der Auslegung der Abmaße der Kollektorreihen zu berücksichtigen:

- Je höher die Gestelle, desto größer wird der Aufwand zur Ableitung der Windlasten. Dies gilt insbesondere für Gebäudehöhen über 20 m.
- Ist die verfügbare Dachfläche begrenzt, verschenkt eine Aufständering mit Aufstellwinkeln von  $45^\circ$  meist wertvolle Fläche und erfordert zusätzlichen statischen Aufwand.
- Der Mindestabstand für verschattungsfreie Montage bei hohen Anstellwinkeln wird größer und erfordert daher längere Verrohrungswege, höheren Montage- und Materialaufwand.
- Niedrigere Anstellwinkel führen rasch zu kleineren Bauhöhen (somit auch zu geringeren Windlasten) und kurzen Reihenabständen.
- Die Einbuße an Strahlung liegt auch bei flachen Anstellwinkeln ( $15^\circ$ ) unter 5 %.
- Aufständeringe mit  $20^\circ$  bis maximal  $40^\circ$  sind also vorzuziehen.
- Neigungswinkel kleiner  $15^\circ$  sollten aus Gründen der Verschmutzung und der Strahlungseinbußen nicht gewählt werden.

Mit einer optimierten Anordnung der Kollektorreihen lassen sich vielfach attraktivere und kostengünstigere Montagemöglichkeiten auf Flachdächern finden.

### 6.1.1.3. Berechnungen zum Aufbau von Kollektoren auf Flachdächern

#### Bauhöhen und Reihenabstände optimieren

Da eine Abschattung der Kollektorreihen untereinander den Jahres-Energieertrag vermindert, ist auf den Reihenabstand besonders zu achten. Der Reihenabstand wird so bestimmt, dass der Winkel zwischen dem untersten Kollektorpunkt einer hinteren Reihe und dem höchsten Punkt der davor stehenden Reihe nicht mehr als  $\beta$  (Verschattungswinkel) beträgt. Es sind gewisse Mindestabstände der Kollektorreihen untereinander in Abhängigkeit von der Länge  $L$  der aufgeständerten Seite der Kollektoren, dem Aufstellwinkel und der geografischen Breite einzuhalten. Zusätzlich sollte zu Wartungszwecken ein mindestens 1,5 m breiter Umgang um das Kollektorfeld freigehalten werden. Zwischen Kollektorunterkante und Dachfläche sollte ein Abstand von mindestens 30 cm freigelassen werden. Dieser Abstand ermöglicht, dass Schnee abrutscht, ohne sich an der Kollektorunterkante bis auf die Kollektorfläche aufzuhäufen.

Der Abbildung 6.7 liegt die Überlegung zu Grunde, dass die Kollektoren sich mindestens dann nicht untereinander verschatten sollen, wenn die Sonne am Tag ihres Tiefstandes (21. Dez.) die Mittagshöhe erreicht hat. Für die Wahl des Winkels  $\beta$  ist der Standort der Anlage ausschlaggebend (Näheres siehe auch Kap. 3.2.3.2.).

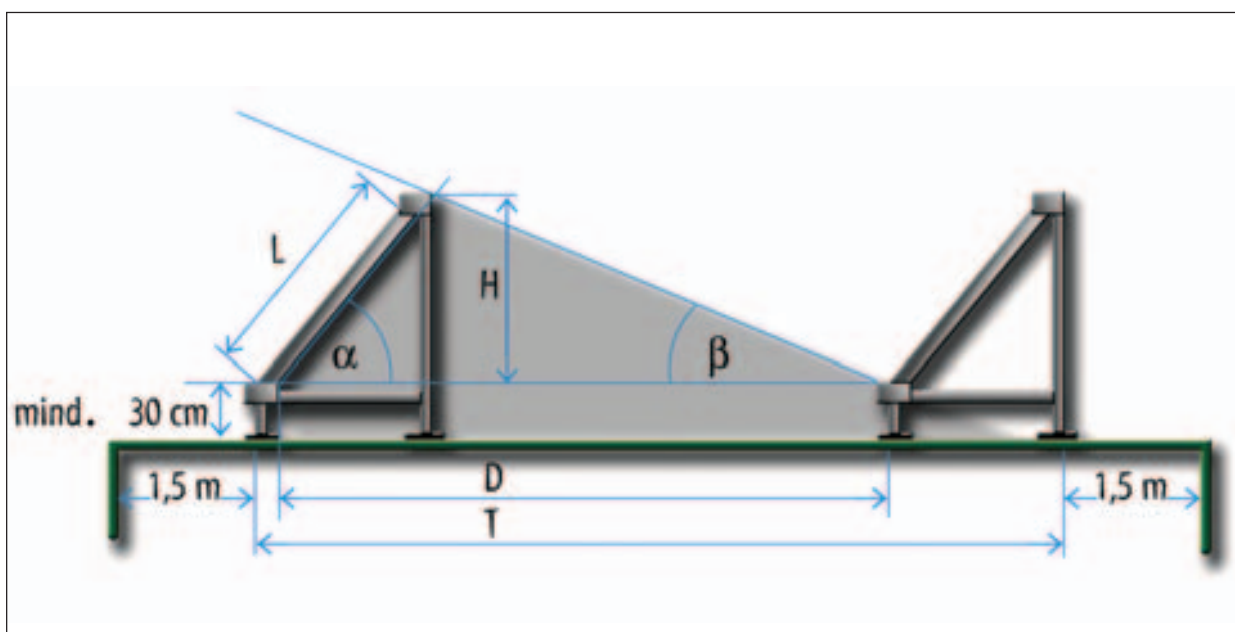


Abb. 6.7 Abschattung von Kollektorreihen mit Neigungswinkel  $\alpha$  auf Flachdächern; Quelle: ASIC



Für Standorte im Norden Österreichs (49° n. B.) wäre ein  $\beta$  von 17° zu wählen.

Für Standorte in der Mitte Österreichs (48° n. B.) wäre ein  $\beta$  von 18,5° zu wählen.

Für Standorte im Süden Österreichs (47° n. B.) wäre ein  $\beta$  von 20° zu wählen.

Für die Aufstellung von Kollektorreihen mit einer beliebigen Neigung ( $\alpha$  zur Horizontalen, einem beliebigen Verschattungswinkel  $\beta$  und einer Länge der Kollektoren von  $L$  Metern kann der Reihenabstand  $D$  der Kollektorreihen wie folgt berechnet werden:

$$D = L * \sin (180^\circ - (\alpha + \beta)) / \sin \beta$$

Die Bauhöhe  $H$  über der Grundlinie der Kollektoren ermittelt sich zu:

$$H = L * \sin \alpha$$

#### Maximal mögliche Anzahl der Reihen [n]:

Zunächst müssen die verfügbare Dachbreite und Dachtiefe ermittelt bzw. abgemessen werden, wobei der Randabstand von 1,5 Metern zu berücksichtigen ist.

$B$  ..... verfügbare Dachbreite (Ost-West-Richtung)

$T$  ..... verfügbare Dachtiefe (Nord-Süd-Richtung)

Damit ist:

$$n = 1 + (T/L - \cos \alpha) * (\sin \beta / \sin (180 - (\alpha + \beta)))$$

Die maximale Anzahl von Kollektoren in einer Reihe ( $m$ ) ergibt sich aus:

$$m = B/D \text{ (abrunden auf ganze Zahl)}$$

darin ist:

$n$  ..... maximal mögliche Anzahl der Reihen bei verschattungsfreier Aufstellung

$m$  ..... maximale Anzahl der Kollektoren in einer Reihe

$L$  ..... Länge der Kollektoren

$B$  ..... Breite der Kollektoren

Maximal nutzbare Fläche:

$$A_{\max} = n * m * (B * L)$$

Wenn es ohne Probleme und ohne erhebliche Mehrkosten möglich ist, sollten die Reihenabstände etwas

größer gewählt werden, da nach obiger Definition zwar keine winterliche Abschattung während der Mittagszeit erfolgt, wohl aber am Vor- und Nachmittag. Ggf. muss ein Kompromiss zwischen Effizienz und Kosten (Simulationsprogramm, Angebotsvarianten) gesucht werden.

#### Statische Belastung der Flachdächer durch Kollektoren

Bei Flachdächern ist durch einen Statiker zu prüfen, inwieweit eine zusätzliche Belastung durch ein Kollektorfeld unter Berücksichtigung der Gewichts-, Wind- und Schneelasten zulässig ist. In der Solar-Dach-Fibel [16] sind Hilfen für den Planer und Statiker gegeben. In Anlehnung an die DIN 1055 werden Angaben für geneigte Kollektoren (Aufständigungswinkel von 35° bis 55°) gemacht.

Der Hersteller muss die Höchstwerte für  $s_k$  (Schneelast) und  $v_m$  (mittlere Windgeschwindigkeit) nach ENV 19991 -2 -3 und ENV 1991 -2 -4 angeben. Die Anlage darf nur dort eingebaut werden, wo die Werte für  $s_k$  und  $v_m$  ermittelt nach ENV 19991 -2 -3 und ENV 1991 -2 -4 niedriger sind als die vom Hersteller angegebenen Höchstwerte. Dies muss in der Dokumentation für den Installateur enthalten sein.

#### Vollflächig belastbares Flachdach

Im Fall eines statisch vollflächig belastbaren Flachdaches können die Kollektoren ohne massive Unterkonstruktion mit nur einer leichten Trägerkonstruktion zur Neigung der Kollektoren direkt auf das Dach aufgesetzt werden. Die Sicherung gegen Windkräfte (Sog und Verschiebung) kann durch Betonplatten, kiesgefüllte Wannen oder Abspannungen mit Drahtseilen erfolgen. Die zusätzliche Belastung für das Dach durch die o. g. Gewichte ist abhängig von den anzusetzenden Windkräften je nach Gebäudehöhe. Hierzu sind die Angaben in der DIN 1055 zu beachten. Auch ist zu untersuchen, inwieweit die Dachhaut und ggf. die darunter angebrachte Dämmung eine zusätzliche Belastung aufnehmen können.

Eine Dachsanierung nach Installation des Kollektorfeldes ist bei einer großflächigen Auflagerung der Kollektoren direkt auf dem Dach nicht mehr ohne Demontage einiger oder aller Kollektoren möglich. Die Haltbarkeit des kompletten Dachaufbaus muss also für mindestens 25 Jahre gesichert sein.

Dies setzt normalerweise voraus, dass ein vorhandenes Flachdach grundsätzlich vollständig mit hochwertigen Materialien saniert und bei Neubauten eine ent-

sprechend dauerstandfeste und statisch belastbare Konstruktion gewählt werden muss. Ohne diese Maßnahmen ist von einer großflächigen Belegung der Dachhaut mit Platten o. Ä. dringend abzuraten.

### **Punktuell belastbares Flachdach**

Ist das Dach nur punktuell belastbar, so müssen mit einer Aufständerkonstruktion die nicht belastbaren Dachteile überspannt werden. Die Stützpunkte müssen durch die Dachhaut auf den belastbaren Teilen aufsetzen. Besondere Sorgfalt ist dabei der Abdichtung dieser Stützpunkte zu widmen. Auch ist darauf zu achten, dass diese Stützpunkte keine Wärmebrücken bilden; eine thermische Trennung kann ggf. erforderlich werden. Für die Unterkonstruktion können herkömmliche Stahlbauteile verwendet werden, deren Dimensionierung in Abhängigkeit von den Stützweiten und der Belastung berechnet und statisch geprüft werden muss. Bisher lagen die Kosten für die diversen Ausführungen derartiger Aufständerkonstruktionen zwischen 50,87 und 181,68 € pro Quadratmeter Kollektorfläche (ca. 10–30 % der Systemkosten). Eine Konstruktion mit Elementen aus dem Gerüstbau stellt hierbei eine kostengünstige Variante dar.

Um spätere Dachsanierungen zumindest in Teilbereichen zu ermöglichen, sollten die Unterkonstruktionen auf mindestens 30 cm (besser: 50 cm) hohen Füßen stehen, damit ein Minimum an Arbeitsraum unterhalb der Aufständerkonstruktion zur Verfügung steht. Trotzdem ist eine Dachsanierung durch eine Unterkonstruktion für ein Kollektorfeld stark behindert, es gilt also auch hier, dass die Dachhaut noch eine Lebensdauer von 25 Jahren aufweisen sollte.

### **Nicht belastbares Flachdach**

Ist das Dach auch auf Stützstellen nicht belastbar, so muss die gesamte Dachfläche mit einer Konstruktion, die auf den äußeren Gebäudewänden aufsetzt, überbaut werden. Dabei sind oft erhebliche Stützweiten zu überspannen. Die Konstruktion muss dabei so massiv ausgeführt werden, dass sie auch evtl. auftretenden Schwingungen standhält. Auch ist zu klären, ob alle Kräfte in die äußeren Wände eingeleitet werden können oder ob es hier zu Überlastungen kommt. Da auf dem Dach keine Stützen eingelassen sind, bleibt – bei ausreichendem Abstand der Konstruktion von der Dachfläche – die Dachhaut komplett für eventuelle spätere Reparaturen zugänglich. Dieser Vorteil wird allerdings mit sehr hohen Kosten für die Unterkonstruktion erkauft [1].

## **6.1.1.4. Bauablauf auf dem Dach am Beispiel einer Flachdachmontage mit Aufständerkonstruktionen [18]**

Im Folgenden wird kurz dargestellt, wie ein guter Bauablauf auf dem Dach aussehen könnte. Es sind an vielen Punkten sicherlich Alternativen denkbar und wohl auch vernünftig, aber die Stärke liegt nicht im perfekten System, sondern in gewohnten Arbeitsabläufen, die für den gesamten Mitarbeiterstamm reproduzierbar sind.

### **• Dachaufnahme**

Möglichst präzise Vermessung des Daches mit allen vorhandenen Dachbauteilen.

### **• Planung der Unterkonstruktion**

Auf den Bestandsplan wird die Kollektorunterkonstruktion gezeichnet (wo müssen Höhenausgleiche vorgenommen werden, um eine möglichst gerade Installation der Kollektoren zu gewährleisten).

### **• Berechnung des Gewichtes der Gesamtkonstruktion**

Die Massen der Unterkonstruktion müssen ständig auf ihr Gesamtgewicht hin überprüft werden. Hier kann nun schon ein Optimierungsprozess stattfinden: Weniger Last bedeutet weniger Kosten. Wie viele Kollektorreihen können hintereinander aufgebaut und miteinander verbunden werden? Das reduziert das notwendige Eigengewicht der Anlage bezogen auf den Quadratmeter Kollektorfläche, weil die Windgriffsfläche bezogen auf die installierte Gesamtfläche der Einheit reduziert werden kann. Erfahrungsgemäß sind mehr als nur ein Abstimmungsvorgang mit dem Statiker nötig und auch sinnvoll. Es soll hier darauf hingewiesen werden, dass schon geringfügige und damit ertragsmäßig zu vernachlässigende Änderungen der Kollektorneigung zu teilweise erheblichen Einsparungen bei der Kollektorunterkonstruktion führen können.

### **• Montageplan**

Liegt die Konstruktion fest, wird der Montageablauf geplant. Dafür sind besonders die Montageflächen und die Lagerflächen auf dem Dach voneinander zu trennen bzw. in einen vernünftigen Ablauf zu bringen. Transporte auf dem Dach sollten möglichst vermieden werden, erstens kostet das natürlich auch Geld und zweitens gefährdet es bei schweren Lasten zusätzlich das Dach. Dabei ist vordringlich zu prüfen,



Abb. 6.8.1 Kraneinsatz; Quelle: (1)

welche Flächen um das Gebäude herum für Kraneinsatz in Frage kommen.

#### • Dachvorbereitung

An den geplanten Lagerorten werden Bauschutzmatten, Paletten, Pappe etc. ausgebreitet, um eine problemlose Lagerung des Materials zu gewährleisten. Für Werkzeuge und Kleinmaterial muss – auch im Sommer – eine regensichere Aufbewahrungsmöglichkeit vorgesehen werden.

#### • Kraneinsatz

Der Kran bringt das Material möglichst genau an die geplanten Stellen.



Abb. 6.8.2 Kraneinsatz (genaue Positionierung); Quelle: (1)

#### • Montage

Die Unterkonstruktion wird an den geplanten Flächen aufgebaut. Stimmt die Planung, müssen auf dem Dach keine schweren Lasten mehr bewegt werden und die Montage kann zügig durchgeführt werden. Selbstverständlich hat der Anlagenplaner oder -errichter die Pflicht, diese Baustellenvorbereitung mit der Bauleitung oder anderen Gewerken abzustimmen.

*Folgende Punkte sollten berücksichtigt werden:*

- Schon bei der Planung des Gebäudes sollte darauf geachtet werden, dass Schächte, Decken- und Wanddurchbrüche für die Solarleitungen passen.



