

# Projekt Solaranlage

Planungshinweise  
und Beispielsammlung  
für thermische Solaranlagen  
in Objekten  
unterschiedlicher Nutzung



Impulsprogramm PACER  
Bundesamt für Konjunkturfragen

### Trägerschaft

SSIV Schweizerischer Spenglermeister-  
und Installateur-Verband

### Arbeitsgruppe

Bernhard Blum (Leitung)  
Eidg. dipl. Sanitär-Planer  
3257 Grossaffoltern  
c/o Firma Fritz Krebs, Aarberg

- Planungsgrundlagen
- Beispiel zur Auslegung einer Solaranlage

Jürg Marti Rüesch Solartechnik AG  
6330 Cham

- Planung und Grössenbestimmung
- Beispiel zur Auslegung einer Solaranlage

Fritz Schuppisser  
Soltop Schuppisser AG  
Sonne und Wärme  
8352 Rätterschen

- Einbindung in die Haustechnik

Felix Schmid  
Energieingenieur NDS-HTL  
8911 Rifferswil

- Beispiele von Solaranlagen

### Projektbegleiter aus der PACER-Programmleitung

Dr. Charles Filleux  
c/o Basler+Hofmann  
8029 Zürich

### Fach- und Sprachlektorat

Ueli Frei  
SPF-ITR  
8640 Rapperswil

Othmar Humm  
Oerlikon Journalisten  
8050 Zürich

### Zeichnungen

Thierry Leserf + Partner  
3013 Bern

### Drucktechnische Realisierung

Education Design Sepp Steibli  
3006 Bern

Copyright© Bundesamt für Konjunkturfragen  
3003 Bern, Juli 1996.  
Auszugsweiser Nachdruck mit Quellenangabe er-  
laubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und  
Materialzentrale, 3000 Bern (Best.-Nr. 724.218 d)

# Vorwort

Das Aktionsprogramm «Bau und Energie» ist auf sechs Jahre befristet (1990–1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen (IP) zusammen:

- IP BAU – Erhaltung und Erneuerung
- RAVEL – Rationelle Verwendung von Elektrizität
- PACER – Erneuerbare Energien

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll der qualitative Wertschöpfungsprozess unterstützt werden. Dieser ist gekennzeichnet durch geringen Aufwand an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energie sowie abnehmende Umweltbelastung, dafür gesteigerten Einsatz von Fähigkeitskapital.

Im Zentrum der Aktivität von PACER steht die Förderung verstärkter Nutzung erneuerbarer Energien. Bis heute ist der Beitrag der erneuerbaren Energien mit Ausnahme der Wasserkraft trotz des beträchtlichen Potentials sehr gering geblieben. Das Programm PACER soll deshalb

- die Anwendungen mit dem besten Kosten-/Nutzenverhältnis fördern,
- den Ingenieuren, Architekten und Installateuren die nötigen Kenntnisse vermitteln,
- eine andere ökonomische Betrachtungsweise einführen, welche die externen Kosten (Umweltbelastung usw.) mit einbezieht sowie
- Behörden und Bauherren informieren und ausbilden.

## **Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos, etc.**

Umgesetzt werden sollen die Ziele von PACER durch Aus- und Weiterbildung sowie Information. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie baut hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen auf. Zielpublikum sind vor allem IngenieurInnen, ArchitektInnen, InstallateurInnen sowie Angehörige bestimmter spezialisierter Berufszweige aus dem Bereich der erneuerbaren Energien.

Die Verbreitung allgemeiner Information ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil des Programmes. Sie soll Anreize geben bei Bauherren, ArchitektInnen, IngenieurInnen und Behördenmitgliedern.

InteressentInnen können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint viermal jährlich und ist (im Abonnement,

auch in französisch und italienisch) beim Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern, gratis erhältlich. Jedem/r Kurs- oder VeranstaltungsteilnehmerIn wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Diese Publikationen können auch unabhängig von Kursbesuchen direkt bei der Eidg. Druckmaschinen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bezogen werden.

## **Zuständigkeiten**

Um das ambitionierte Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Organisations- und Bearbeitungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch SpezialistInnen auch die Beachtung der Schnittstellen sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus VertreterInnen der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programmes fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten zur Förderung der erneuerbaren Energien sicher. Branchenorganisationen übernehmen die Durchführung der Weiterbildungs- und Informationsangebote. Für deren Vorbereitung ist das Programmleitungsteam (Dr. Jean-Bernard Gay, Dr. Charles Filleux, Jean Graf, Dr. Arthur Wellinger, Irene Wuillemin BfK) verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Arbeitsgruppen erbracht, die inhaltlich, zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben zu lösen haben.

## **Dokumentation**

Die vorliegende Dokumentation behandelt den Themenbereich «Solare Warmwassererzeugung für Warmwasser und Heizungsunterstützung in Objekten unterschiedlicher Nutzung». Es werden Planungshinweise und Beispiele für thermische Solaranlagen beschrieben und erläutert.

Nach einer Vernehmlassung ist die vorliegende Dokumentation sorgfältig überarbeitet worden. Dennoch hatten die Autoren freie Hand, unterschiedliche Ansichten über einzelne Fragen nach eigenem Ermessen zu beurteilen und zu berücksichtigen. Sie tragen denn auch die Verantwortung für die Texte. Unzulänglichkeiten, die sich bei den praktischen Anwendungen ergeben, können bei einer allfälligen Überarbeitung behoben werden. Anregungen nehmen das Bundesamt für Konjunkturfragen oder der verantwortliche Arbeitsgruppenleiter entgegen (vgl. S. 2).

Für die wertvolle Mitarbeit zum Gelingen der vorliegenden Publikation sei an dieser Stelle allen Beteiligten bestens gedankt.

Juli 1996            Bundesamt für Konjunkturfragen  
                         Prof. Dr. B. Hotz-Hart  
                         Vizedirektor für Technologie

# Inhaltsübersicht

<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>1 Planungsgrundlagen</b>	<b>9</b>
1.1 Energiebedarf	11
1.2 Nutztemperatur-Bedarf	11
1.3 Checkliste für die Bedarfserhebung	12
1.4 Analyse des Bedarfs	13
1.5 Bedarfsanalyse: welche Daten sind dienlich?	21
1.6 Checkliste für die Datenerhebung	22
1.7 Datenerhebung mittels Feinanalyse	22
<b>2 Planung und Größenbestimmung</b>	<b>25</b>
2.1 Festlegen der Zielsetzung	27
2.2 Wahl des Kollektortyps und des Systems	34
2.3 Abschätzen des solaren Energieertrages	35
2.4 Berücksichtigung der Nutzungs-Charakteristik	44
2.5 Dimensionierung der Absorberfläche	47
2.6 Dimensionierung des Speichervolumens	51
2.7 Bemessung des Volumenstroms im Kollektorkreis	55
2.8 Dimensionierung des Wärmetauschers	56
2.9 Massnahmen gegen Übertemperaturen	57
<b>3 Einbindung von Solaranlagen in die Haustechnik</b>	<b>65</b>
Einleitung	67
3.1 Grundsatzüberlegungen für ein optimales Anlagemanagement	67
3.2 Speicher und Speicherbewirtschaftung	81
3.3 Hydraulik im konventionellen Teil	85
3.4 Regelung	85
Anhang: Beispiele haustechnischer Einbindung	86
<b>4 Beispiel zur Auslegung einer Solaranlage</b>	<b>93</b>
Einleitung	95
4.1 Ausgangslage und Zielsetzung	95
4.2 Lage der Gebäude	95
4.3 Energiebedarf für die Warmwasseraufbereitung	96
4.4 Nutztemperatur-Bedarf	97
4.5 Verbrauchs-Charakteristik	97
4.6 Wahl der Kollektorbauart und der Aufstellung	101
4.7 Bestimmen der Kollektor-Betriebstemperatur	101
4.8 Berechnen des Bruttowärmeertrages und der Anlagengrösse	102
4.9 Bestimmen des Speichervolumens	104
4.10 Hydraulik	104
4.11 Volumenstrom	105
4.12 Wärmetauscher	105
4.13 Überhitzungsschutz	105

<b>5</b>	<b>Beispiele</b>	
	<b>Einleitung</b>	<b>109</b>
1	Niedrigenergie-EFH: 100% Deckungsgrad für Heizung und Warmwasser	111
2	Doppeleinfamilienhaus: Saisonale Wärmespeicherung im Mittelland	114
3	Mehrfamilienhaus: Warmwasser-Vorwärmung mit unverglasten Kollektoren	117
4	Mehrfamilienhaus: «Gleitende» Speicherbewirtschaftung	120
5	Mehrfamilienhaus: Hoher Deckungsgrad – normaler Mietzins	123
6	Wohnsiedlung: Warmwasser-Bereitung mit Vakuumröhren-Kollektoren	126
7	Niedrigenergie-Wohnsiedlung: Kombination mit kontrollierter Wohnungslüftung	129
8	Wohnsiedlung: Nahwärmeverbund mit Sonnenenergienutzung	132
9	Wohnsiedlung: «Megawatt-Anlage» mit saisonaler Speicherung	135
10	Gefängnis/Hallenbad: Kombination WW-Bereitung/Beckenwasser-Erwärmung	139
11	Alterssiedlung: Standardlösung Warmwasser-Vorwärmung	141
12	Asyl-Empfangsstelle: Ansätze einer «exergetischen» Speicherbewirtschaftung	144
13	Sportanlage: Speichermanagement – «A und O» einer Solaranlage	147
14	Turnhalle: Augenmerk auf den Überhitzungsschutz!	150
15	Mehrzweckgebäude: Warmwasser-Bereitung und Heizungsunterstützung	153
16	Öffentliches Freibad: Solare Beckenwasser-Erwärmung ohne Zusatzenergie	156
17	Öffentliches Freibad: Duschwasser-Erwärmung	159
18	Hotel: Sonnenenergienutzung in Kombination mit Kälte-WRG	162
19	Berghotel: Warmwasser-Bereitung und Heizungsunterstützung im Alpengebiet	165
20	Spital: Konstanter Verbrauch – grosser spezifischer Ertrag	168
21	Kaserne: Solare Warmwasser-Bereitung bei Teilzeitnutzung	172
22	Kleingewerbe: Warmwasser für Coiffure-Salon	175
23	Gewerbezentrum: Autowaschen mit solar erwärmtem Regenwasser	177
24	Industrie- und Gewerbezentrum: Erde als Wärmespeicher	180
25	Büro- und Gewerbegebäude: Stockwerkweise Warmwasser-Bereitung	183
26	Verwaltungsgebäude: Solaranlagen-Planung als integraler Prozess	186
27	Werkhof Strassenunterhalt: Solare Bodenheizung mittels Direkteinspeisung	189
28	Teigwaren-Fabrik: Vorlauftemperaturen bis 120 °C	192
	<b>Schlusswort:</b>	
	<b>Der Kunde ist König! – Erhält der König, was er begehrt?</b>	<b>195</b>
	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis</b>	<b>199</b>
	<b>Publikationen und Videos des Impulsprogrammes PACER</b>	<b>201</b>

# Einleitung

*Zielpublikum: Haustechnik-Planer + Ingenieure*

Die Zeit, in der Solaranlagen ausschliesslich von idealistischen Einfamilienhaus-Besitzenden gebaut wurden, gehört heute der Vergangenheit an. Wohl erlebt gerade jetzt der Einfamilienhaus-Markt für Solaranlagen einen neuen Boom, ausgelöst einerseits durch den Anlagen-Selbstbau, andererseits durch neu auf den Markt drängende «schlüsselfertige» Kleinstsysteme zu günstigen Preisen. Umgekehrt lässt sich aber seit Mitte der 80er-Jahre auch eine deutliche Zunahme der thermischen Sonnenenergienutzung ausserhalb des Einfamilienhaus-Segmentes feststellen. Immer häufiger werden Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser, Schulbauten, Sportanlagen, öffentliche Gebäude, Hotels und sogar für gewerbliche Nutzungen realisiert. Solaranlagen sind offenbar auch für Kreise, in denen über Mehrkosten für den Bau von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien nicht allein aus idealistischer Optik entschieden wird, interessant geworden.

Die Gründe für diese Entwicklung sind vielfältig: Sicher gehört dazu, dass die Technik des Solaranlagen-Baus mittlerweile erprobt und bewährt ist. Dazu kommt, dass sich mit grösseren Solaranlagen bereits heute interessante solare Wärmekosten erzielen lassen. Dies gilt umso mehr, wenn auch die externen Kosten in Form von kalkulatorischen Energiepreiszuschlägen berücksichtigt werden. Nicht zuletzt trugen staatliche Subventionen zu dieser Ausbreitung der Sonnenenergienutzung bei.

Zusammen mit der Entwicklung hin zu grösseren, speziellen Anlagen müssen sich heute vermehrt auch Haustechnik-Planer und -Ingenieure mit der Solaranlagen-Planung beschäftigen. Weil dieser «neue» Typ von Anlagen Anpassungen und Entwicklungen auf der Ebene der Technik mit sich bringt, genügen die herkömmlichen Methoden und Kenntnisse aus der Planung von Solaranlagen für Kleinobjekte sowie Warmwasseranlagen in alltäglichen Wohnungen für diese Aufgabe nicht. Neue Systeme, wie z.B. Wasser-Vorwärm-Anlagen mit unverglasten, selektiven Absorbern, Anlagen in Gebäuden mit markanter Teilzeitnutzung, solare Nahwärmeverbünde oder Anlagen mit saisonaler Wärmespeicherung, können unmöglich mit den bisher üblicherweise verwendeten «Faustformel»-Methoden, die für die Grössenbestimmung von Kleinanlagen ihre Berechtigung haben, projektiert werden. Genau an dieser Stelle hakt die vorliegende Publikation ein: Sie vermittelt Hinweise und Hilfen, die Ingenieure und Planer von solaren

Gross- und Spezialanlagen bei der Projektierung unterstützen.

## Stossrichtung

Das Buch kann unmöglich Antworten auf sämtliche Fragen im Zusammenhang mit der Planung von Gross- und Spezialanlagen bieten. Hauptziel der Publikation ist es, die massgebenden Punkte, die es bei der Planung komplexer Solaranlagen zu berücksichtigen gilt, zusammenzustellen. Eine eigentliche Planungs- und Dimensionierungsmethode bietet das Buch nicht. Insbesondere bei der Grössenbestimmung müssen zusätzliche Planungsinstrumente, wie Computer-Simulationen, herangezogen werden. Umgekehrt stellt das Buch aber gerade für die Benützung von Software-Instrumenten eine gute Grundlage und Ergänzung dar.

## Kurzbeschreibung

Im ersten Teil (Kapitel 1–3) werden zahlreiche Planungshinweise und ein grobes Dimensionierungs-Vorgehen für spezielle, grosse Solaranlagen vermittelt. Inhaltliche Schwerpunkte bilden die Analyse des Wärmebedarfs und der Verbrauchscharakteristik, die Besprechung der wesentlichsten Parameter für die Dimensionierung der Systemkomponenten sowie die Einbindung der Solaranlage ins gesamte Haustechnik-System mittels unterschiedlicher hydraulischer und regeltechnischer Konzepte.

Teil 2 (Kapitel 4) zeigt an einem Beispiel, wie mittels einem einfachen Vorgehen eine grobe Dimensionierung einer Solaranlage in einem Objekt mit spezieller Nutzung vorgenommen werden kann. Im dritten Teil des Buches (Kapitel 5) werden Beispiele realisierter Solaranlagen vorgestellt. Um auch auf Schwierigkeiten und Fehler, die bei der Planung von Solaranlagen auftreten können, hinzuweisen, werden bewusst nicht nur Optimallösungen dargestellt. Zudem werden einzelne Aspekte in separaten Exkursen vertieft diskutiert.

## Autoren

Das Autorenteam setzte sich aus langjährig in der Solarbranche tätigen Praktikern zusammen. Der Inhalt des Buches kommt daher «von der Basis» und vermag vielleicht wissenschaftlichen Ansprüchen nicht immer zu genügen. Die einzelnen Kapitel wurden gemeinsam besprochen und aufeinander abgestimmt, sind aber vorwiegend von einem Autor verfasst. Sie tragen daher deutlich eine persönliche Note und individuelle Sprache.



# 1 Planungsgrundlagen

---

<b>1.1</b>	<b>Energiebedarf</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Nutztemperatur-Bedarf</b>	<b>11</b>
<b>1.3</b>	<b>Checkliste für die Bedarfserhebung</b>	<b>12</b>
<b>1.4</b>	<b>Analyse des Bedarfs</b>	<b>13</b>
<b>1.5</b>	<b>Bedarfsanalyse: welche Daten sind dienlich?</b>	<b>21</b>
<b>1.6</b>	<b>Checkliste für die Datenerhebung</b>	<b>22</b>
<b>1.7</b>	<b>Datenerhebung mittels Feinanalyse</b>	<b>22</b>

---



# 1 Planungsgrundlagen

Für eine präzise, am Objekt und am tatsächlichen Bedarf orientierte Auslegung einer Solaranlage sind detaillierte Kenntnisse des Gebäudes sowie dessen Nutzung bzw. Belegung unerlässlich. Die folgenden Seiten des Kapitels 1 zeigen den engen Zusammenhang zwischen der Charakteristik der Verbraucher einerseits (Energieverbrauch, Leistung, Temperaturniveau) und den Spezifikationen der Solaranlage andererseits (Grösse, Exposition, Regelung).

## 1.1 Energiebedarf

- Warmwasserbereitung

Der Energiebedarf setzt sich aus folgenden Grössen zusammen:

- die im gezapften Warmwasser enthaltene Wärmeenergie, zuzüglich
- dem Energiebedarf zur Deckung der Umwandlungs-, Speicher- und Verteilverluste.

- Raumheizung

Der Energiebedarf setzt sich zusammen aus:

- den Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten, zuzüglich
- dem Energiebedarf zur Deckung der Umwandlungs-, Speicher und Verteilverluste
- abzüglich passiver solarer Energiegewinne
- abzüglich interner Energiegewinne aus Abwärme von Personen und Geräten.

Pauschale Angaben – auch häufig benutzte Richtwerte – zum Energieverbrauch der Warmwasserbereitung und der Heizung führen nur allzu oft zu Fehlern bei der Dimensionierung von Solaranlagen. Deshalb: Energiebedarf präzise quantifizieren!

## 1.2 Nutztemperatur-Bedarf

Die Ernte einer Solaranlage wächst mit sinkender Systemtemperatur des Kollektorkreislaufes. Deshalb lautet eines der wichtigsten Postulate: Systemtemperaturen sind so tief als möglich zu halten. Die effektiven Systemtemperaturen sind schliesslich abhängig vom gewählten System und vom Einsatz der Anlage.

Einflussfaktoren auf die Systemtemperatur:

- Solaranlagen für die Warmwasserbereitung
  - Temperatur des Wärmeabnehmers (beispielsweise die Temperatur des Warmwassers)
  - Auslegung des Wärmetauschers
  - Kaltwasser: Eintrittstemperatur
  - Wärmeenergieverbrauch
  - Charakteristik des Verbrauches
  - Speicher: Grösse und Schichtung
  - Verhältnis von Absorberfläche zum Verbrauch (sogenannte spezifische Absorberfläche)
  - Volumenstrom im Kollektorkreis

Die Bandbreite der Warmwassertemperaturen ist, den Anwendungen entsprechend, sehr gross. Vielfach sind auch hygienische Argumente im Spiel.

Bad in Wohnungen	40 °C bis 50 °C
Küche in Wohnungen	50 °C bis 55 °C
Küche im Gewerbe	55 °C bis 60 °C
Spital	60 °C bis 65 °C
Gewerbe und Industrie	gemäss Anforderungen des Prozesses

Abbildung:  
Warmwassertemperaturen verschiedener Nutzungen

Vorschriften und Empfehlungen über Warmwassertemperaturen in Speichern und an Zapfstellen sind in folgenden Dokumenten zu finden:

- Empfehlungen des SVGW W3 (Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches)
- SIA-Empfehlung 385/3
- Energiegesetze und Verordnungen des Bundes und der Kantone
- Hygienevorschriften des Bundesamtes für Gesundheitswesen
- Verwaltungsinterne Vorschriften, beispielsweise in Spitälern

Speicher von Warmwasseranlagen mit tiefen Temperaturen – unter 55 °C – sollten zur Verhinderung von Legionellen periodisch, aber nur kurzzeitig auf 65 °C aufgeheizt werden. Mit einer sogenannten Legionellen-Schaltung ist dies möglich. Bei Solaranlagen mit hohem Deckungsgrad – über 50% – kann auf diese zusätzliche Aufheizung verzichtet werden, weil das Wasser im Speicher häufig mehr als 65°C warm ist.

- Solaranlagen für die Warmwasserbereitung und die Heizungsunterstützung

Einflussfaktoren auf der Systemtemperatur:

- Temperatur des Wärmeabnehmers (beispielsweise die Temperatur des Heizungsrücklaufes)
- Auslegung des Wärmetauschers
- Wärmeenergieverbrauch
- Charakteristik des Verbrauches
- Speicher: Grösse und Schichtung
- Verhältnis von Absorberfläche zum Verbrauch (sogenannte spezifische Absorberfläche)
- Volumenstrom im Kollektorkreis

Wie bei allen Solaranlagen gilt auch hier das Postulat niedriger Systemtemperaturen: Die Vorlauf-

temperaturen in neuen Kollektoranlagen zur Heizungsunterstützung sollten selbst bei tiefen Aussen-temperaturen von  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (gemäss SIA 384/2) nicht höher als  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  betragen.

### 1.3 Checkliste für die Bedarfserhebung

Als Grundlage zur Planung einer Solaranlage dient nicht der Spitzenbedarf, sondern der Durchschnittsbedarf – im Gegensatz zu einer konventionellen Wärmeerzeugungsanlage. Spitzenbedarfs-werte sind insofern irrelevant, als das diese durch die ohnehin notwendige Zusatzenergie allenfalls abgedeckt werden können.

Gebäudekategorie	Solaranlage	Bedarfsangaben				
		Tages-Energiebedarf	Monats-Energiebedarf	Durchschnittlicher Tagesenergiebedarf in den Monaten März, April, Mai, Sept., Okt.	Warmwassertemperaturen	Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizgruppen
Mehrfamilienhäuser Heime und Spitäler	Warmwasser	■			■	
	Heizung		■	■		■
Verwaltungsbauten, Dienstleistungsbauten	Warmwasser	■			■	
	Heizung		■	■		■
Hotels, Restaurants	Warmwasser	■	■		■	
	Heizung		■	■		■
Schulhäuser, Turnhallen	Warmwasser	■	■		■	
	Heizung		■			■
Sportanlagen	Warmwasser	■	■		■	
Gewerbe- und Industriegebäude	Warmwasser	■			■	
	Heizung		■	■		■
Öffentliche Freibäder/Hallenbäder	Duschen	■			■	
	Bassin		■			
Anlagen mit markanter Teilnutzung z.B. Kasernen, Campingplätze	Warmwasser	■	■		■	
	Heizung		■	■		■

Abbildung 1.01  
Checkliste für die Bedarfserhebung nach  
Gebäudekategorie

## 1.4 Analyse des Bedarfs

Für Systemwahl und Dimensionierung des Speichers und des Kollektorfeldes ist die Charakteristik des Bedarfs – dargestellt durch die Tages-, Wochen- und Jahresgänge des Wärmebedarfs – relevant.

### Bedarfsanalyse: Beispiel Mehrfamilienhaus

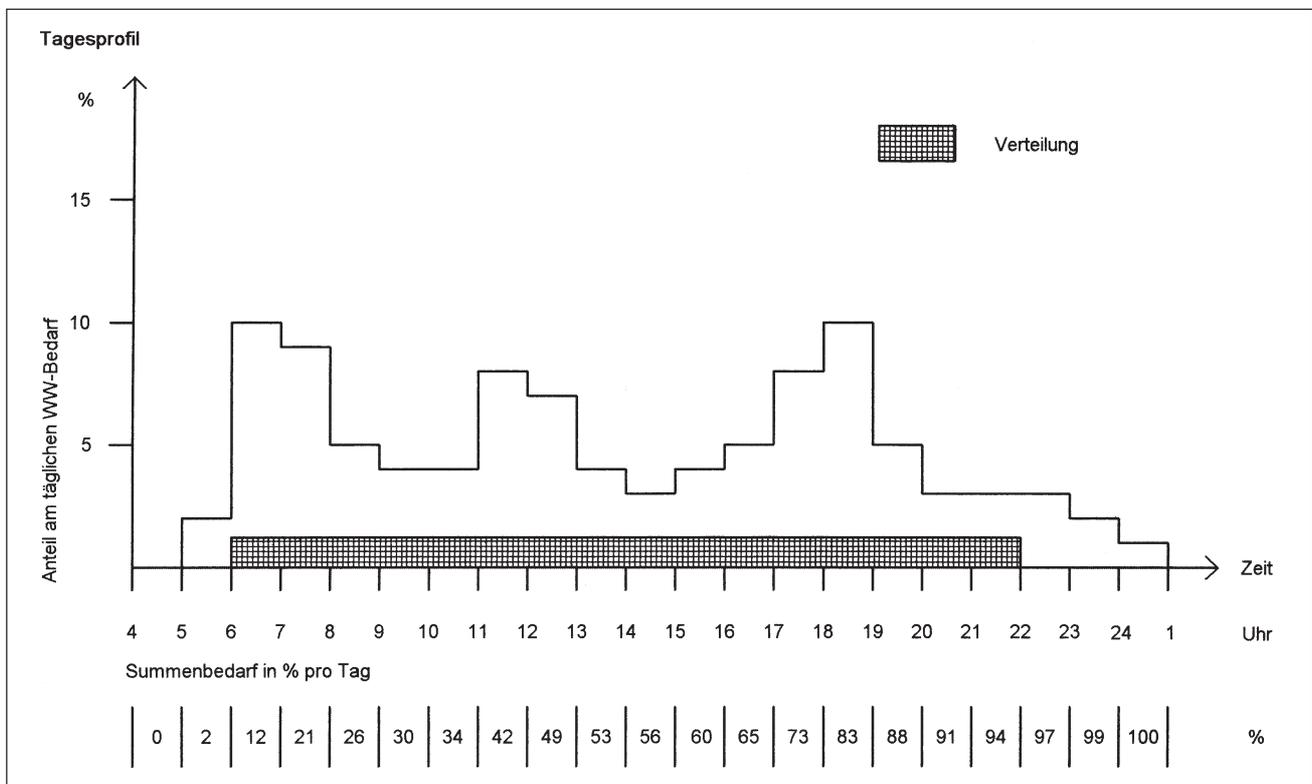


Abbildung 1.02

Abbildung 1.02 zeigt den Tagesgang des Warmwasserbedarfs eines Mehrfamilienhauses. Aufgrund zahlreicher Untersuchungen sind die Verbrauchswerte relativ gut bekannt; trotzdem: Jedes Objekt, jede Nutzung und jede Belegung weist andere Verbrauchsprofile auf. Dies gilt selbst für gleiche Bauten innerhalb derselben Siedlung.

Anmerkung:

Das Tagesverbrauchsprofil weist 3 Spitzen auf:

- zwischen 5 Uhr und 11 Uhr:  
34% des Tagesbedarfes
- zwischen 11 Uhr und 17 Uhr:  
31% des Tagesbedarfes
- zwischen 17 Uhr und 24 Uhr:  
35% des Tagesbedarfes

Das spez. Speichervolumen sollte daher in der Mitte des Bereiches, gemäss Abb. 2.27, liegen.

### Bedarfsanalyse: Beispiel Hotel

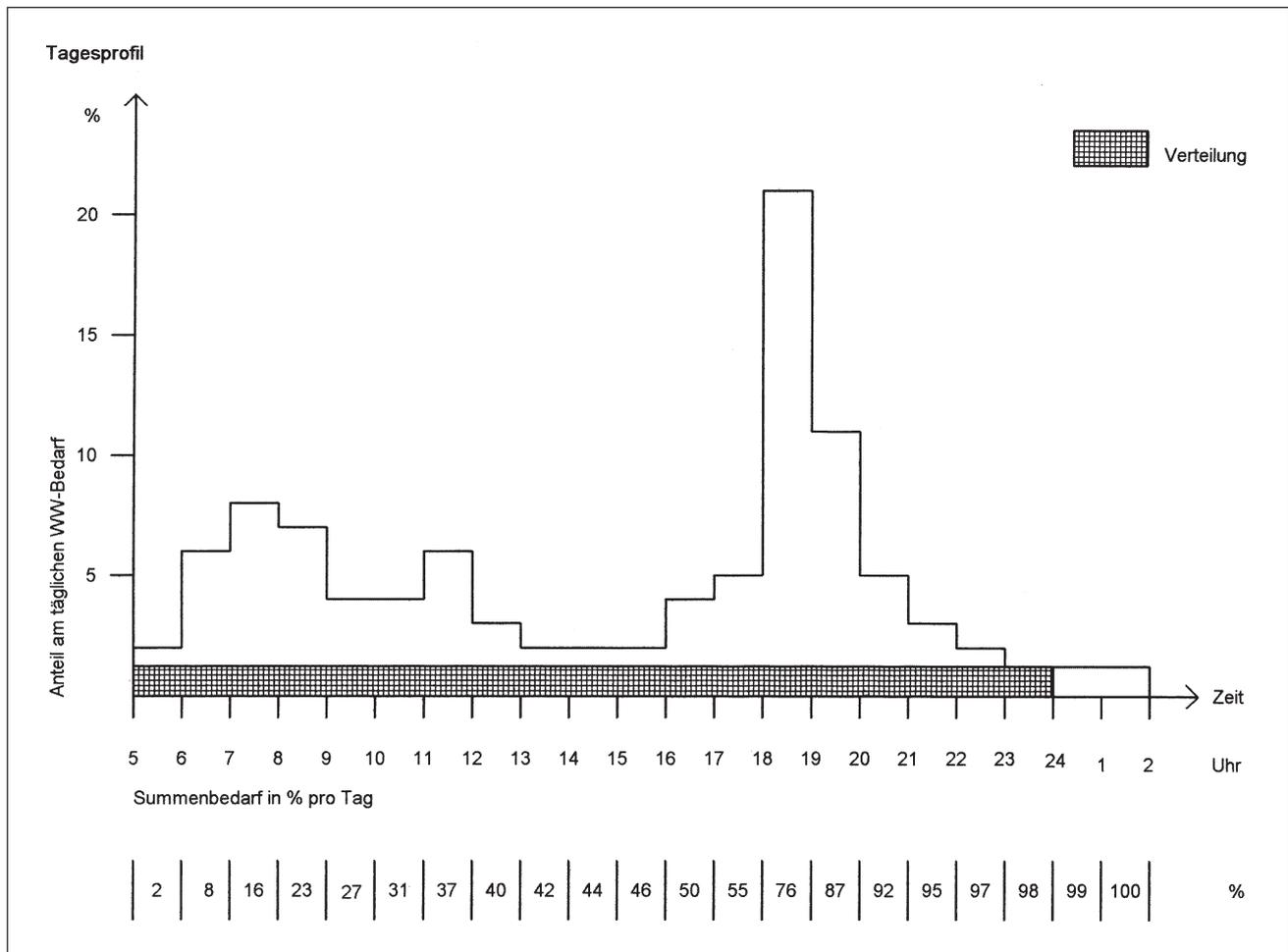


Abbildung 1.03

Abbildung 1.03 zeigt ein Tagesgang des Warmwasserbedarfes eines Hotels. Die Schwankungen des Bedarfes in dieser Gebäudekategorie sind ausserordentlich gross – je nach Art, Ausstattung und Belegung des Hotels.

Bei Hotels tritt eine relativ grosse Spitze im Tagesbedarf zwischen 18 Uhr und 19 Uhr auf.

Anmerkung:

Das Tagesverbrauchsprofil weist eine markante Abendspitze auf:

- zwischen 6 Uhr und 12 Uhr:  
38% des Tagesbedarfes
- zwischen 17 Uhr und 21 Uhr:  
42% des Tagesbedarfes

Das spez. Speichervolumen (Abb. 2.27) sollte, weil eine Spitze, grosszügig gewählt werden.

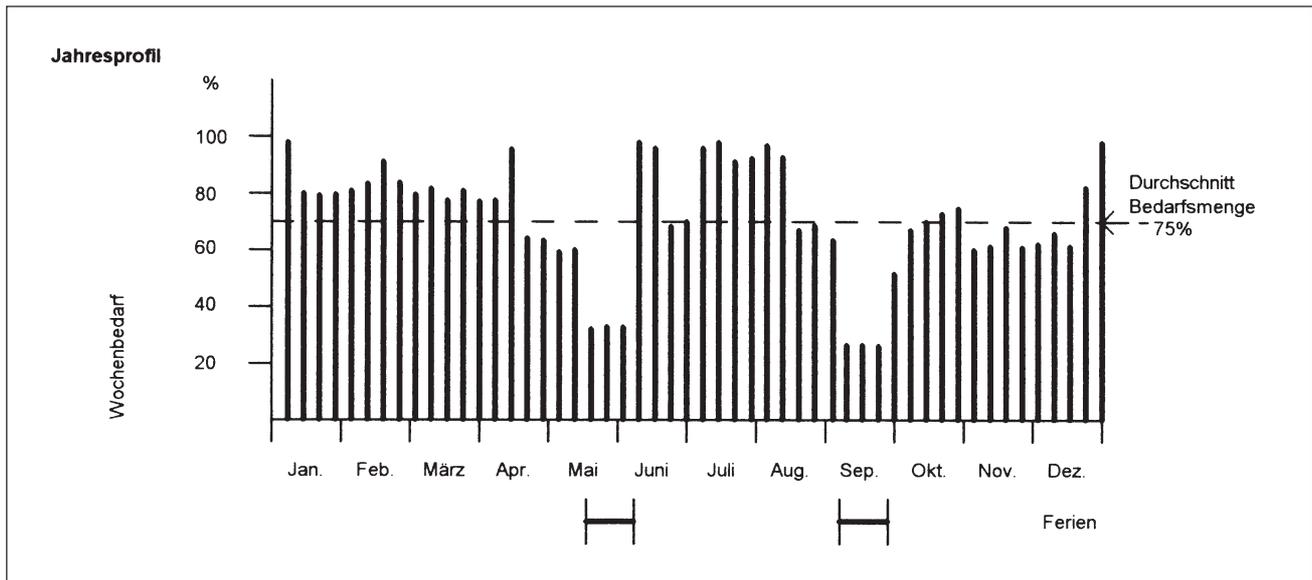


Abbildung 1.04

Der Jahresgang des wöchentlichen Warmwasserbedarfes eines Hotels (in Abbildung 1.04) zeigt erhebliche Schwankungen. Der durchschnittliche Wochenbedarf liegt bei 75% des höchsten Wertes, sofern die Ferien unberücksichtigt bleiben. Das Überhitzungskonzept sollte tunlichst auf die Betriebsferien ausgelegt werden. Zur Terminierung von Überhitzungsgefahren eignen sich Jahresgänge des Warmwasserbedarfes ganz besonders.

### Bedarfsanalyse: Beispiel Schulhaus

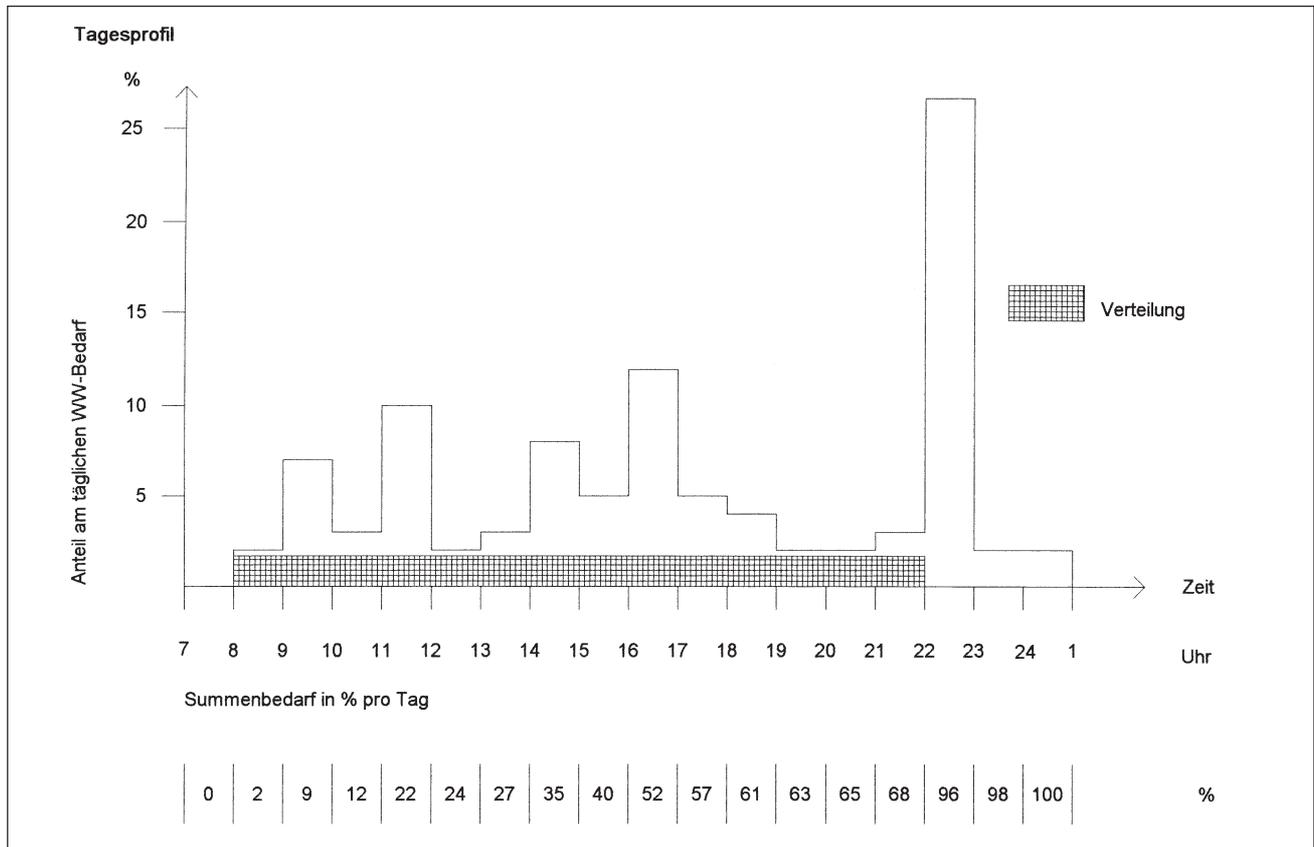


Abbildung 1.05

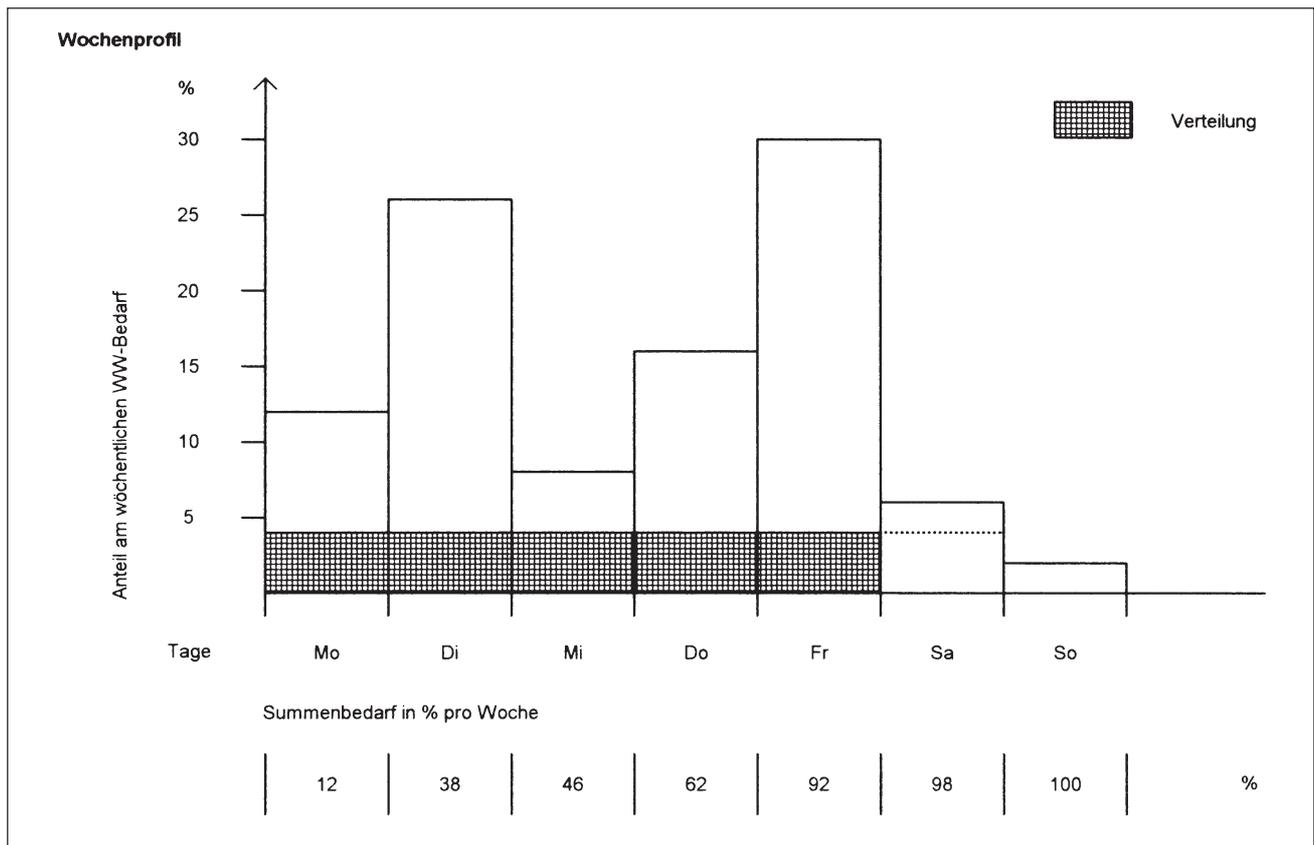


Abbildung 1.06

Abbildung 1.05 zeigt einen Tagesgang, Abbildung 1.06 einen Wochengang des Warmwasserbedarfes eines Schulhauses mit integrierten Sporthallen. Der Bedarf schwankt erheblich, insbesondere aufgrund des Schultypus, des Alters der Schüler und der Belegung durch Sportvereine. Anmerkung: Die Absorberfläche tendenziell klein wählen, den Speicher aber grösser, da lediglich zweimal pro Woche grössere Mengen Warmwasser – aufgrund der Belegung durch Sportvereine – verlangt werden. Der markante Spitzenbedarf zwischen 22 Uhr und 23 Uhr (28% des Tagesbedarfes) muss durch eine grosszügige Dimensionierung des spez. Speichervolumens (Abb. 2.27) berücksichtigt werden.

Für dieses Objekt ist eine differenzierte Speicherbewirtschaftung in Betracht zu ziehen, was beispielsweise eine Vollladung an Dienstagen und Donnerstagen, an allen übrigen Wochentagen lediglich eine Teilladung des Speichers mit Zusatzenergie bedeuten kann.

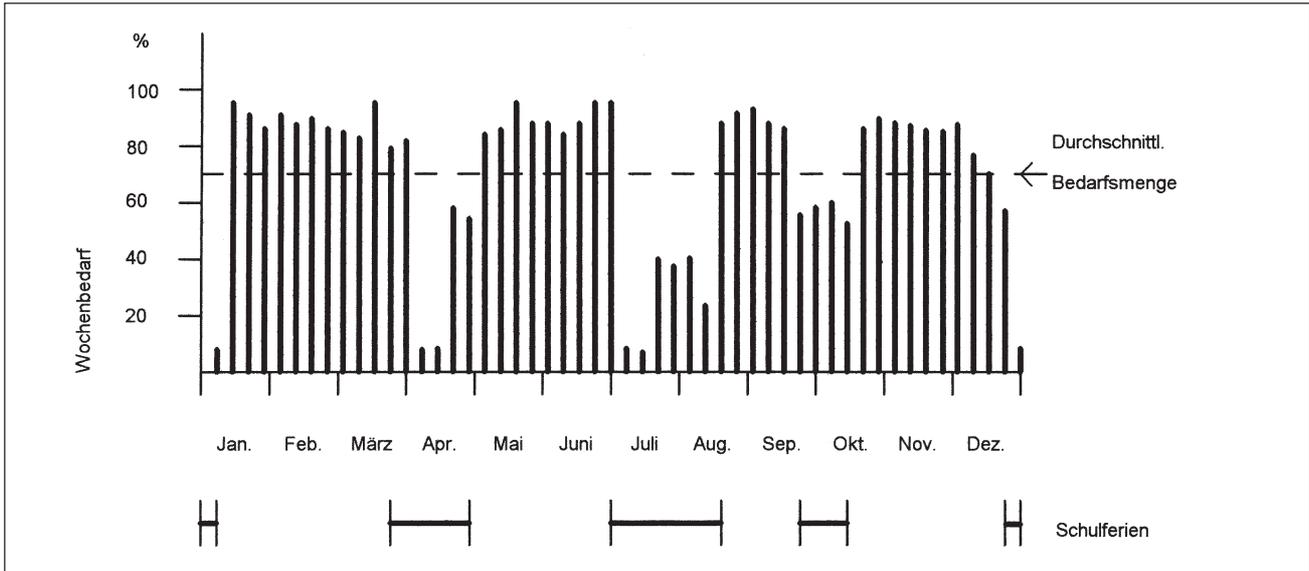


Abbildung 1.07

Das Jahresprofil des Warmwasserbedarfes im erwähnten Schulhaus (Abbildung 1.07) weist – unter Berücksichtigung der Schulferien – einen durchschnittlichen Wochenbedarf von rund 70% des Spitzenbedarfes aus. In den Schulferien werden die Anlagen teilweise durch Vereine genutzt. Ein Überhitzungsschutz zielt selbstverständlich auf die Schulferien in den Monaten April, Juli und September.

### Bedarfsanalyse: Beispiel Bürogebäude

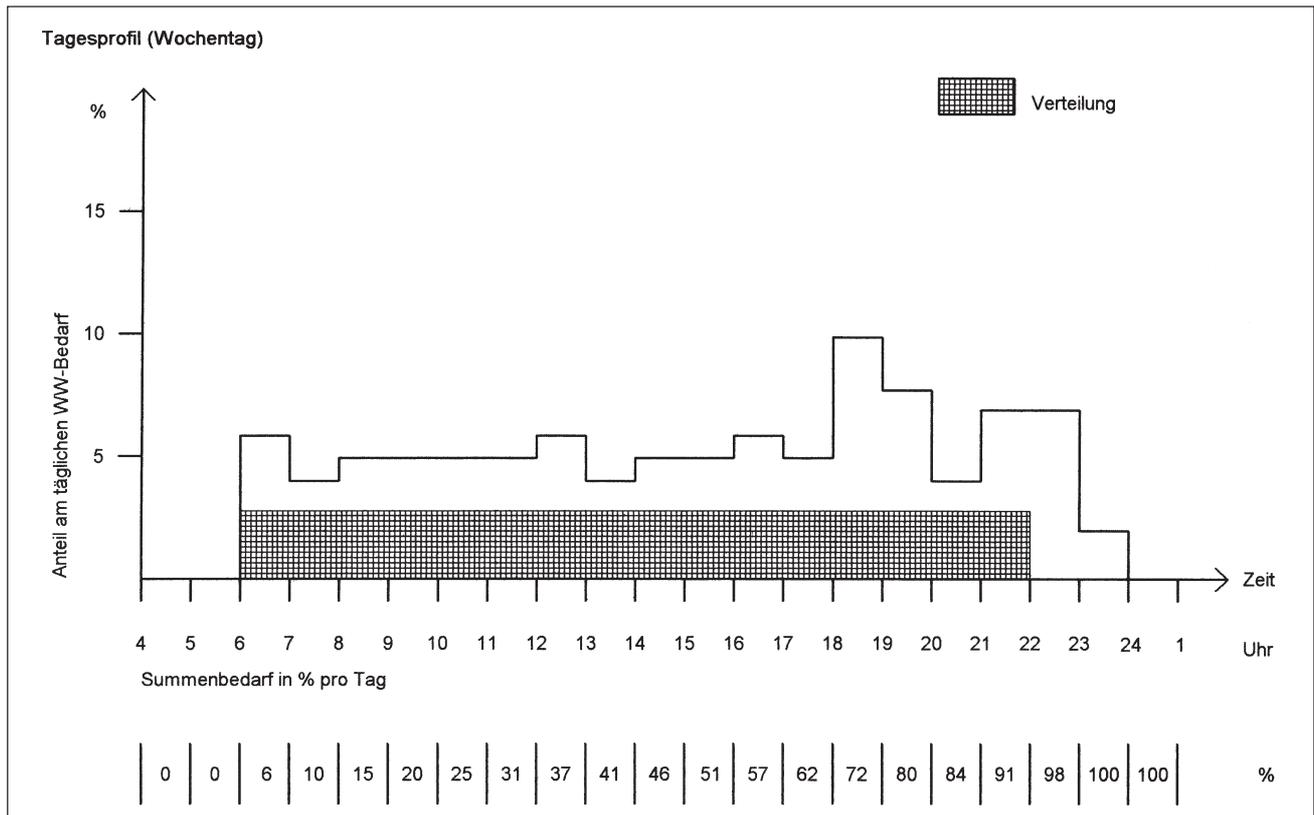


Abbildung 1.08

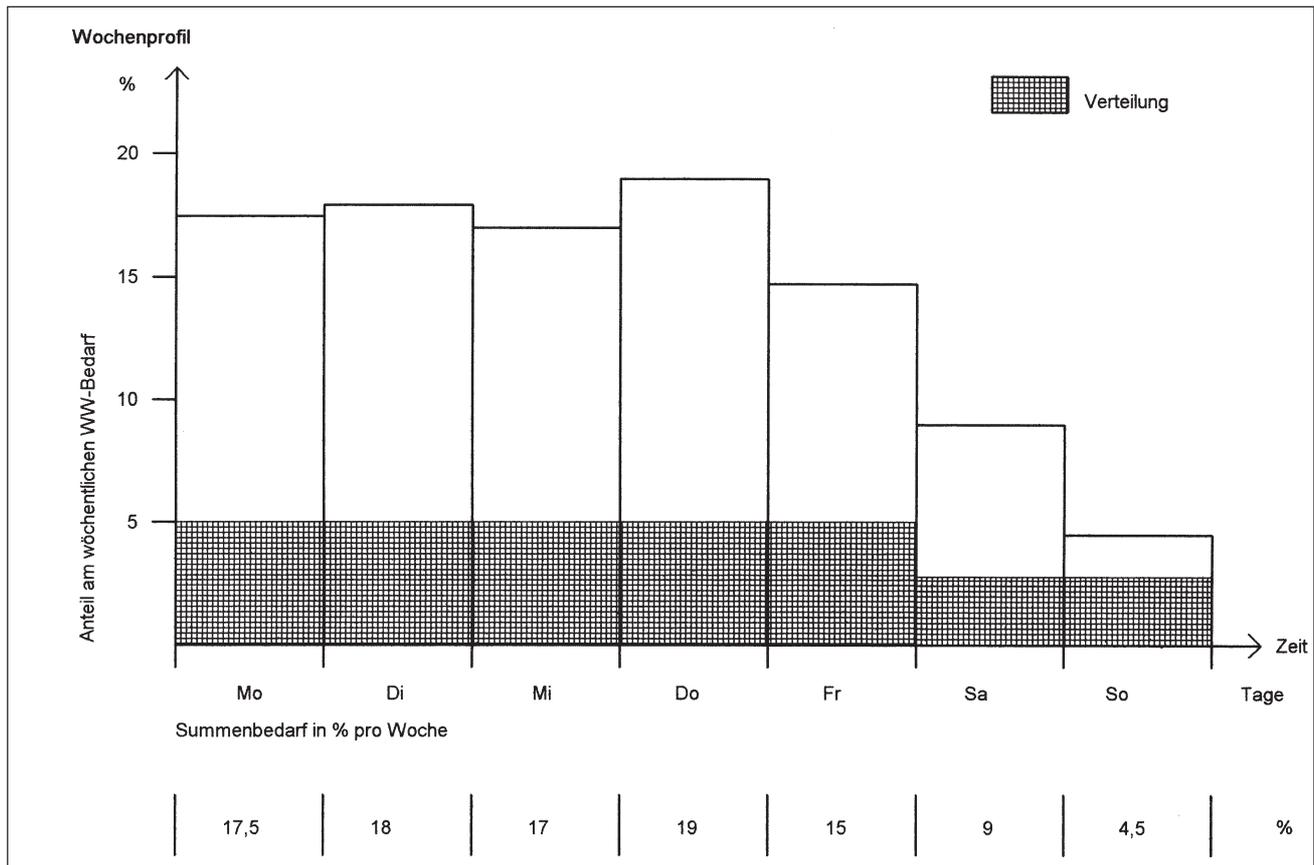


Abbildung 1.09

In Abbildung 1.08 ist der Tagesgang, in Abbildung 1.09 der Wochengang des Warmwasserverbrauches eines Bürogebäudes mit integrierter Hauswartwohnung dargestellt. Ergänzend seien folgende Daten erwähnt:

- Der Energiebedarf des durchschnittlichen Warmwasserverbrauches der Büros an Wochentagen beträgt rund 40 kWh pro Tag.
- Der Energiebedarf für den durchschnittlichen Warmwasserverbrauches der Hauswartwohnung bezieht sich auf rund 15 kWh pro Tag.
- Der Energiebedarf zur Deckung der Umwandlungs-, Zirkulations- und sonstigen Verteilverluste beläuft sich auf etwa 25 kWh pro Tag.

#### Anmerkungen

- Das Objekt weist an Werktagen zwischen 6 Uhr und 18 Uhr einen weitgehend ausgeglichenen Warmwasserbedarf aus. Dadurch kann das spez. Speichervolumen (Abb. 2.27) klein gehalten werden.
- Ähnlich ausgeglichen zeigt sich der Verlauf des Warmwasserbezuges von Montag bis Freitag: Der durchschnittliche Tagesbedarf beträgt etwa 17% des Wochenbedarfes.
- Eine empfehlenswerte Auslegung des Kollektorfeldes bringt in den Monaten Juli und August einen solaren Deckungsgrad von 90% bis 100%.
- Falls die Warmwasserverteilung eine strangweise Aufteilung ermöglicht, ist zu prüfen, ob die Zirkulation für den Büroteil an Wochenenden ausgeschaltet werden kann; in dieser Zeit besteht nur in der Hauswartwohnung überhaupt ein Warmwasserbedarf.

### Bedarfsanalyse Warmwasser und Heizung: Beispiel Wohnbauten

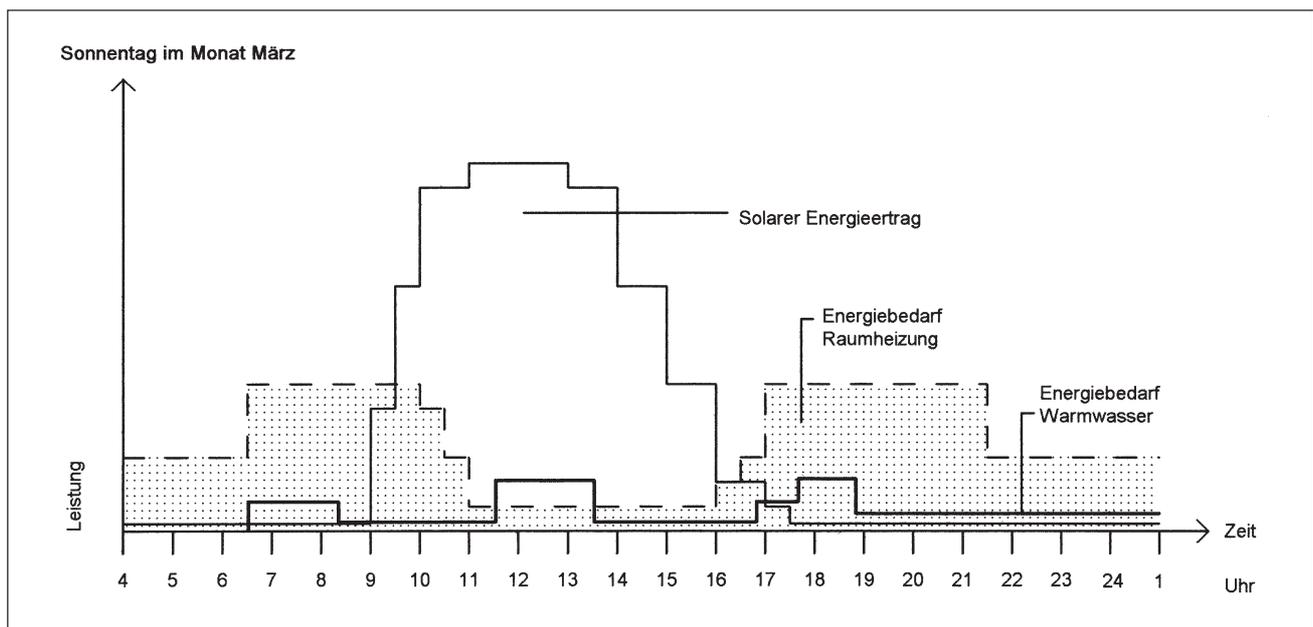


Abbildung 1.10

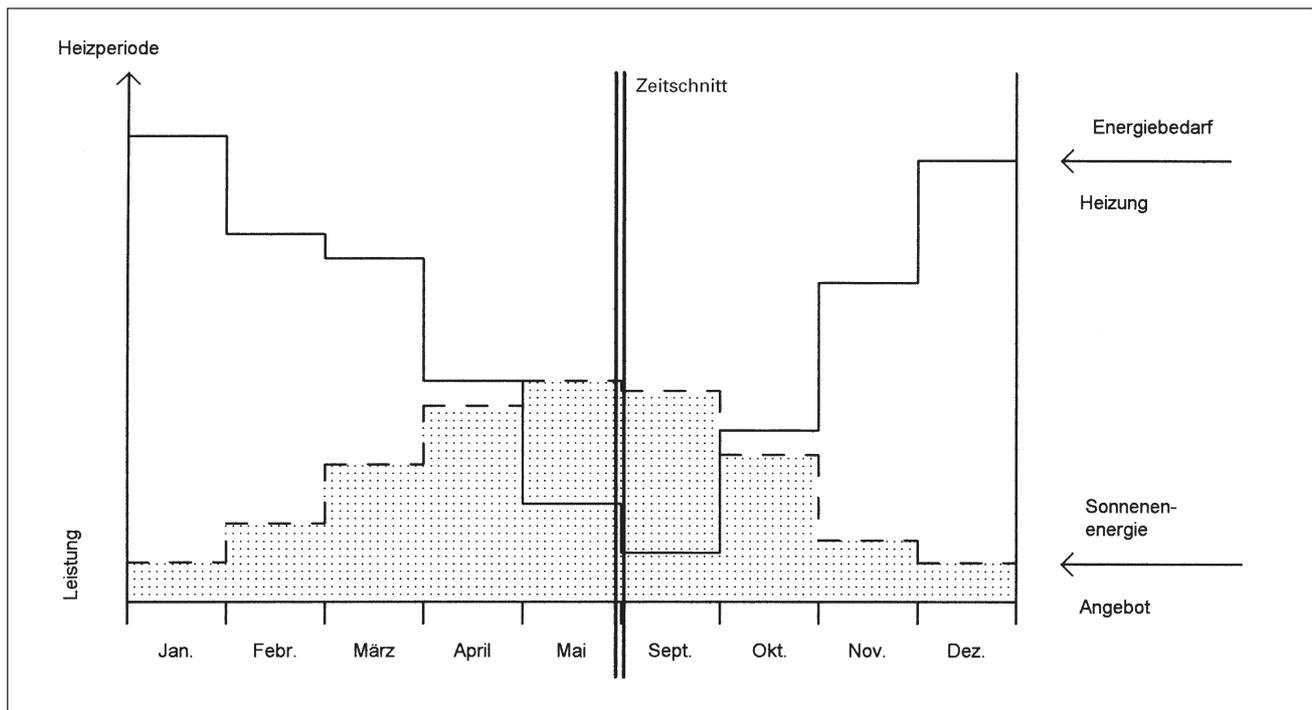


Abbildung 1.11

Die Abbildungen 1.10 und 1.11 zeigen den Tages- und den Jahresgang des Energiebedarfes für Heizung und Warmwasserbereitung. Danach ist der solare Energieeintrag zwischen 9.30 Uhr und 16.30 Uhr eines schönen Mäztages genügend gross, um den Heizbedarf gänzlich zu decken.

Das beispielhaft dargestellte Mehrfamilienhaus hat eine Absorberfläche, die eine nahezu vollständige solare Deckung des Heizenergiebedarfes in den Monaten April und Oktober ermöglicht. Für Standorte im schweizerischen Mittelland bedeutet dies eine spezifische Absorberfläche von ca. 1 m<sup>2</sup> je MWh Energiebedarf für Heizung und Warmwasser pro Jahr.

## 1.5 Bedarfsanalyse: welche Daten sind dienlich?

Gebäudekategorie	Solaranlage	Charakteristik des Verbrauches: Kriterien							
		Tagesgang des Bedarfes	Wochengang des Bedarfes	Jahresgang des Bedarfes	Belegungsrhythmus des Objektes (saisonal)	Energiebedarf im Sommer kleiner als solares Angebot	Stark schwankender Tagesbedarf an Warmwasser	Betriebszeiten der Warmwasserzirkulation	Charakteristik der passiven Gewinne
Mehrfamilienhäuser, Heime und Spitäler	Warmwasser	■						■	
	Heizung					■			■
Verwaltungs-, Dienstleistungsbauten	Warmwasser	■	■					■	
	Heizung					■			■
Hotels, Restaurants	Warmwasser	■	■	■	■		■	■	
	Heizung					■			
Schulhäuser, Turnhallen	Warmwasser	■	■	■	■		■	■	
	Heizung					■			
Sportanlagen	Warmwasser	■	■	■	■		■	■	
	Heizung					■			■
Gewerbe- und Industriegebäude	Warmwasser	■	■		■				
	Heizung					■			■
Öffentliches Freibäder/ Hallenbäder	Duschen	■			■		■	■	
	Bassin			■					
Anlagen mit markanter Teilnutzung z.B. Kasernen, Campingplätze	Warmwasser	■	■	■	■		■	■	
	Heizung					■			■

Abbildung 1.12

### Bedarfsanalyse: zwei wichtige Punkte

- Falls Messresultate vorliegen, sollten Durchschnitts- und nicht Spitzenwerte des Bedarfs für die Dimensionierung der Anlage verwendet werden.
- Erfahrungen zeigen, dass der Bedarf – teilweise sogar weit – überschätzt wird.

## 1.6 Checkliste für die Datenerhebung

### Standort

- Ort
- Höhe ü.M.
- Standort
- Horizont
- Meteorologische Verhältnisse
- Zufahrtsmöglichkeit für Kranwagen

### Kollektoren

- Platzangebot (Länge, Breite, evtl. Skizze)
- Dachneigung
- Dachausrichtung
- Dachaufbauten (Skizze)
- Arbeitsgerüst für die Kollektormontage möglich respektive nötig?

### Speicher

- Wo kann ein Speicher plaziert werden?
- Platzangebot (Grundfläche)
- Raumhöhe (örtliche Vertiefung möglich?)
- Kleinste vorhandene Öffnung zum Einbringen (Türvergrößerung möglich?)
- Zugangsmöglichkeit ab Camion bis zum Speicherraum

### Leitungsführung

- Leitungsführung ab Kollektorfeld bis zum Speicher evaluieren; in vorhandene Pläne eintragen oder skizzieren. Falls keine Pläne vorhanden sind: Leitungslänge und Höhendifferenz zwischen dem Kollektorfeld und Expansionsgefäß feststellen

### Haustechnik

(Sanitär, Heizung, Kühlung und Lüftung)

- Bestehende Anlagenteile der Wärmeerzeugung, der Warmwassererzeugung, der Wärmerückgewinnung sowie der Kühlung, welche in das zu erarbeitende Projekt integriert werden können, sind mit allen Daten und Angaben zu erfassen.

### Hinweise

- Als mögliche Vorlage zur Datenerhebung kann der Objektdaten-Fragebogen der Empfehlungen zur Nutzung von Sonnenenergie (ENS) beigezogen werden

## 1.7 Datenerhebung mittels Feinanalyse

Möglichkeiten und Hilfsmittel zur Ermittlung des Energiebedarfes bzw. der geforderten Nutztemperatur und der Charakteristik des Verbrauches:

### Neubauten

- Abschätzungen aufgrund von Messungen, welche aus Gebäuden mit ähnlicher Verbrauchscharakteristik bekannt sind
- Abschätzung aufgrund von Richtwerten der Sanitär- und Heizungsbranche. Werte an das Objekt anpassen.  
Achtung: Wassersparende Armaturen berücksichtigen, Tabellenwerte entsprechend anpassen.
- Detaillierte Berechnungen auch zur Quantifizierung von Zirkulations- und Speicherverlusten
- Berechnungen des Wärmeleistungsbedarfs und der passiven Energiegewinne
- Ermittlung der Beschattung der Kollektoren mittels Horizontaufnahmegeräte (z.B. Heliocron)

### Umbauten und Sanierungen

- Analyse des bisherigen Energieverbrauchs für Warmwasser und Heizung. Bei Heizungsanlagen kann der Energieverbrauch der letzten vier bis fünf Jahre als Durchschnittswert eingesetzt werden.
- Abschätzung der Energieverbrauchsminderung aufgrund baulicher Änderungen, insbesondere:
  - zusätzliche Wärmedämmung der Gebäudehülle
  - Ersatz der Fenster
  - Verbrauchsabhängige Heiz- und Warmwasser-Kostenabrechnung
  - zusätzliche Dämmung von Leitungen
  - neuer Heizkessel
  - Installation wassersparender Armaturen
  - Zeitschaltung der Warmwasserzirkulation
  - Installation thermischer Heizkörperventile
  - Einbau einer mechanischen Lüftung mit WRG
- Ermittlung der Beschattung der Kollektoren mittels Horizontaufnahmegeräte (z.B. Heliocron)

### Spezielles

- Technische Spezifikationen der Hersteller von Maschinen und Apparaten, vor allem in Gewerbe- und Industriebetrieben
- Technische Daten des Lüftungsfachmannes für geplante Luftheizungen
- Belegungs- und Auslastungspläne, insbesondere von Turnhallen und Sportanlagen
- Belegungsangaben von Hotels

### **Weiterführende Informationen**

- SI Handbuch;  
Achtung: Für die Grössenbestimmung einer Solaranlage sind die im SI-Handbuch aufgeführten Durchschnittswerte zu verwenden.
- SIA Empfehlung 385/3
- SIA Empfehlung 384/2
- SIA Empfehlung 380/1
- RAVEL, Elektrische Wassererwärmung, 1995 (überarbeitete Ausgabe), EDMZ 724.349.1d; Bezug: EDMZ, 3000 Bern, Fax 031/922 00 23
- Meteonorm 95  
Daten für den Solarplaner, BEW; Bezug: INFOENERGIE, 5200 Brugg, Fax 056/441 20 15
- Heliophon, Dr. A. Mützenberg AG, 9470 Buchs
- PACER, Solare Warmwassererzeugung, 1993/1995, EDMZ 724.213d; Bezug: EDMZ, 3000 Bern, Fax 031/922 00 23



## 2 Planung und Grössenbestimmung

<b>2.1</b>	<b>Festlegen der Zielsetzung</b>	<b>27</b>
2.1.1	Hoher spezifischer Ertrag	29
2.1.2	Hoher solarer Deckungsgrad	30
2.1.3	Kleinstmögliche solare Wärmekosten	31
2.1.4	Fixes Investitionsvolumen	32
<b>2.2</b>	<b>Wahl des Kollektortyps und des Systems</b>	<b>34</b>
<b>2.3</b>	<b>Abschätzen des solaren Energieertrages</b>	<b>35</b>
2.3.1	Ertragsdefinitionen	35
2.3.2	Ertragskennwerte	36
2.3.3	Detaillierte Ertragsermittlung	37
2.3.4	Berücksichtigung der Kollektororientierung und der Kollektorneigung	42
<b>2.4</b>	<b>Berücksichtigung der Nutzungs-Charakteristik</b>	<b>44</b>
2.4.1	Nutzung mit geringen saisonalen Verbrauchsschwankungen	44
2.4.2	Nutzungs-Schwerpunkt Heizperiode	45
2.4.3	Nutzungs-Schwerpunkt Sommerhalbjahr	45
2.4.4	Nutzung mit wöchentlichen Verbrauchsschwankungen	46
<b>2.5</b>	<b>Dimensionierung der Absorberfläche</b>	<b>47</b>
2.5.1	Abschätzung des solaren Bruttoertrages	47
2.5.2	Dimensionierung mit Computer-Unterstützung	50
<b>2.6</b>	<b>Dimensionierung des Speichervolumens</b>	<b>51</b>
<b>2.7</b>	<b>Bemessung des Volumenstroms im Kollektorkreis</b>	<b>55</b>
<b>2.8</b>	<b>Dimensionierung des Wärmetauschers</b>	<b>56</b>
<b>2.9</b>	<b>Massnahmen gegen Übertemperaturen</b>	<b>57</b>
2.9.1	Kollektorwahl und Systemauslegung	59
2.9.2	Abstellen der Anlage mit Verdampfen des Wärmeträgers	60
2.9.3	Abstellen der Anlage ohne Verdampfen des Mediums	60
2.9.4	Rückkühlen des Speichers	60
2.9.5	Zusatzverbraucher zuschalten	61
2.9.6	Thermische Ablaufsicherung	62
2.9.7	Regeltechnische Massnahmen	62
2.9.8	Entleeren der Kollektoren (Drain-back-System)	63
2.9.9	Entleeren der Kollektoren (Drain-down-System)	63



## 2 Planung und Grössenbestimmung

### 2.1 Festlegen der Zielsetzung

Sonnenenergie wird grundsätzlich in Ergänzung zu konventionellen Energieträgern wie Öl, Gas, Holz, Elektrizität usw. genutzt. Sie kann daher als «additive Energie» bezeichnet werden. Eine Ausnahme hiervon bilden energieautarke Solarhäuser, die überhaupt keine Zusatzheizung mehr benötigen. Im Gegensatz zu anderen bivalenten Systemen findet bei Anlagen mit thermischer Nutzung von Sonnenenergie allerdings nur bedingt eine klare Aufteilung der Funktionen zwischen den beteiligten Energieträgern (z.B. in Grundlast- und Spitzenlast-Deckung) statt. Da die Leistung von Solaranlagen naturgemäss variiert, muss die konventionelle Wärmeerzeugung jederzeit die volle Last abdecken können. Eine mehr oder weniger vollständige Bedarfsdeckung durch Sonnenenergie wird höchstens ausserhalb der Heizperiode für den Bereich der Warmwasserbereitung angestrebt, manchmal auch für heizungsunterstützende Anlagen (unter Umständen während saisonalen Übergangszeiten). Wieviel der Sonnenenergieanteil am gesamten Energiebedarf eines Objektes ausmacht, hängt von den Wünschen und Vorgaben der Bauherrschaft ab. Grundsätzlich werden hierbei vier Zielsetzungen unterschieden:

Für grössere Solaranlagen werden in der Praxis am häufigsten günstige solare Wärmekosten angestrebt, d.h. ein gutes Verhältnis von Kosten und Ertrag. Dabei handelt es sich um einen Kompromiss zwischen einem möglichst hohen solaren Deckungsgrad und einem möglichst hohen spezifischen Kollektorsertrag.

Je höher der solare Deckungsgrad einer Anlage liegt, desto geringer sind auch der spezifische Kollektorsertrag und die spezifischen Investitionskosten. Diese Abhängigkeit gilt allerdings nicht für Anlagen mit kostenintensiven Langzeitspeichern. Wird ein hoher solarer Deckungsgrad anvisiert, so muss ein niedriger spezifischer Kollektorsertrag in Kauf genommen werden. Die spezifischen solaren Wärmekosten (Rp./kWh) liegen sowohl bei Konfigurationen mit hohem Deckungsgrad wie auch bei solchen mit grösstmöglichem Kollektorsertrag höher als das wirtschaftliche Optimum (siehe Abbildung 2.01).

Bei welchem Deckungsgrad bzw. bei welcher spezifischen Absorberfläche das Kosten-Ertrag-Optimum liegt, hängt vom gesamten Energiebedarf und damit von der Anlagengrösse sowie dem Nutzungspofil ab.

Je grösser die absolute Absorberfläche ist, desto kleiner ist in der Tendenz der solare Deckungsgrad bzw. die spezifische Absorberfläche zu wählen, um das Kosten-Ertrag-Optimum zu erreichen. In der Praxis sind die Mittel nicht vorhanden, um eine detaillierte Kosten-Ertrag-Optimierung durchzuführen. Auch die vorhandenen Computer-Programme weisen die entsprechenden Funktionen noch nicht auf. Die Bemessung der spezifischen Absorberfläche lässt jedoch eine gewisse Bandbreite zu, innerhalb derer sich die solaren Wärmekosten nicht wesentlich verändern. Für Anlagen zur WW-Bereitung gilt zum Beispiel, dass im Bereich des Kosten-Ertrag-Optimums Abweichungen von der spezifischen Absorberfläche in der Grössenordnung von ungefähr  $0.3 \text{ m}^2/\text{VE}$  (Verbrauchseinheit) eine Änderung der solaren Wärmekosten von höchstens 1 Rp./kWh bewirken. In der Praxis wird eine über dem wirtschaftlichen Optimum liegende spezifische Absorberfläche gewählt, da das Ziel einer Solaranlage immer die Substituierung anderer Energiequellen ist.

**Eine Verbrauchseinheit VE definiert die Energiemenge, welche pro Tag für die Erwärmung von 100 l Wasser von 10 °C auf 55 °C benötigt wird. Energetisch ausgedrückt entspricht VE:**

- täglich 18.8 MJ oder 5.2 kWh
- jährlich 6.9 GJ oder 1900 kWh

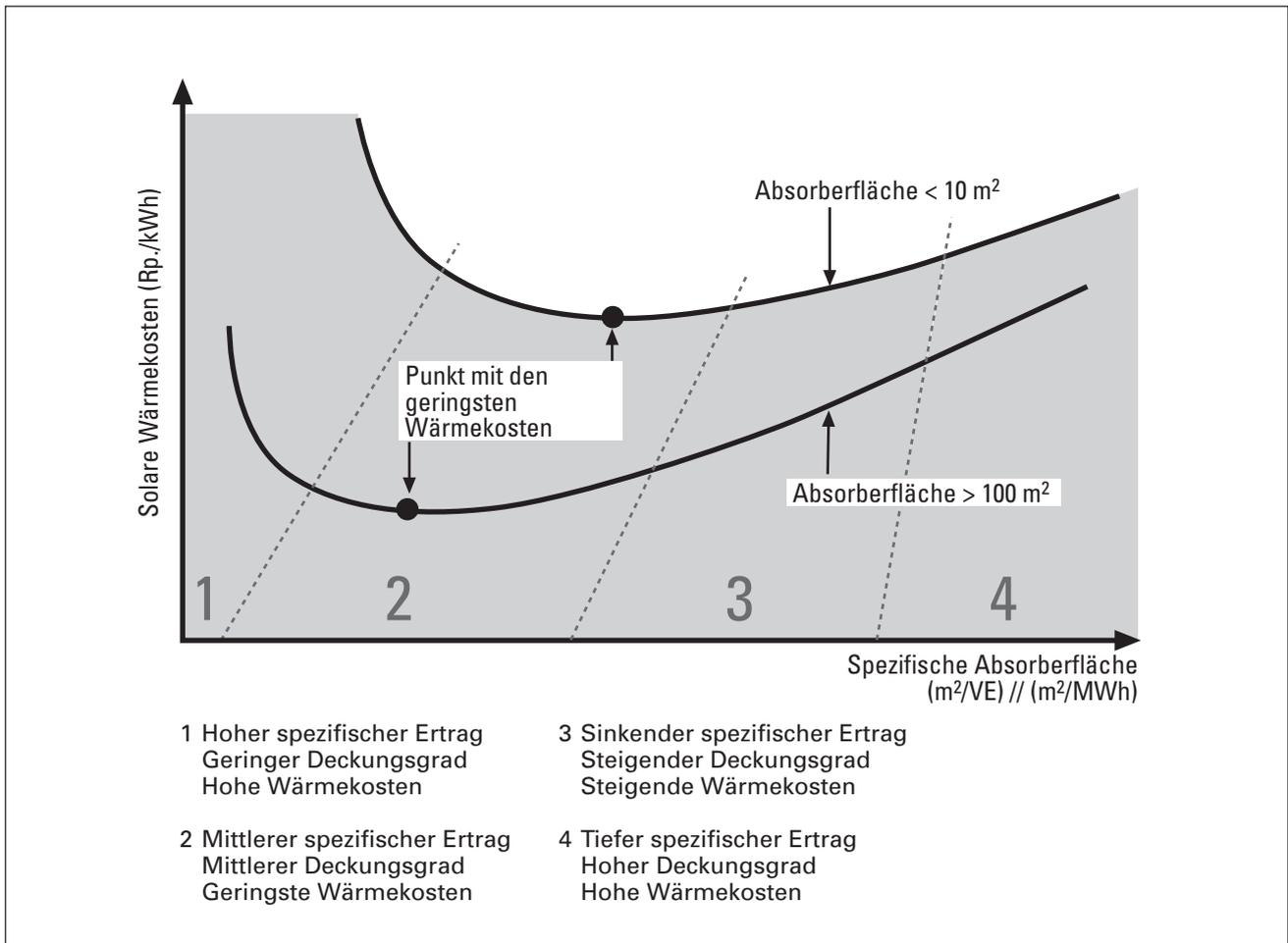


Abbildung 2.01  
Folgen der Zielsetzung im Bereich der Dimensionierung auf die solaren Wärmekosten

### 2.1.1 Hoher spezifischer Ertrag

**Ein hoher solarer Ertrag wird durch eine kleine spezifische Absorberfläche erreicht. Der solare Deckungsgrad kann bei solchen Anlagen bis zu 35% betragen.**

Der spezifische solare Ertrag, der maximal erzielt werden kann, hängt von der Konzeption und der Nutzungs-Charakteristik einer Anlage ab. Im Schweizer Mittelland sind spezifische solare Bruttoerträge über 450 kWh/m<sup>2</sup>a für WW-Anlagen und solche über 300 kWh/m<sup>2</sup>a für heizungsunterstützende Anlagen in Wohnbauten als hoch einzustufen.

Wichtigste Voraussetzung, um einen hohen solareren Ertrag zu erzielen, sind tiefe Systemtemperaturen über das ganze Jahr hinweg. Diese können nur erreicht werden, wenn das System die in Wärme umgewandelte Sonnenenergie möglichst vollständig verwertet, d.h. wenn keine Überschüsse entstehen. Um dem Ziel der vollständigen Ertragsnutzung nahe zu kommen, muss eine Anlage sehr

knapp dimensioniert werden, so dass auch bei geringerem Wärmebedarf die Solaranlage nur maximal 100% (ohne Überschüsse!) des momentanen Bedarfes abdeckt.

Abbildung 2.26 gibt Auskunft über die von verschiedenen Kollektorbauarten maximal zu erwartenden Erträge im Sommer. Der Bedarf an Niedertemperaturwärme muss im Tagesverlauf grösser sein als der maximale Tagesertrag der Kollektoranlage. Der solare Deckungsgrad wird dementsprechend im Jahresverlauf bis zu 35% betragen. Solche Anlagen werden auch als Vorwärmanlagen bezeichnet, da praktisch jederzeit eine Zusatzwärmequelle das solar vorgewärmte Wasser auf Nutzttemperatur nachwärmen muss. Tägliche Verbrauchsschwankungen sollen auch bei diesem Anlagentypus über einen Speicher ausgeglichen werden. Sie wirken sich so nur gering auf den Kollektorertrag aus.

Häufig haben Kunden solcher Anlagen das Gefühl, die Anlage bringe zu wenig. Sie neigen dazu, die tiefen mittleren Systemtemperaturen, welche sich auf den Ertrag positiv auswirken, mit niedriger Leistung gleichzusetzen.

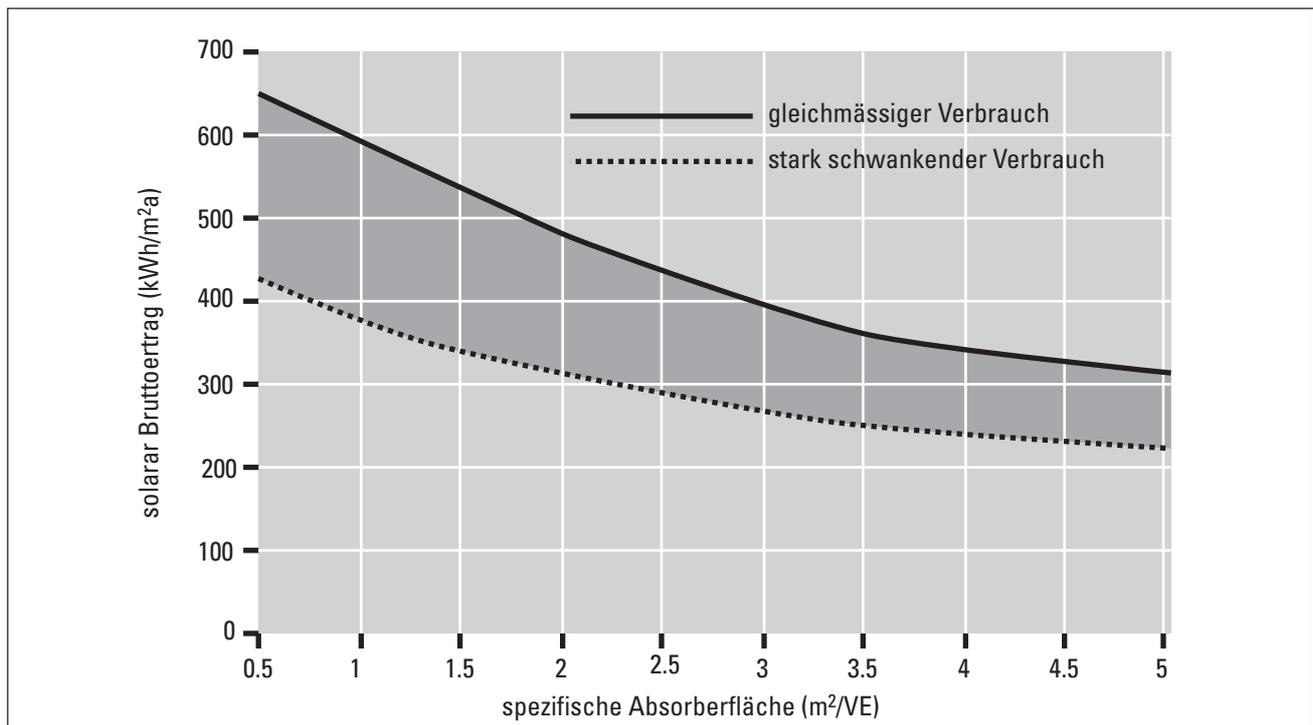


Abbildung 2.02:  
Spezifischer solarer Bruttoertrag (Anlagen zur Wassererwärmung; Standort: Mittelland); Flachkollektor

### 2.1.2 Hoher solarer Deckungsgrad

**Ein hoher solarer Deckungsgrad wird durch eine grosse spezifische Absorberfläche und ein entsprechend grosses spezifisches Speichervolumen erreicht.**

Ein hoher solarer Deckungsgrad, d.h. ein möglichst grosser Anteil Sonnenenergie am gesamten Bruttowärmebedarf einer Anlage, wird dann angestrebt, wenn das Ziel der Nutzung von Sonnenenergie die Substituierung von möglichst viel nicht erneuerbarer Energie ist. Die Solaranlage muss in diesem Fall die Wärmeversorgung zeitweise allein abdecken können (monovalenter Betrieb). Dies bedingt eine relativ grosse spezifische Kollektorfläche im Verhältnis zum Energiebedarf. Die Anlage vermag aber dadurch auch an Tagen mit teilwei-

ser Bewölkung den Verbrauch abzudecken. Durch ein vergrössertes Speichervolumen kann der Überschuss an sonnigen Tagen in kürzeren Schlechtwetterperioden genutzt werden. Eine grosse spezifische Absorberfläche ohne entsprechende Speicherkapazitäten bringt nur einen geringen Mehrnutzen und ist nicht sinnvoll.

Ein Konzept zum Schutz vor Überhitzung ist in solchen Anlagen zwingend nötig (siehe Kap. 2.9). Von einem hohen solaren Deckungsgrad wird bei Anlagen mit gleichmässiger Ganzjahresnutzung (WW-Bereitung) bei einem Deckungsgrad von über 50%, bei Anlagen zur Warmwasseraufbereitung und Heizungsunterstützung bei einem Deckungsgrad von über 30% und bei Anlagen mit vorwiegend sommerlicher Nutzung (z.B. Schwimmbäder) bei einem Deckungsgrad von über 70% gesprochen.