Abb. 6.9.1 Abfolge einer Kranmontage; Quelle: (12)



Abb. 6.9.2 Abfolge einer Kranmontage; Quelle: (12)



Abb. 6.9.3 Abfolge einer Kranmontage; Quelle: (12)

- Bei entsprechender Koordination können zusätzliche Kraneinsätze vermieden werden.
- Gerüstzeiten sollten gut abgestimmt werden.
- Die Arbeiten von Kollektorbauer und Dachdecker auf dem Dach sollten so aufeinander abgestimmt werden, dass Doppelarbeiten vermieden werden.
- Liegen Installation der Solaranlage und Heizungsbaue nicht in einer Hand, wird auch die Koordination der Arbeiten im Heizraum den beteiligten Firmen gerne selbst überlassen. Dies führt hier meist dazu, dass derjenige zuerst „mahlt“, der zuerst kommt. Behinderungen und unsinnige Rohrleitungsführungen, also Mehrkosten, sind die Folge.

#### 6.1.1.5. Moderne Gebäudeintegration

Gebäudeintegration heißt Doppelnutzen. Die Kollektoren werden nicht nur zur Energiegewinnung eingesetzt, sondern erfüllen auch eine weitere Funktion. Entweder sie ersetzen Teile der Gebäudehülle oder einer Überdachung und schützen gegen Wind und Regen oder sie dienen als Sonnenschutz. Da die Kollektoren dann das jeweilige Bauteil (Fassadenelement, Dachelement, Sonnenschutz) vollständig ersetzen, können diese „eingesparten“ Kosten der Solaranlage gutgeschrieben werden. Auch bei kleineren Flächen lassen sich noch Kosteneinsparungen erzielen. Gut geeignet sind Überdachungen jeder Art wie z. B. Portale oder Dächer von Wintergärten.

#### Integration der Kollektoren in die Fassade

Wird eine Fassade erneuert oder wärme gedämmt, so bietet sich gerade in der Sanierung eine günstige Kombination beider Funktionen, Dämmung und Kollektoreinbau, an. Die Toleranz gegenüber der Südausrichtung ist allerdings gering.



Abb. 6.10 Fassadenkollektorfeld; Quelle: (7)

Folgende Punkte sind bei der Fassadenintegration zu beachten:

- Wegen des vorhandenen Verschattungsrisikos im Sommer ist hier auf die Situierung von Fassadenvorsprüngen besonders zu achten.
- Da Glasscheiben und Befestigungen mehr Belastung standhalten müssen, sind diese anders auszuliegen (6 mm Glas anstatt 4 mm).
- Schraubverbindungen in der Abdeckung müssen gegen Lösen gesichert sein.
- In Abhängigkeit des erwarteten solaren Deckungsanteiles ist der Fassadenkollektor vom spezifischen Flächenertrag im Nachteil, eine Vergrößerung seiner Fläche wird daher notwendig (*genauere Angaben dazu findet man im Kap. 3.2.3.4.*).
- Absorberbefestigung im Kollektor.
- Wärmebrücken.
- Kollektorbelüftung (Dichtheit).
- Kollektorhydraulik.
- Systemanpassung.





Abb. 6.11 Fassadenkollektorfeld; Quelle: (7)

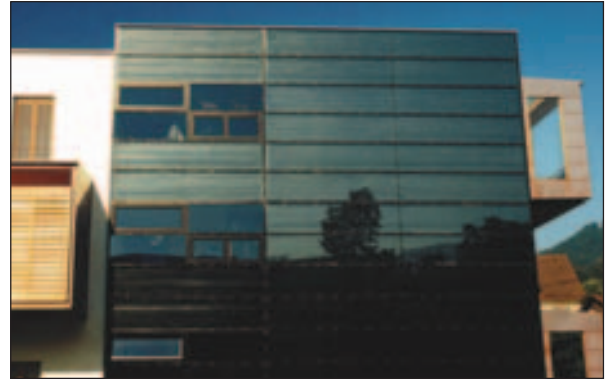


Abb. 6.12 Fassadenkollektorfeld; Quelle: (8)

### Vorteile:

- Wenn Flachdachflächen wegen anderer Dachaufbauten (Entlüfter, Aufzughaus, Kamin usw.) schwierig zu nutzen oder statisch ungeeignet sind, besteht hier trotzdem die Möglichkeit eine Solaranlage zu errichten.
- Der Kollektor erfüllt gleichzeitig die Wärmedämmfunktion an der Gebäudewand.
- Der Kollektor ist gestaltendes Element → Einsparungen an sonstigen Fassadenkonstruktionen.
- Kollektor ist besser sichtbar → ökologische Orientierung als sichtbares Zeichen.
- Mehrertrag im Winter für Systeme mit Heizungsunterstützung.
- Großflächige Kollektoren verwendbar → kurze Montagezeiten auf der Baustelle.
- Keine Überhitzungsprobleme der Anlage → keine Stillstandszeiten im Sommer.
- Die Verschmutzungstendenz ist geringer.

### Nachteile:

- Es ist eine größere Kollektorfläche als bei schräger Kollektoraufstellung notwendig.
- Die Zugänglichkeit bei etwaigen Reparaturen wird erschwert.

### Montage der Fassadenkollektoren

Wie auch bei Kollektordächern ist eine Diffusionsperme zur rückseitigen Wand und die Abführung von Kondensatfeuchte nach außen zwingend. Es ist auf einen möglichst großen Vorfertigungsgrad der internen Kollektorverrohrung der verwendeten Kollektorelemente zu achten. Bei Pfosten-Riegel-Konstruktionen

insbesondere im Holzständerbau ist die Integration vergleichsweise einfach. Bei Außenwänden aus Mauerwerk oder Beton sind die statischen Erfordernisse gesondert zu prüfen. Bewährt hat sich, pro Geschöß möglichst nur einen vorgefertigten Kollektor über die gesamte geforderte Breite des Fassadenfeldes zu montieren. Daher werden Kollektoren ähnlich den Fertigdachkollektoren eingesetzt. Die Montage erfolgt von einem vor der Fassade stehenden Gerüst mit Hilfe eines Autokrans. Die komplett vormontierten Kollektoren werden zwischen Gerüst und Fassade heruntergelassen, positioniert und mit Injektionsankern (typisch 3 bis 4 Anker pro Meter) geschößweise an den Stoßstellen befestigt [4].

### Fassadenkollektoren erfordern [17]:

- Flexible Fertigungsmöglichkeiten
- Schnittstellenkoordination
  - enger Kontakt mit Architekten
  - enger Kontakt mit der Haustechnik
- solartechnisches System-Know-how
  - Hydraulik
  - Systemtechnik
- Fassadenbau-Know-how
  - Bauphysik
  - Kenntnis der Bauordnungen und Bauvorschriften bzgl. Fassaden

### Integration der Kollektoren in Lichtdächern

Lichtkuppeln sorgen in vielen Funktionsbauten für Tageslicht von oben. Bei einem klassischen „Shed-Dach“ hat das Tageslicht über ein nordorientiertes Fenster Zutritt, während die südorientierte Fläche verschlossen bleibt. Dadurch entsteht eine sehr angenehme Beleuchtung mit diffusem Licht. Mit dieser



Lösung werden Blendwirkungen und Überhitzungsprobleme vermieden. Gestalterisch sind solche Lichtdächer besonders attraktiv, wenn sich damit bei altem Gebäudestand Tageslicht in fensterlose innenliegende Räume oder Gänge bringen lässt. Sie werden dann meist in Sattelform ausgeführt.

### Sonnenschutz mit Kollektoren

Um die überschüssige Einstrahlung abzuhalten, wird oft ein Sonnenschutz gewünscht oder notwendig. Insofern liegt es ja eigentlich nahe, diese Flächen zur Sonnenenergienutzung zu verwenden. Eine kostengünstige und sinnvolle Möglichkeit, Sonnenschutz und Energiegewinnung miteinander zu verbinden, bietet der Einsatz von Kollektoren als Wintergardendach. Im Vergleich zu Schrägdachmontagen ist bei gebäudegebundenem Sonnenschutz mit Flüssigkeitskollektoren zunächst nicht von Kostenminderungen durch Gutschriften auszugehen. Im Vergleich zu aufwändigen Aufständerkonstruktionen, die aus Mangel an südorientierten Flächen notwendig werden würden, entstehen dennoch Kostenvorteile.

### Luftkollektoren

Fassadenflächen sind auch für den Einsatz von Luftkollektoren, die zur Frischluftvorwärmung eingesetzt werden, sehr interessant. Aufgrund ihrer einfachen Bauweise sind die Kollektoren besonders gut geeignet, um zur Gänze in die Fassade integriert zu werden und damit eine Fassadenbekleidung vollständig zu ersetzen. Am Markt werden bewährte Pfosten-Riegel-Konstruktionen angeboten, die mit geringem Aufwand großflächig montiert werden können. Eher schwierig ist die Integration der erforderlichen Luftkanalquerschnitte in die Fassade zu lösen. Hierzu ist eine besonders frühzeitige und enge Abstimmung der am Bau Beteiligten (Architekt, Solartechniker, Fassadenplaner und Fassadenbauer) notwendig.

## 6.1.2. Montagerichtlinien

### Anschluss der Kollektoren

Grundsätzlich werden für Anschlussverrohrungen Kupfer, Edelstahl oder schwarzer Stahl verwendet. Die Anschlüsse an die Kollektoren werden üblicherweise mittels Klemmringverschraubungen mit im Kupferrohr eingesetzten Stützhülsen ausgeführt. In der Nähe von Silikondichtungen sind Lötarbeiten zu vermeiden oder auf eine ausreichende Kühlung der Rohre bei den Dichtstellen zu achten. Die Verbindungsver-

schraubungen zwischen den Kollektoren und deren Anbindung an die Sammelleitungen sind vorzüglich mit einem Drehmomentschlüssel zu montieren – dem möglichen „Abdrehen“ der Lötverbindungen im Kollektorinneren wird damit entgegengewirkt. Es sind die geeigneten Sicherheitsmaßnahmen für die Monteure zu treffen. Bei der Ausschreibung der Anlage sollte überlegt werden, ob die Arbeiten zur Dachintegration und zur Befestigung am Flachdach an Betriebe des Dachdeckerhandwerks vergeben werden.

### Kollektorkreisverrohrung

Wird die Kollektorkreisverrohrung mit Kupfer durchgeführt, ist zu beachten, dass die Rohrverbindungen hartgelötet werden, da Weichlot meist nur bis zu einer Betriebstemperatur von 110 °C angewandt werden kann. Wird dennoch Weichlot verwendet, müssen die Herstellerangaben bezüglich der Temperaturbe-



Abb. 6.13 Wellrohrverbindungsleitung; Quelle: (12)

ständigkeit bzw. Sicherheit genau beachtet werden. Alle zur Verbindung der Rohrleitungen im Kollektorkreis eingesetzten Materialien (Pressfittings mit speziellem Dichtelement, Klemmringverschraubungen, spezielle O-Ringdichtungen, flach und konisch dichtende Verbindungen usw.) müssen temperatur-, druck- und glykolbeständig sein. Bezüglich der Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen sind die Herstellerangaben zu beachten.

Werden im Kollektorkreis Schraubverbindungen verwendet, so sollten diese durch Hanf mit temperatur- und glykolbeständiger Dichtpaste abgedichtet werden. In der Heizungstechnik verwendetes Teflonband genügt diesen Anforderungen nicht. Alle Verbindungsleitungen sind (wie in der Heizungstechnik üblich) mit Fixpunkten und beweglichen Auflagern, pendelnden Aufhängungen, Kompensatoren oder weichen Rohrschenkeln zu versehen, sodass an den Kollektoranschlüssen oder sonstigen Fixpunkten die Kräfte aus der Wärmedehnung nicht unerlaubt groß werden. Die Verrohrung einer Solaranlage darf nicht an Gas- und Wasserleitungen befestigt werden und nicht als Träger von anderen Leitungen oder Lasten dienen. Der Schallschutz in wassergeführten Leitungen muss gewährleistet sein. Bei Auswahl und Anordnung der Rohrbefestigungen sind diese Anforderungen zu berücksichtigen.

### Entlüfter am Kollektorfeld

Bei der Positionierung des Entlüfters sollte darauf geachtet werden, dass er bei der Anlagenwartung gut zugänglich und genügend Platz für Montage sowie für Bedienung vorhanden ist. Der (die) Entlüfter wird (werden) üblicherweise an dem höchsten Punkt der Anlage und stets an einer Stelle mit verringerter Strömungsgeschwindigkeit (z. B. vor 90° Winkeln nach unten oder in Verbindung mit Luftabscheidern – an waagrechten Rohrleitungen) montiert. Bei Handentlüftern besteht im Vergleich zu Automatikentlüftern kein Problem mit der Temperaturbeständigkeit.

Sie benötigen keinen zusätzlichen Absperrhahn, sollten aber auf einen Luftabscheider montiert werden. Der Entlüfter muss in jedem Fall senkrecht eingebaut werden.

### Rückschlagklappe

Die Rückschlagklappe des Kollektorkreises ist zwischen dem Wärmetauscher und dem Ausdehnungsgefäß in Durchtrittsrichtung zum Ausdehnungsgefäß zu positionieren. Damit diese nicht die Entleerung des Kollektorkreises verhindert, sollte sie mit einer Entleerungsvorrichtung ausgestattet werden. Ist dies nicht der Fall, muss der Entleerungshahn zwischen Rückschlagklappe und Umwälzpumpe angeordnet sein [7].

### Ausdehnungsgefäß

Ausdehnungsgefäße müssen, wie in Abb. 6.15 ersichtlich, nach unten hängend so eingebaut werden,



Abb. 6.14 eingebauter Automatikentlüfter; Quelle: (1)

dass sie nicht abgesperrt werden können und bei Auftreten eines Kollektorstillstandes die Flüssigkeit aus beiden Seiten ungehindert in das Gefäß strömen kann. Hängend deshalb, damit das heiße Wasser-Frostschutz-Gemisch immer am Ausdehnungsgefäß vorbeiströmt und somit im Ausdehnungsgefäß keine überhöhten Temperaturen auftreten.

### Montage der Kollektorkreispumpe

Um die Kollektorkreispumpe nicht zu hohen Temperaturen auszusetzen, muss sie in den Kollektorrücklauf eingebaut werden. Vor und hinter der Umwälzpumpe sind Absperrventile anzuordnen, damit im Falle eines notwendigen Austausches die Wärmeträgerflüssigkeit nicht abgelassen werden muss. Ferner ist beim Einbau der Umwälzpumpe darauf zu achten, dass eine ausgelotete waagrechte Pumpenwellenachse gewährleistet ist, da andernfalls ein erhöhter Verschleiß in der Umwälzpumpe auftritt.

### Rohrführung vom oder zum Speicher

In der Praxis tritt oft der Fall auf, dass ein Speicher schneller auskühlt, als es aufgrund seiner Wärmedämmung erfolgen dürfte. Zum Teil ist dies auf nicht wärmedämmte Fühler oder Flansche zurückzuführen, in der Regel liegt es jedoch an der Art der Rohrführung vom oder zum Speicher und an der hydraulischen Einbindung von Vor- und Rücklaufleitungen.