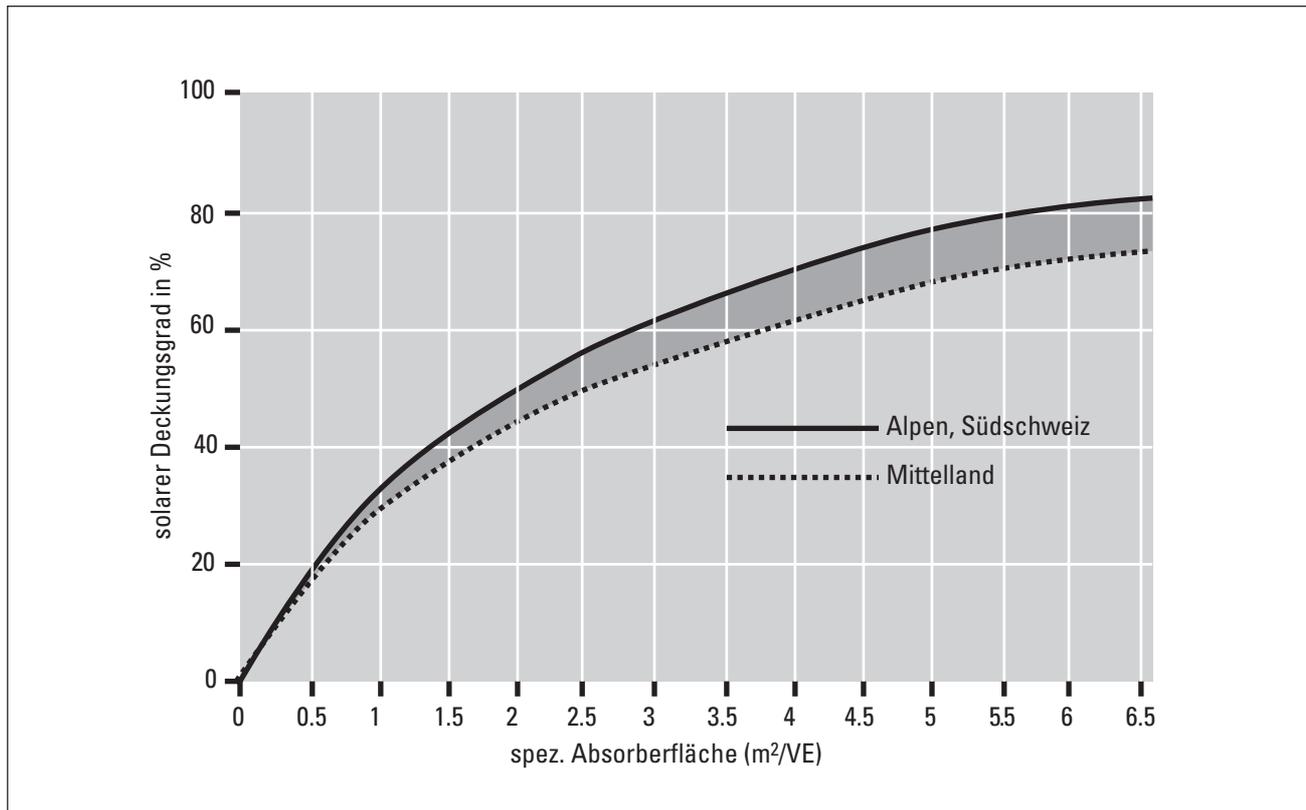


Abbildung 2.03  
Solarer Deckungsgrad gültig für Flachkollektor-Anlagen mit 1 Speicher und einem Warmwasserverbrauch von 10 VE und einem gleichmässigem Verbrauchsprofil (Orientierung Süd und Neigung 30° bis 45°)

### 2.1.3 Kleinstmögliche solare Wärmekosten

**Niedrige solare Wärmekosten werden erreicht, indem die spezifische Absorberfläche mit zunehmender Anlagegrösse knapper gewählt wird (vgl. Abbildung 2.01)**

Ein möglichst gutes Kosten-Ertrag-Verhältnis, bzw. möglichst geringe solare Wärmekosten sind das Planungsziel der folgenden Darstellung. Dabei handelt es sich um rein betriebswirtschaftliche Überlegungen, die den ökologischen und den volkswirtschaftlichen Nutzen nicht berücksichtigen. Wie in der Einleitung zu Beginn von Kapitel 2.1 bereits erläutert, werden günstige solare Wärmekosten durch einen Kompromiss zwischen einem hohem solaren Deckungsgrad und einem hohem spezifischen Kollektorsertrag erreicht. Der Grund dafür liegt einerseits darin, dass eine Vergrößerung der spezifischen Absorberfläche auch eine Vergrößerung der totalen Absorberfläche nach sich zieht. Die spezifischen Investitionskosten [Fr./m<sup>2</sup>] reduzieren sich somit, da gewisse Kosten wie

Planung, Regelung, Kollektorkreisleitungen und in gewissem Umfang auch Kollektor- und Speicherkosten nicht linear ansteigen.

Andererseits bewirkt die Vergrößerung der spezifischen Kollektorfläche auch eine Reduktion des spezifischen Kollektorsertrages [kWh/m<sup>2</sup>]. Mit zunehmender Anlagegrösse verflacht sich die Degression der spezifischen Anlagekosten.

Eine Vergrößerung der Anlage macht sich also solange bezahlt, wie die spezifischen Investitionskosten [Fr./m<sup>2</sup>] derart stark sinken, dass der spezifische Minderertrag des Kollektors [kWh/m<sup>2</sup>] sich nicht negativ auf den Energiepreis [Rp./kWh] auswirkt.

Da die Degression der spezifischen Investitionskosten nicht linear, sondern bei kleinen Anlagen (unter 20 m<sup>2</sup>) relativ steil und bei grösseren Anlagen (über 40 m<sup>2</sup>) nur noch flach verläuft (siehe Abbildung 2.06), verschiebt sich der Punkt der optimalen spezifischen Absorberfläche.

Abbildung 2.01 zeigt den Zusammenhang zwischen Anlagengrösse, spezifischer Absorberfläche, solarem Deckungsgrad und Energiekosten auf.

Nutzung	Objekt	Energiebedarf	spezifische Absorberfläche
<b>WW-Bereitung</b>	Wohnbauten, Altersheime und Krankenhäuser	10 bis 25 VE 26 bis 50 VE 51 bis 100 VE	1.6 bis 2.2 m <sup>2</sup> /VE 1.0 bis 1.5 m <sup>2</sup> /VE 0.7 bis 1.2 m <sup>2</sup> /VE
	Restaurants, Hotels	10 bis 25 VE 26 bis 50 VE 51 bis 100 VE	1.5 bis 2.0 m <sup>2</sup> /VE 0.8 bis 1.4 m <sup>2</sup> /VE 0.6 bis 1.1 m <sup>2</sup> /VE
	Schulen, Kasernen	10 bis 25 VE 26 bis 50 VE 51 bis 100 VE	1.4 bis 1.8 m <sup>2</sup> /VE 0.7 bis 1.3 m <sup>2</sup> /VE 0.5 bis 1.0 m <sup>2</sup> /VE
	Dienstleistungsgebäude, Gewerbe, Industrie	10 bis 25 VE 26 bis 50 VE 51 bis 100 VE	1.5 bis 2.0 m <sup>2</sup> /VE 0.9 bis 1.4 m <sup>2</sup> /VE 0.6 bis 1.0 m <sup>2</sup> /VE
<b>WW-Bereitung + Heizungsunterstützung</b>	Wohnbauten, Altersheime und Krankenhäuser	100 bis 250 MWh/a über 250 MWh/a	0.3 bis 0.6 m <sup>2</sup> /MWh/a 0.2 bis 0.4 m <sup>2</sup> /MWh/a*
	Restaurants, Hotels	100 bis 250 MWh/a über 250 MWh/a	0.3 bis 0.5 m <sup>2</sup> /MWh/a 0.2 bis 0.4 m <sup>2</sup> /MWh/a*
	Schulen, Kasernen	100 bis 250 MWh/a über 250 MWh/a	0.3 bis 0.4 m <sup>2</sup> /MWh/a 0.2 bis 0.3 m <sup>2</sup> /MWh/a*
	Dienstleistungsgebäude, Gewerbe	100 bis 200 MWh/a über 300 MWh/a	0.3 bis 0.5 m <sup>2</sup> /MWh/a 0.2 bis 0.4 m <sup>2</sup> /MWh/a*

Abbildung 2.04  
Richtwerte der spezifischen Absorberfläche (Flachkollektoren) für ein optimales Kosten-Ertrag-Verhältnis

\* Überprüfen, ob eine reine WW-Bereitung nicht sinnvoller wäre.

Die meteorologischen Verhältnisse in der Schweiz führen bei einer Anlage zur Warmwasserbereitung im Normalfall zu tieferen spezifischen solaren Wärmekosten, als es mit einer kombinierten Anlagen zur Wassererwärmung und Heizungsunterstützung beim gleichen Objekt möglich wäre. Der Entscheid für eine heizungsunterstützende Anlage wird daher nicht mit betriebswirtschaftlichen, sondern eher mit ökologischen Argumenten – z.B. mit dem Ziel, möglichst viel nicht erneuerbare Energien einzusparen – gestützt. Meistens ist bei solchen Anlagen daher ein gewünschter solarer Deckungsgrad Ausgangspunkt für die Dimensionierung. Wird trotzdem nach dem wirtschaftlichen Optimum der Absorberfläche von kombinierten Solaranlagen zur Wassererwärmung und Heizungsunterstützung gesucht, ist es vor allem bei grossen Objekten sinnvoll, einen Quervergleich mit der Variante einer reinen WW-Anlage zu machen. Es kann durchaus sein, dass die für die kombinierte Anlage ermittelte optimale spezifische Absorberfläche derart tief liegt, dass eine Anlage, die allein zur Wassererwärmung dient, die gleiche Einsparung an Zusatzenergie erzielen kann. Eine Legitimation für eine teurere, kombinierte Anlage ent-

fällt sodann. In Wohnbauten mit ganzjährigem Warmwasserbedarf lässt sich mit obiger Zielsetzung eine heizungsunterstützende Anlage nur in Höhenlagen, die eine lange Heizperiode aufweisen, rechtfertigen. Objekte mit geringem oder nur teilweisem Warmwasserbedarf während der Heizperiode sind hingegen geeignete Objekte, um eine zusätzliche Heizungsunterstützung zu prüfen.

#### 2.1.4 Fixes Investitionsvolumen

Ein weiterer Bezugspunkt für die Dimensionierung einer Solaranlage kann die Vorgabe der Investitionskosten sein. Wichtig sind für den Planer in diesem Fall Kennwerte, die ihm ein rasches Abschätzen der Möglichkeiten erlauben. Die Abbildungen 2.05 bis 2.07 zeigen grobe Richtwerte für die Aufteilung der Investitionskosten einer Solaranlage auf die einzelnen Kostenstellen und für die spezifischen Investitionskosten in Abhängigkeit der Anlagengrösse. Berücksichtigt sind dabei die sogenannten solaren Mehrkosten, also der Anteil der Kosten, welcher durch den Einbau der Solaranlage für die ganze Infrastruktur zusätzlich entsteht.

Kollektortyp	totale Absorberfläche	spezifische Investitionskosten (Mehrkosten)
<b>Schwimmbadabsorber</b>	unter 50 m <sup>2</sup>	300 bis 500 Fr./m <sup>2</sup>
	über 50 m <sup>2</sup>	200 bis 400 Fr./m <sup>2</sup>
<b>Flachkollektoren</b>	unter 20 m <sup>2</sup>	1700 bis 2800 Fr./m <sup>2</sup>
	über 20 m <sup>2</sup>	1200 bis 1900 Fr./m <sup>2</sup>
<b>Vakuurröhren-Kollektoren</b>	unter 10 m <sup>2</sup>	2500 bis 3500 Fr./m <sup>2</sup>
	über 10 m <sup>2</sup>	1800 bis 3000 Fr./m <sup>2</sup>

Abbildung 2.05  
 Spezifische Investitionskosten in Abhängigkeit des  
 Kollektortyps (solare Mehrkosten)

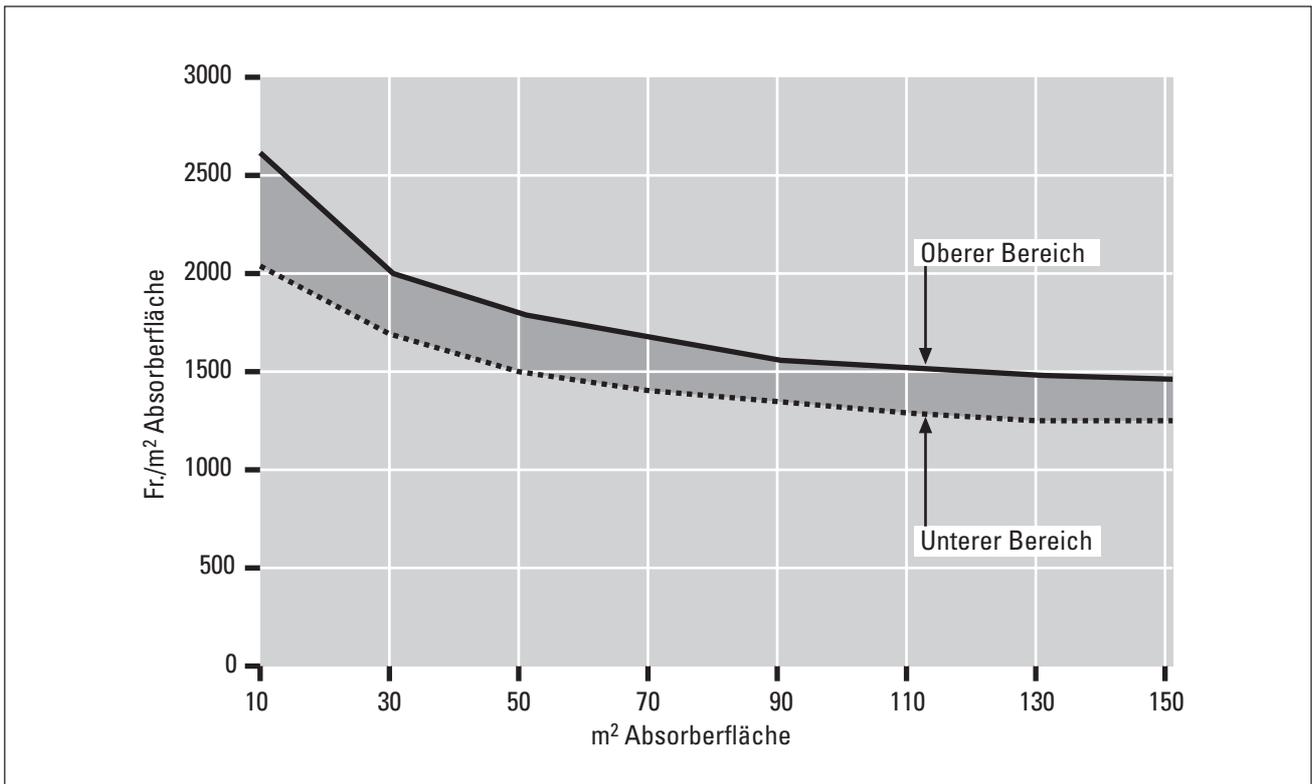


Abbildung 2.06  
Spezifische Investitionsmehrkosten in Abhängigkeit der Anlagengrösse

(gültig für Solaranlagen zur WW-Bereitung mit Flachkollektoren - Stand 1996)

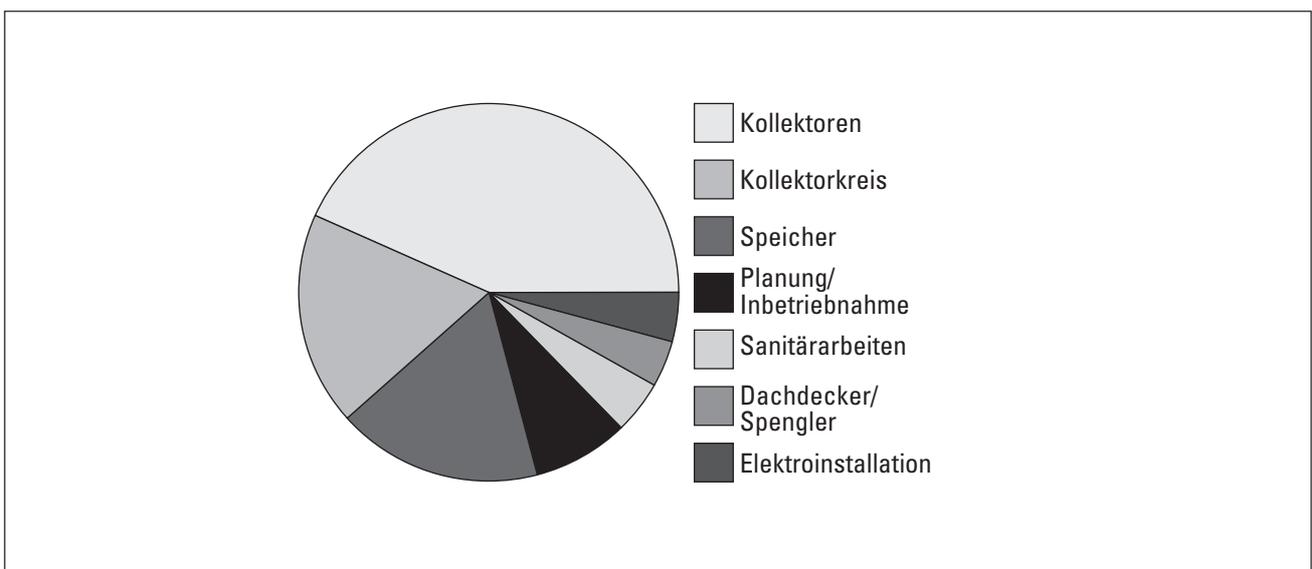


Abbildung 2.07  
Zusammensetzung der Investitionskosten einer Solaranlage

## 2.2 Wahl des Kollektortyps und des Systems

Die Wahl des Kollektortyps und des Systems haben gemeinsam unter Berücksichtigung der Anwendungstemperatur, der Nutzungs-Charakteristik, der Investitionskosten, der Ästhetik, der Montagemöglichkeiten, der Anlagensicherheit, der Anlagelebensdauer usw. zu erfolgen. Dabei ist der teuerste Kollektor und eine komplexe Hydraulik kein Garant für eine angepasste Lösung! Bild 2.08 zeigt, dass Kollektoren mit geringeren thermi-

schen Verlusten (und höheren Kollektorkosten) für Anwendungen in höheren Temperaturbereichen oder für vorwiegende Winternutzung geeignet sind (siehe auch Abbildung 2.32). Unverglaste Absorber und einfachverglaste Flachkollektoren ohne selektive Beschichtung des Absorbers weisen bauartbedingt höhere Wärmeverluste auf. Für Anwendungen im Bereich unter 40 °C bedeutet dies nicht unbedingt eine Ertragseinbusse. Niedertemperaturkollektoren mit hohem optischem Wirkungsgrad können aufgrund der geringeren Investitionskosten einen günstigeren solaren Wärmepreis herbeiführen.

	Anwendungstemperatur						Schwimmbaderwärmung	Wärmepumpe (Kälteseite)	Warmwasser bis 45° Sommer	Wasservorwärmung	Warmwasser bis 60 °C	Heisswasser bis 95 °C	Heizung bis 50 °C	Heizung bis 70 °C
	10 K über Umgebung	30 K über Umgebung	40 K über Umgebung	50 K über Umgebung	80 °C	120 °C								
Kunststoffabsorber	■						■	■						
Absorber, unverglast, selektiv	■	■					□	□	■	■				
Flachkollektor, einfachverglast, unselektiv	□	■	■				□		■	■	□			
Flachkollektor, selektiv oder zweifachverglast	□	■	■	□					□	■	■		■	
Evakuierter Röhrenkollektor «Heat-Pipe»		□	□	■	■	□					□	■	■	□
Evakuierter Röhrenkollektor «direktdurchflossen»		□	□	■	■	■					□	■	■	■

■ gut geeignet  
 □ möglich

Abbildung 2.08  
Auswahl des Kollektortyps nach Anwendungsgebiet

Die für die richtige Systemwahl wesentlichen Überlegungen werden ausführlich im Kapitel 3 «Einbindung von Solaranlagen in die Haustechnik» behandelt.

## 2.3 Abschätzen des solaren Energieertrages

Ist die Zielsetzung der Anlage festgelegt und die Wahl des Kollektortyps sowie des Systems getroffen, bestehen grundsätzlich mehrere Möglichkeiten, um die wesentlichen Anlagenparameter zu dimensionieren. Bei allen möglichen Vorgehensweisen geht es zunächst darum, dem ermittelten Energiebedarf eine realistische Abschätzung des möglichen Solarertrags gegenüberzustellen. Bei einfacheren Objekten und Anlagentypen ist es möglich, auf Kennwerte zurückzugreifen (Abbildung 2.10). Bei komplexeren Situationen empfiehlt sich,

eine Computer-Simulation oder die unter Kap. 2.5.1 beschriebene Abschätzungsmethode durchzuführen. Wichtig für alle Berechnungsarten ist eine genaue Kenntnis der Ertragsdefinitionen und der Systemparameter (vgl. Exkurs 5.11).

### 2.3.1 Ertragsdefinitionen

Der Ertrag von Solaranlagen kann an verschiedenen Systemschnittstellen ermittelt werden. Das Flussdiagramm in Abbildung 2.09 vermittelt ein Bild der unterschiedlichen Ertragsdefinitionen und verdeutlicht deren Beziehungen untereinander:

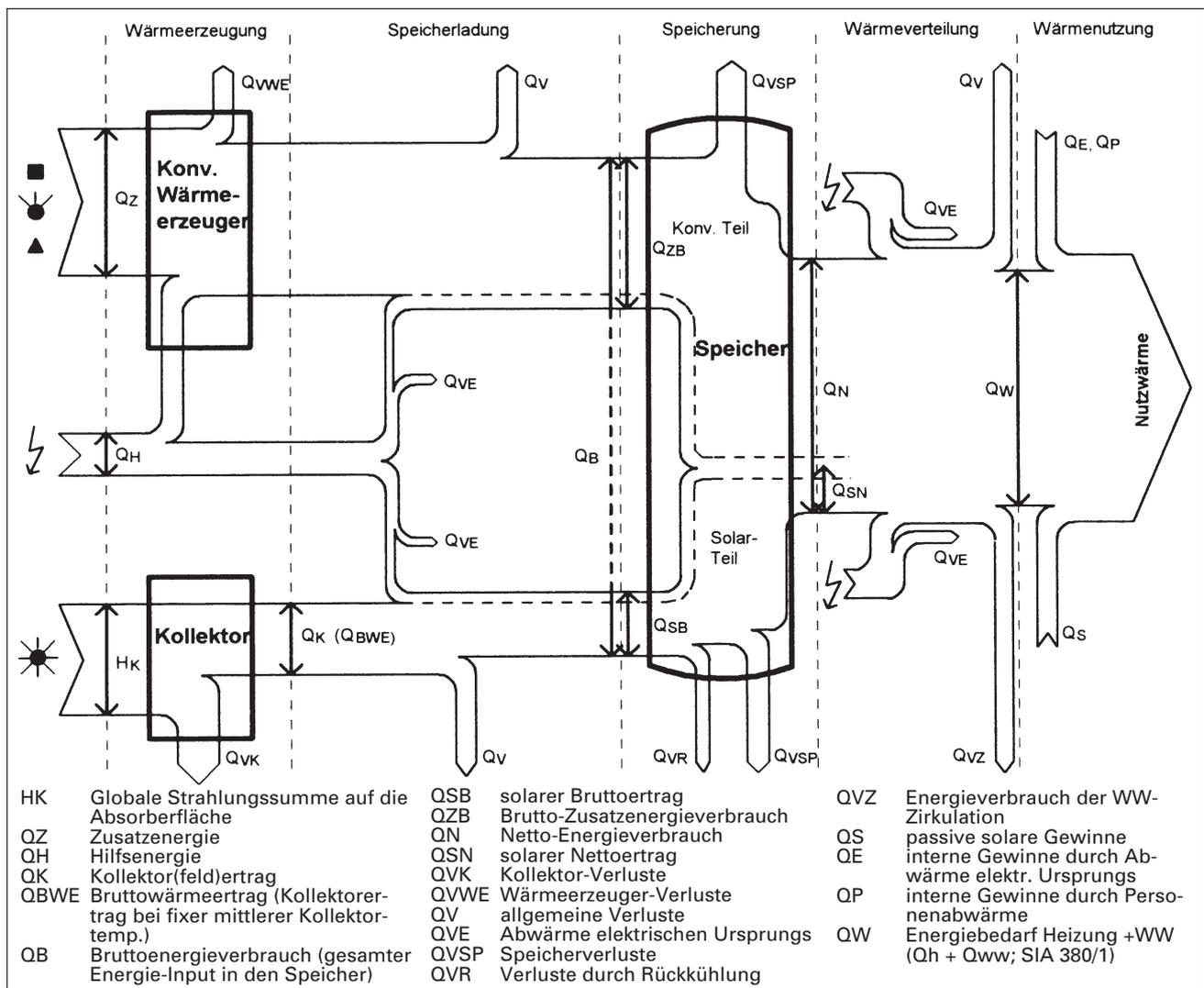


Abbildung 2.09  
Energiefluss-Diagramm einer Solaranlage

**Definition:**

$$\text{solarer Deckungsgrad} = \frac{Q_{SB}}{Q_B}$$

(Verhältnis von solarem Bruttoertrag und Bruttoenergieverbrauch)

- Bruttowärmeertrag (vergl. auch Exkurs 5.11)

Der Bruttowärmeertrag ist die rechnerische Wärmeeintragsgrösse eines Kollektors, bezogen auf eine konstante Kollektortemperatur. Der Bruttowärmeertrag wird pro Quadratmeter Absorberfläche angegeben und dient zum direkten Leistungsvergleich unterschiedlicher Kollektorkonstruktionen.

Die Bruttowärmeertragsdaten für die drei Referenzstandorte Kloten, Davos und Locarno können in der Regel beim Kollektorlieferanten bezogen werden oder liegen als umfassende Prüfbericht-Dokumentation der Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle in Rapperswil zum Verkauf (Bezug Infoenergie) bereit.

Mittels Computersimulations-Programme können die Bruttowärmeertragswerte für jeden getesteten Kollektor auch selber erstellt werden. Die Berechnung der Daten ist für jede Gemeinde der Schweiz und für eine beliebige Orientierung und Neigung der Kollektoren möglich.

Für standortspezifische Berechnungen können die jeweiligen Bruttowärmeerträge auch mit Hilfe der Meteodaten vom nächsten Referenzstandort abgeleitet werden. Massgebender Parameter für die Korrektur sind die Strahlungswerte aus der Meteorologienorm.

- Kollektorertrag

Der Kollektorertrag bezeichnet den anlagenspezifischen Wärmeeintrag am Kollektorausstritt. Der Kollektorfeldertrag lässt sich sowohl berechnen wie auch messen und berücksichtigt die Kollektorausrichtung und eine allfällige Beschattung.

- Solarer Brutto- bzw. Nettoertrag

Der solare Bruttoertrag definiert den Energieeintrag in den Speicher nach Abzug der Kollektorkreisverluste sowie allfälliger Verluste durch Systemabschaltungen bei einem solaren Überangebot.

Der solare Nettoertrag berücksichtigt zusätzlich die durch das Solarsystem bedingten Speicherverluste. Der solare Nettoertrag bezeichnet somit die der Wärmeverteilung zugeführte Energiemenge.

### 2.3.2 Ertragskennwerte

Je nach Anwendungsschwerpunkt, Anlagenkonzeption, Verbrauchs-Charakteristik, Standort und Kollektorwahl schwankt der spezifische Wärmeeintrag. Für die Dimensionierung der Absorberfläche ist es sinnvoll, entweder mit dem solaren Nettoertrag oder mit dem solaren Bruttoertrag zu arbeiten. Planer von Solaranlagen verwenden häufiger den Bruttowert, weil dieser einfacher zu messen ist als der solare Nettoertrag. Die folgende Tabelle liefert einige grobe Anhaltspunkte für den zu erwartenden jährlichen spezifischen solaren Bruttoertrag. Teilzeitlich genutzte Objekte weisen die Werte im unteren Bereich der Spannweite auf.

Kollektortyp \ Anlagentyp	Anlagentyp					
	Beckenwassererwärmung von Freibädern (reine Sommernutzung)	Warmwasser-Vorwärmung in Wohnbauten – Deckungsgrad: unter 35%	Warmwasserbereitung in Wohnbauten – Deckungsgrad: 35 bis 50%	Warmwasserbereitung in Wohnbauten – Deckungsgrad: 50 bis 60%	Warmwasser + Raumheizung in Wohnbauten – Deckungsgrad unter 30%	Warmwasser + Raumheizung in Wohnbauten – Deckungsgrad über 30%
Kunststoff-Absorber	250 bis 350					
unverglaster Absorber, selektiv	250 bis 350	350 bis 450				
Flachkollektor einfachverglast	300 bis 400	400 bis 500	300 bis 450	200 bis 300	200 bis 300	150 bis 250
Flachkollektor einfachverglast, selektiv oder zweifach verglast	330 bis 400	450 bis 600	350 bis 500	250 bis 400	250 bis 400	200 bis 350
Vakuurröhren-Kollektor	300 bis 400	450 bis 650	400 bis 600	350 bis 550	300 bis 500	250 bis 450

Abbildung 2.10  
Kennwerte für den solaren Bruttoertrag [kWh/m<sup>2</sup>a]

### 2.3.3 Detaillierte Ertragsermittlung

Für Warmwasseranlagen mit konstantem Verbrauchsprofil genügen in der Regel die obigen Kennwerte. Handelt es sich jedoch um grössere Objekte mit komplexer Nutzungsstruktur, sollte eine detaillierte Ertragsermittlung vorgenommen werden. Dabei wird versucht, die Einflüsse der Verbrauchs-Charakteristik (siehe Kap. 2.4), des Kollektorwirkungsgrades sowie des Anlagentyps (siehe Kap. 3) genauer zu erfassen.

Der Einfluss des Kollektorproduktes auf den Ertrag kann dank der Bruttowärmeertrags-Tabellen weitgehend quantifiziert werden. Benutzerfreundliche Hilfsmittel, die unterschiedliche Anlagensysteme und das Nutzungsprofils berücksichtigen, sind noch nicht erhältlich.

Aufgrund dieser Ausgangslage ist es wenig erstaunlich, dass sich viele Planer von Solaranlagen bei der Wahl der Absorberfläche in Ermangelung weiterer konkreter Werte weitgehend auf die in den Testreihen ermittelten Bruttowärmeerträge der Kollektoren stützen. Sicher ist dieses Vorgehen nicht falsch; es soll aber nicht dazu führen, die Bruttowärmeerträge überzubewerten und dabei die anderen wesentlichen Einflussfaktoren auf den Ertrag aus den Augen zu verlieren.

**4.1 Monatliche BRUTTOWÄRMEERTRÄGE für den Standort KLOTEN**

 Kollektor Parameter : C0 = 0.8000 [-] C1 = 3.800 [W/m<sup>2</sup>K] C2 = 0.0120 [W/m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>]  
 KCH1 = 0.91 [-] KCH2 = 0.91 [-]

Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	%
Global	25.8	45.8	81.3	113.9	155.9	170.3	183.1	137.6	102.0	60.0	28.8	19.0	1123.7	
HK 30°/± 0°:	35.7	62.5	99.9	126.8	161.8	170.8	187.3	149.4	124.2	80.0	41.2	26.2	1265.9	
BWE( 30°C) :	8.5	24.1	48.0	70.9	98.7	109.7	124.4	96.2	76.9	42.0	15.3	4.7	719.5	56.8
BWE( 40°C) :	6.1	19.1	39.9	60.8	86.6	96.7	110.3	84.2	66.7	34.9	11.9	3.1	620.5	49.0
BWE( 50°C) :	4.3	15.0	32.8	51.8	75.3	84.9	97.4	73.2	57.3	28.9	9.1	2.1	532.0	42.0
BWE(100°C) :	0.2	2.1	8.4	18.3	30.2	35.4	41.9	29.2	20.8	7.4	1.0	0.0	195.0	15.4
HK 45°/± 0°:	38.6	66.7	102.1	124.2	153.1	159.1	176.0	144.5	125.8	84.2	44.5	28.3	1247.2	
BWE( 30°C) :	11.1	28.2	50.7	69.2	91.4	99.5	114.2	92.1	78.9	46.3	18.7	6.5	706.6	56.7
BWE( 40°C) :	8.5	23.1	42.7	59.5	79.7	87.0	100.6	80.4	68.8	39.3	15.1	4.7	609.3	48.9
BWE( 50°C) :	6.4	18.7	35.7	50.8	69.0	75.6	88.0	69.8	59.6	33.3	12.1	3.4	522.3	41.9
BWE(100°C) :	0.7	3.9	10.5	18.4	26.8	29.9	36.4	27.7	23.1	10.5	2.3	0.2	190.6	15.3
HK 60°/± 0°:	39.7	67.7	99.4	115.6	137.2	140.2	156.2	132.4	120.9	84.0	45.6	29.0	1168.0	
BWE( 30°C) :	12.4	29.5	49.1	62.3	77.5	82.5	96.2	81.6	74.9	46.8	20.2	7.5	640.4	54.8
BWE( 40°C) :	9.8	24.5	41.4	53.1	66.4	70.5	83.0	70.4	65.2	40.0	16.6	5.6	546.3	46.8
BWE( 50°C) :	7.6	20.1	34.6	45.0	56.7	60.1	71.4	60.4	56.4	34.1	13.6	4.2	464.1	39.7
BWE(100°C) :	1.2	4.7	10.2	15.1	18.8	19.5	25.1	21.6	21.2	11.2	3.1	0.4	152.3	13.0
HK 90°/± 0°:	36.5	60.0	80.0	83.0	89.8	88.3	99.4	91.4	93.1	70.9	41.0	26.7	860.1	
BWE( 30°C) :	11.3	24.2	33.8	35.0	36.2	37.0	45.6	45.1	50.4	36.7	17.7	6.9	380.0	44.2
BWE( 40°C) :	8.9	19.6	27.3	27.4	27.0	26.6	33.9	35.4	41.9	30.7	14.5	5.2	298.3	34.7
BWE( 50°C) :	6.8	15.6	21.6	21.1	19.7	18.5	24.6	27.2	34.3	25.4	11.7	3.9	230.4	26.8
BWE(100°C) :	0.9	2.5	3.3	2.3	0.4	0.0	0.3	2.4	6.8	5.8	2.1	0.4	27.2	3.2
HK 30°/±30°:	35.4	62.6	100.4	127.6	163.0	173.2	190.3	149.6	120.8	75.2	39.9	25.6	1263.6	
BWE( 30°C) :	7.4	22.2	45.6	68.8	97.4	109.0	123.3	94.2	73.7	39.2	13.8	4.0	698.7	55.3
BWE( 40°C) :	5.2	17.4	37.7	58.8	85.2	95.9	109.1	82.2	63.6	32.3	10.5	2.6	600.3	47.5
BWE( 50°C) :	3.6	13.4	30.7	49.9	74.0	83.9	96.0	71.3	54.4	26.5	7.8	1.6	513.3	40.6
BWE(100°C) :	0.1	1.6	7.4	17.3	29.5	34.8	41.1	27.9	19.0	6.1	0.6	0.0	185.4	14.7
HK 45°/±30°:	38.1	67.0	103.0	125.5	155.5	162.9	180.4	145.3	121.2	77.4	42.7	27.4	1246.5	
BWE( 30°C) :	9.6	25.6	47.7	66.8	90.5	99.4	113.8	90.0	74.7	42.5	16.5	5.5	682.7	54.8
BWE( 40°C) :	7.2	20.7	39.9	57.2	78.7	86.7	99.9	78.3	64.7	35.7	13.1	3.8	586.0	47.0
BWE( 50°C) :	5.4	16.6	33.1	48.7	68.0	75.2	87.3	67.8	55.9	30.0	10.3	2.7	501.1	40.2
BWE(100°C) :	0.4	3.1	9.3	17.5	26.6	29.9	36.4	26.7	21.0	8.7	1.6	0.1	181.4	14.6
HK 60°/±30°:	39.0	68.0	100.6	117.6	141.1	145.7	162.4	134.1	115.9	76.0	43.4	28.0	1172.0	
BWE( 30°C) :	10.7	26.5	45.8	60.2	77.8	84.0	97.6	80.3	70.4	42.3	17.6	6.3	619.5	52.9
BWE( 40°C) :	8.3	21.7	38.4	51.1	66.6	71.7	84.1	68.9	60.8	35.7	14.2	4.6	526.2	44.9
BWE( 50°C) :	6.3	17.6	31.9	43.2	56.7	61.0	72.3	59.1	52.3	30.2	11.4	3.3	445.4	38.0
BWE(100°C) :	0.8	3.8	9.1	14.6	19.6	20.7	26.3	21.2	19.2	9.2	2.2	0.3	147.0	12.5
HK 30°/±45°:	34.0	60.6	98.2	126.0	162.6	173.6	190.8	148.2	116.5	71.0	37.9	24.5	1243.9	
BWE( 30°C) :	6.3	20.0	42.8	66.3	95.6	107.9	121.8	91.7	69.9	36.0	12.0	3.2	673.4	54.1
BWE( 40°C) :	4.2	15.3	35.0	56.4	83.4	94.6	107.4	79.7	59.9	29.2	8.9	2.0	575.9	46.3
BWE( 50°C) :	2.8	11.5	28.2	47.6	72.2	82.6	94.3	68.8	50.9	23.7	6.4	1.2	490.3	39.4
BWE(100°C) :	0.0	1.0	6.2	15.9	28.5	33.9	40.1	26.4	16.7	4.7	0.3	0.0	173.9	14.0
HK 45°/±45°:	36.1	64.2	100.2	123.8	155.5	164.1	181.8	143.8	116.1	71.7	39.9	25.8	1223.1	
BWE( 30°C) :	8.0	22.6	44.0	63.9	88.9	98.8	112.8	87.3	70.0	38.1	14.0	4.4	652.9	53.4
BWE( 40°C) :	5.8	18.0	36.5	54.4	77.1	85.9	98.7	75.6	60.1	31.6	10.9	2.9	557.4	45.6
BWE( 50°C) :	4.1	14.1	30.0	46.1	66.6	74.5	86.2	65.2	51.4	26.1	8.3	2.0	474.7	38.8
BWE(100°C) :	0.2	2.2	7.9	16.1	26.0	29.5	35.8	25.2	18.3	6.6	1.0	0.0	168.9	13.8
HK 60°/±45°:	36.7	64.7	97.6	116.1	142.1	148.4	165.6	133.4	110.0	69.2	40.0	26.0	1149.8	
BWE( 30°C) :	8.7	23.0	41.8	57.5	77.3	84.8	98.1	78.2	65.3	37.2	14.6	4.9	591.5	51.4
BWE( 40°C) :	6.5	18.5	34.8	48.5	65.9	72.1	84.2	66.7	55.8	31.0	11.6	3.5	499.1	43.4
BWE( 50°C) :	4.8	14.8	28.8	41.0	56.2	61.4	72.3	56.9	47.7	25.8	9.1	2.4	421.0	36.6
BWE(100°C) :	0.4	2.7	7.8	13.8	20.1	21.7	27.4	20.7	16.6	7.0	1.5	0.1	139.7	12.2

Legende : Global = Globale Strahlungssumme auf Horizontalfläche [kWh/m<sup>2</sup>]  
 HK = Globale Strahlungssumme auf Kollektorfläche, Neigung/Azimut [kWh/m<sup>2</sup>]  
 BWE(Tm°C) = Ertrag bei fester mittlerer Kollektortemperatur Tm [kWh/m<sup>2</sup> Absorberfläche!]  
 % = mittlerer Jahreswirkungsgrad in [%]  
 BWE91.02/0/

Abbildung 2.12a  
 Typische spezifische Bruttowärmeerträge eines durchschnittlichen Flachkollektors mit selektiver Beschichtung [kWh/m<sup>2</sup>]

#### 4.2 Monatliche BRUTTOWÄRMEERTRÄGE für den Standort DAVOS

Kollektor Parameter : C0 = 0.8000 [-] C1 = 3.800 [W/m<sup>2</sup>K] C2 = 0.0120 [W/m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>]  
 KCH1 = 0.91 [-] KCH2 = 0.91 [-]

Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	%
Global	47.3	69.2	115.6	149.8	169.4	166.1	170.2	141.3	117.5	88.1	48.6	39.8	1322.8	
HK 30°/± 0°:	80.2	101.4	147.2	167.8	174.4	165.0	173.3	154.4	147.8	131.6	78.3	72.6	1593.9	
BWE( 30°C) :	32.6	47.0	76.2	92.9	99.9	97.8	107.0	93.9	90.9	78.9	36.4	28.4	881.9	55.3
BWE( 40°C) :	26.8	39.5	66.1	81.2	87.3	85.4	94.4	82.7	80.4	69.8	30.5	23.0	767.1	48.1
BWE( 50°C) :	21.5	32.9	56.7	70.1	75.6	74.1	82.8	72.4	70.6	61.1	25.2	18.2	661.1	41.5
BWE(100°C) :	2.8	8.4	20.6	26.4	29.6	29.2	35.2	30.1	29.9	22.9	5.5	1.3	242.0	15.2
HK 45°/± 0°:	91.2	110.9	153.8	166.2	164.5	152.7	162.1	149.4	151.1	142.8	87.7	84.0	1616.4	
BWE( 30°C) :	42.4	55.5	82.2	91.7	91.9	87.5	97.2	89.8	94.2	89.4	45.2	38.6	905.6	56.0
BWE( 40°C) :	36.2	47.8	72.1	80.2	79.9	75.8	85.2	79.0	83.8	80.3	38.9	32.8	792.0	49.0
BWE( 50°C) :	30.6	40.8	62.8	69.4	68.6	65.0	74.1	68.9	74.1	71.5	33.4	27.4	686.6	42.5
BWE(100°C) :	8.1	13.9	25.6	26.9	25.9	23.8	29.9	28.4	33.3	31.5	11.0	6.3	264.5	16.4
HK 60°/± 0°:	97.5	115.1	153.4	157.4	147.5	134.0	143.2	136.8	146.1	145.7	92.4	91.0	1559.9	
BWE( 30°C) :	47.9	59.1	81.9	84.0	77.2	71.0	80.3	78.9	89.9	92.3	49.6	44.6	856.8	54.9
BWE( 40°C) :	41.6	51.4	72.0	72.8	65.8	60.0	69.0	68.5	79.7	83.3	43.3	38.7	746.1	47.8
BWE( 50°C) :	35.8	44.3	62.9	62.6	55.4	50.3	59.0	59.2	70.5	74.5	37.6	33.1	645.2	41.4
BWE(100°C) :	11.7	16.5	26.1	22.8	18.0	14.9	20.0	22.0	30.9	34.1	14.2	10.1	241.3	15.5
HK 90°/± 0°:	94.6	106.4	132.6	121.2	97.6	84.1	90.2	93.3	112.6	126.7	86.9	89.9	1236.2	
BWE( 30°C) :	45.6	51.2	62.5	51.3	34.4	28.7	34.2	40.7	59.5	75.2	45.6	44.0	572.9	46.3
BWE( 40°C) :	39.5	43.9	53.5	41.7	25.3	19.9	24.9	32.1	50.8	66.6	39.6	38.1	476.0	38.5
BWE( 50°C) :	33.9	37.3	45.3	33.1	18.0	13.2	17.7	24.8	42.8	58.3	34.1	32.6	391.1	31.6
BWE(100°C) :	10.3	11.7	13.9	5.5	0.4	0.0	0.1	2.3	11.3	21.0	11.7	9.6	97.7	7.9
HK 30°/±30°:	78.0	100.9	148.5	171.3	179.1	170.6	180.3	158.8	147.7	125.6	73.7	69.0	1603.5	
BWE( 30°C) :	28.7	43.0	72.0	90.1	98.8	97.4	106.2	91.8	86.6	72.7	32.6	24.5	844.3	52.7
BWE( 40°C) :	23.1	35.8	62.1	78.6	86.1	85.1	93.7	80.7	76.4	63.9	26.8	19.5	731.7	45.6
BWE( 50°C) :	18.3	29.3	53.0	67.7	74.4	73.7	82.1	70.5	66.8	55.7	21.7	14.9	628.1	39.2
BWE(100°C) :	1.7	6.7	18.5	25.2	29.1	29.0	34.9	29.0	27.7	19.6	4.0	0.5	225.8	14.1
HK 45°/±30°:	88.2	110.2	155.6	171.0	171.5	161.0	172.1	155.6	151.0	134.4	81.2	78.9	1630.6	
BWE( 30°C) :	36.7	49.9	76.5	88.5	91.3	88.0	97.3	87.7	88.6	80.7	39.8	33.0	857.9	52.6
BWE( 40°C) :	30.9	42.6	66.7	77.2	79.2	76.2	85.4	77.0	78.5	72.0	33.8	27.5	747.0	45.8
BWE( 50°C) :	25.7	35.9	57.7	66.8	68.1	65.5	74.4	67.2	69.3	63.8	28.5	22.6	645.5	39.6
BWE(100°C) :	5.6	11.3	22.9	25.8	26.2	24.7	30.7	28.0	30.8	26.6	8.2	3.9	244.6	15.0
HK 60°/±30°:	93.8	114.2	155.8	163.7	156.6	144.4	155.8	144.8	146.3	135.5	84.4	84.7	1580.2	
BWE( 30°C) :	41.0	52.4	75.3	81.1	78.0	73.3	82.4	77.7	83.7	81.7	43.0	37.8	807.3	51.1
BWE( 40°C) :	35.0	45.1	65.8	70.3	66.6	62.2	71.0	67.5	74.2	73.3	37.0	32.2	700.2	44.3
BWE( 50°C) :	29.7	38.5	57.1	60.3	56.3	52.4	60.9	58.4	65.3	65.3	31.7	27.1	603.0	38.2
BWE(100°C) :	8.3	13.4	23.4	22.4	19.4	16.9	22.0	22.5	28.7	28.5	10.7	6.7	222.8	14.1
HK 30°/±45°:	73.5	96.9	145.0	169.9	179.9	172.6	182.5	158.6	143.6	118.1	68.4	63.8	1572.7	
BWE( 30°C) :	24.2	38.3	67.0	86.8	97.1	96.5	104.9	89.2	81.6	65.7	28.2	20.2	799.7	50.8
BWE( 40°C) :	19.0	31.5	57.4	75.4	84.5	84.2	92.4	78.2	71.4	57.3	22.7	15.5	689.5	43.8
BWE( 50°C) :	14.5	25.3	48.6	64.7	72.9	73.0	81.0	68.1	62.2	49.3	18.0	11.3	589.0	37.5
BWE(100°C) :	0.8	5.0	16.0	23.5	28.3	28.7	34.3	27.8	24.8	15.7	2.4	0.1	207.3	13.2
HK 45°/±45°:	81.7	104.7	151.0	169.7	173.4	164.3	175.7	155.8	145.8	123.7	73.7	71.6	1591.3	
BWE( 30°C) :	30.5	43.6	70.0	84.6	89.9	87.8	96.7	84.9	82.2	71.3	33.5	26.7	801.7	50.4
BWE( 40°C) :	25.0	36.7	60.6	73.6	77.9	76.0	84.7	74.4	72.5	63.0	27.9	21.7	694.1	43.6
BWE( 50°C) :	20.2	30.5	52.1	63.3	67.1	65.5	74.1	64.9	63.6	55.2	23.1	17.3	596.9	37.5
BWE(100°C) :	3.2	8.5	19.8	24.2	26.1	25.2	31.0	27.0	27.3	21.3	5.5	1.8	220.8	13.9
HK 60°/±45°:	85.9	107.4	150.4	162.7	159.9	149.4	161.3	145.7	140.5	123.1	75.5	75.8	1537.7	
BWE( 30°C) :	33.4	45.0	68.0	77.5	77.8	74.7	83.3	75.5	76.9	70.7	35.5	30.2	748.7	48.7
BWE( 40°C) :	28.0	38.2	59.0	66.8	66.3	63.3	71.7	65.5	67.7	62.7	30.1	25.2	644.6	41.9
BWE( 50°C) :	23.1	32.1	51.0	57.2	56.4	53.7	62.0	56.8	59.4	55.3	25.3	20.6	552.8	36.0
BWE(100°C) :	5.1	10.0	20.2	21.5	20.4	18.7	23.8	22.6	25.5	22.6	7.3	3.6	201.3	13.1

Legende : Global = Globale Strahlungssumme auf Horizontalfläche [kWh/m<sup>2</sup>]  
 HK = Globale Strahlungssumme auf Kollektorfläche, Neigung/Azimut [kWh/m<sup>2</sup>]  
 BWE(Tm°C) = Ertrag bei fester mittlerer Kollektortemperatur Tm [kWh/m<sup>2</sup> Absorberfläche!]  
 % = mittlerer Jahreswirkungsgrad in [%]

BWE91.02/0/

Abbildung 2.12b  
 Typische spezifische Bruttowärmeerträge eines durchschnittlichen Flachkollektors mit selektiver Beschichtung [kWh/m<sup>2</sup>]

**4.3 Monatliche BRUTTOWÄRMEERTRÄGE für den Standort LOCARNO**

 Kollektor Parameter :  $C_0 = 0.8000 [-]$   $C_1 = 3.800 [W/m^2K]$   $C_2 = 0.0120 [W/m^2K^2]$   
 $K_{CH1} = 0.91 [-]$   $K_{CH2} = 0.91 [-]$ 

Monat	:	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	%
Global	:	49.9	65.5	112.7	143.5	172.1	182.0	199.1	163.7	117.5	86.3	43.3	42.6	1378.2	
HK 30°/± 0°	:	87.7	97.2	145.7	161.4	178.1	181.5	203.3	179.5	145.3	125.4	70.9	78.5	1654.5	
BWE( 30°C)	:	43.5	51.6	86.1	100.4	114.9	121.0	141.0	122.8	96.6	78.3	37.5	38.5	1032.2	62.4
BWE( 40°C)	:	36.6	44.5	76.2	89.5	102.6	107.8	126.9	110.0	86.3	69.1	31.7	32.1	913.3	55.2
BWE( 50°C)	:	30.1	37.6	67.0	79.3	91.1	95.7	113.6	98.1	76.4	60.5	26.4	26.2	802.0	48.5
BWE(100°C)	:	5.0	10.7	27.4	35.2	41.8	43.8	53.9	45.3	33.4	22.7	6.3	3.2	328.6	19.9
HK 45°/± 0°	:	100.1	106.1	150.9	158.1	167.8	168.3	190.3	173.8	147.7	135.0	79.3	90.5	1667.8	
BWE( 30°C)	:	55.0	59.6	91.1	97.8	106.0	109.0	129.0	117.7	99.0	87.3	45.5	49.7	1046.6	62.8
BWE( 40°C)	:	47.7	52.4	81.3	87.3	94.1	96.3	115.2	105.1	88.9	78.0	39.6	42.9	928.9	55.7
BWE( 50°C)	:	40.8	45.5	72.1	77.3	83.1	84.7	102.4	93.5	79.1	69.3	34.1	36.6	818.3	49.1
BWE(100°C)	:	11.4	16.1	31.8	34.5	36.6	36.4	46.2	42.6	36.1	29.7	11.5	9.4	342.4	20.5
HK 60°/± 0°	:	106.8	109.2	147.8	146.7	149.5	147.1	167.8	158.9	142.1	136.8	83.1	97.3	1593.2	
BWE( 30°C)	:	61.1	62.6	88.8	87.9	89.5	89.8	108.2	104.2	94.2	89.2	49.4	56.0	980.9	61.6
BWE( 40°C)	:	53.8	55.4	79.1	77.8	78.2	77.5	94.8	92.1	84.3	79.9	43.5	49.1	865.4	54.3
BWE( 50°C)	:	46.7	48.4	70.1	68.3	67.9	66.8	82.8	81.0	74.7	71.2	37.9	42.5	758.2	47.6
BWE(100°C)	:	15.3	18.3	30.6	28.2	25.9	23.9	31.8	33.6	33.0	31.3	14.3	13.6	299.8	18.8
HK 90°/± 0°	:	102.0	97.8	118.5	103.4	95.7	90.6	104.2	107.9	108.7	117.3	76.7	93.8	1216.7	
BWE( 30°C)	:	57.3	52.8	62.7	49.4	41.8	39.9	50.9	57.5	63.7	71.7	44.6	53.5	645.8	53.1
BWE( 40°C)	:	50.1	45.9	54.0	40.6	31.9	28.8	38.5	46.6	54.5	63.0	38.9	46.7	539.5	44.3
BWE( 50°C)	:	43.0	39.2	45.9	32.7	23.9	20.4	28.5	37.0	46.1	54.8	33.5	40.2	445.2	36.6
BWE(100°C)	:	12.4	11.5	12.8	4.9	0.6	0.0	0.3	4.4	11.9	18.4	10.9	11.7	100.0	8.2
HK 30°/±30°	:	85.6	98.2	147.9	163.9	180.3	184.9	207.4	182.5	144.5	120.6	67.2	74.5	1657.4	
BWE( 30°C)	:	39.0	47.9	82.1	97.9	113.5	120.3	139.8	120.4	92.7	73.2	33.9	34.0	994.6	60.0
BWE( 40°C)	:	32.4	40.9	72.6	87.0	101.2	107.0	125.5	107.6	82.4	64.1	28.4	27.8	876.8	52.9
BWE( 50°C)	:	26.2	34.4	63.5	76.8	89.8	94.9	112.3	95.6	72.8	55.6	23.4	22.1	767.5	46.3
BWE(100°C)	:	3.3	8.7	24.9	33.6	40.9	43.3	53.0	43.6	31.0	19.6	4.6	1.8	308.4	18.6
HK 45°/±30°	:	97.1	107.5	154.3	162.0	171.7	173.4	196.5	178.5	146.8	128.3	74.0	84.7	1674.7	
BWE( 30°C)	:	48.5	54.7	86.1	95.2	105.1	109.4	128.6	115.3	94.2	80.2	40.4	43.3	1000.9	59.8
BWE( 40°C)	:	41.7	47.7	76.7	84.6	93.2	96.4	114.6	102.6	84.0	71.2	34.8	36.8	884.4	52.8
BWE( 50°C)	:	35.2	41.1	67.9	74.8	82.2	84.8	101.8	91.0	74.6	62.7	29.7	30.7	776.6	46.4
BWE(100°C)	:	8.4	13.4	29.0	33.2	36.5	37.0	46.4	41.5	33.4	25.7	8.9	6.4	319.8	19.1
HK 60°/±30°	:	103.2	111.0	152.3	152.2	155.4	154.5	176.4	165.6	141.6	128.9	76.7	90.2	1608.0	
BWE( 30°C)	:	53.2	56.8	83.5	86.1	90.3	92.1	110.0	103.0	89.1	80.7	43.1	48.1	936.0	58.2
BWE( 40°C)	:	46.4	49.9	74.4	76.0	78.8	79.5	96.2	90.6	79.1	71.8	37.6	41.6	822.0	51.1
BWE( 50°C)	:	39.8	43.3	65.7	66.6	68.6	68.7	84.2	79.6	70.1	63.6	32.5	35.4	718.1	44.7
BWE(100°C)	:	11.7	15.4	27.9	27.7	27.1	25.8	33.5	33.5	30.6	27.0	11.1	9.6	280.8	17.5
HK 30°/±45°	:	80.5	94.8	144.8	162.5	180.2	185.8	208.3	181.8	140.6	114.4	62.5	68.7	1624.8	
BWE( 30°C)	:	33.8	43.5	77.4	94.7	111.6	119.3	138.1	117.3	88.2	67.1	29.8	28.8	949.6	58.4
BWE( 40°C)	:	27.6	36.7	67.9	84.0	99.2	105.9	123.6	104.4	77.9	58.3	24.5	23.0	833.0	51.3
BWE( 50°C)	:	21.7	30.5	59.1	73.9	87.9	93.8	110.4	92.6	68.5	50.2	19.7	17.7	726.1	44.7
BWE(100°C)	:	1.7	6.6	21.9	31.6	39.6	42.5	51.7	41.6	28.0	16.1	2.9	0.6	284.9	17.5
HK 45°/±45°	:	89.9	102.8	150.5	160.8	172.3	175.4	198.5	178.0	142.2	119.7	67.4	76.6	1634.3	
BWE( 30°C)	:	41.2	48.8	80.2	91.7	103.5	109.1	127.6	112.0	88.6	72.2	34.7	36.0	945.6	57.9
BWE( 40°C)	:	34.9	42.2	71.0	81.3	91.4	95.9	113.3	99.3	78.5	63.5	29.4	29.9	830.6	50.8
BWE( 50°C)	:	28.9	36.0	62.4	71.7	80.8	84.3	100.5	88.0	69.3	55.5	24.6	24.4	726.5	44.5
BWE(100°C)	:	5.3	10.6	25.5	31.2	35.8	37.0	45.8	39.6	29.9	21.1	6.1	3.5	291.6	17.8
HK 60°/±45°	:	94.4	105.4	148.4	151.5	157.2	158.2	180.3	166.1	136.4	118.8	68.8	80.3	1565.9	
BWE( 30°C)	:	44.5	49.9	77.0	83.1	90.1	93.6	110.8	100.6	83.2	71.5	36.3	39.3	879.9	56.2
BWE( 40°C)	:	38.2	43.5	68.3	73.0	78.2	80.6	96.6	88.0	73.3	63.1	31.1	33.3	767.4	49.0
BWE( 50°C)	:	32.2	37.5	60.3	64.1	68.1	69.6	84.3	77.2	64.6	55.3	26.5	27.7	667.3	42.6
BWE(100°C)	:	7.7	12.3	25.0	26.8	27.8	27.5	35.0	33.0	27.5	21.9	7.7	5.7	257.9	16.5

Legende : Global = Globale Strahlungssumme auf Horizontalfläche [kWh/m<sup>2</sup>]  
 HK = Globale Strahlungssumme auf Kollektorfläche, Neigung/Azimut [kWh/m<sup>2</sup>]  
 BWE(Tm°C) = Ertrag bei fester mittlerer Kollektortemperatur Tm [kWh/m<sup>2</sup> Absorberfläche!]  
 % = mittlerer Jahreswirkungsgra

Abbildung 2.12c  
 Typische spezifische Bruttowärmeerträge eines durchschnittlichen Flachkollektors mit selektiver Beschichtung [kWh/m<sup>2</sup>]

Zur Bestimmung des Kollektorertrages wird mit den monatlichen Bruttowärmeerträgen gearbeitet. Es wird so vorgegangen, dass für jeden Monat eine mittlere Kollektortemperatur über die effektive Betriebsdauer angenommen wird. In den Bruttowärmeertrags-Tabellen sind die Werte für mittlere Kollektortemperaturen von 30 °C, 40 °C, 50 °C und 100 °C aufgeführt. Dazwischen liegende Betriebstemperaturen erfordern eine Interpolation der Bruttowärmeerträge. Die nachfolgende Tabelle vermittelt typische Werte für Kollektor-Betriebstemperaturen. Höhere solare Deckungsgrade ergeben immer auch höhere durchschnittliche Betriebstemperaturen.

Nutzung	solarer Deckungsgrad	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Warmwasser-Bereitung in Objekten mit konstantem Tagesverbrauchs-Profil (Wohnbauten, Heimen und Spitälern)	unter 35%	20	30	30	30-40	40	50	50	50	40	30	30	20
	35 – 50%	30	30	40	40	50	50-60	50-60	50-60	40-50	40	30	30
	50 – 60%	30	40	40	40-50	50-60	60-70	60-80	60-80	40-50	50	30-40	30
WW-Bereitung und Heizungsunterstützung in Wohnbauten (System nach Abbildung 3.05)	unter 30%	30-40	30-40	30-40	40-50	50-60	60-70	60-80	60-70	40-50	40	30-40	30-40
	30 – 50%	30-40	40	40	50	60-70	70-80	70-90	70-90	50	40	30-40	30-40
WW-Bereitung in Objekten mit unregelmässigem Wochenverbrauchsprofil (Schulen, Dienstleistungs- und Gewerbebauten)	unter 35%	20	30	40	40	50	60	60	60	50	40	30	20
	35 – 50%	30	40	50	50	60	60	70	70	50	40	30	30

Abbildung 2.13  
Mittlere monatliche Kollektor-Betriebstemperatur [°C]

Werte aus Simulationen und Beobachtungen

### 2.3.4 Berücksichtigung der Kollektororientierung und der Kollektorneigung

Die Jahreszeiten werden durch den wechselnden Sonnenstand bestimmt. Der Sonnenstand und die Sonnenscheindauer beeinflussen aber nicht nur das Klima, sondern auch den Ertrag einer Solaranlage.

Mit zunehmender Strahlungsdauer im Frühjahr steigt der Kollektorertrag. Im Frühsommer erreicht die Sonneneinstrahlung höchste Werte von über 7 kWh/m<sup>2</sup>d. Die Kollektoranlage vermag die Einstrahlung allerdings nicht verlustfrei umzusetzen. Ein technisch nutzbares Maximum von ca. 70% der Einstrahlung liesse sich als Wärmegegewinn mit einer der Sonne nachgeführten Kollektoranlage bei tiefen Kollektortemperaturen erzielen.

Nachgeführte Systeme haben sich aus Kosten- und Platzgründen nicht durchgesetzt. Der Mehrertrag rechtfertigt die hohen Mehrkosten nicht.

Die Kollektoranlage wird darum in der Regel entsprechend den örtlichen Gegebenheiten fix montiert. Dabei kann die Orientierung und Neigung ausser bei Flachdächern selten frei gewählt werden. Die optimale Ausrichtung ist nach Süden mit einem Kollektorneigungswinkel je nach Anwendung von 30° bis 60°.

Solaranlagen, welche hauptsächlich zur Raumheizung genutzt werden, erzielen die maximalen Energiegewinne bei Südorientierungen mit einem Kollektorneigungswinkel von 45° bis 60°.

Falls die Kollektoren frei aufgestellt werden können, kann die Kollektorneigung dem Jahresverbrauchsprofil angepasst werden. Mit einer steilen Kollektorneigung von über 60° kann auch die Kollektorleistung in den Sommermonaten bewusst begrenzt werden.

Meist muss bei der Kollektoraufstellung auf die bestehende Gebäudesituation Rücksicht genommen werden. Die Kollektorausrichtung kann daher unter Umständen stark vom Optimum abweichen. So können steile Kollektorneigungswinkel von über 45° selten realisiert werden. Gründe dafür sind die in der Schweiz im Gegensatz zu einigen Nachbarländern üblichen Dachneigungswinkel von ca. 30°. Auf Flachdächern werden steil geneigte Kollektorfelder unter Umständen als unästhetisch empfunden.

Der Anlagenplaner muss trotz diesen Einschränkungen das Sonnenenergiepotential abschätzen können.

Die Bruttowärmeertragstabellen der Publikation «Leistungsdaten thermischer Sonnenkollektoren» decken einen grossen Teil der von Süden abweichenden Orientierungen ab. Eine Simulation mit kollektorspezifischen Daten für andere Ausrichtungen kann mit einer geeigneten Software (z.B. Polysun) erfolgen.

Abbildung 2.14 bis Abbildung 2.16 sollen die Zusammenhänge zwischen Kollektorausrichtung und resultierendem Bruttowärmeertrag verdeutlichen.

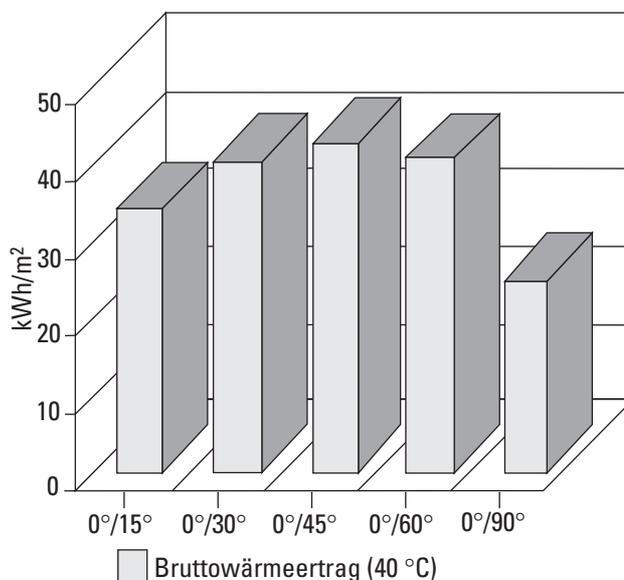


Abbildung 2.14

Einfluss der Kollektorneigung auf den Kollektorertrag im Monat März (Südorientierung).

Die Schreibweise «0°/15°» bedeutet: Abweichung von der Südorientierung 0°, Neigung 15°.

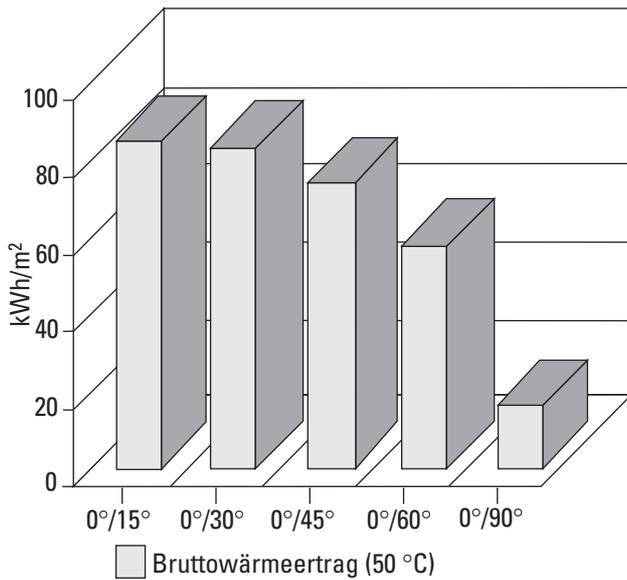


Abbildung 2.15 Einfluss der Kollektorneigung auf den Kollektorertrag im Monat Juni (Südorientierung)

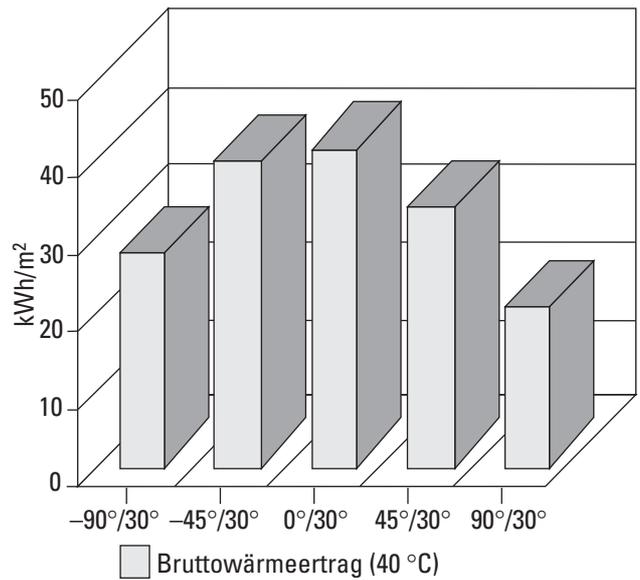


Abbildung 2.16 Einfluss der Kollektororientierung auf den Kollektorertrag im Monat März (30° Neigungswinkel)

Anlagentyp	max. Südabweichung	Neigungswinkel
Ganzjahresnutzung WW mit Deckungsgrad unter 50%	+/- 90°	0 (15*) bis 60°
Ganzjahresnutzung WW mit Deckungsgrad über 50%	+/- 60°	15 bis 60°
Schwerpunkt Winternutzung	+/- 45°	30 bis 90°
Schwerpunkt Sommernutzung	+/- 90°	0 (15*) bis 45°

Abbildung 2.17 Empfohlener Bereich für die Kollektor-Positionierung

\* Neigungswinkel unter 15° sind für Flachkollektoren kritisch, da die minimale Belüftung des Kollektorinnenraumes nicht mehr gewährleistet ist.

## 2.4 Berücksichtigung der Nutzungs-Charakteristik

**Je höher der Jahresnutzungsgrad sein soll, desto wichtiger sind eine optimale Kollektororientierung und Kollektor-neigung.**

Die Nutzungs-Charakteristik hat einen erheblichen Einfluss auf den Ertrag der Kollektoranlage. Je gleichmässiger das Nutzungsprofil ist, desto höher wird der Jahresertrag. Anlagen, welche Betriebsunterbrüche aufweisen (Wochenenden, Ferien, usw.), erzielen geringere solare Wärmege-winne.

Das Nutzungsprofil soll bei der Dimensionierung der Kollektoranlage und bei der Speicherdimen-sionierung berücksichtigt werden. Die folgenden Kapitel 2.4.1 bis 2.4.4 vermitteln dazu Kennwerte und Anhaltspunkte.

### 2.4.1 Nutzung mit geringen saisonalen Verbrauchsschwankungen

Geringe saisonale Verbrauchs-Schwankungen findet man typischerweise bei der Warmwasserbe-reitung in grösseren Wohnbauten. Bei einem aus-geglichenen Wärmebedarf sowohl bezüglich der wöchentlichen wie der jährlichen Verteilung (siehe auch Beispiele in Kap. 1.2) ergeben sich für WW-Anlagen folgende Richtwerte:

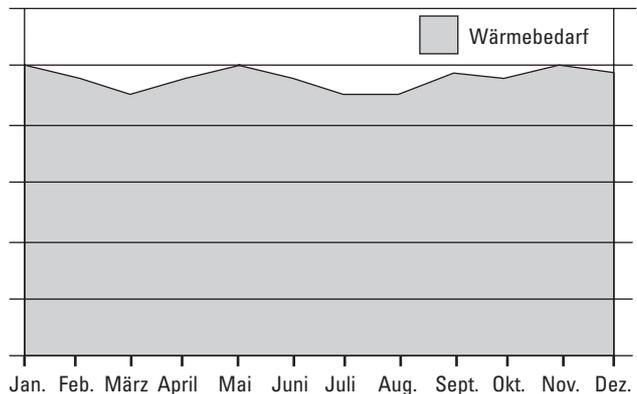


Abbildung 2.19  
Verbrauchs-Charakteristik bei Nutzung mit geringen saisonalen Schwankungen

Dimensionierungsziel	spezifische Absorberfläche [m <sup>2</sup> /VE]
hoher spezifischer Ertrag (Deckungsgrad ca. 30%)	1.0 bis 1.4
Deckungsgrad 45 bis 50%	2.0 bis 2.5
hoher Deckungsgrad (ca. 70%)	4.0 bis 5.0

Abbildung 2.20  
Spezifische Absorberfläche für Anlagen mit geringen saisonalen Verbrauchsschwankungen\*

\* gültig für Anlagen zur WW-Bereitung; mit gleichmässigem Verbrauchsprofil Orientierung: Süd, Neigung: 45°

### 2.4.2 Nutzungs-Schwerpunkt Heizperiode

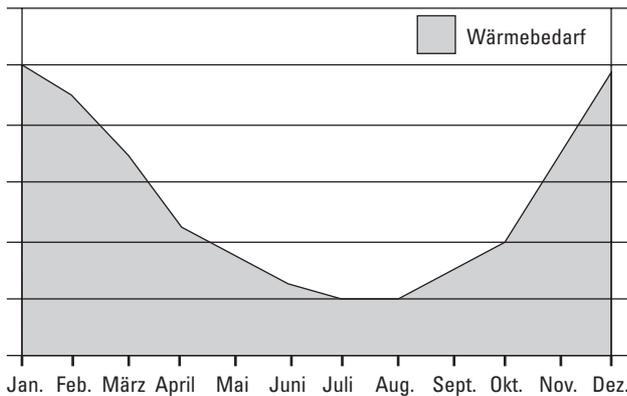


Abbildung 2.20  
Verbrauchs-Charakteristik bei Nutzungsschwerpunkt während der Heizperiode

Die Verbrauchs-Charakteristik verläuft gegenläufig zur Einstrahlung. Eine solche Anlage sollte vor allem dazu ausgelegt werden, in den Übergangsmonaten März und April sowie September und Oktober einen grösseren Anteil der Wärmeversorgung zu übernehmen. Die solare Einstrahlung ausserhalb der Heizperiode und somit der Hauptnutzungszeit bleibt anteilmässig gross. Zur besseren Wirtschaftlichkeit einer Anlage sollen mögliche sommerliche Wärmebezüge an die Kollektoranlage angeschlossen werden.

Tiefe Systemtemperaturen erhöhen bei dieser Verbrauchs-Charakteristik den solaren Ertrag am deutlichsten.

Der Energieverbrauch bei Heizungsanlagen und das Sonnenenergieangebot schwanken täglich sehr stark. Aufgrund dieser Tatsache soll das spezifische Gesamtspeichervolumen  $100 \text{ l/m}^2$  nicht unterschreiten.

Um die Speicherkapazität und die Betriebssicherheit zu erhöhen, sind die Speicher für Betriebstemperaturen von bis zu  $95 \text{ }^\circ\text{C}$  auszulegen.

Interessant für Anlagen mit hauptsächlich Winternutzung sind Kollektorneigungswinkel von über  $45^\circ$ . Bei dieser Kollektorneigung sind die winterlichen Erträge hoch; umgekehrt wird die Kollektorleistung im Sommer durch den steilen Einstrahlwinkel begrenzt (siehe auch Exkurs 5.15). Der spezifische solare Bruttoertrag wird sich je

nach Kollektortyp und Standort der Anlage zwischen  $200$  und  $400 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  bewegen.

Da im Sommer mehr Energie zur Verfügung steht, als verbraucht wird, ist ein Konzept zum Schutz vor Überhitzung zwingend nötig.

Der sommerliche Überschuss vergrössert sich proportional zur spezifischen Kollektorfläche [ $\text{m}^2/\text{MWh}$ ] und zur Leistungsfähigkeit der Kollektoren.

### 2.4.3 Nutzungsschwerpunkt Sommerhalbjahr

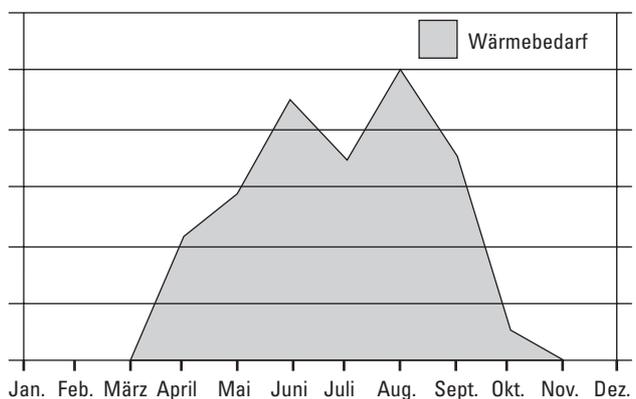


Abbildung 2.21  
Verbrauchs-Charakteristik bei Nutzungsschwerpunkt Sommerhalbjahr

Der Wärmebedarf deckt sich annähernd mit dem Angebot an Sonnenenergie. Typische Objekte mit Nutzungsschwerpunkt im Sommer sind Freibäder oder Sporteinrichtungen im Freien.

Bereits bei kleinen spezifischen Absorberflächen von ca.  $1,5 \text{ m}^2/\text{VE}$  ergeben sich solare Deckungsgrade von über  $50\%$ . Der solare Deckungsgrad kann bei dieser Verbrauchs-Charakteristik deshalb tendentiell höher gewählt werden. Die Speichergrössen sollen entsprechend der Abbildung 2.27 gewählt werden.

Sind Temperaturschwankungen auf der Verbraucherseite zulässig, kann eine derartige Anlage unter Umständen monovalent, d.h. ohne zusätzliche Energiequelle konzipiert werden. Die Dimensionierung der Anlage kann über die Monatswerte des Verbrauchs und des solaren Bruttoertrages erfolgen. Monovalente Anlagen bedingen einen Zuschlag auf die nach dem durchschnittlichen

Verbrauch berechnete Absorberfläche, da sich die Einstrahlung nicht gleichmässig über die Nutzungsperiode verteilt. Je nach Anforderungen an den Komfort muss die Kollektorfläche bis zu 100% grösser gewählt werden.

#### 2.4.4 Nutzung mit wöchentlichen Verbrauchsschwankungen

Bei den meisten Objekten, in denen Sonnenenergie genutzt werden soll, treten Verbrauchsschwankungen im Wochenprofil auf. In grösseren Wohnbauten sind diese in der Regel nicht von Bedeutung. In Gewerbe- und Industriebauten, Schulhäusern und anderen teilweise genutzten Objekten kann der Tagesbedarf jedoch stark schwanken.

Diesem Umstand muss bei der Wahl der Kollektorfläche und der spezifischen Speicherkapazität Rechnung getragen werden. Eine Auslegung der Kollektoranlage gemessen an Tagen des Spitzenverbrauchs würde zu einem Wärmeüberangebot an bestimmten Tagen führen (siehe auch Kap. 1.4). Die Kollektoranlage soll deshalb nicht für den durchschnittlichen Energiebedarf an Tagen mit normaler Nutzung, sondern auf den durchschnittlichen Wärmebedarf im Wochenmittel ausgelegt werden. Die Schwankungen zwischen Angebot und Nachfrage sollen über den Speicher ausgeglichen werden. Richtwerte für das spezifische Speichervolumen von Solaranlagen bei Objekten mit Verbrauchsschwankungen finden sich in Abbildung 2.27.

Ferienbedingte Minderverbräuche können nicht durch eine Reduktion der Kollektorfläche bei gleichzeitiger Vergrösserung der Speicherkapazität kompensiert werden. Eine Wärmespeicherung über mehrere Wochen ist technisch zwar machbar, verteuert die Sonnenenergie aber deutlich. Einer ferienbedingte Systemüberhitzung wird durch ein geeignetes Konzept zum Schutz vor Überhitzung entgegengewirkt. (Siehe Kap. 2.9)

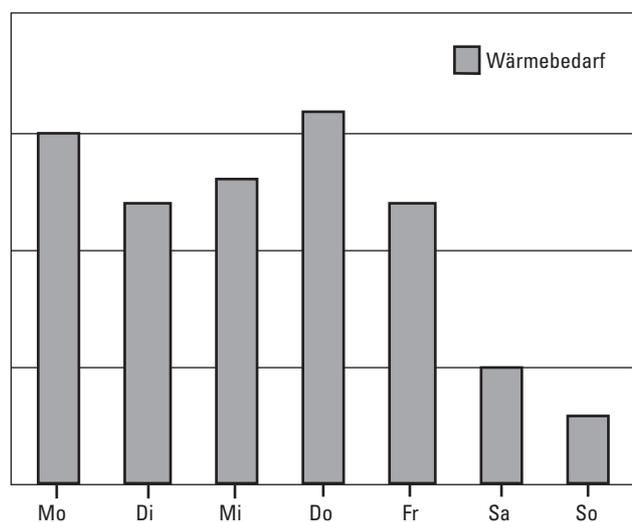


Abbildung 2.22  
Verbrauchs-Charakteristik bei Nutzung mit wöchentlichen Schwankungen

## 2.5 Dimensionierung der Absorberfläche

Die präzise Dimensionierung der Absorberfläche ist eine anspruchsvolle Aufgabe. In der PACER-Publikation «Solare Warmwassererzeugung» wird zwar auf die Dimensionierung von Standard-Solaranlagen eingegangen, für die Dimensionierung von Anlagen mit grossen Verbrauchsschwankungen besteht aber eine grosse Unsicherheit, da entsprechende Publikationen oder einfache Software bis jetzt fehlen. In der Praxis führte dies zu teilweise stark überdimensionierten und entsprechend teuren Anlagen.

Die nachfolgend beschriebene Methode zeigt eine Möglichkeit, den solaren Bruttoertrag einer Kollektoranlage abzuschätzen und diese Werte für die Grössenbestimmung zu verwenden. In der tabellarischen Darstellung wird nicht – wie bei einer Heizkesselbestimmung üblich – mit Leistungs-, sondern mit Energiewerten gearbeitet. Das Strahlungsangebot variiert je nach Witterung und Sonnenstand zwischen 3 und 100%. Im Monatsverlauf sind die Abweichungen jedoch deutlich geringer. Aus diesem Grund wird mit ausreichender Genauigkeit mit den Monatswerten gearbeitet.

### 2.5.1 Abschätzung des solaren Bruttoertrages

Durch die tabellarische Aufstellung der möglichen Kollektorerträge in Bezug auf den Nettoenergie-

bedarf kann eine qualitative Aussage über den zu erwartenden jährlichen solaren Bruttoertrag gemacht werden. Ziel ist dabei nicht höchste Genauigkeit (welche entsprechend der nötigen Annahmen nie zu erreichen ist), sondern eine Abschätzung der Ertragsdaten mit einer Genauigkeit von plus oder minus 15%. Ergebnisse von Computersimulationen können so auf ihre Glaubwürdigkeit hin überprüft werden.

Um die Ertragsabschätzung mit geringem Aufwand durchzuführen, wurde auf eine umfassende Datenerhebung (wie z.B. Beschattung) verzichtet.

### Nettoenergiebedarf

Aufgrund bestehender Verbrauchsmessungen oder aus von Vergleichsobjekten bekannten Verbrauchsdaten wird der Nettoenergiebedarf in kWh bestimmt (siehe auch Kap. 1).

### Speicher- und Verteilverluste

In der Regel sind die Speicherverluste nicht bekannt. Je nach Speichergrösse, Anzahl Speicher, solarem Deckungsgrad und der mittleren Speichertemperatur können die Verluste bis zu 30% des Nettoenergiebedarfs betragen. Als Richtwert wird für 1-Speicher-Anlagen von 15% und für 2-Speicher-Anlagen von 20% ausgegangen. Wesentlich grösser sind die Verteilverluste (z.B. Warmwasserzirkulation). Abbildung 2.23 gibt Auskunft über die Verteilverluste.

Rohrweite \ Dämmstärke	3/8"	1/2"	3/4"	1"	5/4"	1 1/2"	2"
ungedämmt	ca. 0.55	ca. 0.7	ca. 0.9	ca. 1.15	ca. 1.45	ca. 1.65	ca. 2
20 mm	0.18	0.21	0.24	0.28	0.33	0.36	0.43
30 mm	0.15	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33
40 mm	0.13	0.15	0.17	0.20	0.22	0.24	0.28

Abbildung 2.23  
Wärmeabgabe von Stahlrohren [W/mK]  
Vorsicht: Alle Werte ohne Rohrbefestigungen und  
Wanddurchbrüche (Wärmebrücken)

Quelle: VSSH Handbuch

## Bruttowärmeertrag (BWE)

Die entsprechenden Bruttowärmeertragstabellen können von den Kollektorlieferanten angefordert werden, den Leistungsdaten aller in Rapperswil (ITR-SPF) getesteten Kollektoren entnommen oder mit der geeigneten Software selber generiert werden (z.B. Polysun). Sind keine kollektorspezifischen Daten verfügbar, gibt Abbildung 2.12 Anhaltspunkte über den BWE eines durchschnittlichen, selektiv beschichteten Flachkollektors. Die mittlere Kollektortemperatur ist dabei für den Kollektorsertrag von entscheidender Bedeutung. Abbildung 2.13 gibt entsprechende Angaben aufgeteilt nach Objekt und solarem Deckungsgrad.

## Zeitliche Nutzung

Inbesondere in teilzeitlich genutzten Objekten und bei regelmässigen Betriebsunterbrüchen (z.B. Ferien) hat die Nutzungsdauer einen grossen Einfluss auf den solaren Ertrag. Auch in Phasen ohne Warmwasserbezug werden Speicher- und Verteilverluste durch die Solaranlage gedeckt. Die zeitliche Systemnutzung sinkt also im Normalfall nie auf 0 ab. Kurzfristige Bedarfsunterbrüche können zudem über den Speicher aufgefangen werden.

Wird die Anlage während mindestens 5 Tagen pro Woche genutzt, beträgt aus diesem Grund die zeitliche Nutzung 100%. Durch die höhere Betriebstemperatur des Kollektors bei teilzeitlich genutzten Objekten (Abbildung 2.13) sind die daraus resultierenden Mindererträge bereits berücksichtigt. Für längere Perioden soll der ihnen entsprechende Minderbedarf an Wärmeenergie berücksichtigt werden.

Beispiel: Ein Hotel ist im Mai während 15 Tagen geschlossen. Die Speicherverluste von rund 15% und die Zirkulationsverluste von ca. 25% der dem Warmwasserbezug äquivalenten Energiemenge können während den Ferien fast vollumfänglich durch die Solaranlage gedeckt werden. Die zeitliche Nutzung der Solaranlage beträgt deshalb im Mai an 15 Tagen 100% und an den 15 Ferientagen 28%. Im Monatsdurchschnitt ergibt sich eine zeitliche Nutzung von 64%.

Die zeitliche Nutzung einer Anlage ist ein Näherungswert. Wird die Kollektorfläche vergrössert, d.h. der solare Deckungsgrad erhöht, sinkt die zeitliche Nutzung, da schneller Überschüsse ent-

stehen. Im umgekehrten Fall, wenn die Kollektorfläche verkleinert wird, steigt die zeitliche Nutzung, da die Kollektoranlage weniger Überschüsse produziert.

## Kollektorsertrag

Die nun in Monatsschritten vorliegende zeitliche Nutzung in % wird mit den bereits ermittelten Bruttowärmeertragswerten übertragen. Als Ergebnis erhält man nun den Kollektorsertrag [kWh/m<sup>2</sup>] in Monatsschritten.

## Kollektorkreisverluste

Zur Berechnung des solaren Bruttoertrages müssen die Kollektorkreisverluste abgeschätzt werden. Eine genaue Berechnung ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich. Die Systemverluste sind von vielen Parametern abhängig (Qualität der Wärmedämmung, Masse der Rohrleitungen, Verbrauchs-Charakteristik, mittlere Systemtemperaturen usw.). Die Wärmeverluste im Kollektorkreis sollen jedoch 5% des Kollektorsertrages nicht übersteigen.

Für die Berechnung des solaren Bruttoertrages werden deshalb 5% des Kollektorsertrages als Kollektorkreisverlust in Abzug gebracht.

## Solarer Bruttoertrag

Als Ausgangsbasis zur Bestimmung der Kollektorfläche erhält man nun den solaren Bruttoertrag [kWh/m<sup>2</sup>] in Monatsschritten. Entsprechend der gesetzten Zielsetzung kann die benötigte Absorberfläche nun errechnet werden.

**Im folgenden Beispiel wird das oben beschriebene Vorgehen dargestellt:**

Objekt:	Hotel mit 60 Betten, Standort: Mittelland (Kloten)
Durschnittliche Belegung:	35 Gäste und 6 Angestellte
Verbrauchs-Charakteristik:	Betrieb: 7 Tage pro Woche
Betriebsferien:	je 2 Wochen im Mai und September
Durchschnittlicher WW-Bedarf an Betriebstagen:	2200 l/d (à 55 °C)
Nettoenergiebedarf Warmwasserbezug:	38 900 kWh/a
Speicherverluste:	5904 kWh/a
Zirkulationsverluste:	9720 kWh/a
Kollektoraufstellung:	Flachdach: Orientierung: Süd; Neigung: 45°
Kollektorkreisverluste (Annahme):	5% des Kollektorsertrages
Gewünschter solarer Deckungsgrad:	40%

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Nettoenergiebedarf WW-Bezug [kWh]	3600	3300	3600	3500	1800	3500	3600	3600	1700	3600	3500	3600	38900
Speicherverluste [kWh]	492	492	492	492	492	492	492	492	492	492	492	492	5904
Zirkulationsverluste [kWh]	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	9720
Bruttoenergiebedarf [kWh]	4902	4602	4902	4802	3102	4802	4902	4902	3002	4902	4802	4902	54524
mittlere Kollektortemperatur [°C] (Abbildung 2.13)	30	30	40	40	50	50	60	60	50	40	30	30	-
Bruttowärmeertrag [kWh/m <sup>2</sup> ] (Abbildung 2.12)	11	28	43	60	69	76	77	60	60	39	19	7	549
zeitliche Nutzung [%]	100	100	100	100	64	100	100	100	64	100	100	100	-
Kollektorsertrag [kWh/m <sup>2</sup> ]	11	26	43	60	44	76	77	60	36	39	19	7	502
Kollektorkreisverluste [5%]	1	1	2	3	2	4	4	3	2	2	1	0	25
Solarer Bruttoertr. [kWh/m <sup>2</sup> ]	10	27	41	57	42	72	73	57	36	37	18	7	477

Abbildung 2.24  
Ermittlung des spezifischen solaren Bruttoertrages

Berechnung der Absorberfläche und der Investitionsmehrkosten:

Spezifischer solarer Bruttoertrag bei Neigung 45° und Orientierung Süd (Abbildung 2.24):	477 kWh/m <sup>2</sup> a
Erforderlicher solarer Bruttoertrag bei 40% solarem Deckungsgrad (54 524 kWh/a x 40%):	28 810 kWh/a
Benötigte Absorberfläche (21 810 kWh/a : 477 kWh/m <sup>2</sup> a):	45.7 m <sup>2</sup>
Solare Investitionsmehrkosten gemäss Abbildung 2.06 (45.7 m <sup>2</sup> x 1700.– Fr./m <sup>2</sup> ):	Fr. 77 690.–

Für einen solaren Deckungsgrad von 40% werden rund 45.7 m<sup>2</sup> Absorberfläche (Flachkollektoren, selektiv) benötigt. Die Investitionsmehrkosten belaufen sich auf rund Fr. 77 690.– (Preisstand 1996).

### **2.5.2 Dimensionierung mit Computer-Unterstützung**

Auf dem Markt werden verschiedene Computer-Programme zur Berechnung von Sonnenkollektoranlagen angeboten. In der Schweiz sind vor allem die für Anlagen mit Flach- und Vakuumröhren-Kollektoren anwendbaren Programme POLYSUN (Hersteller: Bundesamt für Energiewirtschaft / SPF Interkantonales Technikum Rapperswil) und G3 (Hersteller: Université de Genève, Académie internationale de l'environnement, 1231 Conches) verbreitet. Mit den bisher verfügbaren Software können allerdings Anlagen für komplexe Nutzungen mit entsprechend unkonventioneller Verbrauchscharakteristik noch nicht oder nur bedingt und sehr aufwendig simuliert werden.

Für den ungeübten Planer ist die Arbeit mit Programmen zur Simulation von Anlagen nicht unbedingt eine Erleichterung: Meistens wird eine grosse Zahl von Eingabeparametern verlangt, die nicht immer einfach verfügbar sind und deren Relevanz oft schwer einzuschätzen ist. Voraussetzung für eine erfolgreiche Planung von Solaranlagen ist daher auch bei der Unterstützung durch den Computer, dass ein Planer die nötige Erfahrung und Sicherheit mitbringt, um realistische Annahmen zu treffen. Auch das beste Programm ist nicht in der Lage, eine sorgfältige Bestimmung des Verbrauchs und ein zweckmässiges Anlagenlayout, d.h. eine sinnvolle hydraulische Einbindung in die übrige Haustechnik, selber vorzunehmen.

In jedem Fall empfiehlt sich die Ergebnisse einer Computer-Simulation mit jenen der Abschätzungsmethode zu verifizieren.

## 2.6 Dimensionierung des Speichervolumens

Da das Angebot an Sonnenenergie zeitlich meist nicht mit der Nachfrage übereinstimmt, ist die thermische Nutzung von Sonnenenergie an den Einsatz von Wärmespeichern gebunden. Ein Wärmespeicher für Sonnenenergie setzt sich in der Regel aus zwei Speicherbereichen zusammen, dem freien Solarvolumen  $V_S$  (auch Vorwärmvolumen) und dem Zusatzheizvolumen  $V_Z$ . Das freie Solarvolumen  $V_S$  bleibt ausdrücklich der Ladung durch die Kollektoranlage vorbehalten. Das Zusatzheizvolumen  $V_Z$  steht für die Wärmespeicherung aus anderen Energiequellen zur Verfügung. Ein Teil des Zusatzvolumens ist das Bereitschaftsvolumen  $V_B$ . Es wird immer auf dem geforderten Nutztemperatur-Niveau gehalten. Das Gesamtspeichervolumen  $V_T$  kann sich auch aus mehreren Einzelspeichern zusammensetzen.

Die Anlagehydraulik ist so zu wählen, dass das Gesamtspeichervolumen  $V_T$  in Mehrspeicheranlagen durch die Solaranlage geladen werden kann (Kap. 3).

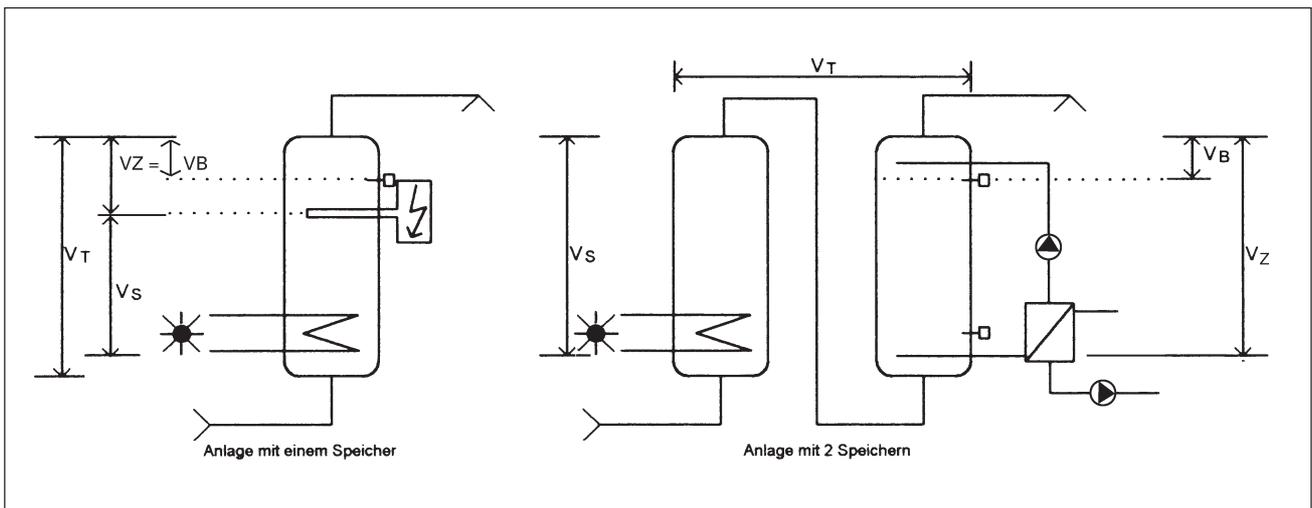


Abbildung 2.25  
Definition der Speicherbereiche für Anlagen zur WW-Bereitung

Bei der Bestimmung des freien Solarvolumens  $V_S$  und des Gesamtspeicher-Volumens  $V_T$  gilt es – ähnlich wie bei der Dimensionierung der Absorberfläche – zwischen gegenläufigen Faktoren wie Speicherkapazität und Kosten zu optimieren.

Vorteile eines grossen spezifischen solaren Speichervolumens  $V_S$ :

- tiefere Durchschnittstemperaturen im Kollektorkreis; höherer Kollektorwirkungsgrad
- geringere Gefahr, überschüssige Wärme ungenutzt abführen zu müssen
- grösserer Übertemperatur- und Anlagen-Schutz (z.B. Verkalkungsgefahr bei WW-Anlagen)

Vorteile eines kleinen spezifischen solaren Speichervolumens  $V_S$ :

- geringere Speicherkosten (unter Umständen Vermeidung einer Aufteilung des Speichervolumens auf mehrere Behälter)
- nötiges Exergie-Niveau wird häufiger erreicht; seltener Bedarf an Zusatzenergie
- geringere Verweilzeit des Trinkwassers im Speicher (Hygiene)

## Grundsätze

Je kleiner die spezifische Absorberfläche [ $\text{m}^2/\text{VE}$  resp.  $\text{m}^2/\text{MWh}$ ] bzw. der solare Deckungsgrad und je gleichmässiger das Lastprofil ist, desto kleiner können das spezifische freie Solarvolumen und das Gesamtspeichervolumen [ $\text{l}/\text{m}^2$ ] gewählt werden. Ein grosser solarer Deckungsgrad bedingt auch ein grösseres relatives Speichervolumen.

In der Praxis zeigt sich, dass die meisten Anwendungen thermischer Nutzung von Sonnenenergie ein freies Solarvolumen von über  $30 \text{ l}/\text{m}^2$  benötigen, damit die Schwankungen zwischen Angebot und Nachfrage ausgeglichen werden können. Ausnahmen bilden Anlagen mit absolut konstanter Wärmeabnahme (Bandenergie-Bedarf). Das freie Solarvolumen  $V_S$  errechnet sich aus dem Speicher-Gesamtvolumen gemäss Abbildung 2.25 abzüglich dem errechneten Zusatzheizvolumen  $V_Z$ .

Je nach Wahl des Überhitzungsschutzes kann die Temperatur des Speichers über die Sollwert-Temperatur des Zusatzheizvolumens steigen. Dies ist bei der Konzeption der Wärmeverteilung zu berücksichtigen (Verbrühungsschutz usw.). Abbildung 2.26 gibt an, wieviel der maximale tägliche Energieeintrag in den Speicher während der Sommermonate betragen kann.

Kollektortyp	mittlere Kollektorkreis-Temperatur	
	60 °C (z.B. Anlage zur WW-Vorwärmung)	90 °C (z.B. Anlage für WW + RH)
unverglaster Absorber, selektiv	bis 2.5	bis 1.0
Flachkollektor, einfachverglast	bis 3.5	bis 2.0
Flachkollektor, einfachverglast, selektiv oder zweifach verglast	bis 4.0	bis 3.0
Vakuurröhren-Kollektor	bis 4.5	bis 4.0

Abbildung 2.26  
Maximaler täglicher spezifischer solarer Bruttoertrag im Sommer [ $\text{kWh}/\text{m}^2\text{d}$ ]

Je nach Kollektorgüte, insbesondere dem Kollektorwirkungsgrad bei Temperaturen von über 60° C, variiert der maximal mögliche Energieeintrag in den Speicher. In Abbildung 2.27 wird das empfohlene Speichervolumen für Solaranlagen mit selektiven Flachkollektoren für verschiedene Objekte aufgeführt. Vakuumröhren-Kollektoren brauchen tendenziell grössere Volumen, da die verfügbare Energie in der Regel über jener von Flachkollektoren liegt. Flachkollektoren ohne selektiv beschichtete Absorber und Niedertemperaturabsorber liefern kleinere Energiegewinne. Kleinere Speichervolumen sind deshalb möglich. Der Wirkungsgrad dieser Kollektorsysteme ist allerdings stärker temperaturabhängig. Zu kleine Speicher führen deshalb zu Ertragseinbussen. Der untere Toleranzbereich in Abbildung 2.27 soll deshalb nicht unterschritten werden.

Nutzung	solarer Deckungsgrad unter 35%	solarer Deckungsgrad zwischen 35 und 50%
<b>WW-Bereitung</b>		
Einfamilienhaus	70 bis 90 l/m <sup>2</sup>	90 bis 110 l/m <sup>2</sup>
Mehrfamilienhaus	50 bis 80 l/m <sup>2</sup>	60 bis 100 l/m <sup>2</sup>
Schulhaus	80 bis 100 l/m <sup>2</sup>	90 bis 120 l/m <sup>2</sup>
Restaurant	80 bis 90 l/m <sup>2</sup>	90 bis 120 l/m <sup>2</sup>
Hotel ganzjährig	60 bis 80 l/m <sup>2</sup>	70 bis 90 l/m <sup>2</sup>
Hotel saisonal	80 bis 100 l/m <sup>2</sup>	100 bis 130 l/m <sup>2</sup>
Altersheim, Krankenhaus	50 bis 80 l/m <sup>2</sup>	60 bis 80 l/m <sup>2</sup>
Gewerbe (5-Tage-Woche; WW)	80 bis 100 l/m <sup>2</sup>	100 bis 120 l/m <sup>2</sup>
Industrie (5-Tage-Woche; WW)	80 bis 100 l/m <sup>2</sup>	100 bis 120 l/m <sup>2</sup>
<b>WW + Heizungsunterstützung</b>		
Einfamilienhaus	90 bis 130 l/m <sup>2</sup>	min. 130 l/m <sup>2</sup>
Mehrfamilienhaus	90 bis 120 l/m <sup>2</sup>	
Schulhaus	100 bis 130 l/m <sup>2</sup>	
Restaurant	90 bis 130 l/m <sup>2</sup>	
Hotel ganzjährig	90 bis 120 l/m <sup>2</sup>	
Hotel saisonal	100 bis 150 l/m <sup>2</sup>	
Altersheim, Krankenhaus	90 bis 120 l/m <sup>2</sup>	
Gewerbe (5-Tage-Woche; WW)	100 bis 130 l/m <sup>2</sup>	
Industrie (5-Tage-Woche; WW)	100 bis 130 l/m <sup>2</sup>	

Abbildung 2.27  
Empfohlenes spezifisches Speicher-Totalvolumen in Abhängigkeit der Nutzung [l/m<sup>2</sup> Absorberfläche] gültig für Flachkollektor-Anlagen (ersetzt nicht die Berechnung des Bereitschaftsvolumens!)

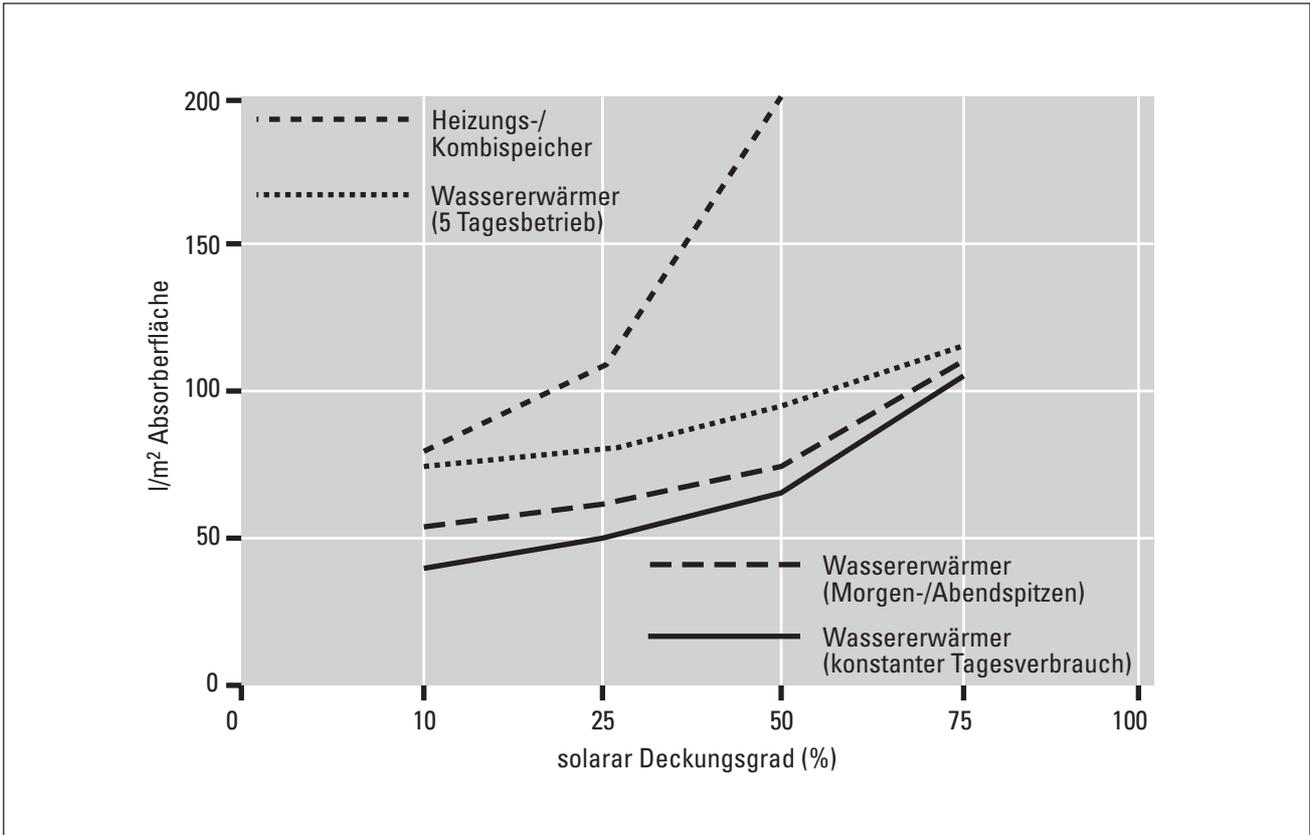


Abbildung 2.28  
 Spezifisches Speicher-Totalvolumen in Abhängigkeit  
 der Verbrauchs-Charakteristik gültig für Flachkollektor-  
 Anlagen

## 2.7 Bemessung des Volumenstroms im Kollektorkreis

Die Fortschritte im Kollektorenbau und die Erkenntnisse aus über 20 Jahren Bau und Betrieb von thermischen Solaranlagen haben zu neuen Anlagenkonzepten und Regelstrategien geführt. Bis vor wenigen Jahren wurde der nötige spezifische Volumenstrom im Kollektorkreis mit 30 bis 50 l/m<sup>2</sup>h definiert. Daraus resultierte eine maximale Temperaturspreizung zwischen Kollektorvorlauf und -rücklauf von ca. 20 K. Vor allem in Kanada und in nordeuropäischen Staaten hat man unter Bezeichnungen, wie «low-flow» usw., Konzepte mit geringeren Durchflussraten bis minimal 8 l/m<sup>2</sup>h entwickelt. Durch die höhere Temperaturspreizung und dem daraus resultierenden Anstieg der mittleren Kollektortemperatur müssen unter Umständen Abstriche beim Kollektorwirkungsgrad gemacht werden. Mit optimierter Anlagentechnik, wie z.B. Wärmeabgabe an mehreren Stellen im System (siehe auch Abbildung 3.28) und entsprechenden Rücklauftemperaturen auf tiefstmöglichem Niveau kann der Anteil Sonnenenergie am Gesamtwärmeverbrauch (solarer Deckungsgrad) erhalten oder teilweise sogar gesteigert werden.

### Grundsätze

1. Je besser der k-Wert eines Kollektors, desto kleiner der minimal nötige Volumenstrom.
2. Je kleiner der Volumenstrom, desto kleiner die Rohrquerschnitte.
3. Je kleiner der Volumenstrom, desto geringer der Druckverlust (evtl. können dadurch mehr Kollektoren in Serie geschaltet werden, was weniger Verrohrung bedeutet).

4. Je kleiner der Volumenstrom, desto grösser die Temperaturspreizung zwischen Vorlauf- und Rücklaufleitung.

5. Die herstellerverdefinierte minimale Durchflussrate pro Kollektor darf nicht unterschritten werden! Ein zu geringer Durchfluss kann zur Verschlechterung des Wärmeübergangs und damit zu Leistungsabfall der Kollektoren führen.

Aufgrund dieser Aussagen muss der optimale Volumenstrom je nach eingesetztem Kollektortyp verschieden definiert werden. Niedertemperaturabsorber (unverglaste Kollektoren, teilweise mit zusätzlicher selektiver Beschichtung) sind wegen ihres höheren k-Wertes ( zwischen 8 und 22 W/m<sup>2</sup> · k) im Wirkungsgrad stärker temperaturabhängig. Um die Temperaturspreizung möglichst tief zu halten, sind hohe Durchflussraten nötig. Im Gegensatz dazu weisen Vakuumröhren-Kollektoren einen nur wenig temperaturabhängigen Wirkungsgradverlauf auf. Geringe Durchflussraten und Temperaturspreizungen von 60 K sind durchaus denkbar.

### Vorsicht:

Nicht immer ist eine hohe Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf erwünscht. Wird die gewünschte Solltemperatur durch die grosse Spreizung überschritten ist eine höhere Durchflussrate angezeigt. Dies ist insbesondere bei Heizungsanlagen vielfach der Fall. Die Temperaturspreizung darf nie so gross sein, dass die Gefahr von Dampfbildung besteht.

### Kollektortyp

Kunststoffabsorber unverglast	100 bis 130 l/m <sup>2</sup> h
unverglaste Absorber, selektiv	40 bis 90 l/m <sup>2</sup> h
Flachkollektoren einfachverglast, nicht selektiv	20 bis 50 l/m <sup>2</sup> h
Flachkollektoren selektiv	10 bis 40 l/m <sup>2</sup> h
Vakuumröhren-Kollektoren	8 bis 40 l/m <sup>2</sup> h

Abbildung 2.29  
Spezifischer Volumenstrom im Kollektorkreis  
gültig für Wasser und Wasser/Glykollgemische  
bis 35%-Glykol-Konzentration

Entsprechend den unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Wärmeträger sind obige Werte anzupassen.

## 2.8 Dimensionierung des Wärmetauschers

Die Wärmetauscher in Solaranlagen unterscheiden sich nicht von üblichen in der Heizungs- und Sanitärtechnik verwendeten Typen. Allerdings muss der Wärmetauscher einer Solaranlage mit kleinerer Temperaturspannung zwischen Primär- und Sekundärkreis ausgelegt werden, als es für Heizungsanlagen üblich ist. Nur so kann die maximal mögliche Kollektorleistung übertragen werden. Die mittlere Temperaturdifferenz zwischen Kollektor- und Sekundärkreis soll bei Kollektornennleistung (Richtwert:  $700\text{W/m}^2$ )  $10\text{K}$  nicht übersteigen. Dabei ist zu beachten, dass die im Kollektorkreis verwendeten Wasser-Glykol-Mischungen andere physikalische Eigenschaften aufweisen als Wasser.

In Speicher eingebaute Glattrohr- und Rippenrohr-Wärmetauscher mit einseitig freier Konvektion werden hauptsächlich in kleineren Warmwasser-Solaranlagen bis ca.  $30\text{m}^2$  Absorberfläche oder in Anlagen mit Heizungsspeichern angewandt. Bei ihrer Dimensionierung wird in der Regel auf Tabellen zurückgegriffen, welche allerdings meistens nicht unter den für Solaranlagen gültigen Bedingungen (Frostschutzgemisch, Temperaturdifferenz) ermittelt wurden. Nähere Hinweise zur Dimensionierung der internen Wärmetauscher finden sich auch in der PACER-Publikation «Solare Warmwassererzeugung».

Grosse Warmwasser- und Prozesswärme-Anlagen werden auch mit externen Platten- oder Rohrbündel-Wärmetauschern ausgeführt. Externe Wärmetauscher lassen sich exakt berechnen. Die wesentlichen Parameter für die Auslegung von Wärmetauschern finden sich im folgenden Kasten.

Übertragungsleistung:	$700\text{W/m}^2$ (Annahme)
Durchflussraten (primär- und sekundärseitig):	entsprechend der Auslegung
Wärmeträger-Medien (primär- und sekundärseitig):	entsprechend der Auslegung
mittlere Temperaturdifferenz Primär-/Sekundärkreis:	$10\text{K}$

Abbildung 2.30  
Eckdaten der Wärmetauscher-Dimensionierung

## 2.9 Massnahmen gegen Übertemperaturen

Schutzmassnahmen gegen Übertemperaturen und Dampfbildung sind wesentliche Bestandteile jeder Solaranlage. Übertemperaturen und Dampfbildung sind ein Sicherheitsrisiko und können zu Materialschäden, Mediumsverlusten und Betriebsunterbrüchen führen. Bei der Vermeidung von Übertemperaturen geht es vor allem um den Schutz des Sanitärsystems – der Speicher soll nicht über die zulässigen 95 °C und in Gebieten mit hartem Wasser nicht regelmässig über 60 °C aufgeheizt werden. Eine Dampfbildung an den Zapfstellen soll unter allen Umständen verhindert werden.

Übertemperaturen und Dampfbildung im Kollektorkreis haben im wesentlichen zwei Ursachen:

- Im Gegensatz zum Heizkessel, der bei fehlendem Bedarf abgeschaltet wird, liefert die Sonne auch dann Wärme, wenn diese nicht direkt verwertet werden kann. Im besonderen gilt dies für Anlagen mit stark schwankendem Verbrauchsprofil wie z.B. bei markanter Teilzeitnutzung.
- Stromausfall oder Defekte an der Anlage können zu ungewolltem Anlagenstillstand führen.

Ein funktionierendes Überhitzungskonzept ist umso wichtiger, je leistungsfähiger der Sonnenkollektor und je geringer die Speicherkapazität ist: Zunächst gilt es, möglichst viel der eingestrahnten Sonnenenergie direkt zu verwerten oder für eine spätere Verwertung zu speichern. Der Speicherung von thermischer Energie sind allerdings tech-

nische und in der Praxis auch räumliche und finanzielle Grenzen gesetzt. Eine zusätzliche Möglichkeit besteht darin, eine thermische Solaranlage abzuschalten, wenn die eingestrahlte Wärme nicht mehr verwertet werden kann. Voraussetzung dazu ist, dass die Temperatur im Kollektor nicht über den Siedepunkt steigt. Bei Anlagen mit Niedertemperaturabsorber ist dies grundsätzlich der Fall. Auch Flachkollektoren mit Stagnationstemperaturen unter 140 °C und Vakuumröhren-Kollektoren mit eingebauter Temperaturbegrenzung unter 140 °C können in geschlossenen Anlagen bei Erreichen der Solltemperatur abgestellt werden, sofern der von der Art und Konzentration des Frostschutzmediums abhängige, zur Verhinderung von Dampfbildung nötige minimale Überdruck im Kollektor gewährleistet ist. Die heute meistverwendeten Flachkollektoren erreichen allerdings Stagnationstemperaturen von 160° bis 200 °C, Vakuumröhren-Kollektoren sogar solche von weit über 200 °C, was ein Abstellen der Anlagen erschwert oder gar verunmöglicht. Um auch bei (ungewolltem) Anlagestillstand ein Verdampfen des Wärmeträgers zu vermeiden, müssen hier besondere Strategien für den Überhitzungsschutz getroffen werden. Als minimale Schutzeinrichtung dient ein Sicherheitsventil, welches bei allfälligem Systemüberdruck wegen Dampfbildung in den Kollektoren Frostschutzgemisch in ein Auffanggefäss ablässt.

Die folgende Tabelle zeigt die empfohlenen Massnahmen für verschiedene Objekte mit unterschiedlichem solaren Deckungsgrad und Nutzungsdauer.

Gebäude-Kategorien	Nutzung der Solaranlage	Solarer Deckungsgrad	2.9 – Abstellen												
			2.9.1 – Kollektorwahl und Systemauslegung	2.9.2 – Abstellen mit Verdampfen des Mediums	2.9.3 – Abstellen ohne Verdampfen des Mediums	2.9.4 – Rückkühlen des Speichers	2.9.5 – Zusatzverbraucher zuschalten	2.9.6 – Thermische Abtaufsicherung	2.9.7 – Regeltechnische Massnahmen	2.9.8 – Entleeren der Kollektoren (Drain-back)	2.9.9 – Entleeren der Kollektoren (Drain-down)				
Mehrfamilienhäuser, Heime und Spitäler	Warmwasser	< 40%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								
	Warmwasser Heizung	> 40%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Verwaltungs- und Dienstleistungsbauten	Warmwasser	< 35%	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								
	Warmwasser Heizung	> 35%	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Hotels Restaurants	Warmwasser	< 35%	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								
	Warmwasser Heizung	> 35%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Schulhäuser Turnhallen	Warmwasser		<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								
	Warmwasser Heizung		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Sportanlagen	Warmwasser		<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								
	Warmwasser Heizung		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Gewerbe- und Industriebauten	Warmwasser	< 35%	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								
	Warmwasser Heizung	> 35%	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Freibäder Hallenbäder	Warmwasser		<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								
	Beckenwasser		<input checked="" type="checkbox"/>												
Anlagen mit Teilzeitnutzung wie Kasernen, Campings, usw.	Warmwasser Heizung		<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								

empfohlene Massnahme   
  mögliche Massnahme

Abbildung 2.31  
Übersicht Überhitzungsschutz-Massnahmen

### 2.9.1 Kollektorwahl und Systemauslegung

Je nach Kollektor-Wirkungsgrad, Speichergrosse und Wärmeverlust des Systems ergeben sich unterschiedliche maximale Kollektorkreis- und Speichertemperaturen. Für die Vermeidung von zu hohen Systemtemperaturen bzw. Dampfbildung während dem Pumpenbetrieb ist die sogenannte Gleichgewichtstemperatur des Systems massgebend. Sie ist dann erreicht, wenn die Kollektorleistung der Verlustleistung im gesamten System entspricht. Je schlechter der Kollektor-Wirkungsgrad, desto tiefer liegt die Gleichgewichtstemperatur. In Anlagen mit unverglasten Absorbern oder mit nicht selektiven, einfachverglasten Flachkollektoren liegen die Gleichgewichtstemperaturen in der Regel unter 100 °C. Für die Vermeidung von Dampfbildung im Kollektor bei ungewolltem Anlagen-Stillstand ist die Stagnationstemperatur bei vorhandenem Systemdruck und Frostschutzmedium entscheidend. Sie ist dann erreicht, wenn die Absorberleistung der Verlustleistung des Kollektors entspricht. Je schlechter der k-Wert des Kol-

lektors, desto tiefer die Stagnationstemperatur. Anlagen können als eigensicher bezeichnet werden, wenn die Gleichgewichtstemperatur unter 100 °C beträgt und die Stagnationstemperatur so tief liegt, dass bei Anlagen-Stillstand und fehlendem Überdruck im Kollektor eine Dampfbildung ausgeschlossen ist. Im Einzelfall ist zu prüfen, ob alle eingesetzten Materialien den maximal auftretenden Temperaturen widerstehen (z.B. Beschichtung von Wasssererwärmern, Rohrleitungen, usw.).

#### Vorteil:

- Bei Gleichgewichtstemperaturen unter 100 °C kann der Speicher nie überhitzen. Bei der Verwendung von Kollektoren mit einer Stagnationstemperatur unter 120 °C kann die Anlage abgestellt werden. (Störfallsicherheit)

#### Nachteil

- Es können keine modernen Hochleistungs-Kollektoren, die zu System-Gleichgewichtstemperaturen über 100 °C führen, eingesetzt werden.

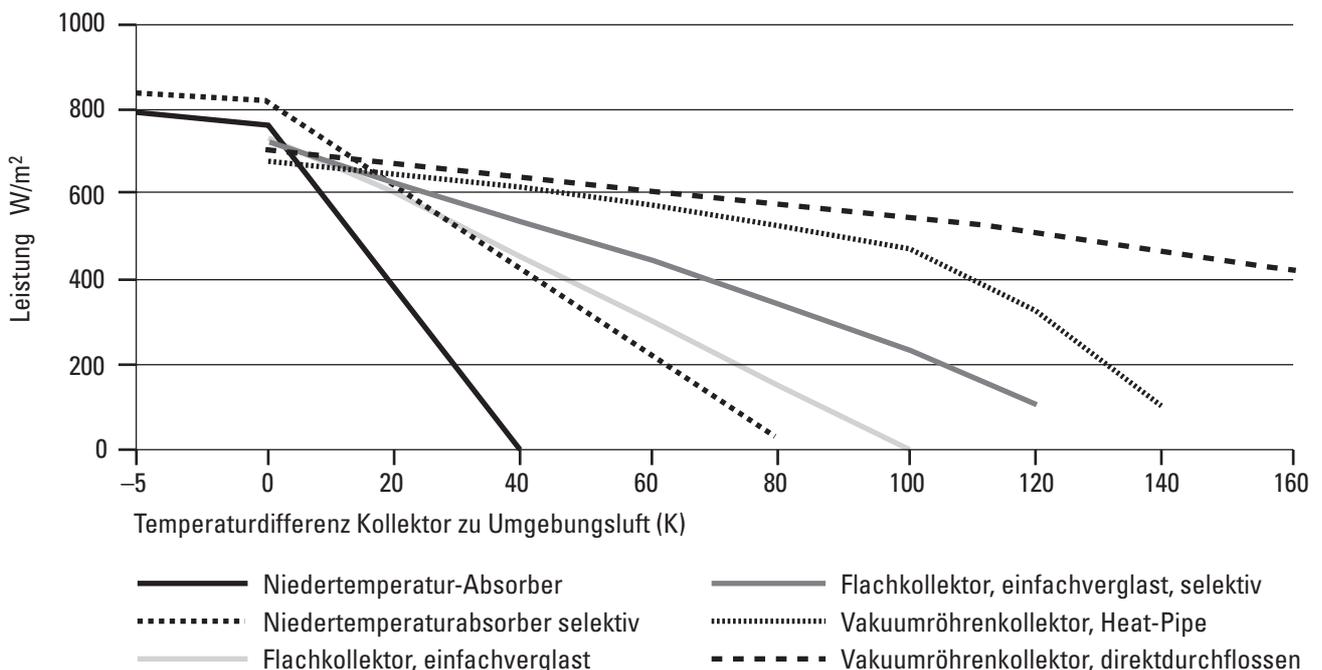


Abbildung 2.32  
Spezifische Leistung unterschiedlicher Kollektortypen bei einer Einstrahlung von 1000 W/m<sup>2</sup>

### 2.9.2 Abstellen der Anlage mit Verdampfen des Wärmeträgers

Wird die Kollektoranlage bei Erreichen der Solltemperatur abgestellt, kann der Wärmeträger im Kollektor verdampfen. Das Expansionsgefäss muss das verdrängte Medium aufnehmen können. Um grosse (und teure) Expansionsgefässe zu vermeiden, soll der Betriebsdruck und der entsprechende Expansionsvordruck so weit als möglich unter dem Ansprechdruck des Sicherheitsventils liegen. Das Wärmeträgermedium muss für die maximal auftretende Stagnationstemperatur im Kollektor zugelassen sein. Es ist mit einer entsprechenden Steuerungsfunktion zu vermeiden, dass die erneute Inbetriebnahme der Anlage zu einem Zeitpunkt erfolgt, indem der Kollektor immer noch überhitzt ist und dadurch die Gefahr von Dampfschlägen besteht.

#### Vorteil:

- Der Speicher kann knapp dimensioniert werden.

#### Nachteile:

- Grosses Expansionsgefäss nötig; grosse Materialbelastung durch hohe Temperaturen.
- Die Anlage darf erst wieder angefahren werden, wenn die Temperatur im Kollektor unter den Verdampfungspunkt des Wärmeträgers gefallen ist (Gefahr von Dampfschlägen).
- Die meisten gebräuchlichen Frostschutzmedien auf Glykolbasis sollten nicht über 140 °C erhitzt werden.

### 2.9.3 Abstellen der Anlage ohne Verdampfen des Mediums

Mit der Wahl eines hohen Systemdrucks wird die Verdampfungstemperatur des Frostschutzmediums erhöht. Wird bei Wasser-Glykol-Mischungen zusätzlich der Glykol-Anteil erhöht, steigt die Verdampfungstemperatur weiter an (siehe Dampfdruckkurve des verwendeten Wärmeträgers). Werden diese beiden Massnahmen parallel angewandt, genügt ein Druck zwischen 3 und 6 bar im Kollektor, um ein Verdampfen des Wärmeträgers bei Kollektor-Stagnationstemperaturen zu verhindern.

Neuartige Frostschutzmedien weisen im Anwendungsbereich bis 200 °C einen geringen Dampfdruck auf. Allerdings erreichen die physikalischen Eigenschaften dieser neuen Produkte nicht die

guten Werte von Ethylen- oder Propylenglykol-Mischungen und weisen zudem andere Nachteile auf.

#### Vorteile:

- Einfache Möglichkeit, die Anlage abzustellen.
- Der Speicher kann knapp ausgelegt werden.
- Anlage kann in jedem Zeitpunkt wieder angefahren werden.

#### Nachteile:

- Die gebräuchlichen Frostschutzmedien auf Glykolbasis dürfen nicht über 140 °C erhitzt werden.
- Je nach Medium ist eine erhöhte Druckbeständigkeit sämtlicher Komponenten nötig.
- Glykolkonzentrationen über 50% sind unerwünscht, da sich die physikalischen Eigenschaften mit zunehmender Glykolkonzentration verschlechtern.

### 2.9.4 Rückkühlen des Speichers

Sonnenkollektoren können nicht nur Energie gewinnen, sie können auch zur Wärmeabgabe, d.h. zum Kühlen, eingesetzt werden. Der Speicher wird – falls die Speichertemperatur über den eingestellten Sollwert steigt – in der Nacht über das Kollektorfeld wieder rückgekühlt. Das Rückkühlvolumen sollte im Normalfall mindestens 50 l pro m<sup>2</sup> Absorberfläche betragen. Da die Rückkühlung des Speichers erst in der Nacht erfolgen kann, ist es möglich, dass die Speichertemperatur während des Tages trotzdem über den gewünschten Maximalwert steigt. Im unteren Speicherbereich eingebaute Wärmetauscher können hingegen den Speicher nur ungenügend rückkühlen. Eine Umschichtungspumpe, mit welcher das gesamte Speichervolumen im Rückkühlmodus umgewälzt wird, schafft hier Abhilfe (benötigte Fördermenge: ca. 20 l/m<sup>2</sup>h).

#### Vorteil:

- Einfache Massnahme

#### Nachteile:

- Innenbeschichtungen und Dämmmaterialien von Speichern müssen gegen hohe Temperaturen (bis ca. 100 °C) beständig sein.
- Höhere Temperaturen können zu verstärkter Verkalkung der Wärmetauscher führen.
- Je besser der k-Wert des Kollektors, desto schlechter die Rückkühlleistung (Flachkollektoren: ca. 4 W/m<sup>2</sup>K; Vakuumröhren-Kollektoren: ca. 1 W/m<sup>2</sup>K).

- Heat-Pipe-Vakuumröhren-Kollektoren sind für diese Massnahme ungeeignet (thermische Diode!).

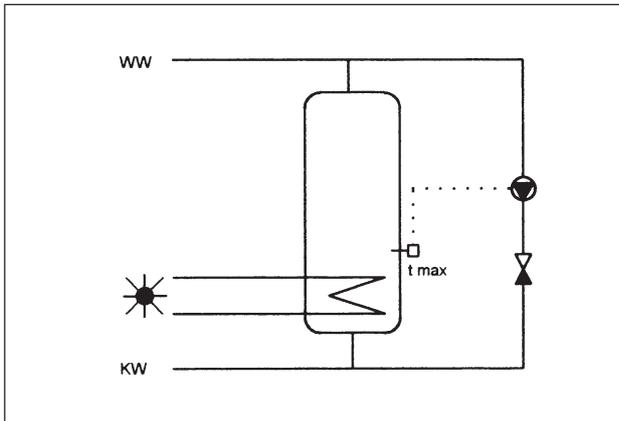


Abbildung 2.33  
Rückkühlfunktion mit Umschichtungspumpe

### 2.9.5 Zusatzverbraucher zuschalten

Eine gängige Massnahme ist das Zuschalten eines zusätzlichen Verbrauchers oder einer Kühlmöglichkeit nach dem Erreichen des Sollwertes im Speicher. Als solche bieten sich an: WW-Zirkulation, Heizkessel (Rücklauf-Hochhaltung falls vorhanden entsperren), Fussbodenheizung (z.B. Badezimmer), einzelne Heizkörper (z.B. Trocknungsraum), Lufterhitzer, Schwimmbad. In Wärmepumpen-Anlagen mit Erdsonden kann auch die Erdsonde mit Sonnenenergie erwärmt werden.

#### Vorteile:

- Vorhandene Infrastruktur kann genutzt werden.
- Evtl. Zusatznutzen z.B. bei Schwimmbädern, Erdsonden und Heizkörpern in Kellerräumen

#### Nachteile:

- Wärmeabgabe, wenn diese nicht unbedingt erforderlich wäre.
- Steuerungstechnische Massnahmen erforderlich, evtl. zusätzliche Kühlsysteme nötig.

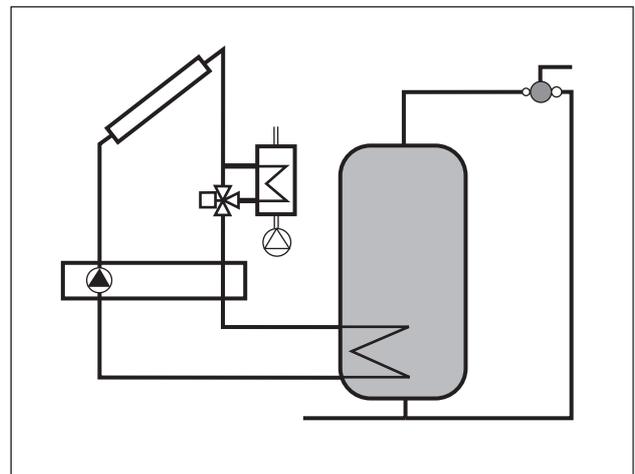


Abbildung 2.34  
Lufterhitzer als Kühlmöglichkeit

### 2.9.6 Thermische Ablaufsicherung

In Holzheizkesseln gehören thermische Ablaufsicherungen zum Sicherheitsstandard. Für Solaranlagen kann ebenfalls eine thermische Ablaufsicherung zum Schutz vor Überhitzung eingebaut werden. Vorteilhaft ist der Einsatz eines Ventils mit frei einstellbarer Ansprechtemperatur (zwischen 60 und 90 °C). Um einen hohen Wasserverbrauch zu vermeiden, sollte diese Massnahme nur zusammen mit anderen Sicherheitsmassnahmen realisiert werden.