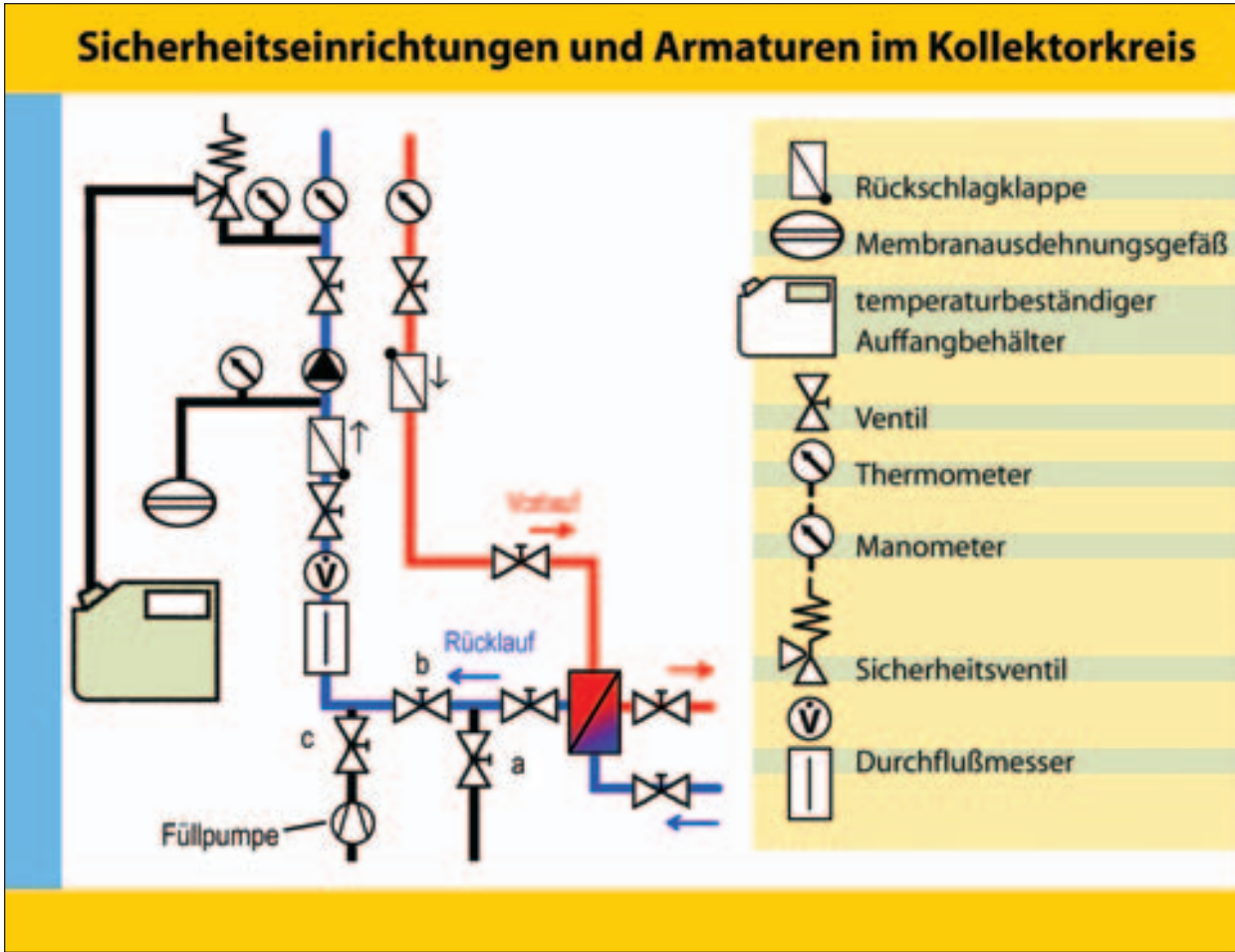


Abb. 6.15 richtige Anordnung der Sicherheitseinrichtungen und der Armaturen im Kollektorkreis sowie Darstellung der Befüllung; Grafik: ASiC; Quelle: [2]

Gut bekannt ist die Selbstentladung des Speichers über die zwei Kollektorleitungen (z. B. in der Nacht) durch Naturzirkulation. Abhilfe kann hier durch den Einbau einer Schwerkraftbremse und eines Rückschlagventils geschaffen werden. Weniger bekannt ist, dass eine solche Naturzirkulation auch innerhalb einer Leitung stattfinden kann. Im Normalfall werden

die Rohrleitungen horizontal vom Speicher weg und anschließend oft steigend geführt. Über solche Leitungen können beträchtliche Energiemengen verloren gehen. Um dies zu verhindern, kann ein so genanntes Thermosiphon durch spezielle Rohrverlegung geschaffen werden. Wird die Leitung zuerst nach unten verlegt (mind. 10-mal den Rohrdurchmesser, siehe Abb. 6.17), so sammelt sich das kalte Wasser am Grunde des Siphons und kann nicht weiter in den Speicher fließen. Die Naturzirkulation im Rohr hört nach dessen Abkühlung auf und der Speicher wird dadurch nicht entladen [6].



Abb. 6.16 Kollektorkreispumpe mit Thermometer; Quelle: (3)

**Regelung**

Ein großes Augenmerk muss auf die gute Genauigkeit aller verwendeten Regelkomponenten gelegt werden. Die genauesten Fühler verlieren aber ihre Sinnhaftigkeit, wenn sie falsch positioniert oder mangelhaft installiert werden.

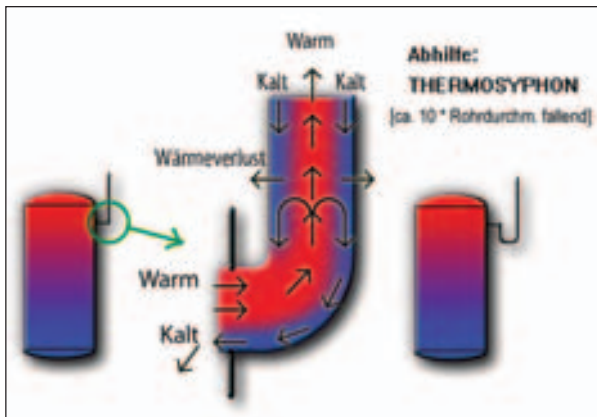


Abb. 6.17 Verhinderung der Naturzirkulation innerhalb eines Rohres durch Thermosiphon; Grafik: ASiC; Quelle: [6]



Abb. 6.18 Kollektortemperaturfühler; Quelle: (8)

Hierzu einige Hinweise:

- Der Temperaturfühler des Kollektorfeldes ist am Vorlauf des wärmsten Kollektors oder am wärmsten Punkt des Kollektorfeldes anzubringen. Für die Kollektortemperaturmessung müssen geeignete Fühler (Pt 100, Pt 500 oder Pt 1.000 Elemente mit Silikon oder Teflonkabeln) eingesetzt werden.
- Die Temperaturfühler zur Speichertemperaturerfassung sind in Tauchhülsen aus korrosionsbeständigem Material zu positionieren und auf einen festen Sitz zu prüfen.
- Die Fühlerpositionierung muss exakt ausgeführt sein und mit der Ausführungsplanung übereinstimmen.
- Ist an den Stellen, an denen die für die Steuerung relevanten Temperaturen gemessen werden sollen (i. d. R. in Höhe des Speicherein- oder -auslaufs), kein oder keine genügende Anzahl von Temperaturstutzen vorhanden, können auch Anlagetemperaturfühler eingesetzt werden. Dabei muss darauf geachtet werden, dass diese richtig geformt und mit einer hochwertigen Wärmeleitpaste sowie gegen die Umgebungseinflüsse gut gedämmt angebracht sind.
- Kabel von Temperaturfühlern sollten nicht mit einfachen Lusterklemmen verlängert werden. Es sollten Klemmverbindungen verwendet werden, welche für einen guten Kabelkontakt sorgen.
- Kabel-Endhülsen verwenden oder Kabel zusätzlich verlöten.
- Werden bei  $\Delta T$ -Messungen mit niederohmigen Temperaturfühlern (z. B. Pt 100) in Zweileitertechnik Kabelverlängerungen notwendig, sind die Kabel beider Fühler um dasselbe Maß zu verlängern. Bei Verwendung von hochohmigen (Pt 1.000) Temperaturfühlern ist eine einseitige Kabelverlängerung unkritisch.
- Temperaturfühler zu  $\Delta T$ -Messungen sollten immer gepaart sein (paarweise Prüfung oder Kalibrierung).
- Die Fühler müssen fest fixiert sein und dürfen nicht verrutschen.
- Die Steuer- und Regelfühler müssen so in das System integriert werden, dass sie zu jedem Zeitpunkt und in jedem Betriebszustand, wo ihr Signal benötigt wird, einen unverfälschten Messwert liefern.



## 6.2. Inbetriebnahme

### 6.2.1. Spülen, Druckprobe, Befüllen und Einstellen

#### Spülung

Nach der Erstellung der Anlage muss eine Spülung über 10 Minuten mit normalem Leitungswasser erfolgen, um Feststoffe (Metallspäne, Verpackungsreste, Holzmehl usw.) und Montagehilfsmittel zu entfernen. Eine vollständige Spülung wird erreicht, wenn die Spülwasserzufuhr über den Spülhahn (c) (siehe Abb. 6.15) und der Abfluss über das Entleerventil am Solarrücklauf (a) erfolgt.

Der dazwischen liegende Absperrkugelhahn (b) muss dabei geschlossen sein. Ein Befüllen/Spülen der Anlage unter starkem Sonnenschein sollte unterbleiben, alternativ können die Kollektoren zum Befüllen/Spülen abgedeckt werden.

#### Druckprobe

Anschließend muss die Druckprobe mit dem 1,5fachen des vom Hersteller angegebenen maximalen Betriebsdruckes erfolgen. Dieser Druck sollte bei möglichst konstanter Temperatur über die Prüfzeit nicht abfallen, eine exakte Bestimmung der erforderlichen Zeit der Druckprobe gibt es nicht. Eine mögliche Richtlinie wären z. B. 8 Stunden.

Es wird empfohlen, diese Dichtheitsprüfung bereits mit dem entsprechenden Frostschutzgemisch durchzuführen. Ein System, das unter Wasser durchaus dicht erscheint, ist dies noch lange nicht bei Befüllung mit einem Glykol-Wasser-Gemisch. Dies hängt unmittelbar mit der hohen Kriechfähigkeit des Glykols im Wärmeträger zusammen [19]. Wenn das Abdrücken dennoch mit Wasser erfolgt und der Kollektor danach nicht in Betrieb genommen wird, ist – auch wenn der Kollektorkreis entleert wurde – unbedingt die Frostgefahr zu bedenken, da sich das Kollektorfeld oft nicht zur Gänze entleert.

Alternativ können Verrohrungen von Firmen mit entsprechender Erfahrung auch mit Stickstoff abgedrückt werden. Der Kollektorkreis sollte also unbedingt dicht gegenüber Glykol-Wasser-Gemischen sein. Stellen mit Leckagen sollten umgehend abgedichtet werden, damit keine korrosionsfördernde Luft in diesen Kreislauf eingesogen werden kann.



Abb. 6.19 Frostschutzprüfer; Quelle: (3)

#### Befüllen

Die Wärmeträgerflüssigkeit muss eine Frostsicherheit bis  $-25\text{ °C}$  aufweisen, dies wird bei Verwendung von Glykol-Wasser-Gemischen bei einem Mischungsverhältnis von 40 % Glykolanteil im Wasser erreicht (Näheres siehe Kap. 5.10.). Die erforderliche Menge für den gesamten Kollektorkreis ist aus den Herstellerangaben des Kollektors und des/der Wärmetauscher/s, sowie aus den Rohrleitungsinhalten abzuschätzen. Beim Mischvorgang ist auf Sauberkeit der verwendeten Gefäße zu achten.

#### Befüllvorgang und Druckeinstellung

Der Füllschlauch wird ausgehend vom Mischgefäß an die Füllpumpe angeschlossen, (c) wird geöffnet, (b) geschlossen und ein weiterer Schlauch, welcher im Mischgefäß endet, an den geöffneten (a) angeschlossen. Die Anlage wird dann über eine Füllpumpe (Kreiselpumpe oder Wasserabdrückpumpe) bei geöffneten Entlüftern befüllt, bis nur mehr Flüssigkeit aus dem Entleerschlauch fließt. Zunächst austretende Wasserreste von der Druckprüfung abfließen lassen, bis nur mehr Wärmeträgerflüssigkeit austritt (ist an der Färbung oder Konsistenz zu erkennen). Die Verwendung einer Kreiselpumpe ist dabei aufgrund der schnellen Ausführung und erheblicher Vorteile bei der Entlüftung zu bevorzugen. Nach Beenden der Befüllung muss die Anlage sorgfältig entlüftet werden, sodass sich keine Luftblasen mehr im Kollektorkreis befinden. Anschließend wird (b) geöffnet und (a) geschlossen, die Füllpumpe abgeschaltet, (c) geschlossen und die Kollektorkreispumpe in Betrieb genommen.

Nach einer Laufzeit von ca. 10 Minuten wird (a) für eine Probe der Wärmeträgerflüssigkeit kurz geöffnet, etwas Flüssigkeit entnommen und mittels Frostschutzprüfer auf Frostsicherheit geprüft. Diese Frostschutzprüfung sollte nach ca. 4 Wochen wiederholt werden, da Schwankungen durch Mischprozesse auftreten können. Der Anlagenbetriebsdruck am Einbaort des Manometers wird auf die statische Höhe der



Anlage plus ca. 0,5 bar bis 0,8 bar Überdruck oder anhand entsprechender Vorgaben mit der Füllpumpe eingestellt. Der Anlagenbetriebsdruck sollte ebenfalls nach ca. 4 Wochen Betrieb kontrolliert werden.

*Beispiel:*

Höhendifferenz zwischen Manometer im Technikraum und höchstem Punkt der Kollektoren am Dach beträgt 15 m, so ergibt sich ein Anlagenfülldruck von 2 bar bis 2,3 bar [2].

### **Einstellung des Durchflusses im Kollektorkreis**

Der benötigte Durchfluss des Kollektorkreises ist abhängig von der gewählten Betriebsart (Low Flow, High Flow) und vom Fachplaner festzulegen. Der einzustellende Durchfluss für die jeweiligen Kollektoren wird vom Kollektorhersteller angegeben. An den Strangregulierventilen oder dem Durchflussmesser ist der Durchfluss abzulesen und über die Leistungsstufen der Pumpe auf Nenndurchfluss einzustellen. Mögliche Abweichungen der Anzeige wegen Verwendung der Wärmeträgerflüssigkeit sind zu berücksichtigen.

Eine weitere Drosselung des Durchflusses durch das Strangregulierventil sollte aufgrund des erzeugten Druckverlustes nicht mehr nötig sein [2].

### **Inbetriebnahme der Regelung**

Um überprüfen zu können, ob die entsprechenden Komponenten wie Pumpe, Nachheizung, Ventile ansprechen, sollten zunächst die Regelungsventile manuell aktiviert werden. Dabei sind die Herstellerangaben sowie die Vorgaben der Planung zu beachten. Als Nächstes sind am Regler die entsprechenden Einstellungen vorzunehmen.

*Dazu gehört:*

- Wahl des Regelalgorithmus.
- Einstellung der Temperaturgrenzwerte und Schalthysteresen.
- Ggf. Aktivierung von Zusatzfunktionen.
- Einstellung des Automatikmodus.

Üblicherweise ist bei komplett vom Hersteller gelieferten Regelungseinheiten keine Kontrolle des Automatikmodus notwendig [7].

## **6.3. Bauüberwachung**

### **6.3.1. Bauzeitenpläne, Koordination der Gewerke**

Mit der Vergabe kommt ein Liefervertrag zustande. Gerade bei der qualifizierten funktionalen Ausschreibung muss der Fachplaner dafür Sorge tragen, dass wichtige zugesicherte Eigenschaften wie z. B. Eigensicherheit und Temperaturbeständigkeit explizit in den Liefervertrag aufgenommen werden. Bei Verwendung des beiliegenden Ausschreibungsbogens sind die notwendigen Eigenschaften, denen die Anlage genügen muss, bereits angeführt. Nach Vergabe besteht eine wesentliche – und vielfach vernachlässigte – Aufgabe des Fachplaners darin, die vergebene Leistung im Bauzeitenplan des Gesamtprojekts zu verankern und diese Verankerung zu überwachen. Dazu gehört auch die Abstimmung und zeitliche Koordination der Gewerke, die gemeinsame Nutzung von Bau-

stelleneinrichtungen wie Gerüst oder Kran. Diese Vereinbarungen müssen in den Baubesprechungen schriftlich fixiert werden. Für die Koordination der Gewerke ist entscheidend, welche Gewährleistung von welchem Gewerk übernommen wird. In Zweifelsfällen sind auch hier Absprachen im Rahmen der Baubesprechungen zu treffen, und zwar als Zusatzvereinbarungen zum Liefervertrag.

### **6.3.2. Kontrolle der Komponenten und Hydraulik**

Noch bevor die einzelnen Komponenten eingebaut werden, sollten sie hinsichtlich ihrer Vollständigkeit, Temperatur- und Materialbeständigkeit und ihrer funktionellen Anforderungen kontrolliert werden. Weiters ist darauf zu achten, dass die Hydraulik entsprechend dem Montage- oder Ausführungsplan ausgeführt wird. Trotz des dadurch entstehenden Mehraufwandes sollten nach Abschluss der Installationsarbeiten sämtliche Einbauten, Rohrleitungsstränge, Ab-

zweigungen, Ventile, Speicherzu- und -abgänge kontrolliert werden. Grundsätzlich sollte auch die Dämmdicke der Rohre und des Speichers sowie deren richtiger Sitz kontrolliert werden.

### 6.3.3. Bauüberwachung, technische Abnahme, Einweisung

Wesentliches Hilfsmittel bei der Bauüberwachung ist ein detaillierter Montage- und Ausführungsplan, der zwischen Fachplaner und Anbieter abgestimmt und schriftlich fixiert wird. Dieser Montageplan vereinfacht die Überwachung vor Ort und hilft, Unklarheiten und Streitigkeiten rasch auszuräumen. Alle auf der Baustelle vorgenommenen Änderungen sind in diesem Montageplan aufzuschreiben. Der Montageplan enthält einen Soll-Zeitplan, der mit dem Bauzeitenplan des Gesamtvorhabens abgestimmt wird. Der Fachplaner erstellt aus seiner Bauüberwachung vor Ort einen Ist-Zeitverlauf und fixiert Mängel oder erforderliche Änderungen schriftlich.

*Bei der Abstimmung des Montageplans klären sich auch bereits Dinge wie:*

- Der Einbau von Dehnelementen.
- Art und Einbau der Entlüftungseinrichtungen.
- Art und Einbau von Absperr- und KFE-Hähnen.

Auch Lage und Montageart der Temperatursensoren sollten dabei nochmals ausführlich besprochen und abgestimmt werden.

*Wichtige Punkte im Ablauf der Bauüberwachung bei größeren Anlagen sind:*

- Dichtheitsprüfung der Verrohrung.
- Einstellen des Vordrucks der Ausdehnungsgefäße und des Anlagendrucks. Diese Einstellungen im Beisein der Bauleitung vor Ort aufnehmen und protokollieren.
- Kontrolle der Anschlüsse von Wärmetauschern. Das Vertauschen der Anschlüsse bei Wärmetauschern stellte in der Vergangenheit eine häufige Fehlerquelle dar!

Als Hilfe für die technische Abnahme einer Anlage findet man eine vorbereitete Checkliste im Anhang zu diesem Abschnitt. Der Aufwand für Abnahme verringert sich deutlich, wenn der Montage- und Änderungsplan ständig fortgeschrieben und aktualisiert wurde. Bei größeren Anlagen wird vielfach ein Probebetrieb durchgeführt, bei dem vor Ort schon Funk-

tionsprüfungen, insbesondere hinsichtlich der Regel- und Steuerabläufe, vorgenommen werden können. Wenn ein solcher Probebetrieb in den Hochsommer fällt, kann auch ein Anlagenstillstand als Test für die Sicherheitseinrichtungen durchgeführt werden. Die abzuliefernden Unterlagen und Dokumentationen sind in der neuen EN 12976 neu gefasst.

### Die Abnahme und das Abnahmeprotokoll

Neben dem Betreiber muss der Bauherr oder ein bevollmächtigter Vertreter der Bauherrn anwesend sein (Übergabe der Unterlagen und Dokumentationen). Die Abnahme muss an einem Tag stattfinden, an dem ausreichend Einstrahlung vorhanden ist, um die Funktion der Kollektoranlage zu überprüfen. Ggf. sind die entsprechenden Prüfungen zu einem späteren Termin zu wiederholen. Es muss die Möglichkeit bestehen, durch eine Warmwasserzapfung Regelung und Betrieb der Entladung des Pufferspeichers und der Nachheizung zu überprüfen. Falls die Warmwasseranlage noch nicht in Betrieb ist, sind entsprechende Prüfungen ggf. zu einem späteren Termin zu wiederholen.

***Wenn Unterlagen fehlen oder unvollständig sind, ist dies einzutragen!***

### 6.3.4. Erstinspektion

Es hat sich bei größeren Anlagen bewährt, nach Ablauf von ca. acht Wochen eine Erstinspektion der Anlage im Beisein der Bauleitung vornehmen zu lassen. Die Erstinspektion ist den Investitionskosten zuzurechnen und sollte daher auch im Ausschreibungsumfang enthalten sein.

Zu den Punkten, die bei der Erstinspektion überprüft werden, gehören u. a.:

- Muss nochmals entlüftet werden (Ausgasen der im Wärmeträger gelösten Luft erfolgt vielfach erst beim Durchwärmen während des Anlagenbetriebs)?
- Kontrolle und Reinigung der Schmutzfänger.
- Kontrolle des Anlagendrucks, ggf. Korrektur.
- Kontrolle der Volumenströme während des Anlagenbetriebs, ggf. Korrektur.
- Abschließende Sichtprüfung von Anlage und Anzeigen auf Unregelmäßigkeiten.
- Durchführung einer ersten Ertragskontrolle, um die einwandfreie Funktion der Anlage zu prüfen.

## Die Abnahme und das Abnahmeprotokoll

1. Montage		OK	Bemerkung
1.1	Datenblätter aller Komponenten vorhanden		
1.2	Alle Komponenten laut Hydraulikplan installiert		
1.3	Kollektor sturmsicher installiert		
1.4	Isolierung fertiggestellt		
1.5	Solarleitung und Rahmen/Gestell an Potenzialausgleich angeschlossen		
1.6	Überspannungsschutzdose für Solarfühler installiert		
1.7	Abblaseleitung mit Auffanggefäß am Sicherheitsventil des Solarkreises installiert		
1.8	Abblaseleitung am trinkwasserseitigen Sicherheitsventil installiert		
1.9	Auffanggefäß unter Abblaseleitung aufgestellt (bei Fremdstromanoden angeschlossen)		
1.9a	In Puffersystemen: Mischventil heizkreisseitig vor Wärmeübertrager installiert		
1.9b	Richtige Temperatur am Mischer eingestellt		
1.10a	In trinkwassergeführten Systemen: Brauchwassermischer installiert		
1.10b	Richtige Temperatur am Brauchwassermischer eingestellt		
1.11a	Volumen Ausdehnungsgefäß Solarkreis [l]		
1.11b	Vordruck Ausdehnungsgefäß Solarkreis [bar]		
1.11c	Sicherheitsventil Solarkreis [bar]		
2. Inbetriebnahme		OK	Bemerkung
2.1	Solarkreis gespült, abgedrückt inkl. Leckkontrolle v. Verschraubungen und Lötstellen		
2.2	Dichtheit aller Armaturen und Verschraubungen überprüft		
2.3	Wasserdruckprüfung mit einem Prüfdruck von     bar erfolgreich durchgeführt		
2.4a	Anlage mit Solarflüssigkeit gefüllt		
2.4b	Bezeichnung Wärmeträgermischung.....		
2.4c	Frostschutzmischung geprüft? Frostsicherheit:     °C (-25 °C bis -28 °C)		
2.5	Pumpe, Wärmetauscher und Kollektor entlüftet		
2.6	Automatische Entlüfter und unterhalb liegende Kugelhähne Kollektorkreis geschlossen		
2.7	Rückschlagventil auf „zu“ gestellt		
2.8	KFE-Ventil Kappen zugeschraubt		
2.9	Ventilfunktion laut Datenblätter überprüft und richtig eingestellt		
2.10	Heizkreis entlüftet		
2.11	Bereitschaftskreis entlüftet		
2.12	Druckanzeige in Ordnung		
2.13	Temperaturanzeige in Ordnung		
2.14	Anlagendruck (kalt) Kollektorkreis:     bar bei     °C		
2.15	Pufferspeicher mit allen Sicherheitseinrichtungen angeschlossen und entlüftet		
3. Schalthysteresen		OK	Bemerkung
3.1	Pumpe Kollektorkreis: $\Delta T_{\text{ein}} = \text{_____K}$ , $\Delta T_{\text{aus}} = \text{_____K}$		
3.2	Nachheizung Bereitschaftsspeicher: $\Delta T_{\text{ein}} = \text{_____K}$ , $\Delta T_{\text{aus}} = \text{_____K}$		
3.3	Ggf. Nachheizung Pufferspeicher: $\Delta T_{\text{ein}} = \text{_____K}$ , $\Delta T_{\text{aus}} = \text{_____K}$		
3.4	Ggf. Nachheizung Vorwärmespeicher: $\Delta T_{\text{ein}} = \text{_____K}$ , $\Delta T_{\text{aus}} = \text{_____K}$		
4. Solltemperaturen und Grenzwerte		OK	Bemerkung
4.1	Solltemperatur Bereitschaftsspeicher:     _____°C		
4.2	Ggf. Solltemperatur Nachheizung Pufferspeicher:     _____°C		
4.3	Solltemperatur Kessel:     _____°C		
4.4	Solarkreispumpe wird abgeschaltet     _____°C		

5. Regelsystem		OK	Bemerkung
5.1	Temperaturfühler zeigen realistische Werte an		
5.2	Solarpumpe läuft und wälzt um (Volumenstrommesser)		
5.3	Alle Volumenströme einreguliert		
5.4	Temperaturdifferenz im Solarkreis ablesbar/Speicher wird warm		
5.5	Speicherfühler an richtiger Stelle entsprechend Plan		
5.6	Nachheizung setzt ein		
5.7	Regelalgorithmus gewählt		
5.8	Temperaturgrenzwerte und Schalthysteresen eingestellt		
5.9	Ggf. Aktivierung von Zusatzfunktionen		
5.10	Automatikmodus einstellen		
5.11	Position Temperaturfühler Kollektor geprüft		
5.12	Positionen der Sensoren in Puffersystemen		
5.12a	Pumpe AN/AUS	cm von Speicherboden	
5.12b	Fühler für max. Temperatur	cm von Speicherboden	
5.12c	$\Delta T$ Entladung	cm von Speicherboden	
5.12d	Nachheizung AN	cm von Speicherboden	
5.12e	Nachheizung AUS	cm von Speicherboden	
5.13	Positionen Sensoren in trinkwassergeführten Systemen		
5.13a	Pumpe AN/AUS	cm von Speicherboden	
5.13b	Fühler für max. Temperatur	cm von Speicherboden	
5.13c	$\Delta T$ Entladung	cm von Speicherboden	
5.13d	Nachheizung AN	cm von Speicherboden	
5.13e	Nachheizung AUS	cm von Speicherboden	
6. Ertragskontrolle		OK	Bemerkung
6.1a	Wärmemengenzähler in Solarsekundärkreis eingebaut, Funktion kontrolliert		
6.1b	Volumenmessteil läuft einwandfrei mit _____ l/h bei $\Delta T$ _____ °C		
6.2	Wärmemengenzähler für WW-Zapfung nach Kap. 3.2.3.1. eingebaut, Funktion kontrolliert		
6.3	Wärmemengenzähler in Nachheizenergiekreis eingebaut, Funktion kontrolliert		
6.4	bei großen Anlagen (> 50 m <sup>2</sup> Kollektorfläche):		
6.5	WMZ für Zirkulationslast nach Kap. 3.2.3.1. eingebaut, Funktion kontrolliert		
7. Der Anlagenbetreiber hat folgende EINWEISUNGEN erhalten		OK	Bemerkung
7.1	Grundfunktion und Bedienung der Regler und der Anzeigen		
7.2	Funktionen und Bedienung der Nachheizung		
7.3	Regelwerte der Ablesung und Anzeige/Anzeichen bei/für Betriebsstörungen		
7.4	Anzeichen bei/für Betriebsstörungen		
7.5	Wartungsintervalle, optional Wartungsvertrag		
7.6	Aushändigung der Bedienungsanweisungen		

Unterschrift des Betreibers

Unterschrift Bauherr

Unterschrift Installationsbetrieb/Firmenstempel

(Abnahmeprotokoll in Anlehnung an die ZVH-Richtlinie 11.01)

## 7.1. Wartung

**D**a Fehlfunktionen oder Störungen ebenso bei Solaranlagen wie auch bei konventionellen Warmwasserbereitungsanlagen auftreten können und damit die Funktion der Anlagen beeinträchtigen, ist auch bei Solaranlagen eine jährliche Wartung zu empfehlen. Der Ausfall der Solaranlage bleibt meist über längere Zeit unbemerkt, da bei einem eventuellen Ausfall das Warmwasser durch die konventionelle Nachheizung aufbereitet wird.

Bei Inbetriebnahme größerer Anlagen empfiehlt es sich, einen Wartungsvertrag mit der Installationsfirma abzuschließen. Zusätzlich sollten hier kontinuierlich Funktions- und Ertragskontrollen durchgeführt werden.

Für eine jährliche Inspektion (Wartung) ist eine Sichtprüfung von Anlage, Komponenten, Armaturen und Anzeigen ausreichend.

*Dabei sollten besichtigt/kontrolliert werden:*

- Sichtprüfung der Speicher, Rohrleitungen und Dämmung
- Sichtprüfung der Regelung, Sicherheitseinrichtungen, Pumpen und des/der Schmutzfänger
- Kontrolle des Anlagendrucks
- Ablesen der Wärmemengenzähler
- Funktionskontrolle der Anlage

Im Abstand von 3–4 Jahren sollte eine genauere Wartung der Anlage durchgeführt werden, dabei sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Eine Überprüfung des pH-Wertes der Wärmeträgerflüssigkeit (mit Indikatorstreifen), wobei dieser Zeitraum bei Vorwärmanlagen länger gewählt werden kann, da bei dieser Anlage praktisch nie Anlagenstillstand durch Überhitzung auftritt und das Frostschutz-Gemisch daher nicht so stark belastet wird. Der pH-Wert sollte den Wert 6,5 nicht unterschreiten.
- Die Prüfung des pH-Wertes der Wärmeträgerflüssigkeit sollte mit einer Überprüfung der Frostschutzwirkung (mittels Frostschutzprüfer) gekoppelt werden. Die Frostsicherheit sollte dabei zwischen  $-25\text{ °C}$  und  $-28\text{ °C}$  liegen.
- Treten während des ansonst störungsfreien Betriebs plötzliche Minderungen des Ertrags oder Fehlfunktionen auf, stehen dem Fachplaner bzw. einem erfahrenen Bauherrn Diagnoselisten (siehe Kap. 7.3.) zur Verfügung, mit denen sich Fehler rasch eingrenzen lassen.
- Im Zuge dieser Wartung sollten die Außenanlagen (Kollektoren, Rohrleitungen, Dämmung, Entlüfter usw.) inspiziert werden. Lediglich an Standorten oder bei Montagevarianten, die eine erhebliche Verschmutzung der Kollektoren befürchten lassen, sollte einmal jährlich Sichtprüfung und bei Bedarf Reinigung durch Abspritzen vorgesehen werden.



### 7.1.1. Muster für ein Wartungsprotokoll

Es wurde am \_\_\_\_\_

an der Solaranlage von:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

in:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Errichtungsdatum: \_\_\_\_\_

letzte Wartung am: \_\_\_\_\_

eine Wartung durchgeführt.

*Angaben des Betreibers zum Anlagenbetrieb vor Ort:*

Lufttemperatur außen: \_\_\_\_\_ °C

Strahlungsleistung geschätzt/gemessen: \_\_\_\_\_ W/m<sup>2</sup>

bzw. Wetterlage:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

1. Solarkreis		OK	Mängel	behooben am
1.1	Anlagendruck: _____ bar bei Solarkreistemp.: _____ °C			
1.2	pH-Wert der Solarflüssigkeit: _____ (mind. 6,5)			
1.3	Frostschutzwirkung bis: _____ °C (zwischen -25 °C und -28 °C)			
1.4	Umwälzpumpe läuft in allen drei Stufen			
1.5	Luft in der Anlage? Rauschen in der Pumpe?			
	Unregelmäßige Druckanzeige Kollektorkreis? ja/nein			
	Entlüftet ja/nein			
	Entlüfter wieder geschlossen ja/nein			
	Wärmeträger nachgefüllt ja/nein			
	Bezeichnung Wärmeträgermischung .....			
	geschätzte Menge: _____ Liter			
1.6	Umwälzmenge im Solarkreis:			
1.7	Rückschlagklappe in Funktion			
1.8	Schmutzfänger gereinigt (falls vorhanden)			
1.9	Brauchwassermischer liefert gewünschte Temp.: _____ °C			
1.10	Flüssigkeit im Auffanggefäß unter Sicherheitsventil des Kollektorkreises			
	ja (Menge _____ Liter) nein			
1.11	Schwerkraftbremsen in Funktion			
<b>2. Sonnenkollektoren</b>		<b>OK</b>	<b>Mängel</b>	<b>behooben am</b>
2.1	Sichtprüfung des Kollektors auf Verschmutzung			
2.2	Sichtprüfung der Dachdichtheit durchführen			
2.3	Sichtprüfung der Kollektorhalterung auf Stabilität			
2.4	Rohrisolierung auf einwandfreien Zustand kontrolliert			
<b>3. Solarspeicher</b>		<b>OK</b>	<b>Mängel</b>	<b>behooben am</b>
3.1	Sichtprüfung Wärmedämmung			
3.2	Kontrolle auf Feuchtigkeitsspuren an/unter Speicher/Rohrleitungen			
3.3	Wärmetauscher entlüften			
<b>4. Solarregler</b>		<b>OK</b>	<b>Mängel</b>	<b>behooben am</b>
4.1	Pumpenfunktion in den Stellungen An/Aus/Automatik geprüft			
4.2	Regler zeigt _____ Betriebsstunden in der Zeit von _____ bis _____			
4.3	Temperaturanzeige aller Fühler kontrolliert			
4.4	Kollektortemperatur $T_{kolmin}$ _____ °C / $T_{kolmax}$ _____ °C			
4.5	Speichertemperatur $T_{spmin}$ _____ °C / $T_{spmax}$ _____ °C			