#### Vorteile:

- Relativ einfache und kostengünstige Massnahme
- Als Sicherheitseinrichtung bei direkt durchflossenen Vakuumröhren-Kollektoren empfohlen

#### Nachteile:

- Zusätzlicher Wasserverbrauch
- Die hohen Temperaturen führen unter Umständen zu Schäden an den Werkstoffen der Kanalisationsleitungen.

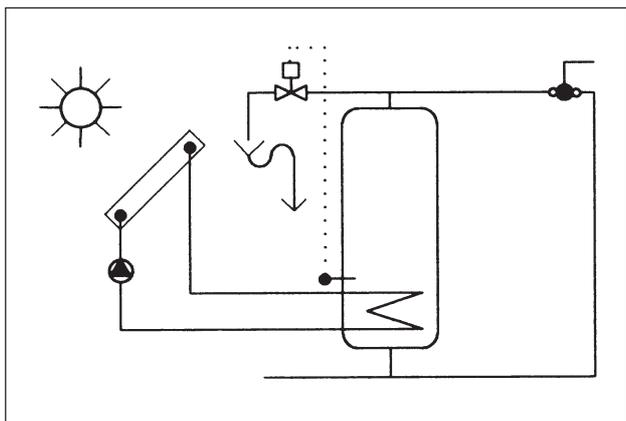


Abbildung 2.35  
Thermische Ablaufsicherung

### 2.9.7 Regeltechnische Massnahmen

Die Kollektorleistung ist abhängig von der Kollektortemperatur. Diesen Effekt kann man nützen, um die Kollektorleistung mit regeltechnischen Massnahmen zu begrenzen. Beim Erreichen eines bestimmten Speichersollwertes wird die Pumpe des Kollektorkreises abgeschaltet. Die Pumpe läuft erst wieder an, wenn der Kollektor eine definierte Temperatur (z.B. die maximal zulässige Mediums- oder die Kollektorkreis-Temperatur) überschreitet. Der Kollektorertrag wird so reduziert.

#### Vorteile:

- Die Kollektorleistung wird begrenzt.
- Kleinere Pumpenlaufzeiten, dadurch kleinerer Verbrauch an Hilfsenergie

#### Nachteile:

- Erhöhte Materialbelastung
- Diese Lösung darf nur zusammen mit zusätzlichen Sicherheitsmassnahmen ausgeführt werden.

### 2.9.8 Entleeren der Kollektoren (Drain-back-System)

Im Anlagenstillstand werden die Kollektoren in ein Gefäss mit mindestens dem Volumen des Kollektorinhalts entleert. Das System ist geschlossen. Es kann kein Luftsauerstoff in die Anlage dringen.

#### Vorteile:

- Die Anlage kann abgestellt werden.
- Als Medium kann Wasser eingesetzt werden, falls sich das Rückflussgefäss in einem frostfreien Raum befindet.

#### Nachteile:

- Die Lösung ist nicht für alle Kollektortypen geeignet (Die vollständige Entleerung der Kollektoren muss garantiert sein; dies ist in grösseren Anlagen generell schwierig).
- Handelsübliche Umwälzpumpen sind eher schlecht geeignet, um den nötigen statischen Druck zur Wiederbefüllung aufzubringen.
- Die Hydraulik des Kollektorkreises ist anspruchsvoll: Unter anderem darf die Anlage erst wieder angefahren werden, wenn die Kollektortemperatur unter den Verdampfungspunkt des Mediums gefallen ist.

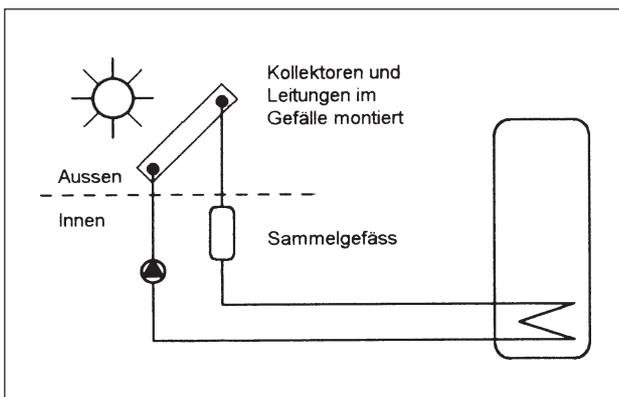


Abbildung 2.36  
Drain-back-System

### 2.9.9 Entleeren der Kollektoren (Drain-down-System)

Dieses in der Schweiz kaum gebräuchliche System kann angewendet werden bei Anlagen zur Warmwasser-Bereitung ohne Systemtrennung mit Wärmetauscher. Bei Anlagenstillstand werden die Kollektoren über Magnetventile entleert. Beim Start der Anlage wird der Kollektorkreis mit Netzdruck wieder gefüllt.

#### Vorteile:

- Betriebsmedium: Wasser
- Temperatur-Sollwert genau einhaltbar

#### Nachteile:

- Je nach Wasserqualität ist eine Verkalkung der Kollektoren möglich.
- Es sind nur netzdruckbeständige Kollektoren in Kupfer oder Chromstahl (Korrosionsgefahr!) verwendbar, welche sauber entleert werden können.
- Komplexe Steuerung; anspruchsvolle Kollektorkreis-Hydraulik.

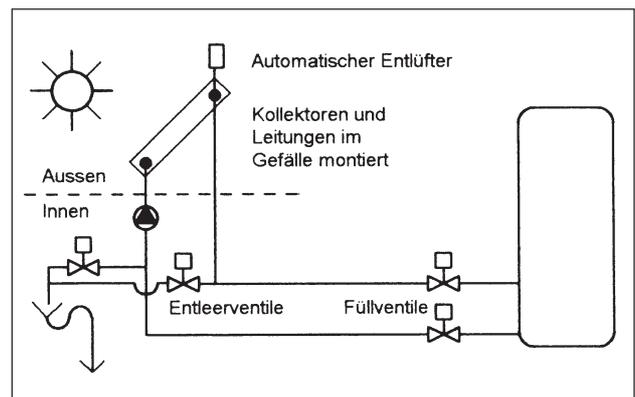


Abbildung 2.37  
Drain-down-System



# 3 Einbindung von Solaranlagen in die Haustechnik

---

<b>Einleitung</b>	<b>67</b>
<b>3.1 Grundsatzüberlegungen für ein optimales Anlagemanagement</b>	<b>67</b>
3.1.1 Temperaturverhältnisse des Solarsystems im Tagesablauf	67
3.1.2 Energietechnische Voraussetzungen	76
3.1.3 Sonnenenergienutzung in Kombination mit verschiedenen Energieträgern	79
3.1.4 Einregulierung	81
<b>3.2 Speicher und Speicherbewirtschaftung</b>	<b>81</b>
3.2.1 Die Notwendigkeit des Speichers	81
3.2.2 Speicherverluste	81
<b>3.3 Hydraulik im konventionellen Teil</b>	<b>85</b>
<b>3.4 Regelung</b>	<b>85</b>
<b>Anhang: Beispiele haustechnischer Einbindung</b>	<b>86</b>
Beispiel 1 Anlage für einen grossen WW-Bedarf und Heizunterstützung mit integrierten Wassererwärmern	86
Beispiel 2 Anlage für grossen WW-Bedarf und Heizungsunterstützung mit Speicherwassererwärmer	87
Beispiel 3 Anlage zur Wassererwärmung mit Zirkulationsumschaltung	89
Beispiel 4 Anlage mit hohem Speicher, mit integriertem Wassererwärmer und zwei Wärmetauschern	90
Beispiel 5 Anlage für Schwimmbad-Heizung mit nicht direkt durchströmten Kollektoren	91
Exkurs Exergie	91

---



## 3 Einbindung von Solaranlagen in die Haustechnik

### Einleitung

Der stete Wechsel von Wetter und Jahreszeiten führt in unseren Breitengraden dazu, dass die Sonnenscheindauer starken Schwankungen unterworfen ist. Diese können nur begrenzt sowie nur mit hohem finanziellen und technischen Aufwand ausgeglichen werden. Darum werden hierzulande Solaranlagen fast ausschliesslich im Verbund mit den Energieträgern Öl, Gas, Holz und Elektrizität eingesetzt.

Die Art und Weise, wie die Solaranlage in das System der Energieerzeugung eingebunden wird, ist für den Wirkungsgrad der Anlage von entscheidender Bedeutung. So kann sich der Nutzungsgrad der Anlage bei ungeeigneter Einbindung ohne weiteres um bis zu 50% verringern.

Um solche Verluste zu vermeiden, werden im folgenden Kapitel die wichtigsten Kriterien festgehalten, deren Berücksichtigung zu einem ertragsoptimierten Betrieb von Solaranlagen führen. Diese Kriterien können je nach Nutzungszweck der Solaranlage unterschiedlich ausfallen, weshalb grundsätzlich zwischen Anlagen, die ausschliesslich zur Warmwasserbereitung dienen, und solchen, die neben der Warmwasserbereitung auch zu Heizzwecken genutzt werden können, unterschieden werden muss.

### 3.1 Grundsatzüberlegungen für ein optimales Anlagemanagement

Neben den rein haustechnischen Aspekten gilt es, weitere energierelevante Aspekte zu berücksichtigen. Dazu zählen Art, Nutzung und Orientierung des Gebäudes, Beiträge aus passiver Sonnenenergienutzung, etc. Trotz der Komplexität dieser Aufgabe sollten aber keine komplizierten Lösungen angestrebt werden.

#### 3.1.1 Temperaturverhältnisse des Solar-systems im Tagesablauf

In einem Wasserspeicher ändern sich die Temperaturverhältnisse häufig: Die Einspeisung und Entnahme von Wärme führen zu einem ständigen Wechsel der Temperaturschichten. Wie sich dieser Wechsel an einem durchschnittlichen Apriltag vollzieht, soll an den folgenden beiden Beispielen veranschaulicht werden, wobei die Werte auf Systembeobachtungen und einfacher Messungen beruhen und in den Abbildungen vereinfacht dargestellt sind. Die Legenden der Abbildungen deken sich jeweils mit jener von Abbildung 3.01.

**Beispiel 1:**

Anlage zur Vorwärmung von Warmwasser

Standort: Mittelland  
 Bewohner: 55 Personen  
 WW-Bereitung: Kombikessel Öl  
 WW-Verteilung: Zirkulation  
 Solaranlage: 42 m<sup>2</sup> selektiv beschichteter Flachkollektor mit einem Anstellwinkel von 23°, südorientiert  
 Speicher: Vorwärmer Edelstahl, 1500 l, mit Register, 7.5 m<sup>2</sup> Glattrohr Wärmetauscher

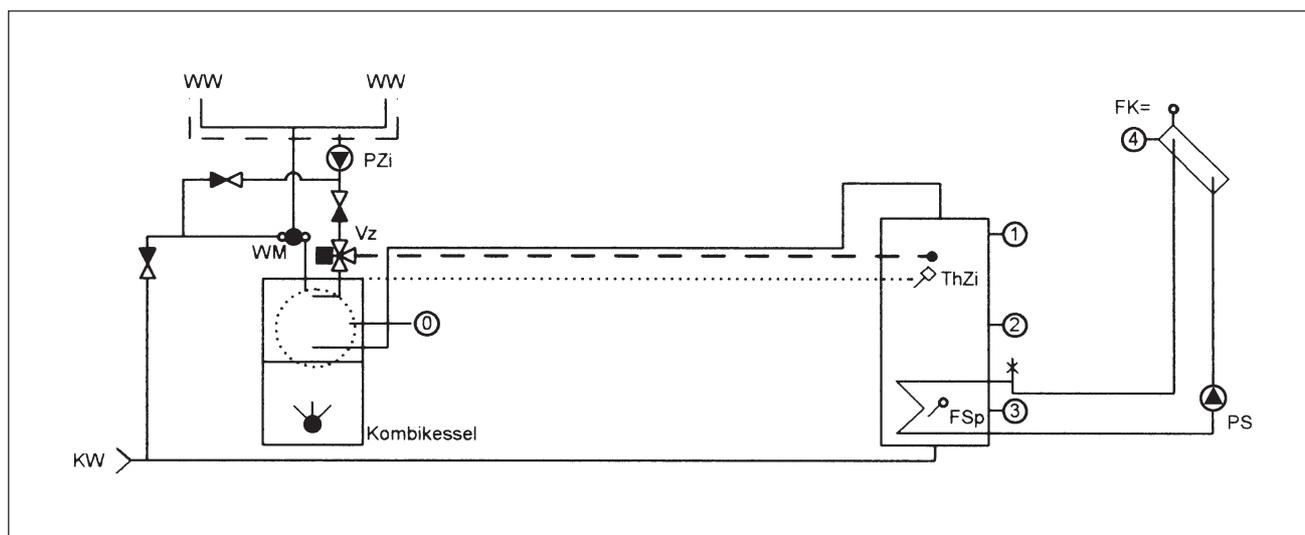


Abbildung 3.01  
 Reine Warmwasserbereitungsanlage  
 (nachträglicher Einbau)

**Funktionsbeschreibung**

Solaranlage:  
 FK > FSP: PS ein  
 FSP > 65 : PS ein

WW-Zirkulation: Zeituhr  
 ThZi > 55 °C: Stellung VZ: Eck

Temperatur-Messstellen (vgl. Figur 3.04)  
 0 Wassererwärmer im Kombikessel  
 1 Vorwärm-Speicher oben  
 2 Vorwärm-Speicher mitte  
 3 Vorwärm-Speicher unten  
 4 Kollektor

**Legende**

PS Pumpe Kollektorkreis  
 PZi Pumpe Warmwasser-Zirkulation  
 VZ Umstellventil Warmwasser-Zirkulation  
 WM Thermisches Mischventil zur Begrenzung der Warmwasser-Temperatur  
 FK Kollektorfühler (Steuerung Kollektorkreis)  
 FSP Speicherfühler (Steuerung Kollektorkreis)  
 ThZi Speicherthermostat (Steuerung Zirkulations-Umstellventil)

**Wird die Solarwärme direkt in den kältesten Teil des Warmwasserspeichers eingelagert, kann die Wärmeabgabe auf tiefstem Temperaturniveau erfolgen.**

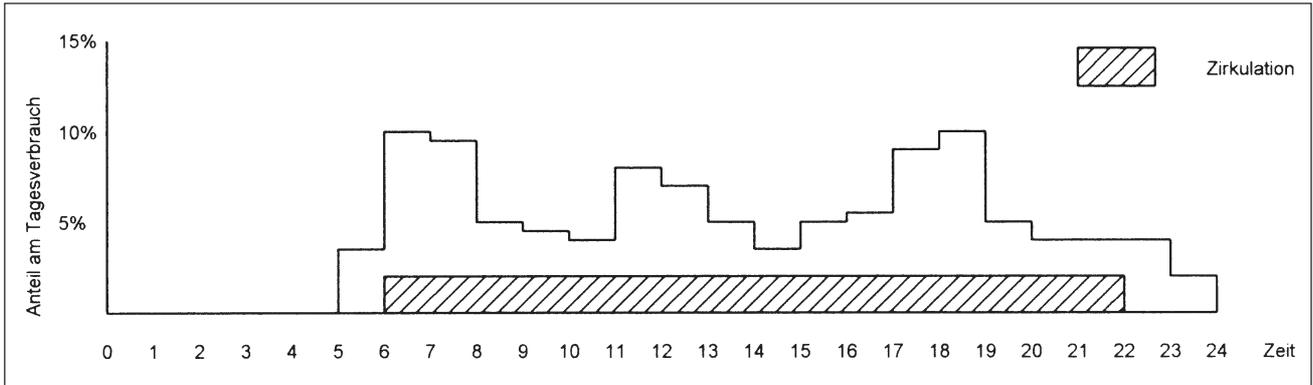


Abbildung 3.02  
Verbrauchsprofil Warmwasser

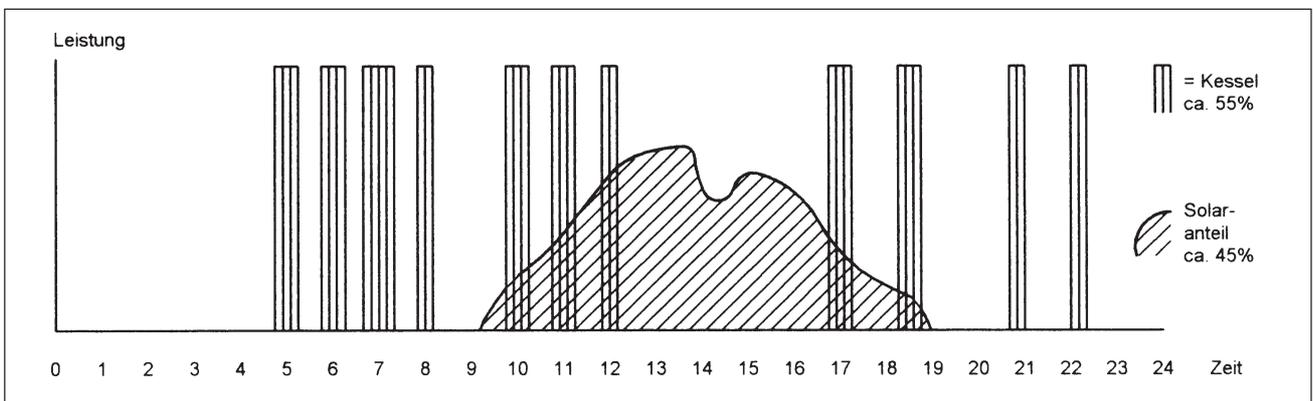


Abbildung 3.03  
Sonnenenergie und Zusatzenergie Ölkessel an  
Wassererwärmer

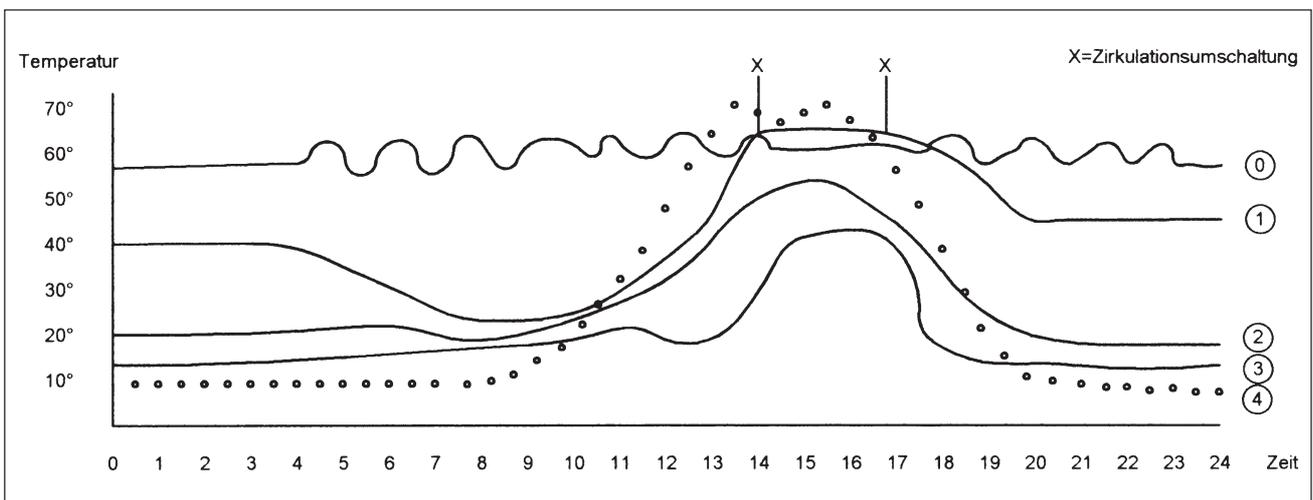


Abbildung 3.04  
Temperaturen in den Wassererwärmern und am Kollektor

**Beispiel 2:**

Anlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung in einem 4-Familien-Haus mit Ölheizung und Absorberfläche für 90% Deckung im Monat April

Standort: Mittelland  
Bewohner: 12 Personen  
Heizung: Öl und Sonne  
WW-Bereitung: Sonne und Öl  
WW-Verteilung: Zirkulation  
Solaranlage: 56 m<sup>2</sup> selektiv beschichteter Flachkollektor mit einem Anstellwinkel von 45°, südorientiert  
Speicher: Kombispeicher 7000 l

Unter denselben Rahmenbedingungen werden hier zwei technisch verschiedene Lösungen verglichen, die Standard-Lösung, die in den letzten 10 Jahren häufig angewendet wurde (Abbildungen 3.05 bis 3.09) und eine neuere Variante (Abbildungen 3.10 bis 3.14). Der Hauptunterschied besteht darin, dass zur Warmwasserbereitung bei der Variante nur der oberste Teil des Kessels über nicht solare Energieträger geladen wird. Die unteren 2/3 des Speichers werden hingegen nur dann bewirtschaftet, wenn ein für Heizzwecke nutzbarer Solarertrag vorhanden ist. Dieser Wechsel erfolgt durch eine Umstellung des im Rücklauf angebrachten Ventils (VR) auf 90°. Diese Variante, die sich für Öl- und Gaskessel eignet, führt zu tieferen Temperaturen im unteren Teil des Speichers und damit zu einem höheren Solarertrag. Ein weiterer Vorteil sind geringere Wärme- und Exergieverluste.

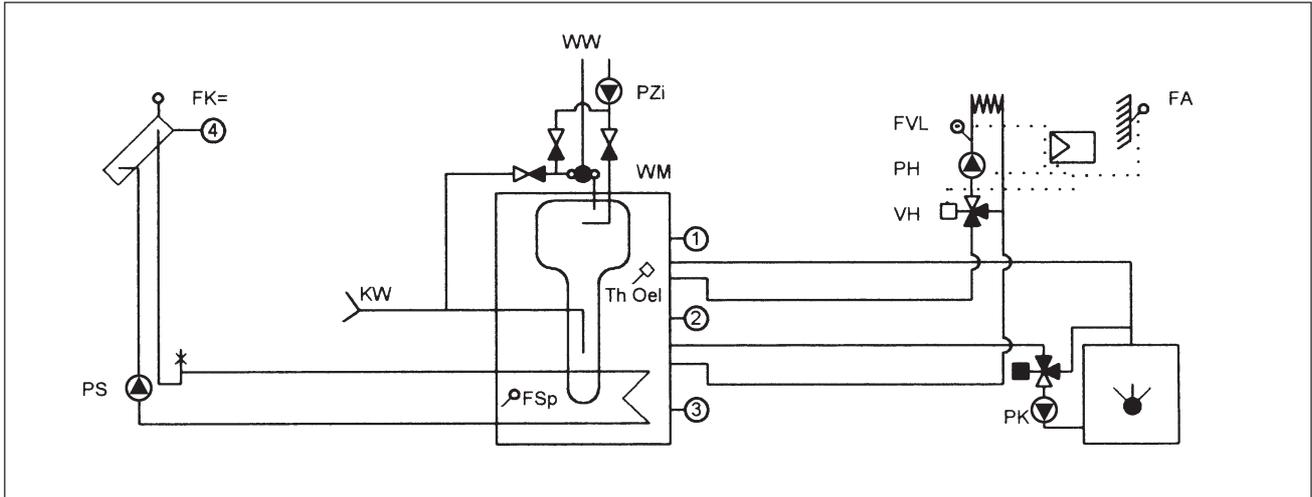
**Standard-Lösung**


Abbildung 3.05  
Anlage zur Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung (Standard)

**Legende**

PS	Pumpe Kollektorkreis
PZi	Pumpe Warmwasser-Zirkulation
PK	Pumpe Kesselkreis
PH	Pumpe Heizkreis
WM	Thermisches Mischventil zur Begrenzung der Warmwasser-Temperatur
VK	Mischventil zur Temperaturhochhaltung der Kesselrücklauf-Temperatur
VH	Mischventil Heizkreis
FK	Kollektorfühler (Steuerung Kollektorkreis)
FSP	Speicherfühler (Steuerung Kollektorkreis)
ThÖL	Speicherthermostat (Steuerung Kesselkreis)
FRL	Kesselrücklauffühler (Steuerung Rücklaufhochhaltung)
FVL	Heizkreisvorlauffühler (Regelung Heizkreis-Vorlauf-Temperatur)
FA	Aussentemperaturfühler (Regelung Heizkreis-Vorlauf-Temperatur)

**Funktionsbeschreibung**

Solaranlage:

FK > FSP: PS ein

FSP > 65: PS ein

WW-Zirkulation: Zeituhr

Kesselkreis: ThÖL < 60 °C: Brenner ein, PK ein

Heizkreis: witterungsgeführte Vorlaufregulierung

**Temperatur-Messstellen** (vgl. Figur 3.09)

1 Speicher oben

2 Speicher mitte

3 Speicher unten

4 Kollektor

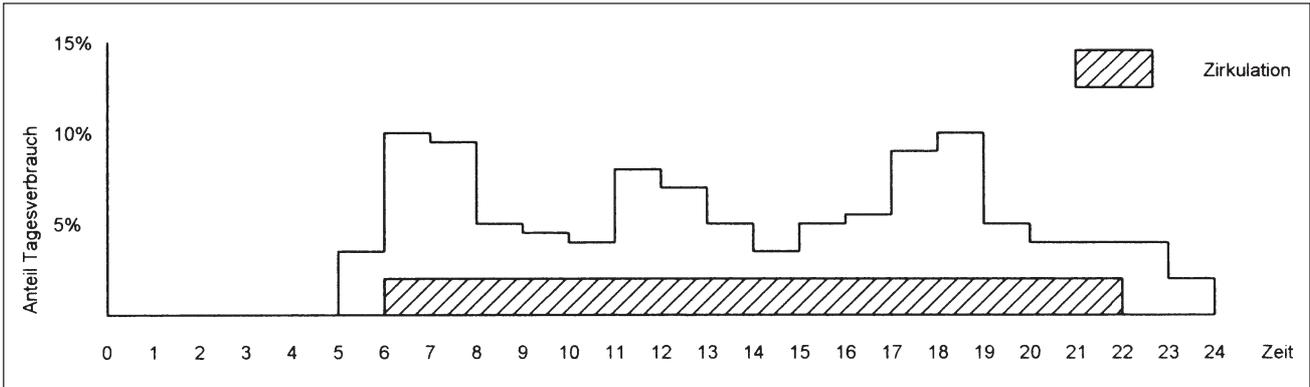


Abbildung 3.06  
Verbrauchsprofil Warmwasser

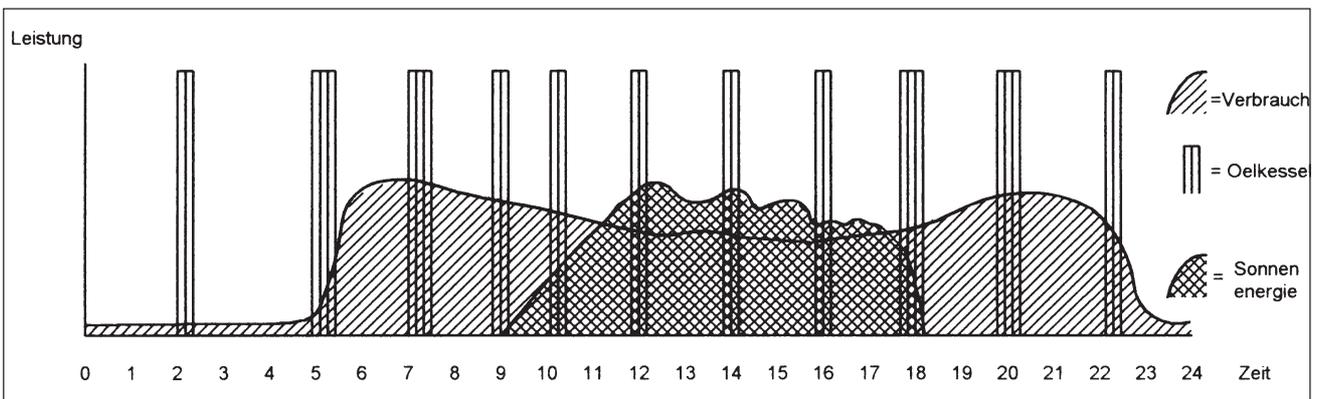


Abbildung 3.07  
Energieverbrauch Heizung und Warmwasser sowie  
Wärmeerzeugung mittels Ölkessel und Sonnenkollektoren

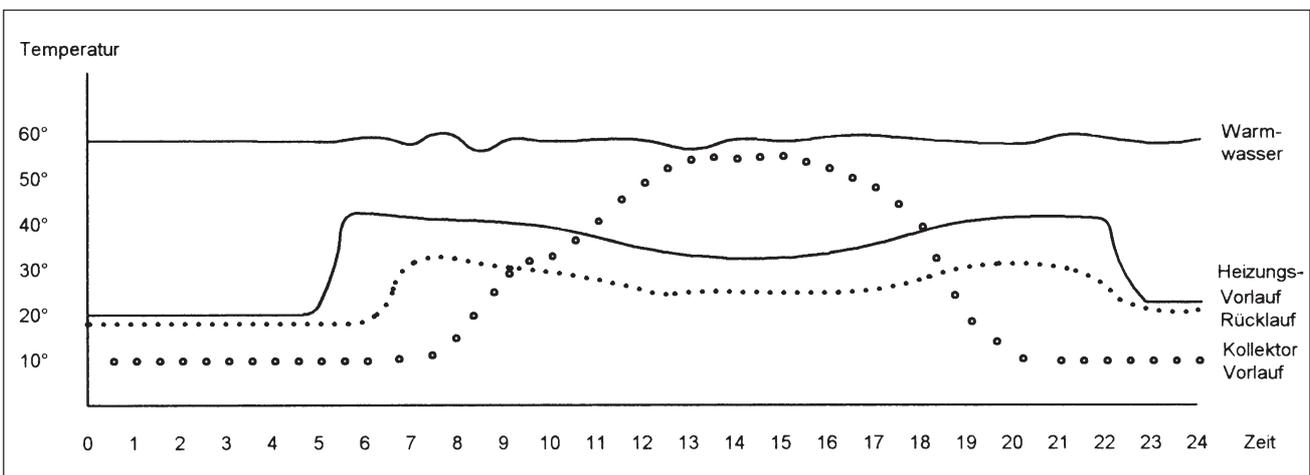


Abbildung 3.08  
Mediumtemperaturen

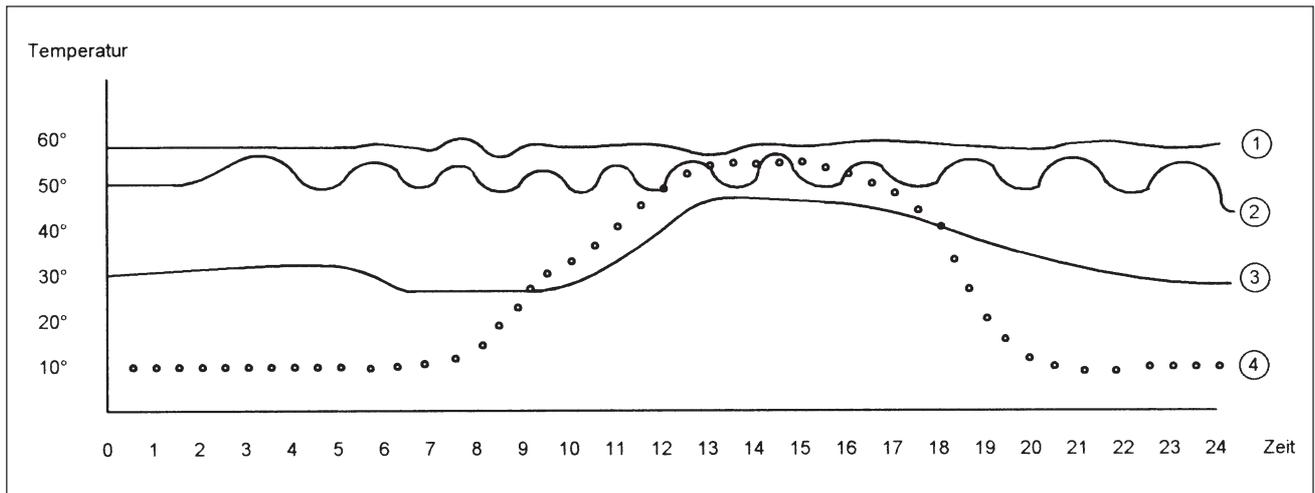


Abbildung 3.09  
Temperaturen im Speicher und am Kollektor

**Variante**

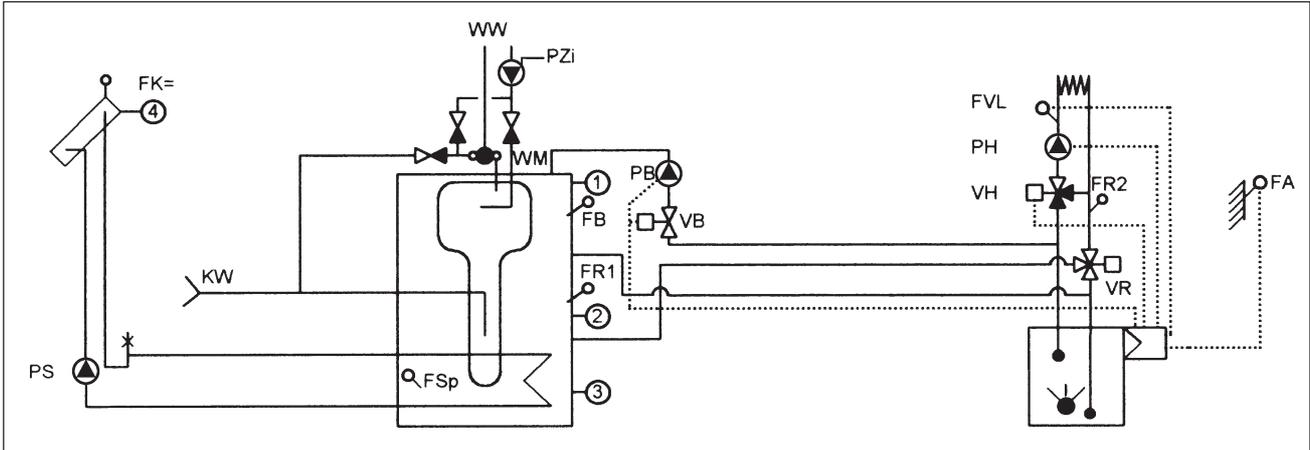


Abbildung 3.10  
Anlage zur Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung (Variante)

**Legende**

- PS Pumpe Kollektorkreis
- PZi Pumpe Warmwasser-Zirkulation
- PK Pumpe Kesselkreis
- PH Pumpe Heizkreis
- PB Pumpe Ladekreis Warmwasser-Bereitschaftsvolumen
- VB Durchgangsventil Ladekreis Warmwasser-Bereitschaftsvolumen
- WM Thermisches Mischventil zur Begrenzung der Warmwasser-Temperatur
- VH Mischventil Heizkreis
- FK Kollektorfühler (Steuerung Kollektorkreis)
- FSP Speicherfühler (Steuerung Kollektorkreis)
- FB Speicherfühler (Steuerung Ladekreis Warmwasser-Bereitschaftsvolumen)
- FR1 Speicherfühler (Steuerung Heizkreisrücklauf-Umschaltung)
- FR2 Heizkreisrücklauffühler (Steuerung Heizkreisrücklauf-Umschaltung)
- FVL Heizkreisvorlauffühler
- FA Aussentemperaturfühler

**Funktionsbeschreibung**

Solaranlage:  
 $FK > FSP$ : PS ein  
 $FSP > 65\text{ °C}$ : PS ein

WW-Zirkulation: Zeituhr

Ladekreis Warmwasser-Bereitschaftsvolumen:  
 Zeituhr: Freigabe z.B. 19.00 - 24.00 Uhr  
 $FB < 60\text{ °C}$  Brenner ein, PB ein, VB auf

Heizkreis: witterunggeführte Vorlaufregulierung  
 $FVL < \text{Sollwert}$ : Ölkessel ein  
 $FR1 > FR2$ : Stellung VR: Eck

**Temperatur-Messstellen** (vgl. Figur 3.14)

- 1 Speicher oben
- 2 Speicher mitte
- 3 Speicher unten
- 4 Kollektor

**Wird keine unnötige Zusatzenergie in den Speicher gebracht und der Brenner nur dann zugeschaltet, wenn die Sonnenenergie nicht mehr genügt, erhöht sich der Solarertrag.**

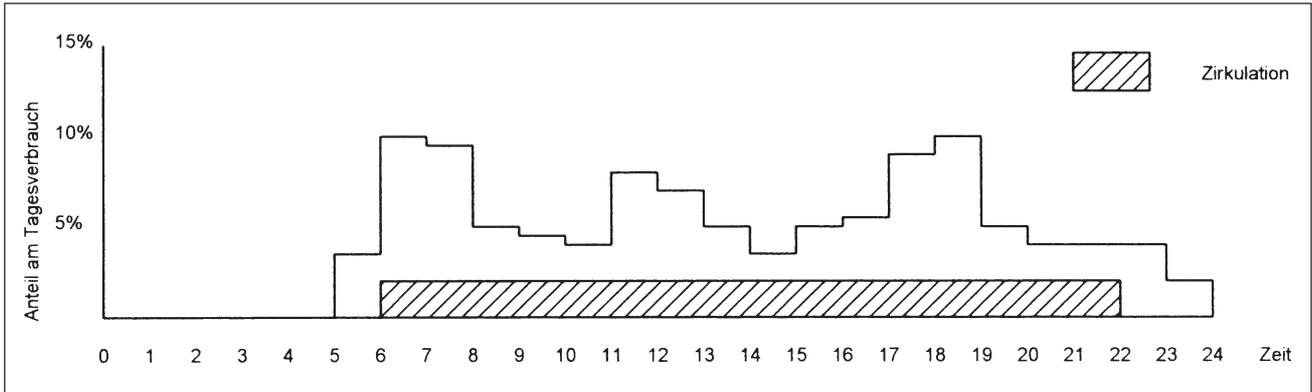


Abbildung 3.11  
Verbrauchsprofil Warmwasser

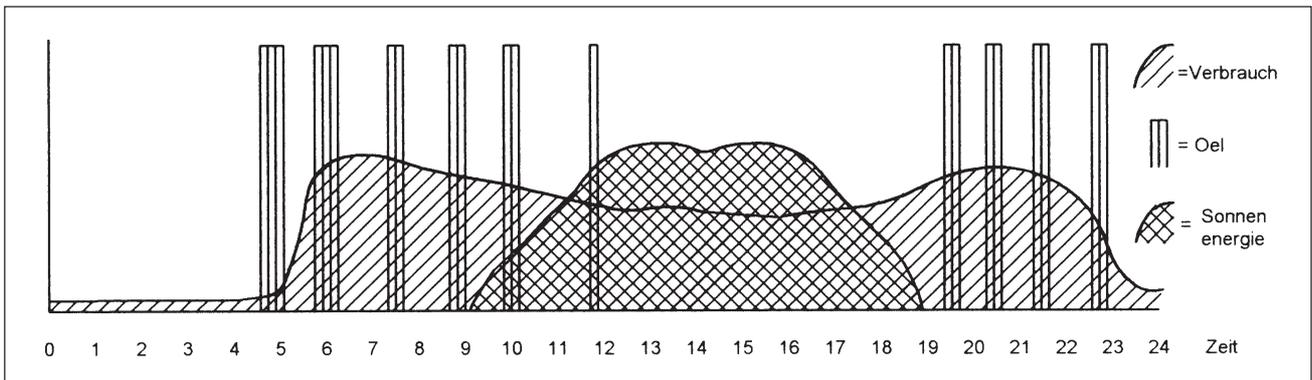


Abbildung 3.12  
Energieverbrauch der Heizung und der Warmwasserbereitung sowie die Wärmeerzeugung des Ölkessels und der Sonnenkollektoren

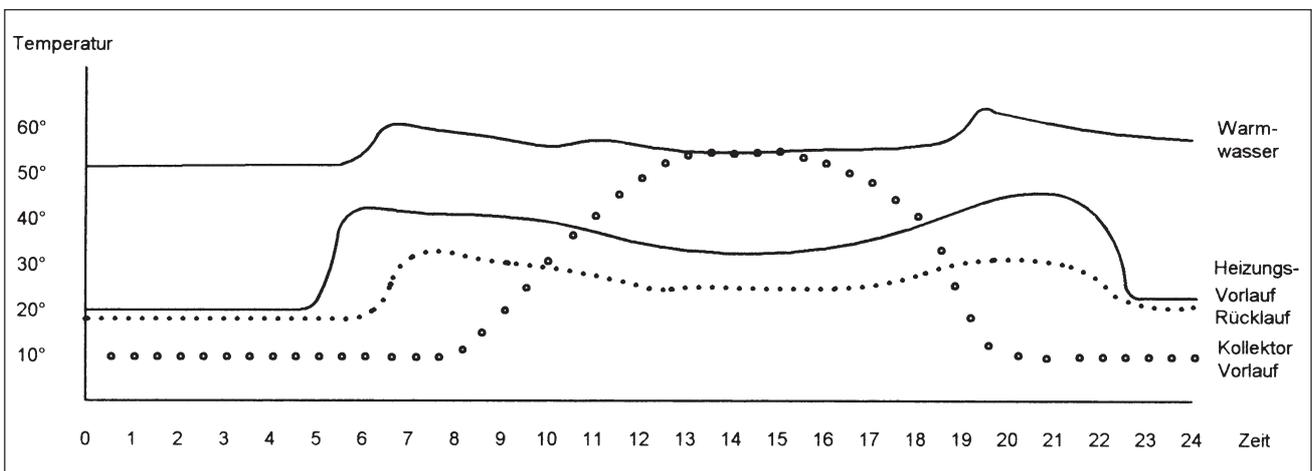


Abbildung 3.13  
Mediumtemperaturen

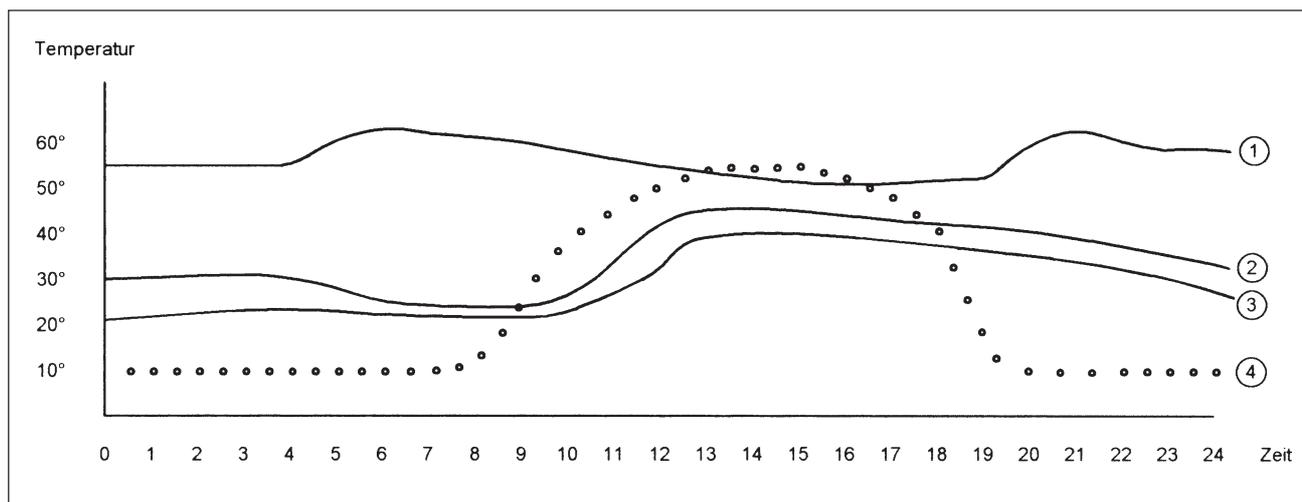


Abbildung 3.14  
Temperaturen im Speicher und am Kollektor

### 3.1.2 Energietechnische Voraussetzungen

Wie eingangs bereits erwähnt wurde, beeinflussen zahlreiche Faktoren das gesamte System. Im folgenden werden für die einzelnen Systemteile Empfehlungen in Form einer «Checkliste» abgegeben, die den optimalen Einsatz der Sonnenenergie unterstützen. Es wird grundsätzlich zwischen Anlagen, die nur zur Warmwasserbereitung und Anlagen, die daneben auch Heizzwecken dienen, unterschieden.

#### Anlagen zur Warmwasserbereitung

##### Warmwasserverbrauch und die Nutzungscharakteristik

Der Warmwasserverbrauch und die Nutzungscharakteristik sind gemäss den in Kapitel 1 und 2 erläuterten Sachverhalten zu beurteilen.

##### Speichervolumen und nutzbarer Energieinhalt

Bei Anlagen, die ausschliesslich der Aufbereitung von Warmwasser dienen, empfiehlt es sich, insbesondere bei grossem Verbrauch, zu überprü-

fen, wie gross der nutzbare Energieinhalt ist, der im Speicher gelagert werden kann, denn die Speicherkapazität beeinflusst die Zuschalthäufigkeit des nicht solaren Systems.

Systeme, die das Warmwasser direkt erwärmen, haben gegenüber Speichern mit integriertem Wassererwärmer den Vorteil, dass beim Bezug nur geringe Mischtemperaturen (Exergieverluste) entstehen. Somit ist der gesamte Speicherinhalt solar nutzbar und die Speichertemperatur bleibt im Bereich des Solartauschers nach jedem Bezug auf dem tiefst möglichen Niveau.

Beispiel: Ein Speicher mit integriertem Wassererwärmer und ein Speicherwassererwärmer, beide durch Sonnenenergie auf 80 °C geladen, werden durch einen konstanten Warmwasserverbrauch (Bezugstemperatur 50 °C) entladen. Die Entladung wird abgebrochen, wenn die Warmwassertemperatur unter 45 °C fällt.

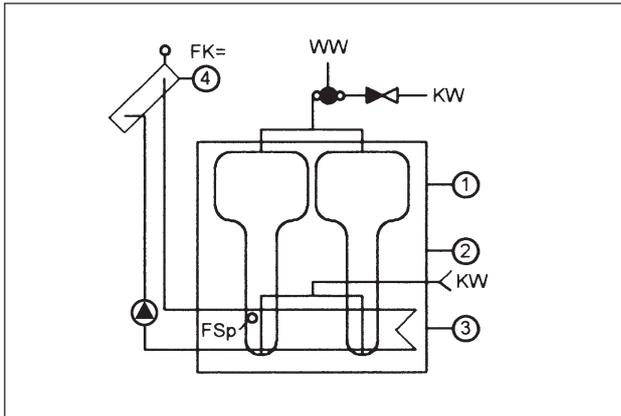


Abbildung 3.15  
Speicher mit integriertem Wassererwärmer

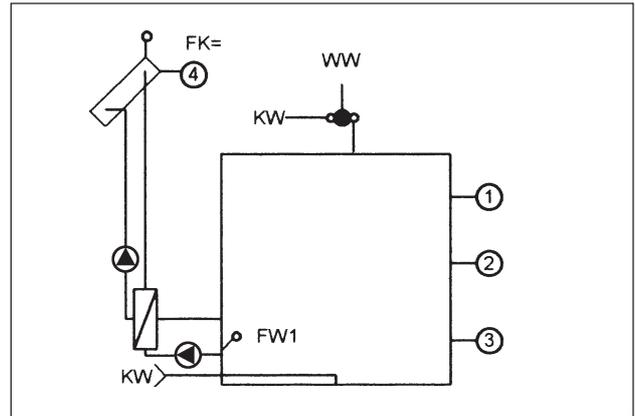


Abbildung 3.17  
Speicherwassererwärmer

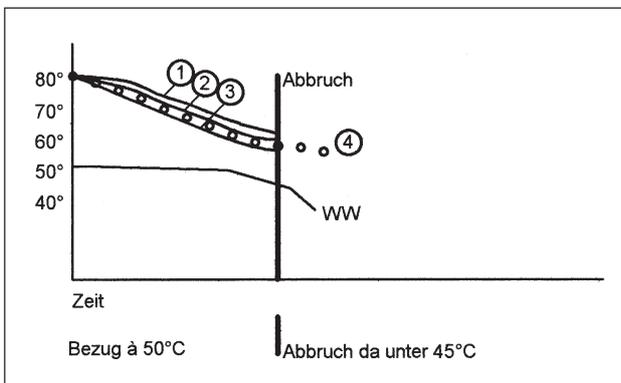


Abbildung 3.16  
Warmwasserbezug und Speicherschichtung

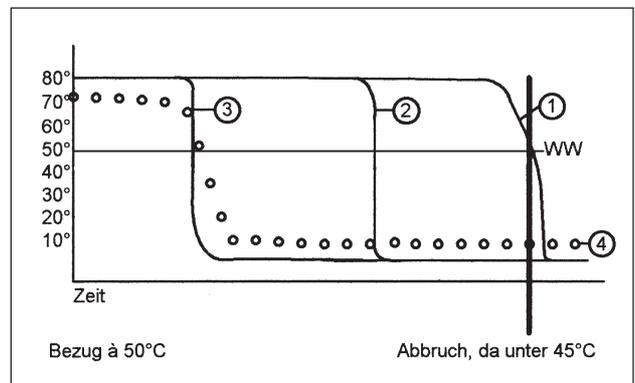


Abbildung 3.18  
Warmwasserbezug und Speicherschichtung

Beim Speicherwassererwärmer ist der Bezug über längere Zeit möglich als beim integrierten Wassererwärmer. Die Temperatur der untersten Schicht (3) und die Kollektortemperatur (4) sinken, sobald Warmwasser bezogen wird, was den Solarertrag erhöht.

#### Nachladung mit Zusatzenergie

Die Nachladung von Speicherwassererwärmern mit Zusatzenergie soll auch bei Kleinsystemen während der Heizperiode ab Heizanlage erfolgen, damit die Stromspitzen im Winter verringert werden können.

#### Warmwasserverteilung

Der Warmwasserverteilung mit Zirkulationssystem gilt es, besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

- Zirkulationssysteme sind für die Sonnenenergienutzung grundsätzlich sinnvoll. Im Winter können die entstehenden Verluste der Heizung zugerechnet werden, während sie im Sommer zum Teil mit Sonnenenergie gedeckt werden können. Mit einem Rohr-an-Rohr-System können die Zirkulationsverluste minimiert werden.
- Eine Schaltuhr soll die Laufzeit der Zirkulation begrenzen.
- Im Einfamilienhaus ist das «Einzelzapfstellen-System» anzustreben, damit die durch lange Warmwasserleitungen bedingten Zirkulationsverluste vermieden werden können.

- Der Einsatz eines thermischen Mischers als Verbrühungsschutz ist dann angezeigt, wenn Speichertemperaturen von über 60 °C erwartet werden.

#### *Speicherplatzierung*

- möglichst kurze Warmwasserleitungen
- Speicherverluste können bei entsprechendem Speicherstandort mithelfen, den Raum zu beheizen, die Wäsche zu trocknen, etc. Dasselbe gilt auch für Heizungsspeicher. Speicher- und Verteilverluste können 30% der zur Wärme- oder Warmwassererzeugung eingesetzten Energie ausmachen.

### **Anlagen zur Heizunterstützung und Warmwasserbereitung**

#### *Hochtemperatur Wärmeabgabe (Vorlauftemperatur bis 90 °C)*

Systeme mit Luftheizapparaten, Lüftungsgruppen oder Prozesswärme benötigen sehr hohe Systemtemperaturen. Diesen hohen Temperaturen gilt es besondere Beachtung zu schenken, da bei der Einführung in den Speicher eine Durchmischung des Speicherwassers stattfinden kann und damit Exergieverluste entstehen. Dieser Umstand hat auf den Solarertrag äusserst negative Auswirkungen. Daher sollten Hochtemperaturgruppen über einen eigenen Verteiler geführt und nicht mit den Niedertemperaturgruppen gemischt werden. Weiterhin gilt es zu beachten, dass die Wärmeenergie des Hochtemperaturrücklaufs unter Umständen weiter genutzt werden kann. Sofern er direkt in den Speicher zurückgeführt wird, ist eine schichtgerechte Einlagerung notwendig (vgl. Abbildung 3.26)

#### *Niedertemperaturheizung (Vorlauftemperatur bis 60 °C)*

Solaranlagen werden sehr häufig mit einer bereits bestehenden Niedertemperaturheizung kombiniert. Bei einer solchen Einbindung ist besondere Vorsicht geboten, da im Winterhalbjahr eine ungeschickte Lösung eine Halbierung des möglichen Solarertrags herbeiführen kann.

- Besondere Aufmerksamkeit ist dem Heizungsrücklauf zu schenken, der bei Niedertemperaturheizungen Temperaturen bis 50 °C erreichen

kann. Ist der Rücklaufstutzen am Speicher tief und somit auf der Höhe des Solartauschers angebracht, so wird der gesamte Speicher auf einem hohen Temperaturniveau gehalten (vgl. Abbildung 3.05). Dieser Umstand verunmöglicht die Nutzung schwacher Sonneneinstrahlung, wie sie im Winterhalbjahr öfters vorkommt. Mit einer Rücklaufumschaltung kann dieser unerwünschte Effekt verhindert werden.

- Eine Vergrößerung der Wärmeabgabeflächen – zum Beispiel in Form von zusätzlichen Heizkörpern – bewirkt ebenfalls eine Verminderung der Vorlauftemperaturen.
- Durch bauliche Massnahmen, zum Beispiel durch zusätzliche Wärmedämmung der Gebäudehülle, kann der Heizenergiebedarf des Gebäudes verringert werden. Dies wiederum erlaubt eine Senkung der Vorlauftemperatur für die Heizung, was sich positiv auf den Solarertrag auswirkt.

#### *Tieftemperaturheizungen (Vorlauftemperatur bis 45 °C)*

Tieftemperaturheizungen bilden die beste Voraussetzung für den effizienten Einsatz von Solaranlagen.

- Bei Neubauten ist eine maximale Vorlauftemperatur von 45 °C bei minus 8 °C Aussentemperatur vorzusehen.
- Die Einbindungen ist problemlos, und planerische Fehler haben weniger gravierende Auswirkungen.
- Anlagen mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 30 °C stellen aufgrund der geringen Differenz von Vorlauf- und Raumtemperatur erhöhte technische Anforderungen an den Planer und können überdies zu einer Verminderung der Behaglichkeit im Raum führen.

#### *Bodenheizungen*

Bodenheizungen bilden dank Tieftemperatur eine gute Voraussetzung für den Einsatz von Solaranlagen.

- Der gesamte Unterlagsboden dient als Speicher, weshalb das Temperaturniveau gering gehalten werden kann. Mit Vorteil wird bei solchen Systemen die Heizgruppe auch tagsüber betrieben, damit die Wärme im Boden eingelagert werden kann.

- In der französischsprachigen Schweiz wird seit einiger Zeit ein neues System mit dem Namen «Plancher solaire» angewendet, das Solarwärme über ein Bodenheizsystem direkt in den Etagenböden speichert. (Siehe Exkurs 5.27)
- In südorientierten Räumen mit passiver Sonnenenergienutzung hat die Bodenheizung auch negative Auswirkungen. Beheizte Bodenflächen nehmen wenig Passivwärme auf und reagieren sehr träge.

#### *Phasenverschiebung bei der Wärmeabgabe*

- In der Übergangszeit (Frühling und Herbst) wird Sonnenenergie nicht unmittelbar, sondern erst am Abend oder am anderen Morgen benötigt. Dies gilt es bei der Dimensionierung des Speichers zu berücksichtigen.
- Um die am Nachmittag anfallende Sonnenenergie einzulagern, haben sich Speicher mit 100 bis 150 l pro m<sup>2</sup> Absorberfläche bewährt. Sehr kleine Speicher (unter 80 l/m<sup>2</sup> Absorberfläche) führen zu einem raschen Temperaturanstieg und verringern so den Kollektorsertrag.
- Grosse Speicher (über 200 l/m<sup>2</sup>) reagieren hingegen nur sehr träge. Bei tiefem Temperaturniveau im Speicher kann deshalb innerhalb Tagesfrist kein nutzbares Temperaturniveau erreicht werden, und die geringe Sonneneinstrahlung wirkt wie ein warmer Tropfen auf den kalten Stein. Diesem unerwünschten Effekt kann mit einer Teilbewirtschaftung entgegengewirkt werden. Wie in Teil 5 erläutert, bieten sich zwei Lösungen an: Entweder wird neben dem Betriebs- ein separater Lagerspeicher eingerichtet (vgl. Beispiel 5.3) oder der Speicher wird horizontal unterteilt, so dass eine Teilbewirtschaftung im oberen Teil des Speichers möglich wird (vgl. Beispiel 5.1).

### **3.1.3 Sonnenenergienutzung in Kombination mit verschiedenen Energieträgern**

Da die Sonnenenergie fast ausschliesslich in Verbindung mit andern Energieträgern genutzt wird, muss der Planer die verschiedenen Energiequellen mit entsprechender Systemtechnik sinnvoll verknüpfen. Aufgrund der Bemühungen, den Energieverbrauch zu reduzieren, sind konventionelle Wärmeerzeuger bezüglich Stillstandsverluste, Wirkungsgrad, Laufzeiten, etc. meistens optimiert. Die wichtigste Aufgabe des Planers ist es daher, die Systemtechnik so zu gestalten, dass bei der Verbindung mit Sonnenenergie jeder Energieträger seinen höchstmöglichen Nutzen bringen kann. Diese Aufgabe «gut» zu lösen, ist für den Wirkungsgrad der Gesamtanlage von entscheidender Bedeutung.

Eine wichtige Voraussetzung für ein optimales Systemmanagement ist die genaue Kenntnis über den optimalen Betrieb jedes Einzelsystems. So ist zum Beispiel die systembedingte Notwendigkeit eines Speichers bei der konventionellen Wärmeerzeugung sehr unterschiedlich. Bei einem vollmodulierenden Gaskessel bedeutet die Bewirtschaftung eines Heizungsspeichers immer einen Wärmeverlust. Bei der Sonnenenergienutzung ist der Speicher aber in fast allen Fällen eine Grundvoraussetzung für einen optimalen Betrieb. Ähnliche Fragen stellen sich bei der Warmwasserbereitung oder Nacherwärmung. Die nachstehende Tabelle gibt dem Planer eine Hilfe für die Erstellung des Gesamtsystems.

Konventionelle Wärmeerzeugung	Kombination mit Sonnenenergienutzung sinnvoll? Konzeptuelle Überlegungen Speicherbewirtschaftung	Warmwasseraufbereitung ausserhalb der Heizperiode
<b>Öl:</b> Ölkessel weisen eine beträchtliche Masse auf, Kleinkessel zwischen 15 und 80 kW Leistung wiegen bereits 100 bis 300 kg. In der Heizperiode ist der Kessel immer auf Temperatur, bei Mehrfamilienhäusern auch ausserhalb (zur Warmwasseraufbereitung). Bei neuen Kesseln sind die Stillstandsverluste gering.	Die Kombination einer Ölheizung mit einer Solaranlage erlaubt es, nicht erneuerbare, fossile Brennstoffe zu substituieren. Da Ölkessel keine Speicher benötigen - die Energie ist im Öl gespeichert - ist bei der Kombination mit Sonnenenergie dafür zu sorgen, dass nur der oberste Teil des Speichers (Warmwasseraufbereitung) ab Ölkessel geladen wird. Wird der Speicher zwecks längeren Brennerlaufzeiten geladen, sollte dies gleitend in Abhängigkeit der Aussentemperatur geschehen.	Da die Stillstandsverluste neuer, gut wärmegeämmter Kessel nur noch gering sind, ist es bei Objekten mit grossem Warmwasser-Bedarf (z.B. Mehrfamilienhäuser), auch im Sommer vertretbar, die Warmwasseraufbereitung mittels Ölkessel vorzunehmen. In Kleinobjekten (z.B. EFH) erfolgt die Warmwasseraufbereitung ausserhalb der Heizperiode sinnvollerweise elektrisch. Der gesamte Kesselinhalt muss so nicht aufgewärmt werden.
<b>Gas</b> Modulierende Gaskessel mit Kondensationswärmenutzung im Bereich bis 40 kW gibt es als Wandgeräte in leichter (bis 50 kg) und als Kessel für höhere Leistungsbereiche in schwerer Ausführung. Das Gewicht und somit die im Kessel gespeicherte Energie ist bei kleinen Geräten sehr gering, bei grossen Kesseln ähnlich den Ölkesseln.	Die Kombination einer Gasheizung mit einer Solaranlage erlaubt es, nicht erneuerbare, fossile Brennstoffe zu substituieren. Die Anforderung an das System ist bei Gaskesseln dieselbe wie bei Sonnenkollektoren. Je tiefer das Temperaturniveau, desto höher der Wirkungsgrad. Gaskessel benötigen ebenfalls keinen Speicher. Sofern über ein Speicher geladen wird, sollte dies gleitend in Abhängigkeit der Aussentemperatur, auf möglichst tiefem Niveau geschehen.	Die Warmwasseraufbereitung ausserhalb der Heizperiode ist mittels Gaskessel meistens sinnvoll.
<b>Holz</b> Holzkessel sind in ihrer Bauart sehr massiv, weshalb selbst bei Stückholzkesseln mit Restwärmenutzung sehr viel Energie im Kessel bleibt.	Die Kombination von Holzheizung und Solaranlage ist besonders geeignet. Der Holzkessel benötigt bereits einen Speicher, der über eine geringe Erweiterung, die der Solaranlage vorbehalten bleibt, genutzt werden kann.	Die Nachladung von Wassererwärmern im Sommerbetrieb mittels Holzkessel ist nicht sinnvoll. Ausgenommen sind grosse Wärmeverbände.
<b>Wärmepumpe (Elektrizität)</b> In der Wärmepumpe ist wenig Energie gespeichert, weil Inhalt und Masse des Kondensators sehr gering sind.	Die Kombination Wärmepumpe/Solaranlage ist bestens geeignet. Je nach Wärmeverteilung (Heizkörper oder Bodenheizung) benötigt die Wärmepumpe einen Pufferspeicher. Dieser kann – mit einer geringen Vergrösserung für die Solaranlage – optimal genutzt werden.	Die Warmwasseraufbereitung ausserhalb der Heizperiode ist sinnvoll.
<b>Wärmerückgewinnung</b> Wärmerückgewinnungsanlagen nutzen «Abfallwärme». Der grösste Anteil von WRG stammt aus Kühlanlagen.	Die Kombination WRG und Solaranlage konkurrenziert sich häufig direkt. Beide, Solaranlage und WRG funktionieren auf tiefem Temperaturniveau. Bei viel Sonnenwärme muss viel gekühlt werden. Ist der Energieanfall aus der WRG gross, d.h. grösser als 3 kWh pro Verbrauchseinheit, sollte auf eine Solaranlage verzichtet werden. Wenn eine Solaranlage der WRG nachgeschaltet wird, ist bei der Wahl des Kollektors ein im höheren Temperaturbereich leistungsstarkes Produkt vorzuziehen.	Die Nacherwärmung des Brauchwassers ausserhalb der Heizperiode muss immer über Elektrizität oder den konventionellen Wärmeerzeuger geschehen.
<b>Fernwärme</b> Grössere und kleinere Wärmeverbände sind immer häufiger anzutreffen. Über einen Wärmetauscher wird genau soviel Energie bezogen, wie benötigt wird.	Der Einbau einer Solaranlage in einen Fernwärmeverbund ist dann sinnvoll, wenn fossile Brennstoffe eingespart werden können und in der Fernwärmanlage ein Kessel weniger betrieben werden muss. Technisch entstehen bei der Einbindung keinerlei Probleme, die Voraussetzungen sind sogar nahezu optimal: Die Fernwärme kann genau dann zugeschaltet werden, wenn die Sonnenenergie nicht mehr ausreicht.	Die Nachladung des Brauchwassers ab Fernwärme ist problemlos, wenn diese auch im Sommer zugeschaltet ist. Sonst ist auf konventionelle Nacherwärmung zurückzugreifen.

Abbildung 3.19: Sonnenenergienutzung in Kombination mit anderen Energieträgern.

### 3.1.4 Einregulierung

Der Einregulierung der herkömmlichen Heizanlage kommt beim Verbund mit einer Solaranlage grösste Bedeutung zu.

- Die Heizverteilung ist hydraulisch abzugleichen, damit eine möglichst tiefe Rücklauftemperatur erreicht werden kann. Eine Spreizung von 10 bis 15 K soll angestrebt werden.
- Damit die Speichertemperatur über einen zu warmen Rücklauf nicht angehoben wird, ist die Heizkurve möglichst tief einzustellen.
- Wenn bei der Nachwärmung des Warmwassers über die Heizungsanlage der Wassererwärmer so gross ist, dass minimal ein Tagesbedarf an Warmwasser darin gespeichert werden kann, dann empfiehlt sich eine Regelung der Nachladung über eine Zeitschaltuhr (z.B. Ein: 17 Uhr, Aus: 20 Uhr). Ein zusätzlicher Thermostat mit einer Minimaltemperatur (z.B. 45 °C) hilft, allfällige Versorgungsengpässe zu überbrücken. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass nur bei ungenügender Solarleistung nachgewärmt wird.
- Bei Einfamilienhäusern ist eine einmalige Nachladung normalerweise ausreichend. Diese findet mit Vorteil zu einem Zeitpunkt statt, an dem kein Solarertrag mehr zu erwarten ist, also nach Sonnenuntergang. Eine Zeitschaltuhr, die in den meisten Fällen bereits in der Regelung eingebaut ist, sorgt für das richtige Timing.

## 3.2 Speicher und Speicherbewirtschaftung

### 3.2.1 Die Notwendigkeit des Speichers

Der Einbau eines Speichers führt zu mehr Verlusten und er sollte deshalb einer Notwendigkeit entsprechen. Diese ist in folgenden Fällen angezeigt:

- Wenn die Zeiten von Energieproduktion und Energieverbrauch nicht abgestimmt werden können, wie dies vorwiegend bei der Sonnenenergienutzung und der Holzverbrennung der Fall ist.
- Wenn innerhalb einer kurzen Zeitspanne grosse Mengen an Energie benötigt werden, z.B. bei der Warmwasserbereitung oder zum Teil auch bei der Prozesswärme.
- Wenn systemtechnische Gründe wie beispielsweise beim Betrieb von Wärmepumpen zur Verlängerung der Maschinenlaufzeit vorliegen.

**Das Motto «Je mehr Speicher, desto besser!» ist falsch. Der Speicher muss den technischen Anforderungen angepasst und systemgerecht dimensioniert werden.**

### 3.2.2 Speicherverluste

#### *Wärmeverluste*

Die Wärmeverluste der in der Haustechnik eingesetzten Speicher sind häufig sehr hoch. Der Einsatz von Solaranlagen bedingt vielfach eine Vergrösserung des Speichers, weshalb der Vermeidung von speicherbedingten Wärmeverlusten besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte.

Nachstehende Tabelle zeigt gemessene Wärmeverluste an Speichern.

WW-Abgangsleitung mit 3 cm PIR-Dämmung	0.6 W/K
Muffe für Elektroeinsetz 6/4», ungedämmt	0.4 W/K
Flansch für Wärmetauscher F200 mm, gut gedämmt	1.0 W/K
Flansch für Elektroeinsetz F225 mm, schlecht gedämmt	1.9 W/K
Kaltwasserzuleitung seitlich, 5/4»	0.3 W/K
Speicher 500 l mit 10 cm Weichschaumdämmung	1.4 W/K
Speicher 1800 l mit 10 cm Weichschaumdämmung	3.2 W/K

Abbildung 3.20

Wärmeverluste verschiedener Speicherkomponenten

Die Abbildung 3.20 verdeutlicht, dass ein schlecht gedämmter Flansch oder eine nicht gedämmte WW-Abgangsleitung mehr Verluste verursachen als der gesamte Mantel. Daher gilt:

- Alle Anschlüsse sind mit Syphon zu versehen.
- Schwerkraftzirkulationen müssen mittels Rückschlagventilen, Motorventilen, etc. vermieden werden.
- Das gesamte Leitungssystem sollte vom Verbrauchsort bis hin zum Speicher durchwegs gedämmt sein. Auch ein siphonierter, aber ungedämmter Anschluss führt zu steten Wärmeverlusten. Diese erfolgen nicht nur direkt über die durch die tiefere Raumtemperatur gekühlte Rohrleitung, sondern auch durch die daraus resultierenden Strömungen innerhalb des Rohres (Konvektionen siehe auch Abbildung 3.21).

**Jeder Stutzen bringt neben dem hydraulischen Nutzen auch thermische Verluste.**

Exergieverluste (Siehe Exkurs «Exergie» S. 91)

Exergieverluste entstehen durch die Zerstörung der Temperaturschichtung im Speicher. Für die optimale Nutzung der Sonnenenergie ist diese Temperaturzonung innerhalb des Speichers jedoch von höchster Wichtigkeit, weshalb exergiebedingte Verluste des Speichers auf den Wirkungsgrad einer Solaranlage einen grossen Einfluss haben. Es gibt verschiedene Ursachen für Exergieverluste:

- Falsche Anschlüsse können zur Folge haben, dass beispielsweise der warme Rücklauf in eine kalte Temperaturzone des Speichers geleitet wird und somit das warme Wasser abgekühlt wird.
- Ist die Eintrittsgeschwindigkeit des Speichermediums an einem Anschluss zu hoch, führt dies unweigerlich zu einer Durchmischung des ge-

samten Speicherinhalts und somit zu einer Vermischung der unterschiedlichen Temperaturzonen im Speicher. Durch die Verringerung der Einströmgeschwindigkeit unter 0.2 m/s, beispielsweise durch das Anbringen eines grösseren Winkelanschlusses, kann diese unerwünschte Strömung unterbunden werden.

- Nichtgedämmte Speicheranschlüsse, Flansche, etc. kühlen das Warmwasser ständig ab, was dazu führt, dass dieses in untere Bereiche des Speichers sinkt und so die Temperaturzonen zerstört.

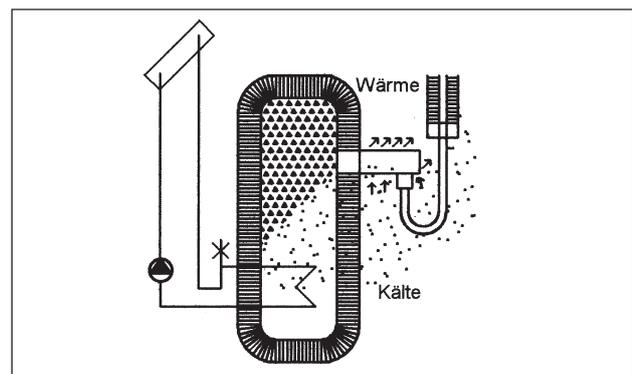


Abbildung 3.21

Zerstörung der Temperaturzonen innerhalb eines Speichers, bedingt durch einen schlecht gedämmten Anschluss

- Bauteile wie beispielsweise Elektroeinsetze, die in den Speicher bzw. Wassererwärmer eingebaut werden, führen bei grossem Wasserverbrauch aufgrund der sich an ihnen bildenden Wirbeln ebenfalls zu einer Zerstörung der verschiedenen Temperaturzonen.
- Der Einbau eines Wassererwärmers, der einen schnellen Aufstieg des kalten Wassers in die warmen Zonen des Speichers zur Folge hat, führt ebenfalls zu einer Durchmischung der verschiedenen Temperaturzonen.

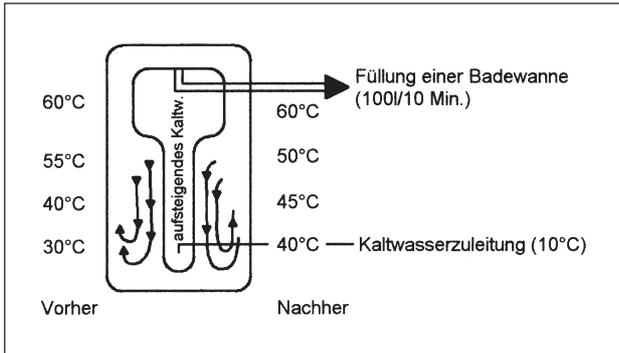


Abbildung 3.22  
Exergieverlust, bedingt durch einen momentan grossen Warmwasserbezug

**Exergieverluste, die zu einem Temperaturanstieg im Bereich des Solartauschers führen, sind zu vermeiden.**

### Schichtrohr

Wird innerhalb des Speichers eine zu kleine Schicht bewirtschaftet, kann dies zu einem «Kurzschluss» führen, d.h. das in den Speicher ein-tretende Wasser wird direkt wieder abgesogen. Dies kann dadurch vermieden werden, dass ein Schichtrohr eingebaut wird, welches die Zonenbildung innerhalb des Speichers unterstützt, oder die Zu- und Abflussstutzen so angebracht werden, dass sie möglichst weit auseinander liegen.

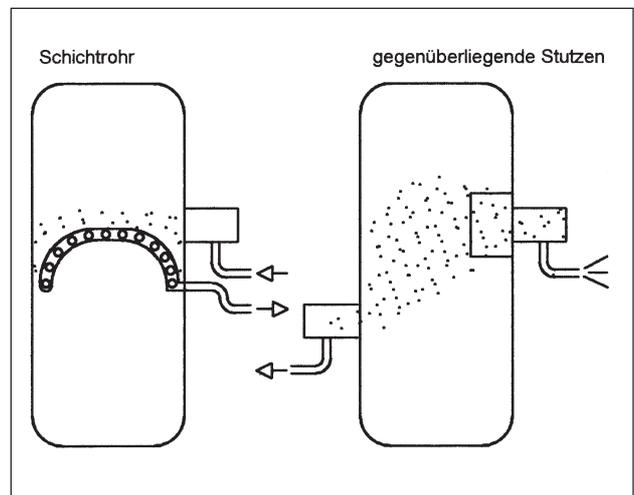


Abbildung 3.23  
Vermeidung eines «Kurzschlusses» durch Schichtrohr oder richtig plazierte Stutzen

**Verkalkung**

In der Praxis hat sich gezeigt, dass in den Speicher eingeschweisste Wassererwärmer, Doppelman-  
telboiler, etc. nicht verkalkungsanfällig sind. Bei  
Rippenrohrtauschern, die im Speicher angebracht  
sind, ist darauf zu achten, dass der elektrische  
Stromkreis des Speichers und jener des Rohrtau-  
schers getrennt sind, d.h. der Rohrtauscher mit  
einer Isolierverbindung am Speicher angebracht  
werden muss.

**Externe Wärmetauscher bei WW-Speicher**

Grosse Solaranlagen werden häufig mit externen  
Wärmetauschern betrieben. In diesem Fall gilt es  
insbesondere darauf zu achten, dass der Rücklauf  
des Sekundärkreises am Speicher über einen eigen-  
en Anschlussstutzen verfügt. Der Rücklauf des  
Sekundärkreises darf nicht direkt an der Kaltwas-  
serzuleitung angeschlossen werden, da dies zu  
starken Verkalkungen führen kann, weil bei jedem  
Wasserbezug ab Speicher kaltes Leitungswasser  
direkt in den Wärmetauscher kommt und dort  
unter Umständen auf 90-gradiges Wasser des Pri-  
märkreislaufes trifft.

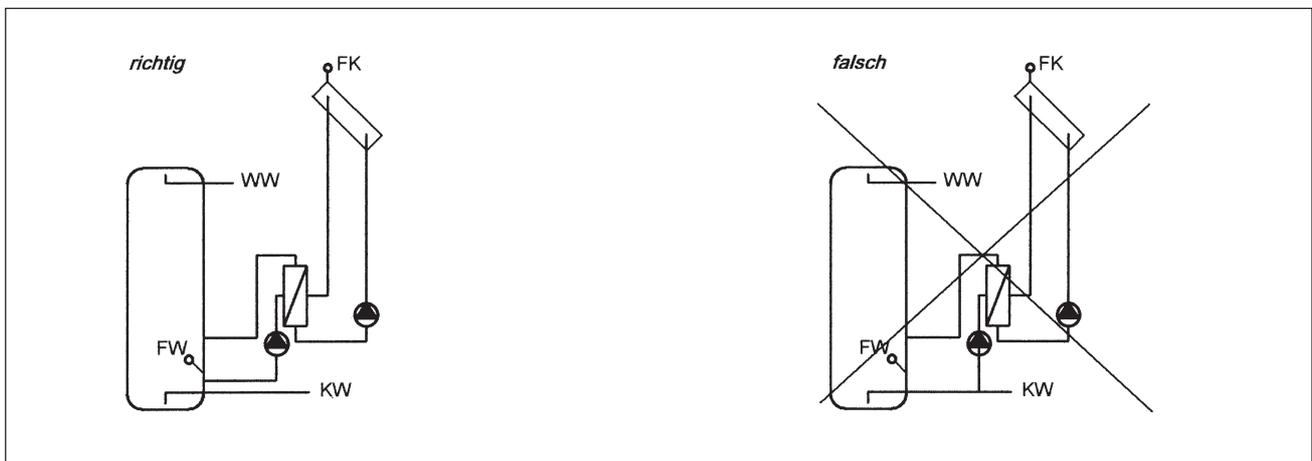


Abbildung 3.24  
Richtiger und falscher Anschluss eines externen  
Wärmetauschers bei Wassererwärmern

**Folgerungen**

- Der Speicher ist entsprechend den techni-  
schen Systemanforderungen zu dimensio-  
nieren. Liegt die errechnete Speicherkapazi-  
tät zwischen zwei verfügbaren Modellen, ist  
dem grösseren den Vorzug zu geben.
- Die Energie ab Wärmeerzeuger soll nur dann  
in den Speicher gegeben werden, wenn dies  
aus technischen Gründen notwendig ist.
- Eine schichtgerechte Einführung und Ent-  
nahme im Speicher ist anzustreben, damit  
möglichst wenig Exergieverluste entstehen.
- Die Sonnenenergie ist möglichst direkt im  
Verbrauchsmedium einzulagern.

### 3.3 Hydraulik im konventionellen Teil

Die Wahl des Energieträgers für die Heiz- bzw. Warmwasseranlage bestimmt auch weitgehend die Hydraulik sowohl für die Wärmeabgabe wie auch für die Wärmeverteilung. Wird eine Solaranlage nachträglich eingebunden, so sollte nach Möglichkeit der Speicher nicht oder nur soweit als notwendig nachgeladen werden, wenn die Hydraulik des bereits bestehenden Systems ohne Speicher auskommt, denn die Energie ist ja bereits im Energieträger gespeichert und muss daher auch nicht vorzeitig in Wärme umgewandelt werden. Benötigt die Anlage vor dem Einbau hingegen bereits einen Puffer- oder Lagerspeicher, kann dieser zur Speicherung von Sonnenenergie erweitert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der unterste Teil des Speichers nicht mit dem bisherigen Energieträger geladen wird, sondern allein der solaren Wärmegegewinnung zur Bewirtschaftung vorbehalten wird.

### 3.4 Regelung

Die meisten Heiz- und Warmwasseranlagen verfügen heutzutage über eine ausgereifte Regeltechnik, welche die Vorlauftemperatur der Aussentemperatur anpasst, die Warmwassererwärmung über eine Schaltuhr steuert, und welche dem Servicemonteure vertraut ist. Um die Wartungsfreundlichkeit zu gewährleisten und um unnötige Kosten zu vermeiden, ist beim Einbau einer Solaranlage keine komplexe Gesamtregelung anzustreben, die sämtliche Funktionen verknüpft. Dadurch müsste nämlich für die einfachsten Kontrollen und Reparaturen ein Regelungstechniker beigezogen werden. Viel naheliegender und kostengünstiger ist es, mit einer angepassten Systemtechnik die konventionelle Regelung zu integrieren. Einfachheit ist in den meisten Fällen der Garant für ein einwandfreies Funktionieren des Verbundes.

Für die Regelung der Solaranlage hat sich die Temperaturdifferenz-Regelung durchgesetzt. Bei Kleinanlagen und Anlagen mit kurzen Leitungen (unter 40 m) reicht eine einfache Ein-Aus-Regelung aus, mit der die Umwälzpumpe geschaltet wird. Bei Anlagen mit Leitungen über 40 m empfiehlt sich hingegen je eine separate Steuerung, um die Leitung vorzuwärmen und den Speicher zuzuschalten. Bei integrierten Wärmetauschern sollte die Einschalttdifferenz zwischen Kollektor und Speicher zwischen 5 und 10 K und die Ausschalttdifferenz zwischen 2 und 4 K liegen. Bei externen Wärmetauschern muss die Einschalttdifferenz – entsprechend der Differenz zwischen Primär- und Sekundärkreislauf – höher liegen.

Der Kollektorkreis kann auch über einen Strahlungsfühler in Betrieb gesetzt werden. Der Einschaltwert liegt bei rund 100 W/m<sup>2</sup>. Diese Möglichkeit bietet sich insbesondere dann an, wenn mehrere Verbraucher auf unterschiedlichem Temperaturniveau zugeschaltet werden. Unabdingbar ist in diesem Fall ein Differenzregler, der das Auskühlen eines bereits erwärmten Speichers verhindert.

Der erfolgreiche Einsatz von Fühlern ist grundsätzlich von der exakten und fachgerechten Platzierung am Kollektor abhängig. So müssen sie unmittelbar beim Mediumsaustritt angebracht werden und überdies unempfindlich gegenüber induktiven Störungen wie Blitzschlag sein. Strahlungsfühler reagieren überdies sehr empfindlich auf Verschmutzung und Schneebedeckung und müssen entsprechend abgeschirmt platziert werden.

## Anhang: Beispiele haustechnischer Einbindung

### Beispiel 1

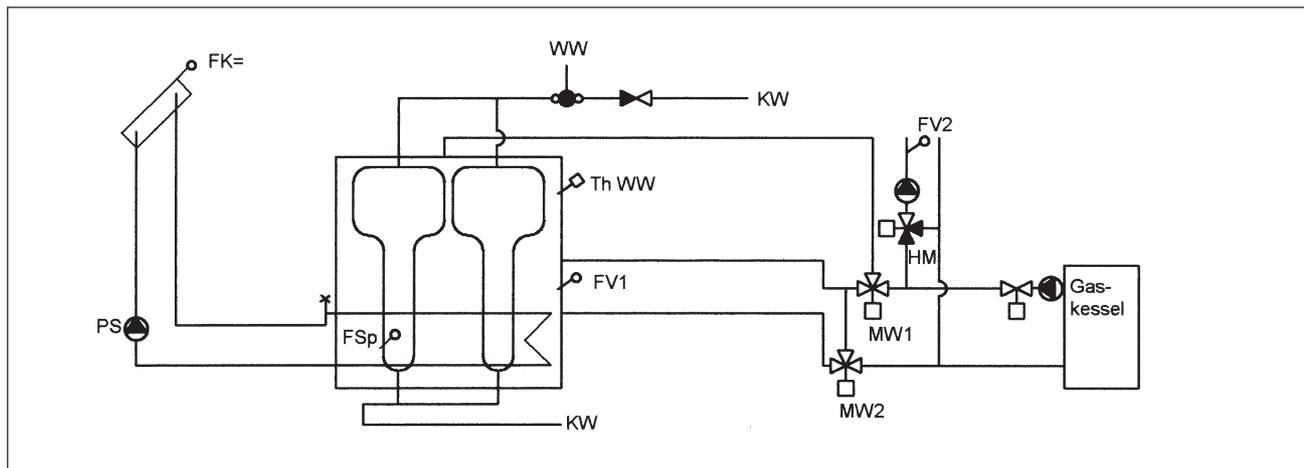


Abbildung 3.25  
 Anlage für einen grossen WW-Bedarf und Heizunterstützung mit integrierten Wassererwärmern

#### Wassererwärmung

Speicher mit mehreren integrierten Wassererwärmern werden in der Schweiz bei Anlagen mit grossem WW-Bedarf häufig eingerichtet. Werden diese Systeme als reine Warmwassererzeuger konzipiert, verfügen sie über keinen optimalen Solarertrag. Daher kommen sie vorzugsweise in Anlagen zum Einsatz, bei denen das Kollektorfeld für eine zusätzliche Heizungsunterstützung ausgelegt ist. Um einen gleichmässigen Bezug aus allen Wassererwärmern zu gewährleisten, müssen im Falle einer solchen Einbindung die Wassererwärmer nach Tichelmann angeschlossen werden (vgl. Abbildung 3.27). Bei der oben abgebildeten Anlage wird durch die beiden Umstellventile MW1 und MW2 zusätzlich dafür gesorgt, dass während der Nachladung des WW-Bereiches ab Heizkessel nur der oberste Teil des Speichers aufgeheizt wird.

#### Heizungsregelung

Die Heizungsregelung ist mit zwei Aussensteuerungen ausgestattet, deren Heizkurven deckungsgleich sind. Die Regelung 1 mit dem Vorlauffühler FV1 im Speicher steuert den Kessel. Über diese Regelung wird der Speicher abhängig von der Aussentemperatur gleitend bewirtschaftet. Die Regelung 2 mit dem Vorlauffühler FV2 wirkt auf die Heizgruppe mit dem Heizmischer HM. Solange keine Sonnenenergie zur Verfügung steht, ist der Mischer HM immer voll offen: FV1 = FV2. Der Kesselrücklauf wird über die Vorwärmung des Warmwassers zusätzlich abgekühlt. Kommt solar gewonnene Wärme in den Speicher, wird über den Vorlauffühler FV1 der Kessel am Einschalten gehindert. Der Vorlauffühler FV2 meldet die zu hohe Temperatur und der Heizmischer HM läuft zu.