5. Schalthysteresen		OK	Mängel	behooben am
5.1	Pumpe Kollektorkreis: $\Delta T_{\text{ein}} = \underline{\hspace{2cm}}$ K, $\Delta T_{\text{aus}} = \underline{\hspace{2cm}}$ K			
5.2	Nachheizung Bereitschaftsspeicher: $\Delta T_{\text{ein}} = \underline{\hspace{2cm}}$ K, $\Delta T_{\text{aus}} = \underline{\hspace{2cm}}$ K			
5.3	Ggf. Nachheizung Pufferspeicher: $\Delta T_{\text{ein}} = \underline{\hspace{2cm}}$ K, $\Delta T_{\text{aus}} = \underline{\hspace{2cm}}$ K			
5.4	Ggf. Nachheizung Vorwärmerspeicher: $\Delta T_{\text{ein}} = \underline{\hspace{2cm}}$ K, $\Delta T_{\text{aus}} = \underline{\hspace{2cm}}$ K			
6. Nachheizung		OK	Mängel	behooben am
6.1	liefert gewünschte Abschalttemperatur $\underline{\hspace{2cm}}$ °C			
6.2	Eingestellte Speichertemperatur $\underline{\hspace{2cm}}$ °C			
7. Wärmemengenzähler		OK	Mängel	behooben am
7.1	WMZ im Solarsekundärkreis			
7.1a	Volumenmessteil läuft einwandfrei mit $\underline{\hspace{2cm}}$ l/h bei $\Delta T \underline{\hspace{2cm}}$ °C			
7.1b	WMZ zeigt in der Zeit von $\underline{\hspace{2cm}}$ bis $\underline{\hspace{2cm}}$ kWh an			
7.2	WMZ für WW-Zapfung			
7.2a	Volumenmessteil läuft einwandfrei mit $\underline{\hspace{2cm}}$ l/h bei $\Delta T \underline{\hspace{2cm}}$ °C			
7.2b	WMZ zeigt in der Zeit von $\underline{\hspace{2cm}}$ bis $\underline{\hspace{2cm}}$ kWh an			
7.3	WMZ im Nachheizenergiekreis			
7.3a	Volumenmessteil läuft einwandfrei mit $\underline{\hspace{2cm}}$ l/h bei $\Delta T \underline{\hspace{2cm}}$ °C			
7.3b	WMZ zeigt in der Zeit von $\underline{\hspace{2cm}}$ bis $\underline{\hspace{2cm}}$ kWh an			
7.4	WMZ für Zirkulationslast			
7.4a	Volumenmessteil läuft einwandfrei mit $\underline{\hspace{2cm}}$ l/h bei $\Delta T \underline{\hspace{2cm}}$ °C			
7.4b	WMZ zeigt in der Zeit von $\underline{\hspace{2cm}}$ bis $\underline{\hspace{2cm}}$ kWh an			
8. Bemerkungen				
8.1	Ertrag laut Simulation erreicht <span style="margin-left: 20px;">Ja</span> <span style="margin-left: 20px;">Nein</span>			

Name Datum Unterschrift und Stempel

## 7.2. Funktions- und Ertragskontrolle

**H**at man in eine Solaranlage investiert, möchte man natürlich auch wissen, ob die prognostizierten Einsparungen erreicht werden. Bei größeren Anlagen ist es zudem auch sinnvoll, die Betriebsführung der Anlage zu überprüfen und sie gegebenenfalls zu optimieren.

Als Ertrag wird jene Wärmemenge bezeichnet, die an einer bestimmten Stelle der Anlage an den nächsten Kreislauf oder Speicher übergeben wird. Diese wird als Summe über einen Tag, einen Monat oder ein Jahr angegeben (z. B. kWh/a). Werden „spezifische Erträge“ angegeben, so beziehen sie sich auf die Kollektorfläche (z. B. kWh/m<sup>2</sup> a).

### 7.2.1. Funktionskontrolle

Hierzu sind zurzeit „intelligente“ Funktionskontrollgeräte in Entwicklung, die eine Fehlermeldung senden, wenn z. B. der solare Ertrag unter einen vom System abhängigen Grenzwert fällt.

*Als Merksatz für eine Funktionskontrolle gilt:*

Der Umfang der Messwerterfassung sollte dem Wirtschaftlichkeitsprinzip genügen.

*Daher:*

**„Je größer die Anlage ist, desto eher lohnt sich der Aufwand für deren Optimierung!“**

*Einfache Funktionskontrolle:*

Hierbei geht es nur darum, grobe Fehlfunktionen auszusondern. Dafür ist eine Genauigkeit von 25 % ausreichend. Dies lässt sich mit zwei Wärmemengenzählern realisieren, die monatlich abgelesen werden. Ein Wärmemengenzähler misst die Warmwasserzapfung, der zweite den solaren Ertrag. Optimierungshinweise für die Betriebsführung sind von der einfachen Funktionskontrolle nicht zu erwarten.

*Funktionskontrolle mit Hinweisen zur Optimierung:*

Hinweise darauf, ob die Regelungsparameter (Betriebsführung) besser einzustellen sind, erhält man nur, wenn Tagessummen aufgenommen werden und die Einstrahlung gemessen wird. In der Regel ist damit eine Genauigkeit von 5 % bis 10 % erreichbar.

Neben den Wärmemengenzählern für die Warmwasserzapfung und den solaren Ertrag sollte man jetzt auch einen für die Zirkulation vorsehen. Eine zusätzliche Wasseruhr im Kaltwasserzulauf hat sich als Sicherheit bewährt, da dann auch bei Fehlanzeige oder beim Ausfall des Wärmemengenzählers der Warmwasserzapfung die Verbrauchsdaten abgeschätzt werden können. Die Bewertung der Tagessummen ist nur mit Messdaten der Einstrahlung möglich.

Soll eine Messung einen Hinweis zur Optimierung liefern, muss sie zeitnahe ausgewertet werden. Daher ist hier eine automatische Datenfernauslesung über Modem an die auswertende Stelle vorzusehen.

*Detaillierte Funktionskontrolle zur Festlegung der optimalen Betriebsführung:*

Dies ist erst bei einer Messung von Stundenwerten möglich. Dabei sollte dann auch ein Wärmemengenzähler für die Nachheizung und die Erfassung der Außentemperatur vorgesehen werden. Eine solche detaillierte Aufzeichnung kann nur dann sinnvoll genutzt werden, wenn die auswertende Stelle über ein detailliertes Rechenmodell der Anlage verfügt und die auswertenden Mitarbeiter die anfallende Datenflut zeitnahe bewerten können [21].

### 7.2.2. Ertragskontrolle

*Als Merksatz für eine Ertragskontrolle gilt:*

**„Eine Messung des solaren Ertrags (Kollektorkreisertrag) ohne gleichzeitige Verbrauchsmessung (Liter pro Tag bei 60 °C) ist wertlos!“**

Da der solare Ertrag einer Solaranlage hauptsächlich von der Auslastung der Anlage abhängt, ist eine Bewertung ohne Messung des Verbrauchs (Zapfvolumen) nicht möglich.

Auslastung = Verbrauch/Kollektorfläche

d. h.

Auslastung = Liter pro Tag bei 60 °C/m<sup>2</sup><sub>Kollektorfläche</sub>

*(Genauere Angaben zur Ermittlung des Warmwasserbedarfs bzw. dessen Umrechnung auf 60 °C siehe Kap. 3.2.3.1.)*

Ungefähre Anhaltswerte für die mit einem bestimmten Anlagentyp (Auslastung) zu erwartenden Erträge sind in der Tabelle auf der nächsten Seite angeführt. Diese Richtwerte gelten für Südorientierung und ca. 40° Neigungswinkel an österreichischen Standorten mit geringer Einstrahlung „Zone 1“ (siehe auch Kap. 3.2.1.1.).

Anlagentyp	Auslastung [Liter pro Tag bei 60 °C/m <sup>2</sup> <sub>Koll</sub> ]	Solarer Ertrag [kWh/m <sup>2</sup> im Jahr]
<b>Vorwärmanlage</b>	<b>45–70</b>	<b>400–500</b>
<b>Anlage im Kosten-Nutzen-Optimum</b>	<b>30–45</b>	<b>350–400</b>
<b>Anlage mit hoher Brennstoffeinsparung</b>	<b>15–30</b>	<b>220–350</b>

Tab. 7.1 Richtwerte für solare Erträge; Quelle: ASiC

### Messung und Datenerfassung

Das Messen solarer Erträge wird normalerweise mit handelsüblichen Wärmemengenzählern durchgeführt, diese sind aber meist zur Wärmemengenmessung in Heizkreisen und dadurch für wesentlich geringere Temperaturdifferenzen und für Wasser ausgelegt. Wärmemengenzähler zur Messung des solaren Ertrags im Kollektorkreis müssen auf jeden Fall an die speziellen Betriebsbedingungen angepasst werden. Es muss gewährleistet sein, dass sie bei Temperaturen über 100 °C arbeiten und ein Anpassen an die Dichte des Wärmeträgermediums möglich ist.

*Wann und in welchem Abstand wird gemessen:*

Hierbei gelten an sich die gleichen Bedingungen wie für die Funktionskontrolle. Für eine einfache Ertragskontrolle ist daher eine monatliche Datenauswertung ausreichend.

*Positionierung der Messgeräte:*

Sofern externe Wärmeüberträger im Solarkreis eingesetzt werden, ist der Wärmemengenzähler für die Messung des solaren Ertrags stets im Sekundärkreislauf (auf der Wasserseite) einzubauen. Die Positionen der Wärmemengenzähler sind für die jeweiligen Systemkonzepte bereits im Anlagenschema eingezeichnet. Dies stellt die Mindestausstattung zur Ertragskontrolle dar. Die Wärmemengenzähler sind wie in Abb. 7.1 als Durchflussmesser und den dazugehörigen Temperaturfühler gekennzeichnet. Schematisch sind ebenfalls die richtigen Positionen der Temperaturfühler angegeben. Der Wärmemengenzähler errechnet aus dem Durchfluss und der Temperaturdifferenz die Wärmemenge des jeweiligen Wasserkreislaufes. Auf die Positionierung der Messgeräte zur Warmwasserbedarfsermittlung wird im Kap. 3.2.3.1. näher eingegangen.

*Was kann mit einer Mindestausstattung ermittelt werden?*

- Kollektorkreisenertrag
- Eingesparte Energie
- Die Energiebilanz der gesamten Anlage



Abb. 7.1 Durchflussmesser; Quelle: (8)

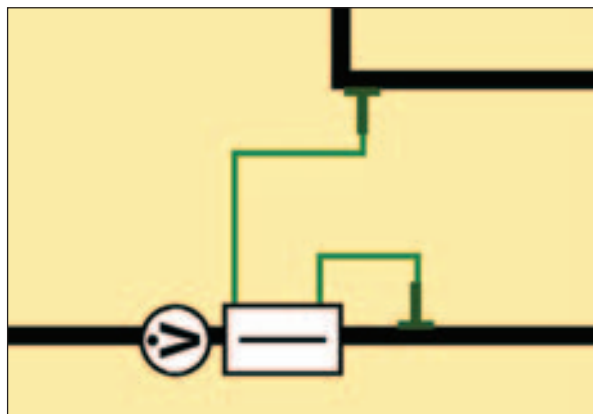


Abb. 7.2 schematische Darstellung eines Wärmemengenzählers; Quelle: ASiC



Des Öfteren stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, wer diese Ertragskontrolle durchführen soll. Wird eine einfache Ertragskontrolle durchgeführt, so ist es sinnvoll, diese von der ausführenden Firma der Solaranlageninstallation in Kombination mit einem Wartungsvertrag durchführen zu lassen. Firmen, welche sich auf Solaranlagen spezialisiert haben, verfügen in der Regel über geeignete Simulationsprogramme, um eine Ertragskontrolle durchzuführen.

Wird eine Garantie der solaren Erträge gewünscht, so ist eine Beauftragung eines möglichst neutralen Instituts mit dieser Messung in Betracht zu ziehen.

Sollen Hinweise zur Optimierung oder generell eine Optimierung der Betriebsführung durchgeführt werden, so ist dies nur durch eine Messdatenfernübertragung mittels Modem bei zeitnaher Auswertung möglich.



## 7.3. Fehlerdiagnose

Sollten während des ansonst störungsfreien Betriebes der Anlage plötzliche Minderungen des Ertrags oder Fehlfunktionen auftreten, ste-

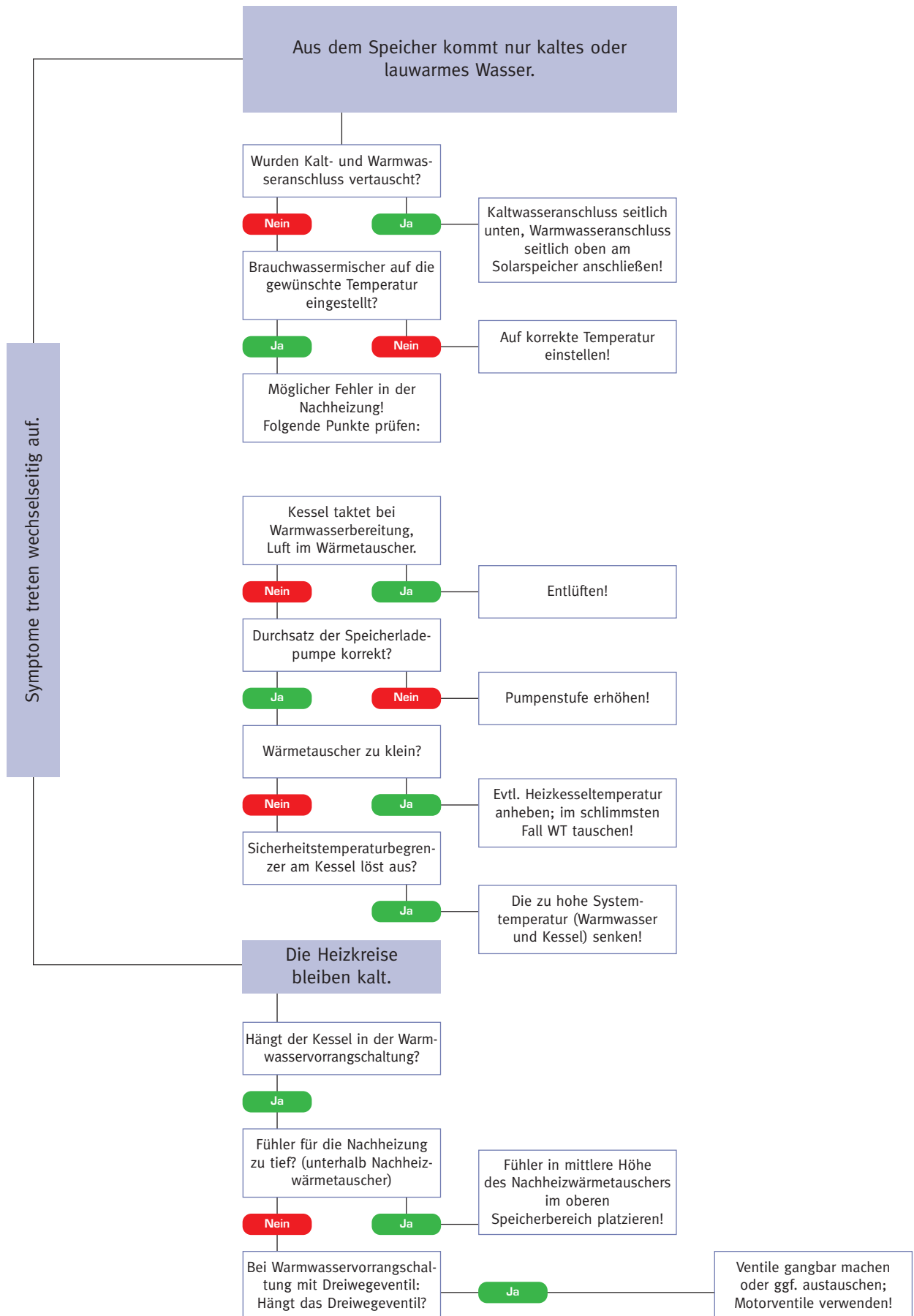
hen dem Fachplaner bzw. einem erfahrenen Bauherrn folgende Diagnoselisten zur Verfügung, mit denen sich Fehler rasch eingrenzen lassen [2].

### Symptom 1

Die Temperaturanzeige des Kollektorfeldes zeigt bei Sonnenschein Temperaturen um mehr als 40 °C über der Speichertemperatur an und die Kollektorkreispumpe läuft.

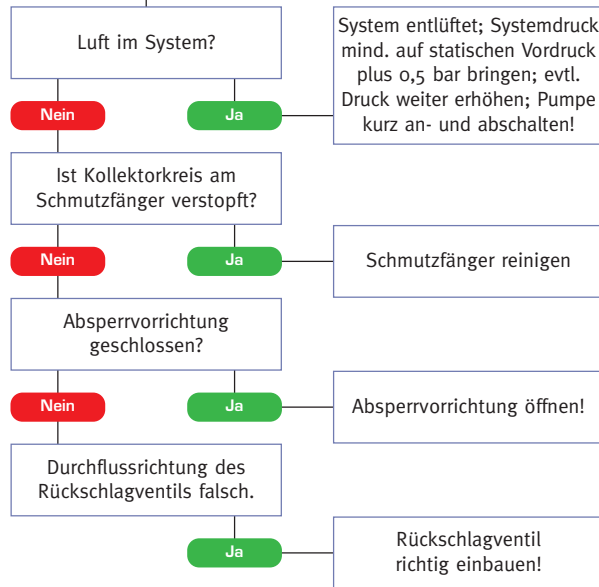


## Symptom 2



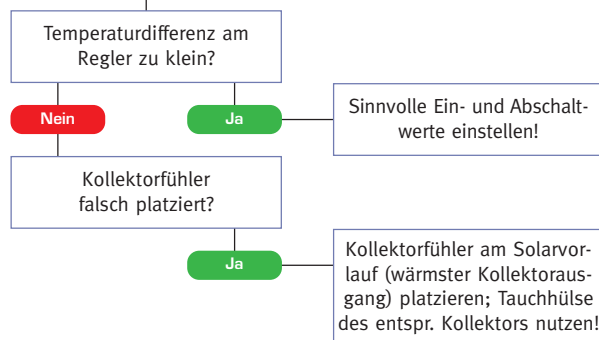
### Symptom 3

Pumpe im Solarkreis, jedoch kein Wärmetransport vom Kollektor zum Speicher, Vor- und Rücklauf gleich warm; evtl. auch Blubbern in der Leitung.



### Symptom 4

Pumpe läuft kurz an, schaltet ab, schaltet wieder an usw.



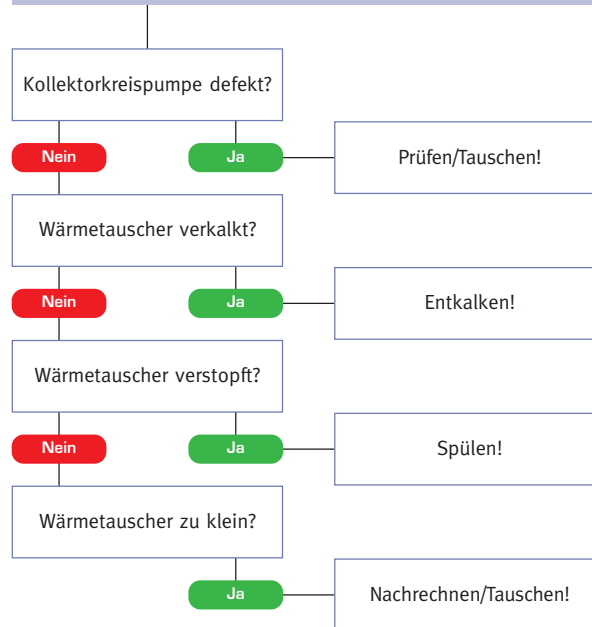
### Symptom 5

Pumpe springt spät an und hört früh auf zu laufen.

Einschalttemperaturdifferenz am Regler zu hoch eingestellt!

## Symptom 6

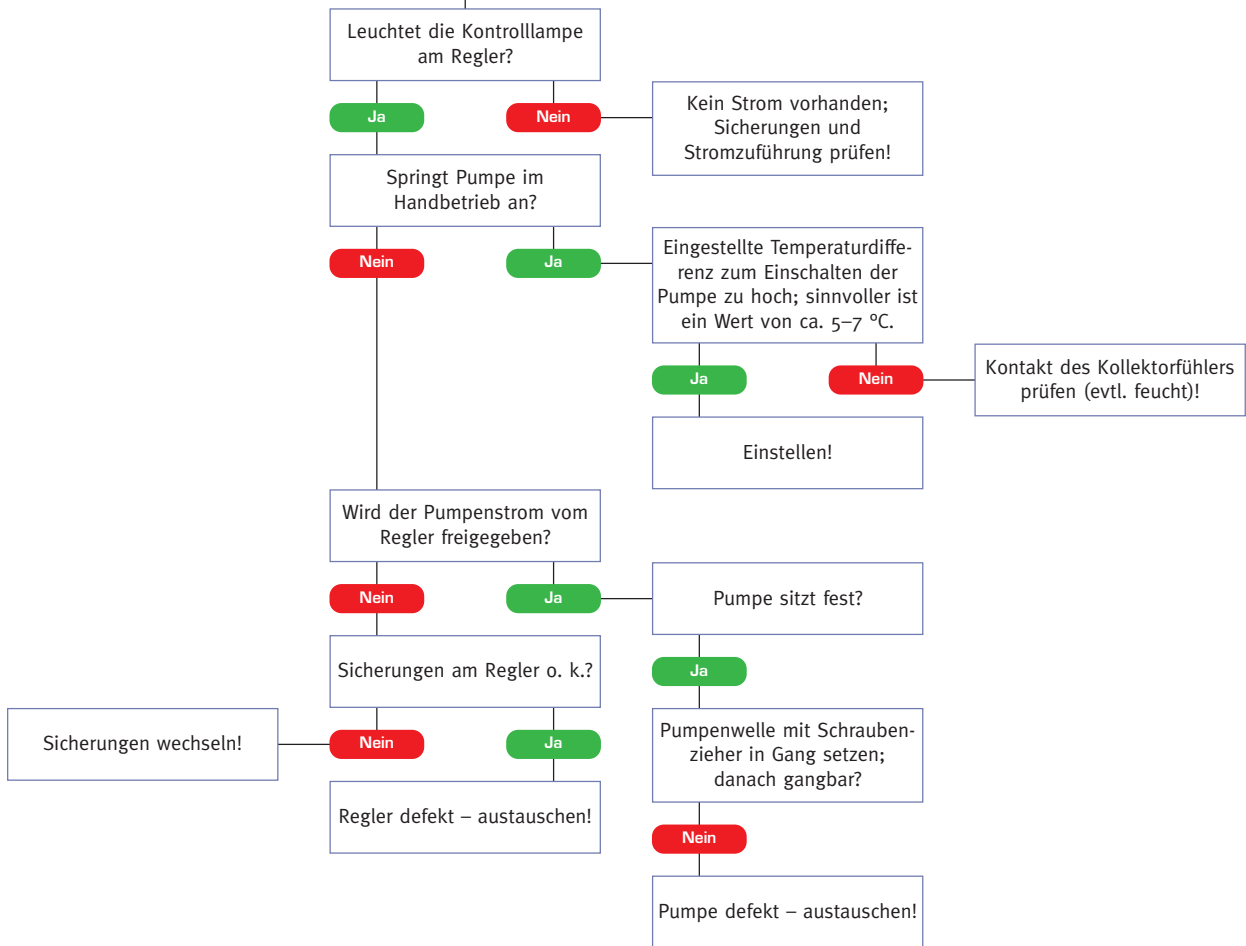
Die Temperaturdifferenz zwischen Speicher und Kollektor wird während des Betriebs sehr groß; der Kollektorkreis kann die Wärme nicht abführen.





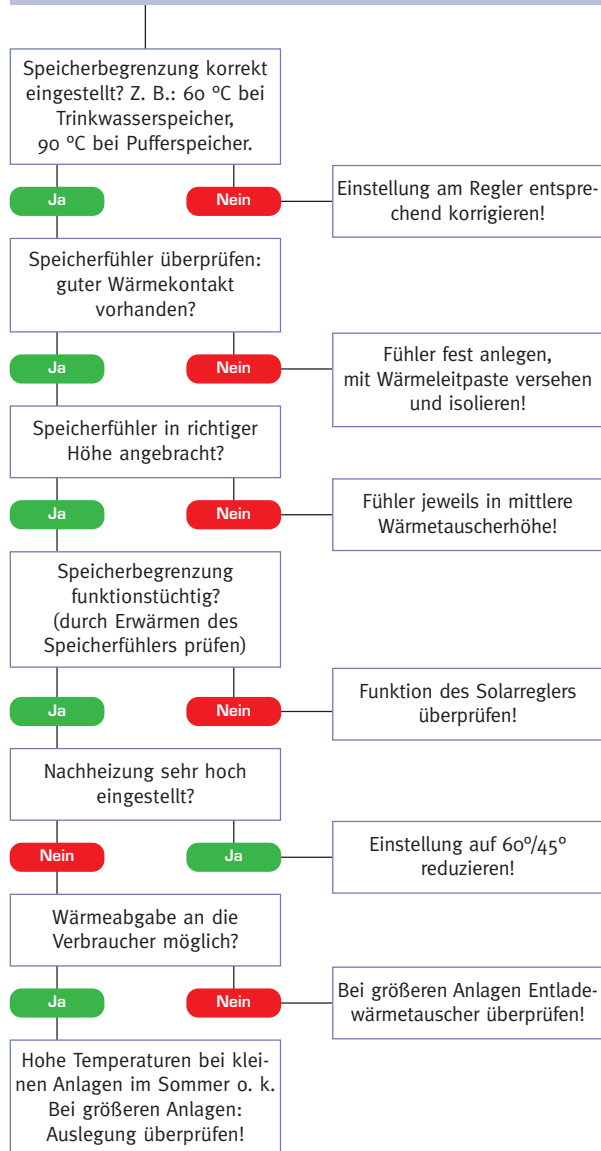
## Symptom 7

Die Solarkreispumpe läuft nicht, obwohl der Kollektor deutlich wärmer als der Speicher ist.



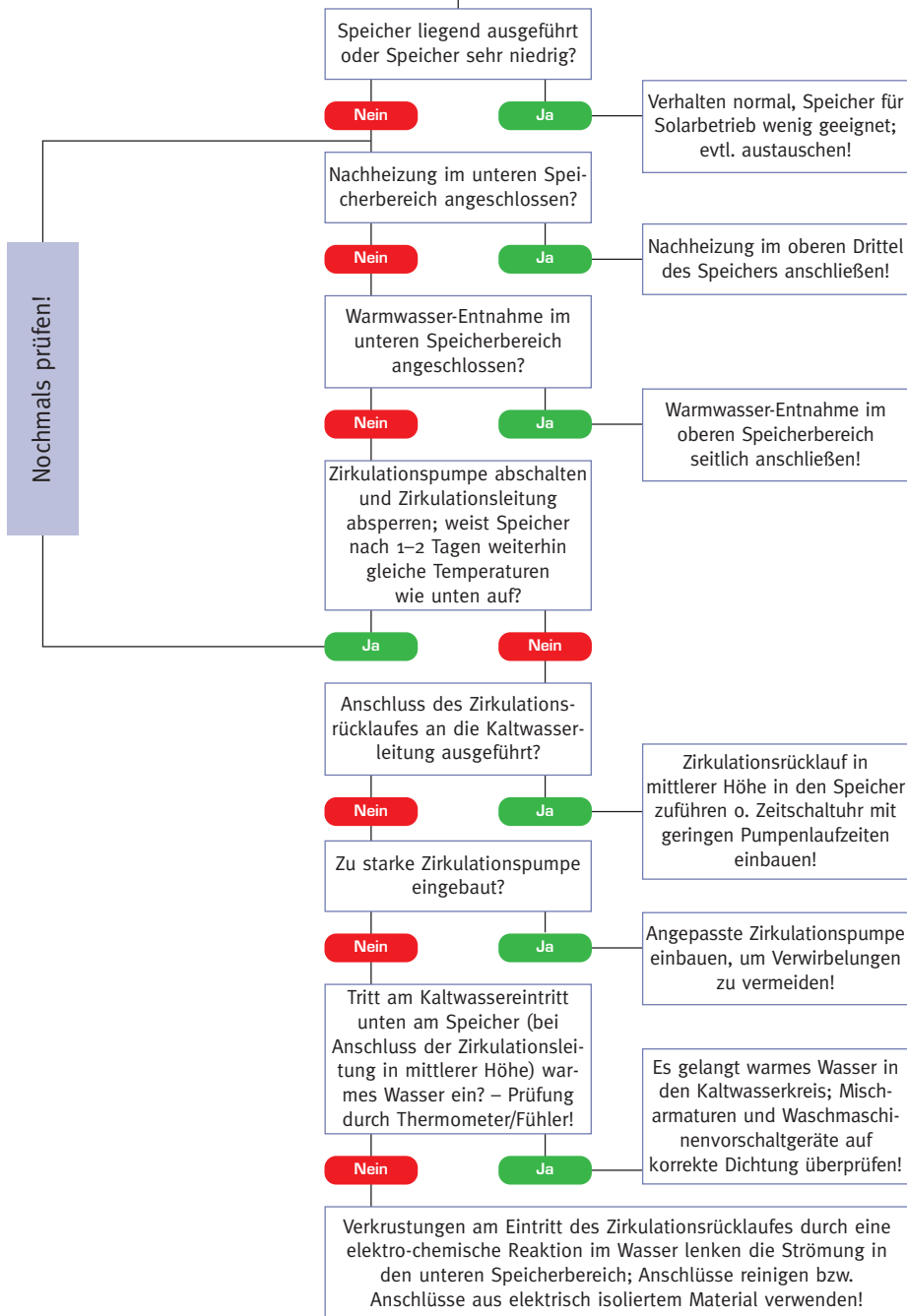
## Symptom 8

Solarspeicher hat häufig Temperaturen an der Speicherbegrenzung/Maximaltemperatur.



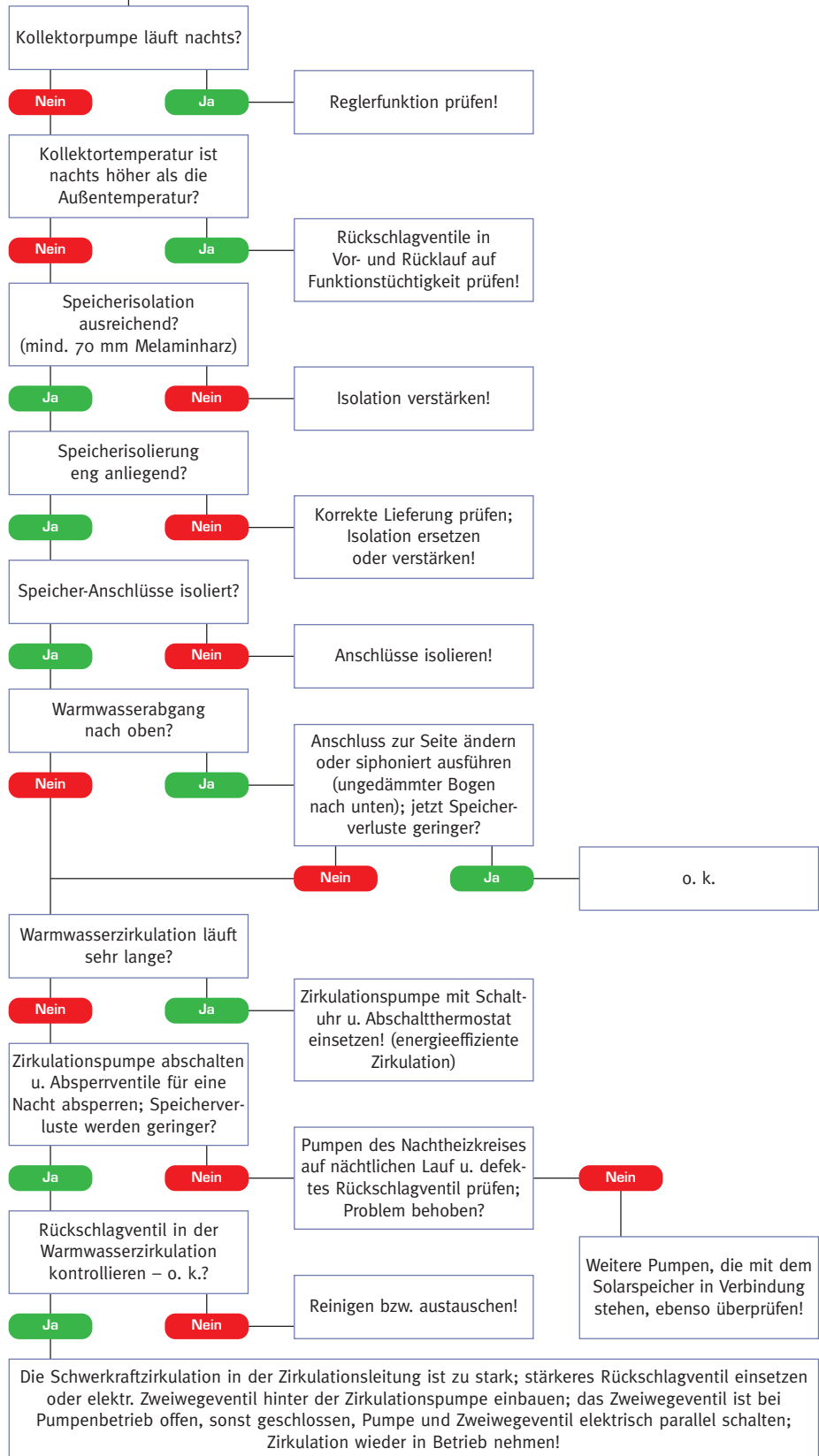
## Symptom 9

Der Solarspeicher weist in Zeiten ohne Sonnenstrahlung über längere Zeit oben wie unten gleiche Temperaturen auf; die Nachheizung des Speichers ist eingeschaltet.



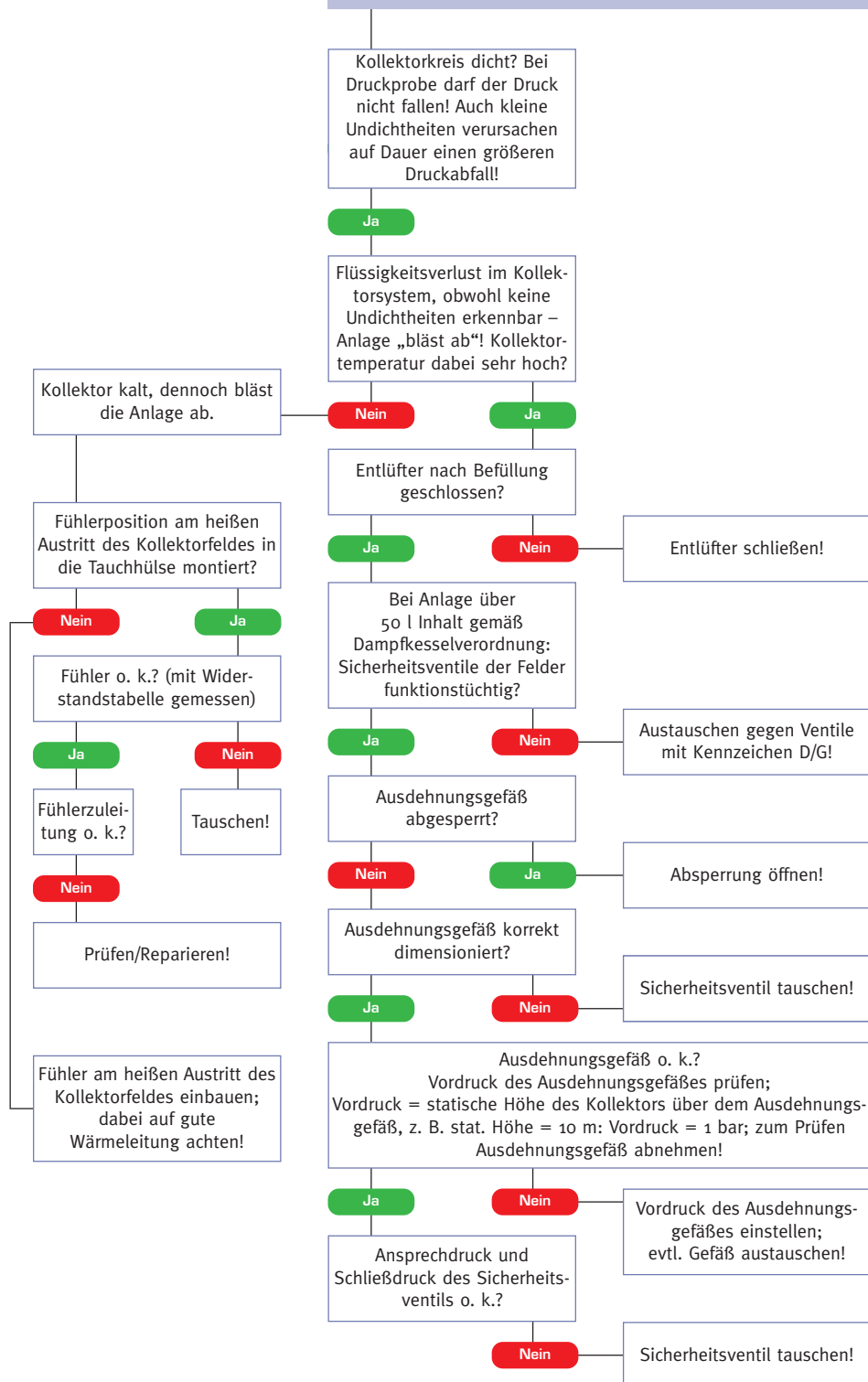
# Symptom 10

Speicher kühlt über Nacht aus.



## Symptom 11

Druckabfall in der Anlage – bei Befüllung der Anlage in den ersten Wochen durch Entweichen gelöster Luft normal, Schwankungen im Betrieb bis 0,3 bar o. k.





## 8.1. Alten- und Pflegeheim Wels Neustadt



Quelle: ASiC

- Baujahr .....1999
- Art des Hauses .....Alten- und Pflegewohnheim
- Standort .....Neustadt, Wels
- Anwendung .....Solare Brauchwassererwärmung
- Systemkonzept .....System D
- Speichergröße .....1 x 12.000 l Pufferspeicher, 2 x 2.000 l Bereitschaftsspeicher
- Kollektorbruttofläche .....180 m<sup>2</sup>
- Kollektornettofläche .....66 m<sup>2</sup>
- Kollektortyp und Hersteller .....Buderus Toppas
- ausführende Firma .....Installation: Jäger Vöcklabruck
- Planung .....TB Ökoenergie Greif, A-4600 Thalheim bei Wels
- gesamter jährlicher Warmwasserverbrauch .....ca. 5.500 m<sup>3</sup> (60 °C)
- Deckungsanteil .....ca. 30 %
- Art der Nachheizung .....Gas-Brennwertkessel
- Investitionskosten .....683,12 €/m<sup>2</sup> (ohne Berücksichtigung von Förderungen)

## 8.2. Breimberg



Quelle: (3)

- Baujahr .....2000
- Art des Hauses .....Mehrfamilienhaus mit 8 Wohneinheiten
- Standort ..... A-5202 Neumarkt am Wallersee
- Anwendung .....Solar unterstützte Warmwasserbereitung
- Systemkonzept .....System D
- Speichergröße .....1 x 4.000 Liter Pufferspeicher  
und 4 x 800 Liter Bereitschaftsspeicher
- Kollektorbruttofläche .....100 m<sup>2</sup>
- Kollektornettofläche .....90 m<sup>2</sup>
- Kollektortyp und Hersteller .....SMK Indachkollektor, SOLution Solartechnik GmbH
- ausführende Firma .....SOLution Solartechnik GmbH;  
Brandlmayr (A-4893 Zell am Moos)
- gesamter jährlicher Warmwasserverbrauch: ....k. A.
- Deckungsanteil .....52 %
- Art der Nachheizung .....150 kW Pelletskessel
- Investitionskosten .....k. A.

### 8.3. Institut Hartheim



Quelle: ASiC

- Baujahr .....1997
- Art des Hauses .....Institut für Behindertenbetreuung
- Standort .....Hartheim, 4072 Alkoven
- Anwendung .....Solare Brauchwassererwärmung + Schwimmbaderwärmung
- Systemkonzept .....System B
- Speichergröße .....3 x 1.000 l Trinkwasserspeicher
- Kollektorbruttofläche .....103,20 m<sup>2</sup>
- Kollektornettofläche .....96 m<sup>2</sup>
- Kollektortyp und Hersteller .....K 191.11 MEA – Maschinen- und Energieanlagen GmbH
- ausführende Firma .....MEA – Maschinen- und Energieanlagen GmbH,  
A-4210 Gallneukirchen
- Planung .....Ziviltechnikbüro für Gebäudetechnik DI Schobesberger,  
A-4851 Gampern
- gesamter jährlicher Warmwasserverbrauch .....ca. 3.300 m<sup>3</sup> (60 °C)
- Deckungsanteil .....ca. 35 % bezogen auf den Warmwasserverbrauch
- Art der Nachheizung .....Gas-Brennwertkessel mit 1,2 MW
- Investitionskosten .....436,04 €/m<sup>2</sup>

## 8.4. Kindergarten Leonding

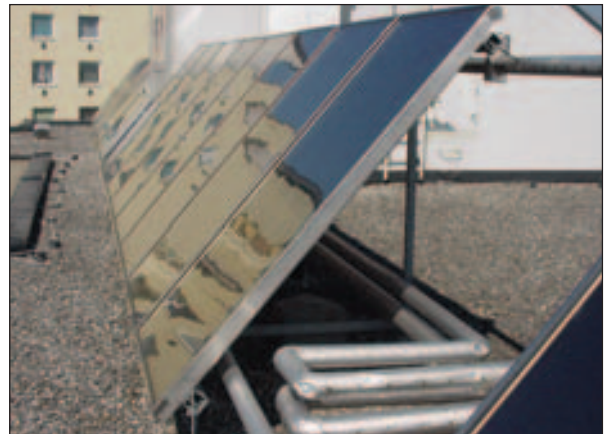


Quelle: (1)

- Baujahr .....2000
- Art des Hauses .....Kindergarten
- Standort .....Leonding
- Anwendung .....Solar unterstützte Warmwasserbereitung
- Systemkonzept .....k. A.
- Speichergröße .....6.000 Liter in 4 \* 1.500 Liter Pufferspeicher  
Trinkwasserspeicher und ein k. A. Bereitschaftsspeicher
- Kollektorbruttofläche .....75 m<sup>2</sup>
- Kollektornettofläche .....69,5 m<sup>2</sup>
- Kollektortyp und Hersteller .....Solarfocus CPC, Kalkgruber Solar- und Umwelttechnik GmbH
- ausführende Firma .....Kalkgruber Solar
- gesamter jährlicher Warmwasserverbrauch .....k. A.
- Deckungsanteil .....k. A.
- Art der Nachheizung .....Brennwertkessel 150 kW
- Investitionskosten .....k. A.



## 8.5. Neubauzeile Linz



Quelle: (6)

- Baujahr .....1997
- Art des Hauses .....Mehrfamilienhaus mit sechs Stockwerken, Flachdach
- Standort .....Neue Heimat Linz, Neubauzeile 108, A-4030 Linz
- Anwendung .....Solare Brauchwassererwärmung
- Systemkonzept .....System B mit 4 Trinkwasserspeichern Edelstahl
- Speichergröße .....4 x 1.500 l
- Kollektorbruttofläche .....110 m<sup>2</sup>
- Kollektornettofläche .....102 m<sup>2</sup>
- Kollektortyp und Hersteller .....Fertigkollektor MEA – Maschinen- und Energieanlagen GmbH
- ausführende Firma .....MEA – Maschinen- und Energieanlagen GmbH;  
A-4210 Gallneukirchen
- gesamter jährlicher Warmwasserverbrauch .....von 1.431 m<sup>3</sup> durch Wassersparer auf 1.120 m<sup>3</sup> gesenkt
- Deckungsanteil .....ca. 54 %
- Art der Nachheizung .....Gaskessel
- Investitionskosten .....465,11 €/m<sup>2</sup> (Förderungen bereits berücksichtigt)

## 8.6. Nußbaumhof



Quelle: (8)

- Baujahr .....1994
- Art des Hauses .....2 Wohnhäuser mit je 7 Eigentumswohnungen
- Standort ..... Altmünster
- Anwendung .....Solar unterstützte Warmwasserbereitung
- Systemkonzept .....System A
- Speichergröße .....4 x 750 Liter Warmwasserspeicher
- Kollektorbruttofläche .....ca. 50 m<sup>2</sup>
- Kollektornettofläche .....ca. 46 m<sup>2</sup>
- Kollektortyp und Hersteller .....k. A.
- ausführende Firma .....Huemer Solar
- gesamter jährlicher Warmwasserverbrauch .....ca. 730 m<sup>3</sup> (45 °C)
- Deckungsanteil .....ca. 48 %
- Art der Nachheizung .....Fernwärme
- Investitionskosten .....479,64 €/m<sup>2</sup>



## 8.7. Richterstraße Leonding



Quelle: ASiC

- Baujahr .....1997
- Art des Hauses .....Wohnhausanlage bestehend aus zwei Häusern mit je 28 Wohneinheiten
- Standort .....Leonding Ost, Richtergründe
- Anwendung .....Solare Brauchwassererwärmung
- Systemkonzept .....System B
- Speichergröße .....3 x 1.200 l, 4 x 1.200 l, Trinkwasserspeicher
- Kollektorbruttofläche .....129 m<sup>2</sup>
- Kollektornettofläche .....120 m<sup>2</sup>
- Kollektortyp und Hersteller .....60 m<sup>2</sup> K 191.02, 60 m<sup>2</sup> K 201.02, MEA – Solar
- ausführende Firma .....Kollektormontage MEA – Maschinen- und Energieanlagen GmbH; A-4210 Gallneukirchen
- gesamter jährlicher Warmwasserverbrauch .....k. A.
- Deckungsanteil .....k. A.
- Art der Nachheizung .....k. A.
- Investitionskosten .....k. A.

## 8.8. Sonnenhäuser in Arnstein



Quelle: (1)

- Baujahr ..... 1998
- Art des Hauses ..... Zwei Zeilen mit insgesamt 20 Reihenhäusern
- Standort ..... Arnstein bei Frankfurt
- Anwendung ..... Solare Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung
- Systemkonzept ..... System E
- Speichergröße ..... 1 \* 55.000 Liter Schichtspeicher und Erdwärmespeicher
- Kollektorbruttofläche ..... 227 m<sup>2</sup> (aufgeteilt auf drei Felder)
- Kollektornettofläche ..... 221 m<sup>2</sup>
- Kollektortyp und Hersteller ..... Solarfocus CPC,  
Kalkgruber Solar- und Umwelttechnik GmbH
- ausführende Firma ..... Gferer – Planungsbüro für Gebäudetechnik,  
Kalkgruber Solar- und Umwelttechnik GmbH
- gesamter jährlicher Warmwasserverbrauch ..... ca. 1.100 m<sup>3</sup> (60 °C)
- Deckungsanteil ..... Gesamtdeckungsanteil 60 %
- Art der Nachheizung ..... BHKW, Brennwertkessel, Wärmepumpe
- Investitionskosten ..... 335,75 €/m<sup>2</sup>

## 8.9. Styria-Kegelpriel



Quelle: ASiC

- Baujahr ..... 2001
- Art des Hauses ..... Wohnhausanlage mit 52 Personen
- Standort ..... Steinfeldstraße 2 B; A-4400 Steyr
- Anwendung ..... Solare Brauchwassererwärmung
- Systemkonzept ..... System D
- Speichergröße ..... 2 x 300 Liter Boiler in Serie, 2.600 Liter Pufferspeicher
- Kollektorbruttofläche ..... 60 m<sup>2</sup>
- Kollektornettofläche ..... 55 m<sup>2</sup>
- Kollektortyp und Hersteller ..... Solarfocus CPC S1,  
Kalkgruber Solar- und Umwelttechnik GmbH
- ausführende Firma ..... Schloßgangl Energiesysteme GmbH & Co. KG
- gesamter jährlicher Warmwasserverbrauch ..... ca. 1.020 m<sup>3</sup> (55 °C)
- Deckungsanteil ..... ca. 45 %
- Art der Nachheizung ..... Öl-Kessel mit 150 kW
- Investitionskosten ..... 581,38 €/m<sup>2</sup>

## 8.10. Süßenbrunnerplatz



Quelle: (3)

- Baujahr .....2000
- Art des Hauses .....Mehrfamilienhaus mit 18 Wohneinheiten
- Standort .....A-1120 Wien
- Anwendung .....Solar unterstützte Warmwasserbereitung
- Systemkonzept .....System D
- Speichergröße .....2.000 Liter Pufferspeicher in 2 \* 1.000 Liter  
und 1 \* 1.000 Liter Bereitschaftsspeicher
- Kollektorbruttofläche .....68 m<sup>2</sup>
- Kollektornettofläche .....62 m<sup>2</sup>
- Kollektortyp und Hersteller .....SMK Indachkollektor, SOLution Solartechnik GmbH
- ausführende Firma .....SOLution Solartechnik GmbH; Fuchs (A-7742 Lockenhaus)
- gesamter jährlicher Warmwasserverbrauch .....k. A.
- Deckungsanteil .....ca. 71 %
- Art der Nachheizung .....Gaskessel
- Investitionskosten .....k. A.



## 8.11. Wohnhausanlage Weinzierl



Quelle: (6)

- Baujahr .....1999
- Art des Hauses .....kompakte Wohnhausanlage mit 79 Wohneinheiten
- Standort .....Krems Weinzierl; Sonnenhof 1; A-3500 Krems
- Anwendung .....Solar unterstützte Warmwasserbereitung
- Systemkonzept .....System B (Boilerbatterienkonzept)
- SpeichergroÙe .....18.000 Liter in 6 \* 3.000 Liter Edelstahlspeicher  
Trinkwasserspeicher und ein 1.500 Liter Bereitschaftsspeicher
- Kollektorbruttofläche .....223,6 m<sup>2</sup>
- Kollektornettofläche .....208,0 m<sup>2</sup>
- Kollektortyp und Hersteller .....MEA, Type: K201.01
- ausführende Firma .....MEA – Maschinen- und Energieanlagen GmbH
- gesamter jährlicher Warmwasserverbrauch .....ca. 1.752 m<sup>3</sup>
- Deckungsanteil .....40 %
- Art der Nachheizung .....Fernwärme
- Investitionskosten .....614,09 €/m<sup>2</sup>



## Literaturverzeichnis:

- [1] Peuser F. A. 1999, *Solare Trinkwassererwärmung mit Großanlagen*, TÜV-Verlag GmbH, Köln.
- [2] Remmers K.-H., 1999, *Große Solaranlagen*, Solarpraxis, Berlin.
- [3] Eder M., Fink Ch., 1996, *Endbericht zum Projekt Solaranlagen mit Schichtenspeicher im Low Flow Betrieb*, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf.
- [4] Kuhlmann C., Mack M., 2000, *Dimensionierung der Systemkomponenten*, Fachseminar „Große Kollektoranlagen erfolgreich planen und bauen“, Hannover.
- [5] Marko A., Braun P., 1997, *Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- [6] Streicher W., 1996, *Sonnenenergienutzung*, Institut für Wärmetechnik TU-Graz, Infeldgasse 25, A-8010 Graz.
- [7] Schwenk C., Weiß W., Mack M., Thür A., 1999, *Sonne für Hotels*, Verlag-Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf.
- [8] Croy R., *Jahreszeitliches Zapfprofil in verschiedenen Gebäudetypen*, Zehntes Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, Versand-OTTI, Regensburg.
- [9] Quaschnig V., 1999, *Sonnenenergie & Wärmetechnik 2/99*, Bielefelder Verlagsanstalt GmbH & Co KG, Ravensbergerstraße 10 f, Postfach 100653, D-33602 Bielefeld.
- [10] Streicher W., Fink C., Heimrath R., 2000, *Solarunterstützte Wärmenetze*, Institut für Wärmetechnik, TU-Graz, Infeldgasse 25, A-8010 Graz.
- [11] Berger M., Wernhart U., Hirsch K., 2000, *Leitfaden: Thermische Solaranlagen in der Wohnhaussanierung und im Dachgeschoßausbau*, Projektgruppe Solar-Net, Bahngasse 46, A-2700 Wiener Neustadt.
- [12] AEE, 2000, *Thermische Solaranlage für Mehrfamilienhäuser*, Endbericht, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf.
- [13] *Heizungsanlagenverordnung, Die wichtigsten Anforderungen der Heizungsanlagenverordnung für den Praktiker*, Fachverband Sanitär, Heizung Klima, NRW, Düsseldorf.
- [14] Kübler R., 1991, *Wärmespeicher, Ein Informationspaket*, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln.
- [15] Blaser P., Kübler R., Fisch N. M., Hahne E., 1991, *Erstellung eines standardisierten Verfahrens zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von solaren Wassererwärmungsanlagen*, Technischer Bericht VELSI, ITW, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart 80.
- [16] Delzer Th., Remmers K.-H., 1998, *Solar-Dach-Fibel*, Die Solarpraxis, Berlin.
- [17] AEE, 2000, *Fassadenintegration von thermischen Sonnenkollektoren*, Seminar, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf.
- [18] Kuhlmann C., 2000, *Baumanagement bei großen Kollektoranlagen*, Fachseminar „Große Kollektoranlagen erfolgreich planen und bauen“, Hannover.

- [19] Peuser F. A., Croy R., Schumacher J., Weiß R., 1997, *Langzeiterfahrungen mit thermischen Solaranlagen*, ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH, Verbindungsstraße 19, D-40723 Hilden.
- [20] Remmers K-H., 1999, *Baustelle Solaranlage-Erfahrungen aus der Praxis*, Neuntes Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayrisches Technologietransferinstitut e.V. (OTTI) Regensburg.
- [21] Mack M., 2000, *Regelung und Ertragskontrolle*, Fachseminar „Große Kollektoranlagen erfolgreich planen und bauen“, Hannover.
- [22] Purkarthofer G., Mack M., Fechner H., 1998, *Marktübersicht Thermische Solaranlagen*, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf.
- [23] Bruck M., Hammer N., Neuwirth F., Schaffar G., 1985, *Meteorologische Daten und Berechnungsverfahren*, ASSA, 3. Auflage, dbv-Verlag für die Technische Universität Graz.
- [24] Streicher W., Institut für Wärmetechnik, TU-Graz, Infeldgasse 25, A- 8010 Graz.
- [25] Mack M., 2000, *Integrierte Planung, Handwerkzeug für die Planung*, Solar Engineering Decker & Mack GmbH, D-30165 Hannover.

### **Bilderverzeichnis:**

- (1) Kalkgruber Solar- und Umwelttechnik GmbH, Graben 6, A-4421 Aschach/Steyr
- (2) IKZ-Haustechnik, Ausgabe 20/1996
- (3) SOLution Solartechnik GmbH, Im Öko- und Gewerbezentrum, A-4560 Kirchdorf
- (4) AEE-NÖ; Projektgruppe Solar-Net, A-2700 Wiener Neustadt, Bahngasse 46
- (5) AEE-Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf
- (6) Energiekostenberatung Ludwig Eidenhammer, Neubauzeile 108, A-4030 Linz
- (7) Doma Solartechnik, Hauptstraße 65, A-6712 Bludesch
- (8) Xolar Öko-Haustechnik, Lauterbacherstraße 7, A-4560 Kirchdorf
- (9) Solvis Energiesysteme GmbH & Co. KG, D-38122 Braunschweig
- (10) Swep Wärmetauscher, D-31112 Hildesheim
- (11) Tyforop Chemie GmbH, Hellbrookstraße 5a, Marienbergerstraße 1, D-22305 Hamburg
- (12) Sunpower Energiesysteme GmbH, Naarnerstraße 30, A-4320 Perg
- (13) Schüco International KG, Karolinenstraße 1-15, D-33609 Bielefeld
- (14) Technische Alternative, elektronische Steuerungsgerätegesellschaft mbH., Langestraße 124, A-3872 Amaliendorf

**Sachwortverzeichnis:**

- A**  
 Abblaseleitung ..... 77, 79  
 Abnahme ..... 102  
 Abnahmeprotokoll ..... 102ff.  
 Abschattung ..... 28, 46  
 Absorber ..... 6ff.  
 Absorberbeschichtung ..... 8  
 Anlagencontracting ..... 61  
 Anlagen mit hoher Brennstoffeinsparung ..... 52  
 Anlagentyp ..... 3, 29f., 41, 46, 67, 108  
 Annuitätenverfahren ..... 60  
 Annuitätenzuschuss ..... 62  
 Anstellwinkel ..... 86, 89f.  
 Aperturfläche ..... 29f., 48  
 Arbeitsschutz ..... 89  
 Armaturen ..... 75, 77, 98  
 Aufdachmontage ..... 8f., 85, 87f.  
 Aufgeständerte Montage ..... 9, 89  
 Aufständerung ..... 21, 23  
 Ausdehnungsgefäß ..... 5, 14, 79ff., 97  
 Ausführungsplanung ..... 55, 57f., 99  
 Ausschreibung ..... 19ff., 55ff., 96, 101f.
- B**  
 Bauablauf ..... 92  
 Baupolizeiliche Richtlinien ..... 57  
 Baustellenvorbereitung ..... 93  
 Bauüberwachung ..... 101f.  
 Bauzeitenplan ..... 60, 101  
 Bedarfskennzahl-Methode ..... 65  
 Bedarfsschätzung ..... 45  
 Befüllen ..... 100  
 Bereitschaftsspeicher ..... 33, 37ff., 43f., 65f., 70  
 Bereitschaftsteil ..... 35  
 Bestandsaufnahme ..... 20f.
- Betriebsarten* ..... 16  
*Boilerbatteriekonzept* ..... 35  
*Brennstoffeinsparung* ..... 29, 48f., 108  
*Bruttokollektorfläche* ..... 30, 48
- C**  
 CO<sub>2</sub>-Einsparung ..... 1, 48  
 Contracting-Modell ..... 61  
 CPC-Kollektoren ..... 8
- D**  
 Dachausrichtung ..... 20  
 Dachintegration ..... 33  
 Dachneigung ..... 3, 21, 87  
 Darlehen ..... 62  
 Datenerfassung ..... 42, 108  
 Deckungsanteil ..... 8, 29, 46ff.  
 Dimensionierung ..... 22, 26ff., 56, 65, 67, 69f., 72, 76  
 Dimensionierungsdiagramm ..... 26ff., 52f.  
 Drehzahlregelung ..... 17  
 Drittmittelfinanzierung ..... 61  
 Druckprobe ..... 100  
 Druckverlust ..... 70ff.  
 Druckverlustberechnung ..... 73  
 Durchflusszähler ..... 43
- E**  
 Effektives Speichervolumen ..... 67  
 Eigensicherheit ..... 14, 101  
 Einsparcontracting ..... 61  
 Elektronisch-mechanische Schichtladung ..... 16  
 Entlüfter ..... 15, 77  
 Entwurfsplanung ..... 57  
 Erstinspektion ..... 102  
 Ertragsgarantie ..... 61f.  
 Ertragskontrolle ..... 107f.,  
 Externer Plattenwärmetauscher ..... 12, 71

<b>F</b> assade .....	9, 85, 94ff.	Kollektor .....	6ff.
Fassadenintegration .....	9, 94	Kollektorfläche .....	6ff., 23
f-chart .....	50	Kollektorflächenkorrektur .....	26, 48f.
Fehlerdiagnose .....	110ff.	Kollektorkreis .....	14ff., 35ff., 69ff.
Finanzierung .....	3, 59ff.	Kollektorkreisertrag .....	52, 107f.
Flachkollektor .....	6ff.	Kollektorkreisverrohrung .....	15, 72
Förderungen .....	61ff.	Kollektormontage .....	23, 85
Freiaufstellung .....	6, 85	Kollektorreihen .....	74, 89ff.
Frostschutz-Gemisch .....	13, 72, 100, 105	Kollektorverschaltung .....	17, 73
Frostschutzprüfer .....	100, 105	Kollektorwirkungsgrad .....	16f., 68
Frostsicherheit .....	13, 84, 100, 105	Kombispeicher .....	68
Funktionskontrolle .....	83, 105, 107f.	Korrosionsinhibitoren .....	84
		Korrosionsschutz .....	11, 66, 84
<b>G</b> arantieleistung .....	55f.	Kosten-Nutzen-optimierte Anlagen .....	26, 48f., 67
Garantierter Solarertrag .....	55	Kostenberechnung .....	58
Gebäudeintegration .....	23, 57, 59f., 94	Kostenminderung .....	60, 96
Genehmigungen .....	57	Kranmontage .....	85, 93f.
Genehmigungsplanung .....	55, 57		
Glattrohrwärmetauscher .....	69f.	<b>L</b> ebensdauer .....	8, 20, 23
Gleichzeitigkeitsfaktormethode .....	65	Legionellen .....	37
Glykol-Wasser-Gemisch .....	13, 71f., 84, 100	Low Flow .....	16f., 75f., 101
Grädigkeit .....	36f., 66	Luftkollektoren .....	96
Großflächenkollektoren .....	6, 85		
		<b>M</b> atched Flow .....	16f.
<b>H</b> eizungswassergeführte Systeme .....	33, 36ff.	Membranausdehnungsgefäß .....	79f.
High Flow .....	16f., 101	Messung .....	42, 44f., 56, 82, 107ff.
Hydraulikkonzept .....	33ff., 40, 47	Messwerterfassung .....	44, 57, 107
		Messzeitraum .....	42
<b>I</b> nbetriebnahme .....	100f., 105	Montagehinweise .....	87
Indachmontage .....	85f., 88	Mustieranlage .....	26ff., 50
Interner Wärmetauscher .....	12, 69f.		
Investitionskosten .....	59ff., 102	<b>N</b> achheizung .....	33, 35ff.
		Naturzirkulation .....	98f.
<b>K</b> apitalwertverfahren .....	60	Neigungswinkel .....	21, 26, 48ff., 90

- P**arallelschaltung ..... 73ff.
- pH-Wert ..... 84, 105
- POLYSUN ..... 50, 52
- Pufferspeicher ..... 11f., 21, 32f., 35ff., 66ff., 80ff.
- Pumpenauswahl ..... 75f.
- Pumpenkennlinie ..... 75f.
- Pumpenleistung ..... 75
- 
- R**ealisierte Anlagen ..... 119ff.
- Referenzanlage ..... 53f.
- Regelung ..... 12, 83, 98, 101f.
- Regelungsparameter ..... 107
- Regelungsstrategie ..... 83
- Reihenabstand ..... 90f.
- Reihenschaltung ..... 73f.
- Rippenrohrwärmetauscher ..... 69f.
- Rohrführung ..... 97
- Rollbondabsorber ..... 7
- Rückschlagklappe ..... 5, 15, 79, 97
- 
- S**chichtladesysteme ..... 16
- Schichtung ..... 68
- Schichtungskennzahl ..... 67f.
- Schnittstellenkoordination ..... 95
- Schwerkraftbremse ..... 98
- Selbstregelnde Systeme ..... 16
- Serienschaltung ..... 73, 75
- Serpentinenabsorber ..... 7f.
- SHWwin ..... 51
- Sicherheitseinrichtungen ..... 14, 77ff., 98, 102, 105
- Sicherheitsmaßnahmen ..... 96
- Sicherheitsventil ..... 5, 14, 26, 50ff., 74, 77ff.
- Simulationsprogramme ..... 50ff., 55, 61, 91, 109
- Solarpumpe ..... 15, 54
- Solarspeicherkreis ..... 80
- Solarsystem ..... 5, 14ff., 24, 42
- Sonnenweg-Diagramm ..... 46f.
- Speicher ..... 3, 11, 21ff., 97f., 105
- Speicherdämmung ..... 36, 67
- Speicherverluste ..... 36f., 41, 65
- Speichervolumen ..... 3, 13, 22, 26ff., 65ff.
- Spitzenabdeckung ..... 38
- Spülen ..... 100
- Stagnation ..... 5, 12
- Standort ..... 27f., 90f.
- Statische Belastung des Daches ..... 91f.
- Stillstand ..... 5f., 14, 48, 72, 77, 79, 95, 97, 101, 105
- Stillstandstemperatur ..... 72, 77, 79
- Strahlungsangebot ..... 17, 28
- Streifenabsorber ..... 7
- SunHotel ..... 51
- Systemkonzeptbeschreibung ..... 33
- Systemkonzeptfindung ..... 25f., 30ff.
- Systemkosten ..... 1, 33, 37, 47f., 59
- 
- T**\*SOL ..... 50
- Tank-in-Tank System ..... 37, 68
- Technikraum ..... 22, 30, 32f., 55
- Temperaturfühler ..... 12, 44, 99
- Thermische Desinfektion ..... 36, 39ff., 51
- Thermosiphon ..... 67, 80, 98f.
- Tichelmann-Verschaltung ..... 73
- Trinkwassergeführte Systeme ..... 33, 35, 38ff.
- Trinkwasserspeicher ..... 33ff., 66ff., 80f., 83
- TRNSYS ..... 51
- 
- U**nterkonstruktion ..... 86, 91f.
- 
- V**akuumröhrenkollektor ..... 6
- Verbindungsleitung ..... 6, 96f.



<i>Verbrauchsprofil</i> .....	42, 65	<i>Warmwasserbedarf</i> .....	11, 21, 26f., 41f., 46, 55f.
<i>Verrohrung</i> .....	15, 22, 72ff., 96f., 100	<i>Warmwasserbedarfsermittlung</i> .....	42
<i>Verschaltung</i> .....	17, 73	<i>Warmwasserjahresverbrauch</i> .....	43
<i>Verschattung</i> .....	8, 20, 90f., 94	<i>Warmwassertemperatur</i> .....	11, 41, 44f., 52
<i>Verschattungswinkel</i> .....	90f.	<i>Warmwasserverbrauch</i> .....	26f., 41f., 55f., 48
<i>Versicherung</i> .....	62	<i>Warmwasserwochenverbrauch</i> .....	43
<i>Vorplanung</i> .....	19ff., 30, 59	<i>Warmwasserzirkulation</i> .....	20f.
<i>Vorwärmanlagen</i> .....	29, 47, 49, 67, 108	<i>Wartung</i> .....	83, 105f.
 		<i>Wartungsprotokoll</i> .....	106
<b>W</b> <i>ärmedämmung</i> .....	77ff., 88, 97	<i>Wartungsvertrag</i> .....	105, 109
<i>Wärmedehnung</i> .....	74, 97	<i>Wirkungsgrad</i> .....	16f., 67f., 75f., 84
<i>Wärmekapazität</i> .....	13, 65, 71, 84	<i>Wirtschaftlichkeit</i> .....	1, 6, 59ff., 107
<i>Wärmeschichtung</i> .....	67	 	
<i>Wärmetauscher</i> .....	11ff., 17, 35ff., 66, ..... 68ff., 84, 97, 100	<b>Z</b> <i>apfung</i> .....	65, 67, 102, 107
<i>Wärmeträgerflüssigkeit</i> .....	6f., 13f., 73f., ..... 84, 97, 100f., 105	<i>Zirkulation</i> .....	29, 32, 40ff., 82, 98f.
		<i>Zirkulationsverluste</i> .....	40, 47, 65, 82
		<i>Zustimmung</i> .....	2