**Beispiel 2**

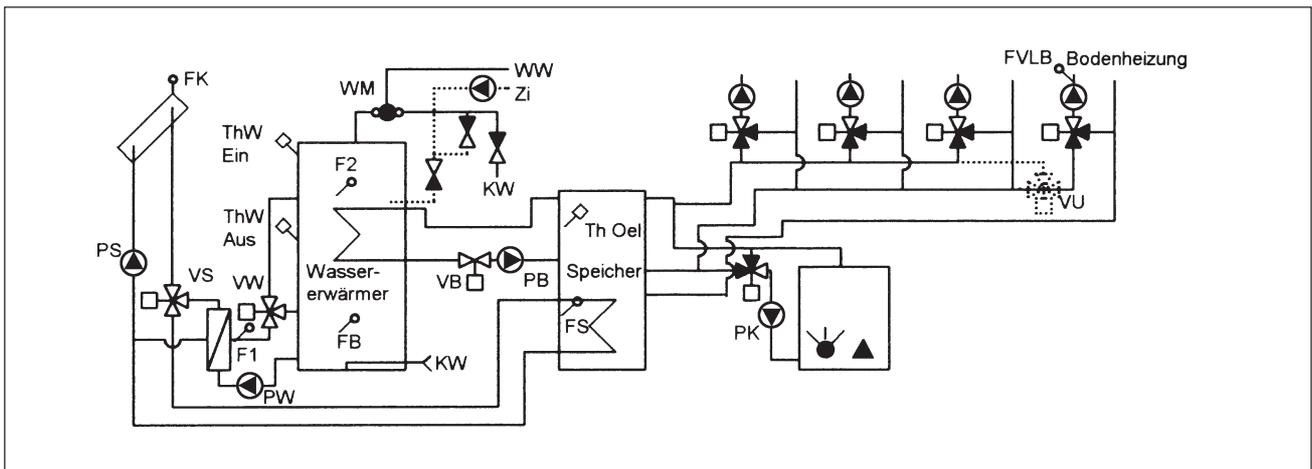


Abbildung 3.26  
Anlage für grossen WW-Bedarf und Heizungsunterstützung mit Speicherwassererwärmer

**Legende**

PS	Pumpe Kollektorkreis	F1	Vorlauffühler Sonnenenergie-Ladekreis Speicherwassererwärmer (Steuerung VW)
PW	Pumpe Sonnenenergie-Ladekreis Speicherwassererwärmer	F2	Fühler Speicherwassererwärmer oben (Steuerung VW)
PZi	Pumpe Warmwasser-Zirkulation	FB	Fühler Speicherwassererwärmer unten (Steuerung Kollektorkreis und Sonnenenergie-Ladekreis)
PK	Pumpe Kesselkreis	FS	Fühler Heizungsspeicher (Steuerung Kollektorkreis)
PB	Pumpe Zusatzenergie-Ladekreis Speicherwassererwärmer	FVLB	Fühler Vorlauf Fussbodenheizung
VS	Umstellventil Kollektorkreisvorlauf	FR1	Speicherfühler (Steuerung Heizkreisrücklauf-Umschaltung)
VW	Umstellventil Sonnenenergie-Ladekreis Speicherwassererwärmer	FR2	Heizkreisrücklauffühler (Steuerung Heizkreisrücklauf-Umschaltung)
VB	Durchgangsventil Zusatzenergie-Ladekreis Speicherwassererwärmer	ThW ein	Einschaltthermostat Zusatzenergie-Ladekreis Speicherwassererwärmer
WM	Thermisches Mischventil zur Begrenzung der Warmwasser-Temperatur	ThW aus	Ausschaltthermostat Zusatzenergie-Ladekreis Speicherwassererwärmer
VH	Mischventil Heizkreis	ThÖL	Thermostat Heizungsspeicher (Steuerung Kesselkreis)
VU	Umstellventil Heizkreisvorlauf Bodenheizung (optional)		
FK	Kollektorfühler (Steuerung Kollektorkreis)		

**Funktionsbeschreibung**

Kollektorkreis und Sonnenenergie-Ladekreis  
Speicherwassererwärmer:

Sommer:

FK > FB, FK < FS: PS ein, Stellung VS: Eck, PW  
ein (zeitverzögert)

FK > FB, FK > FS: PS ein, Stellung VS: Eck, PW  
ein (zeitverzögert)

FK < FB, FK > FS: PS ein, Stellung VS: Durch-  
gang F1 > F2

Stellung VW: Durchgang

Winter:

FK > FB, FK < FS: PS ein, Stellung VS: Eck, PW  
ein (zeitverzögert)

FK > FB, FK > FS: PS ein, Stellung VS: Durch-  
gang, wenn FS < FB

FK < FB, FK > FS: PS ein, Stellung VS: Durch-  
gang F1 > F2

Stellung VW: Durchgang

WW-Zirkulation: Zeituhr

Zusatzenergie-Ladekreis

Speicherwassererwärmer:

evtl. Zeituhr Freigabe z.B. 19.00 – 24.00 Uhr

ThW ein < 60 °C: PB ein, VB auf

Kesselkreis:

ThÖL < 60 °C: Brenner ein, PK ein

Heizkreise: witterungsgeführte Vorlauf-  
regulierungen

FVLB < Sollwert: Stellung VU: Eck

**Wassererwärmung**

Bei Anlagen mit grossem WW-Bedarf ist ein reiner  
Wassererwärmer sinnvoll; sobald Warmwasser  
bezogen wird, sinkt die Temperatur im untersten  
Teil des Wassererwärmers, und die Sonnenkollek-  
toren können immer auf tiefstem Niveau arbeiten  
(vgl. Abbildungen 3.15, 3.16, 3.17, 3.18).

**Heizungsregelung**

- Kesselregelung: Der Heizkessel wird über den  
Thermostaten Th Öl geregelt. Eine Variante be-  
steht darin, wie in Abbildung 3.24 gezeigt, den  
Speicher entsprechend der steilsten Heizkurve  
gleitend zu bewirtschaften.
- Radiatoren: Mit den Heizgruppen für Radiatoren  
wird nur der oberste Teil des Speichers bewirt-  
schaftet.
- Bodenheizung: Der Vorlauf der Bodenheizung  
wird aus dem Rücklauf der Radiatoren gespie-  
sen. Besteht die Gefahr, dass die Temperatur  
nicht ausreicht, kann das Ventil VU Abhilfe  
schaffen. Der Rücklauf der Bodenheizung wird  
auf tiefem Niveau in den Speicher geführt, was  
sich auf den Solarertrag positiv auswirkt.

**Beispiel 3**

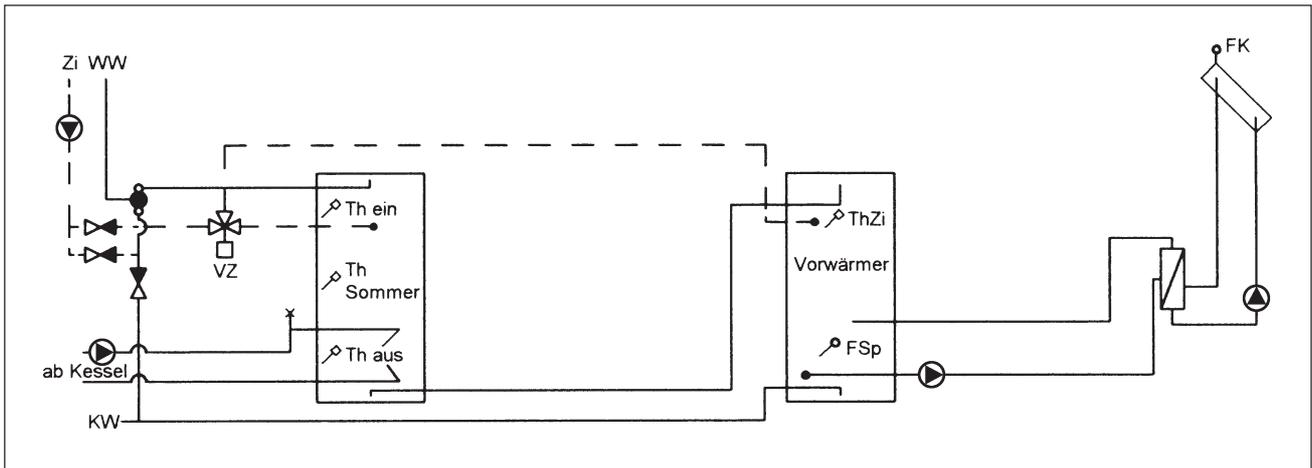


Abbildung 3.27  
Anlage zur Wassererwärmung mit Zirkulations-  
umschaltung

*Zirkulationsumschaltung*

Über den Thermostat ThZi und das Ventil VZ wird die Zirkulation auf den Vorwärmer umgeschaltet, sobald die Temperatur beim Thermostaten ThZi über 55 °C liegt, was der erforderlichen WW-Temperatur nach dem thermischen Mischer entspricht. Dies führt dazu, dass die Solarwärme ohne zusätzliche Pumpe in den Nacherwärmer transportiert wird. Zudem wird verhindert, dass im Vorwärmer ein Wärmestau entsteht und dafür gesorgt, dass auch in Zeiten ohne Verbrauch das Wasser in beiden Erwärmern solar warmgehalten wird.

*Ladung ab Heizkessel*

Bei grossen Wassermengen (über 1000 l) ist es sinnvoll, für die Nachladung ab Kessel je einen separaten Ein- und Aus-Thermostaten vorzusehen. Im Verbund mit einer Solaranlage kommt das Wasser meist vorgewärmt aus dem Vorwärmer. Ist nur ein Thermostat eingebaut, würde der Kessel häufig zugeschaltet ohne viel Energie liefern zu können, da die Temperatur des Wassers beim Einschalten möglicherweise nur einige Kelvin unter der Einschalttemperatur am Thermostat liegt.

*Sommer-Thermostat*

Bei Anlagen mit hohem Deckungsgrad kann für den Sommerbetrieb ein Minimal-Thermostat eingesetzt werden. Dieser nimmt den Kessel in Betrieb, wenn die Wassertemperatur z.B. unter 45 °C fällt.

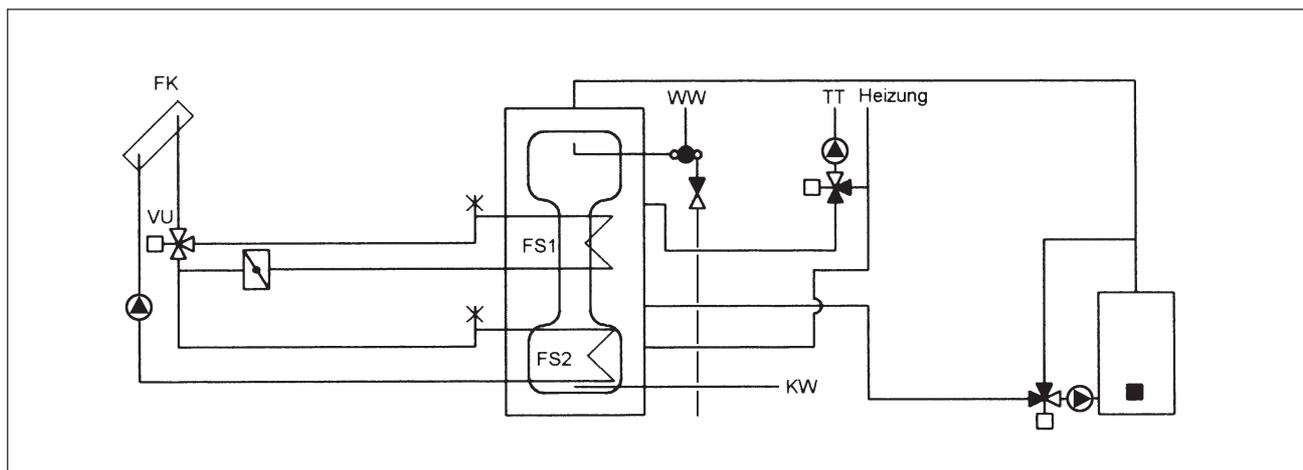
**Beispiel 4**


Abbildung 3.28  
 Anlage mit hohem Speicher, mit integriertem Wasser-  
 erwärmer und zwei Wärmetauschern

**Prinzip**

Der unterste Teil des Speichers ist für die Sonnenenergie reserviert und wird lediglich zur Vorwärmung des Warmwassers genutzt. Die Solaranlage läuft zuerst über den unteren Tauscher. Steigt die Temperatur am Kollektor (FK) über die Temperatur beim Fühler FS 1 wird über das Umstellventil VU der obere Tauscher dazugeschaltet. Durch die Serieschaltung der Wärmetauscher wird der Druckverlust erhöht und der Durchfluss verringert. Dies bewirkt eine grössere Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf bei starker Globalstrahlung (Low Flow, Vari Flow). Achtung: Dies ist keine Lösung für «Saison»- oder Grossspeicher, da bei der hier aufgezeigten Schaltung über die Sonnenenergie immer der ganze Speicher bewirtschaftet werden muss.

### Beispiel 5

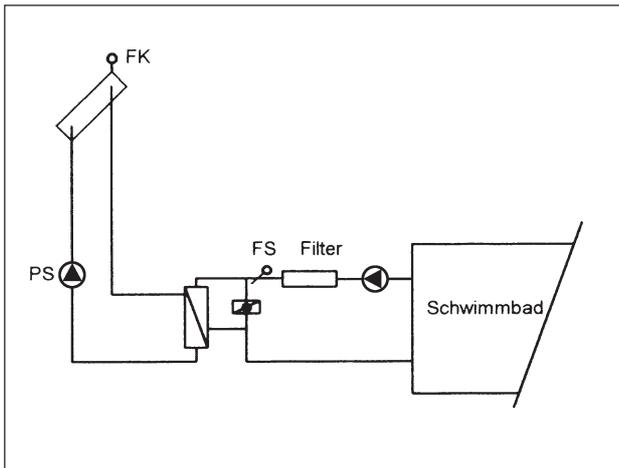


Abbildung 3.29  
Anlage für Schwimmbad-Heizung mit nicht direkt durchströmten Kollektoren

#### Prinzip

Die Kollektoren werden über den Kollektorkreis am Wärmetauscher angeschlossen. Ein effizienter Wärmetauscher (Temperaturunterschied zwischen Primär- und Sekundärkreislauf maximal 2 K) ist von Bedeutung, weil der unverglaste Kollektor von tiefen Betriebstemperaturen abhängig ist. Je nach Art des Wärmetauschers kann beim Schwimmbadkreislauf ein Bypass mit Regulierklappe eingebaut werden.

### Exergie

Der Begriff Exergie steht für denjenigen Anteil einer Energieform, der in mechanische Arbeit umgewandelt werden kann. Mechanische, elektrische und chemisch gebundene Energieformen (z.B. Erdgas, Erdöl) verfügen über einen sehr hohen Exergiegehalt. Wärme hingegen lässt sich je nach Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträger und seiner Umgebung nur bedingt, bzw. teilweise in mechanische Energie umwandeln. Der nicht umwandelbare Teil, der bei der Transformation in mechanische Energie als Verlust anfällt, wird Anergie genannt. Je grösser der Exergiegehalt einer Energieform ist, desto grösser ist auch ihre Wertigkeit.

Die Kunst einer sinnvollen Energienutzung ist es, möglichst wenig hochwertige Energie zu verbrauchen. Der Grossteil der eingesetzten Wärmeenerzeugungssysteme machen jedoch nichts anderes, als hochwertige Energie in «minderwertige» Heizwärme umzuwandeln. Die Güte dieser Umwandlung ist systemabhängig. Der Einsatz rationeller Energienutzungssysteme, zu denen auch Solaranlagen zählen, zielt im Grundsatz auf die Einsparung hochwertiger Energie bei der Wärmeenerzeugung ab. Bei Solaranlagen ist die Einsparung um so grösser, je tiefer die Systemtemperaturen liegen. Wenn im Rahmen der Sonnenenergienutzung von Exergie die Rede ist, steht dies im Zusammenhang mit dem Temperaturniveau für die solare Wärmeabgabe. Die Exergie-Optimierung im Falle einer Duschanlage beispielsweise beinhaltet den Umstand, dass das Warmwasser auf dem zum Duschen notwendigen Temperaturniveau von 40 °C direkt aus dem Speicher bezogen wird und nicht zuerst auf 60 °C erwärmt wird, um es beim Gebrauch wieder auf 40 °C herunterzumischen. Als Beispiel eines Exergieverlustes kann ein Speicher angeführt werden, der aufgrund seiner Einbauten, seiner Speicheranschlüsse oder durch das Zu- und Wegführen des Wassers ständig durchmischert wird. Dies hat nämlich zur Folge, dass einerseits im Bereich des Solartauschers die Temperatur steigt, was eine Verschlechterung des Wirkungsgrades der Solaranlage nach sich zieht, und andererseits im Bereitschaftsbereich des Speichers eine Temperatursenkung erfolgt, die zu einer Nachladung mit hochwertiger Energie führt.



## 4 Beispiel zur Auslegung einer Solaranlage

---

<b>Einleitung</b>	<b>95</b>
<b>4.1 Ausgangslage und Zielsetzung</b>	<b>95</b>
<b>4.2 Lage und Gebäude</b>	<b>95</b>
<b>4.3 Energiebedarf für die Warmwasserbereitung</b>	<b>96</b>
<b>4.4 Nutztemperatur-Bedarf</b>	<b>97</b>
<b>4.5 Verbrauchs-Charakteristik</b>	<b>97</b>
4.5.1 Tagesverbrauchs-Charakteristik	98
4.5.2 Wochenverbrauchs-Charakteristik	99
4.5.3 Jahresbedarf	100
<b>4.6 Wahl der Kollektorbauart und der Aufstellung</b>	<b>101</b>
<b>4.7 Bestimmen der Kollektor-Betriebstemperatur</b>	<b>101</b>
<b>4.8 Berechnen des Bruttowärmeertrages und der Anlagengrösse</b>	<b>102</b>
<b>4.9 Bestimmen des Speichervolumens</b>	<b>104</b>
<b>4.10 Hydraulik</b>	<b>104</b>
<b>4.11 Volumenstrom</b>	<b>105</b>
<b>4.12 Wärmetauscher</b>	<b>105</b>
<b>4.13 Überhitzungsschutz</b>	<b>105</b>

---



## 4 Beispiel zur Auslegung einer Solaranlage

### Einleitung

Das Beispiel erläutert die Vorgehensweise einer Anlagedimensionierung ohne Computerunterstützung. Das Beispiel soll die verschiedenen Aspekte der Datenerhebung und der Anlagenplanung aus den Kapiteln 1 bis 3 nochmals beleuchten.

### 4.1 Ausgangslage und Zielsetzung

In einem Schulungszentrum wird der Unterkunfts- trakt erweitert. Im Rahmen dieser Arbeiten wird die Warmwasserbereitung teilsaniert. Eine Mes- sung des Warmwasserverbrauchs über mehrere Jahre und eine aktuelle Wochenablesung (ohne Neubautrakt) liegen vor.

Die Bauherrschaft möchte ausserhalb der Heizsai- son (Holzschnitzel-Heizung) das Warmwasser weitgehend mit Sonnenenergie erzeugen. Als Kos- tendach inkl. allfälliger Subventionen wurden im Gespräch mit der Bauherrschaft 140 000.– Franken festgelegt.

### 4.2 Lage und Gebäude

**Objekt:**

Schulungszentrum für Berufsbildung mit ange- gliedertem Unterkunfts- und Restaurationstrakt

**Standort:**

Interlaken BE

**Meteodaten:**

Globalstrahlung: 1196 kWh/m<sup>2</sup>a  
(Globalstrahlung Referenzstation Kloten:  
1124 kWh/m<sup>2</sup>a)

**Haustechnik:**

Holzsnitzelheizung, Warmwasserbereitung:  
Holz kombiniert (Anschlussleistung Wasserer- wärmer: 40 kW), kombiniert mit Wärmerückge- winnung (WRG) eines Kühlkompressors mit separatem Vorwärmespeicher (Wärmeleistung: 2.3 kW, Betriebsdauer: ca. 16 Std. pro Tag)

**Möglicher Speicherraum:**

Sanitärzentrale mit einem freien Platzangebot von 4.50 x 5.20 m  
Raumhöhe: 2.90 m  
Einbringöffnung: 1.60 x 2.20 m, Zugang über Rampe von aussen

**Möglicher Kollektor-Standort:**

Flachdach begehbar; 22 x 44 m = 968 m<sup>2</sup> ; ent- spricht einer maximalen Kollektor- (Absorber-) Fläche von ca. 320 m<sup>2</sup> (= 35% der Dachfläche); Südabweichung Längsseite: -30° Ost zwei Liftaufbauten, diverse Dunstrohre

**Leitungsführung:**

Möglichkeit, die Leitungen in Nebenraum durch zwei Geschosse zu führen. Im Keller ist eine Dek- kenmontage möglich.  
Leitungslänge ab Dachdurchführung insgesamt 120 m

### 4.3 Energiebedarf für die Warmwasserbereitung

Der Energiebedarf ergibt sich aus dem gemessenen Warmwasserverbrauch der bestehenden Gebäudeteile, dem errechneten Warmwasserbedarf des Neubaus und den Zirkulationsverlusten, abzüglich dem Wärmegewinn der WRG.

Die Zirkulationsverluste werden aufgrund der Leitungslänge und der Betriebszeiten der Zirkulationspumpe abgeschätzt. (Bei Verteilnetzen mit elektrischer Begleitheizung dürfen die Verteilverluste für die Dimensionierung der Solaranlage nicht berücksichtigt werden.)

#### Warmwasserbedarf

Durchschnittlicher Jahresverbrauch Altbau gemäss Warmwasserzähler (60 °C):	2100 l/d
Berechneter durchschnittlicher Warmwasserbedarf Neubau:	660 l/d
Totaler Warmwasserbedarf nach Umbau (60 °C):	2760 l/d

#### Energiebedarf für die Warmwasserbereitung:

Täglicher Nettoenergiebedarf WW-Bezug ( $2.76 \text{ m}^3/\text{d} \times 50 \text{ K} \times 1.16 \text{ kWh/m}^3 \text{ K}$ ):	160 kWh/d
Abzug Anteil WRG ( $2.3 \text{ kW} \times \text{ca. } 16 \text{ h/d}$ ):	37 kWh/d
Verluste WW-Zirkulation und Speicher (geschätzt):	83 kWh/d
Bruttoenergiebedarf für die Warmwasserbereitung; Tageswert:	206 kWh/d
Bruttoenergiebedarf für die Warmwasserbereitung; Jahreswert ( $206 \text{ kWh/d} \times 365 \text{ d/a}$ ):	ca. 75 000 kWh/a

#### 4.4 Nutztemperatur-Bedarf

Im Rahmen der Sanierungsarbeiten wird die Warmwasserzuleitung für den Unterkunftstrakt neu geführt.

Temperaturbedarf für die Unterkünfte (Alt- und Neubau): 45 °C\*

Temperaturbedarf für die Küche (Altbau): 60 °C

\* Aus Kostengründen wird jedoch nur ein Verteilnetz mit 60 °C realisiert.

#### 4.5 Verbrauchs-Charakteristik

Das Objekt kann als Schulbau mit Hotelbetrieb eingestuft werden. Entsprechend Abbildung 1.12 werden die folgenden Verbrauchsprofile erstellt:

- Tagesverbrauchs-Charakteristik
- Wochenverbrauchs-Charakteristik
- Jahresprofil

Für die Dimensionierung der Kollektorfläche und des Speichervolumens ist ein besonderes Augenmerk auf folgende Punkte (siehe Abbildung 1.12) zu richten:

- Zeitweise kein Warmwasser-Bedarf in den Ferien
- Stark schwankender Tages-Warmwasserbedarf (Wochenende)
- Betriebszeiten der Warmwasserzirkulation (mit Abschaltung am Wochenende)

Da bereits ein Wasserzähler in der Wassererwärmierzuleitung des Speichers eingebaut war, konnten vom Hauswart über zwei Wochen die täglichen Verbrauchszahlen erhoben werden. Mittels Belegungsplänen wurde die Jahresverteilung abgeschätzt (siehe Abbildung 4.03). Der durchschnittliche Tagesverbrauch entspricht ca. 70% des maximalen Tagesverbrauchs während der Woche.

### 4.5.1 Tagesverbrauchs-Charakteristik

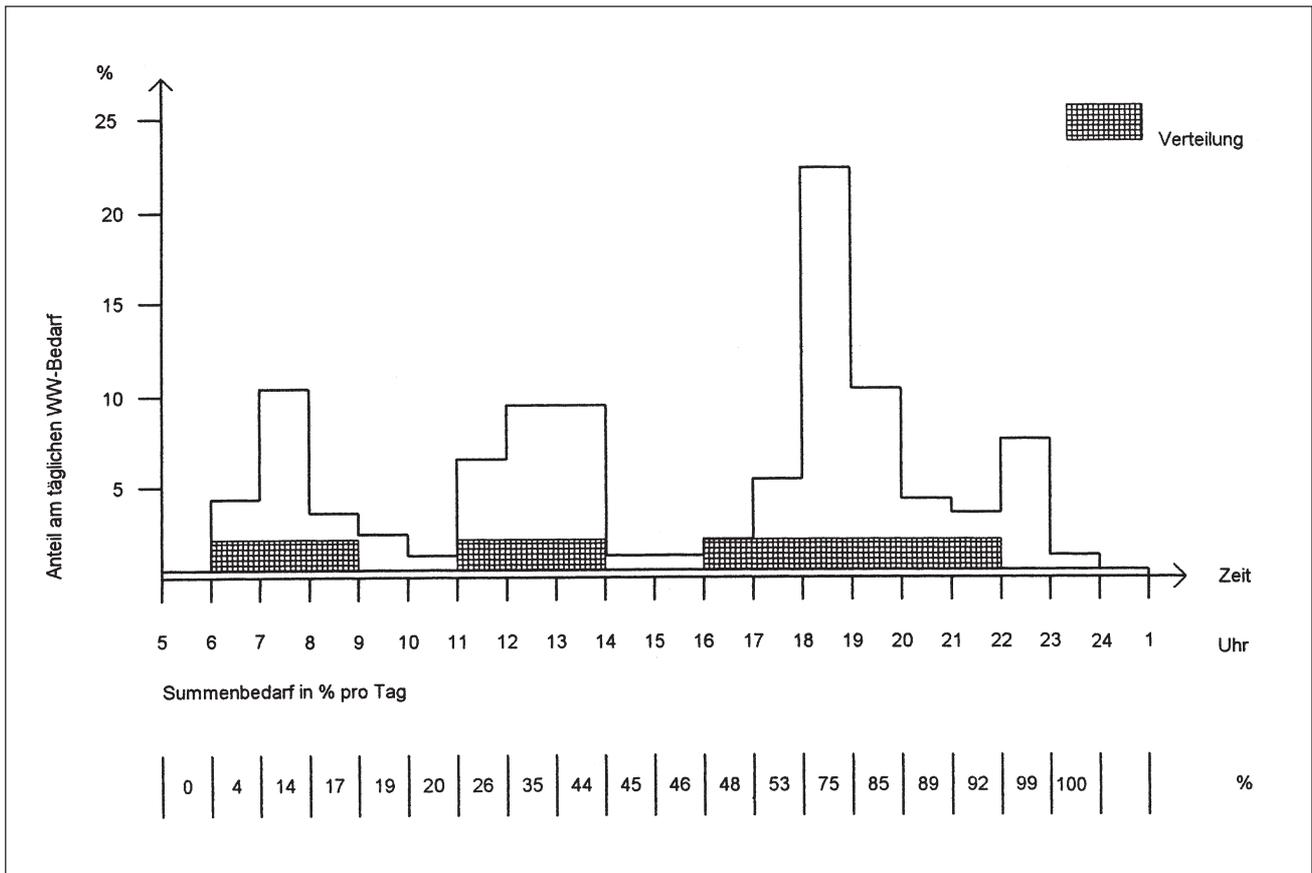


Abbildung 4.01  
Warmwasser-Bedarfsprofil (Tag)

Das Bedarfsprofil zeigt deutliche Verbrauchsspitzen am Morgen, über Mittag und am Abend. Während des Morgens und am Nachmittag kann die Zirkulationspumpe während je zwei Stunden abgeschaltet werden. In dieser Zeit ist der Verbrauch unbedeutend. Die Speicherverluste bilden die einzige konstante Grösse im Tagesverlauf.

### 4.5.2 Wochenverbrauchs-Charakteristik

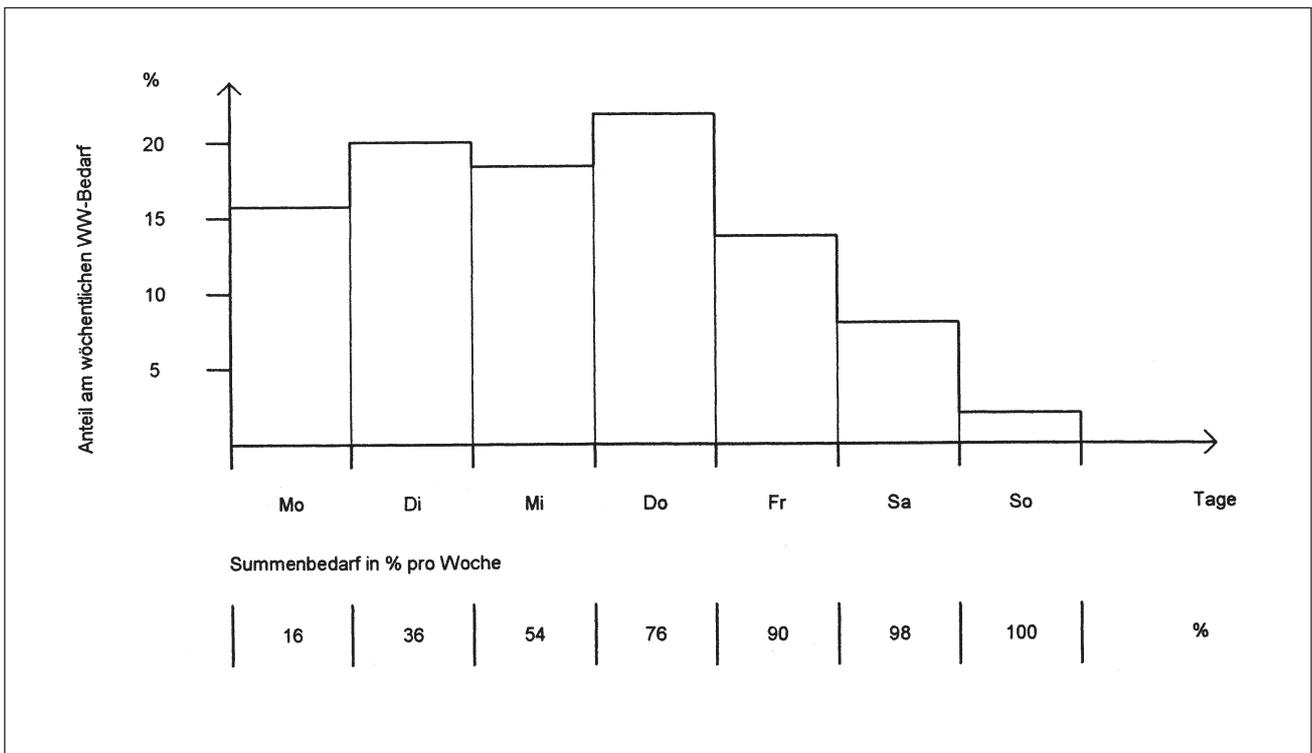


Abbildung 4.02  
Warmwasser-Bedarfsprofil (Woche)

Das Bedarfsprofil basiert auf täglichen Ablesungen während zwei Wochen im Mai durch den Hauswart. Es zeigt den stark abnehmenden Warmwasserverbrauch in der zweiten Wochenhälfte mit praktisch keinem Verbrauch am Sonntag. Würde der Warmwasserzähler nur wöchentlich abgelesen werden, ergäben sich zu tiefe Tagesverbrauchswerte. An Arbeitstagen werden rund 20% des Wochenverbrauchs benötigt. Diese Erkenntnis führt dazu, dass der Speicher grösser dimensioniert wird, da Energie über das Wochenende aufgespeichert werden kann.

### 4.5.3 Jahresbedarf

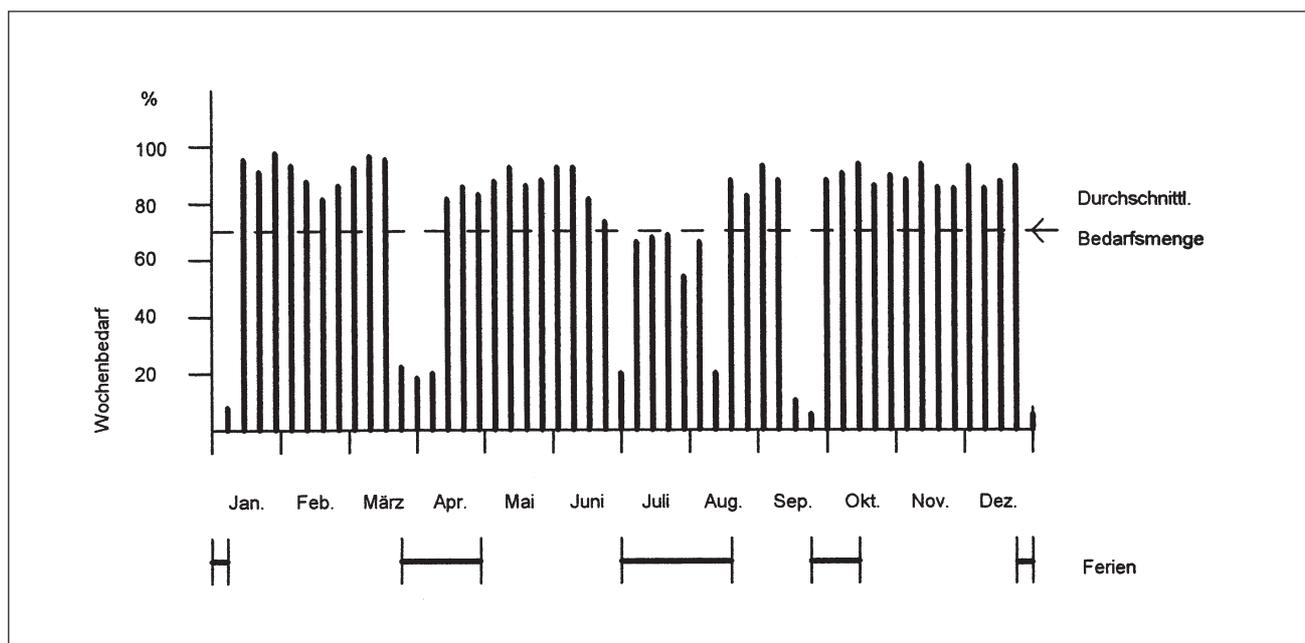


Abbildung 4.03  
 Warmwasser-Bedarfsprofil (Jahr)

Das Bedarfsprofil basiert auf Verbrauchsschätzungen, welche anhand der Belegungslisten gemacht wurden. Das Profil zeigt einen relativ ausgeglichenen Wochenbedarf mit Ausnahme der Ferien.

Zur besseren wirtschaftlichen Auslastung des Zentrums werden während der Sommerferien Teile des Zentrums vermietet. Der durchschnittliche Warmwasser-Wochenverbrauch liegt bei ca. 70% der wöchentlichen Spitzenverbrauchswerte im Jahresvergleich.

Liegt für ein Objekt nur eine Jahresmessung vor, kann unter Berücksichtigung der Schwachlastzeiten, wie z.B. der Ferien, auf den durchschnittlichen Wochenverbrauch im Normalbetrieb hochgerechnet werden.

## 4.6 Wahl der Kollektorbauart und der Aufstellung

Die Solaranlage soll ausserhalb der Heizperiode einen grossen Teil der Warmwasserbereitung abdecken. Eine Grundlast wird durch die Wärmerückgewinnung bereits abgedeckt. Da in der Regel die WRG dem freien Solarvolumen im Wasserwärmer vorgeschaltet wird, liegt das durchschnittliche Temperaturniveau bereits ca. 10 K über der Temperatur der Kaltwassereinspeisung.

Da die Anlage ganzjährig genutzt wird, kann der Kollektorneigungswinkel entsprechend Abbildung 2.17 im Bereich 15 bis 60° gewählt werden. Aus architektonischen Gründen werden die Kollektoren parallel zur Dachkante mit einem Neigungswinkel von 30° montiert. Die Südabweichung der Kollektoren ist somit -30° Ost.

Der Kollektor soll über folgende Leistungsmerkmale verfügen:

- Guter Wirkungsgrad bis 60 °C mittlere Kollektortemperatur ausserhalb der Heizperiode
- Warmwasserbereitung im Sommer, Wasservorwärmung in der Heizperiode
- Dachaufbaukollektor für die Aufstellung auf dem Flachdach

Abbildung 2.08 gibt Auskunft über die wirtschaftlich optimale Kollektorwahl. Für den Bereich Warmwasser bis 60 °C ist ein selektiver Flachkollektor am besten geeignet. Die weiteren Betrachtungen beziehen sich auf die Bruttowärmeertrags tabellen (Abbildung 2.12) für einen durchschnittlichen, selektiv beschichteten Flachkollektor. Wird zu diesem Zeitpunkt bereits ein Produkt festgelegt, können die entsprechenden Werte übernommen werden.

## 4.7 Bestimmen der Kollektor-Betriebstemperatur

In Abbildung 2.13 sind die mittleren Kollektor-Betriebstemperaturen entsprechend der Nutzung und dem solaren Deckungsgrad aufgeführt. Für das vorliegende Beispiel wird der Anlagentyp «Warmwasserbereitung in Objekten mit unregelmässigem Wochen-Verbrauchsprofil» bei einem solaren Deckungsgrad zwischen 35 und 50% gewählt.

### Achtung!

Die Abbildung 2.13 gilt nur für Anlagen mit einer Kaltwassertemperatur von durchschnittlich 10–15 °C. Da in diesem Beispiel eine Wärmerückgewinnungsanlage vorgeschaltet ist, erhöht sich die durchschnittliche, dem Solarspeicher zugeführte Kaltwassertemperatur. Diese Erhöhung der Kaltwassertemperatur – sie beträgt in diesem Fall durchschnittlich ca. 10 K – hat eine Erhöhung der mittleren Kollektorkreisstemperatur zur Folge. Es wird unterstellt, dass sich die Tabellenwerte aus Abbildung 2.13 für die mittlere Kollektorbetriebstemperatur im vorliegenden Beispiel um durchschnittlich 5 K erhöhen.

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Mittlere Kollektor-Betriebstemperatur [°C]	35	45	55	55	65	65	75	75	55	45	35	35

Abbildung 4.04  
Kollektor-Betriebstemperaturen

## 4.8 Berechnen des Bruttowärmeertrages und der Anlagengrösse

Liegt die Bruttowärmeertragstabelle wie in unserem Beispiel für den Anlagenstandort nicht vor, soll mit den Werten der nächsten Meteostation (Kloten, Locarno oder Davos) gerechnet werden. In unserem Beispiel weichen die Daten von Kloten nur geringfügig von den Daten von Interlaken ab. Für die weiteren Betrachtungen ist eine tabellarische Aufstellung der Werte angezeigt (siehe Abbildung 2.24).

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Bruttoenergiebedarf in kWh*	6300	6200	5200	5600	7700	5700	5400	6600	4500	7300	7200	7300	75000
mittlere Kollektor-Betriebstemperatur in °C	35	45	55	55	65	65	75	75	55	45	35	35	
Bruttowärmeertrag Kloten -30°/30° in kWh/m <sup>2</sup> **	6	15	27	44	60	68	66	49	50	29	12	3	429
Zeitliche Nutzung in %	85	100	80	80	100	85	85	80	65	100	100	85	
Kollektorertrag in kWh/m <sup>2</sup>	5	15	22	35	60	58	56	39	33	29	12	3	367
Kollektorkreisverluste: 5% des Kollektorertrages	0	1	1	2	3	3	3	2	2	1	1	0	19
Solarer Bruttoertrag in kWh/m <sup>2</sup>	5	14	21	33	57	55	53	37	31	28	11	3	348

Abbildung 4.05  
Solarer Bruttoertrag

\* Der Anteil der WRG ist bereits berücksichtigt. Die monatliche Verteilung erfolgte aufgrund des mittels Belegungsplänen erstellten Jahres-Verbrauchsprofils.

\*\* Interpolierte Werte

### Vergleich: solarer Deckungsgrad, Kollektorfläche und Kosten

Die Bauherrschaft will die Solaranlage ausschliesslich zur Wassererwärmung mit Schwerpunkt im Sommerhalbjahr verwenden. Beim gegebenen Kostenrahmen entspricht die Bandbreite der Anlagengrösse einem solaren Jahresdeckungsgrad zwischen 35 bis 50%. Der solare Deckungsgrad ausserhalb der Heizperiode dürfte 50% übersteigen, was dem Wunsch der Bauherrschaft entspricht.

Für vier mögliche solare Deckungsraten werden die Kollektorflächen und die resultierenden Kosten untersucht.

**Solarer Deckungsgrad 35%:**

Absorberfläche:	35% von 75 000 kWh/a = 26 250 kWh/a : 348 kWh/m <sup>2</sup> a*	= 75 m <sup>2</sup>
Kosten:	75 m <sup>2</sup> x 1510.– Fr. (gemäss Abbildung 2.06)	= Fr. 113 250.–

**Solarer Deckungsgrad 40%:**

Absorberfläche:	40% von 75 000 kWh/a = 30 000 kWh/a : 348 kWh/m <sup>2</sup> a*	= 86 m <sup>2</sup>
Kosten:	86 m <sup>2</sup> x 1490.– Fr.	= Fr. 128 140.–

**Solarer Deckungsgrad 45%:**

Absorberfläche:	45% von 75 000 kWh/a = 33750 kWh/a : 348 kWh/m <sup>2</sup> a*	= 97 m <sup>2</sup>
Kosten:	97 m <sup>2</sup> x 1480.– Fr.	= Fr. 143 560.–

**Solarer Deckungsgrad 50%:**

Die Kosten werden höher als das besprochene Kostendach von Fr. 140 000.–

\* Anmerkung: Mit einer kleineren Absorberfläche sinken die mittleren Systemtemperaturen und der Kollektorwirkungsgrad steigt dadurch an. Diese Faktoren wurden nicht berücksichtigt.

Für die Grössenbestimmung und die Ertragsabschätzung genügt die in diesem Verfahren gezeigte Genauigkeit. Eine detailliertere Datenerhebung ist in der Regel aus Zeit- und Kostengründen nicht möglich.

Interpretation der Ergebnisse und Festlegung der Absorberfläche:

Die Variante mit einer Absorberfläche von 97 m<sup>2</sup> überschreitet unter Umständen das Kostendach von Fr. 140 000.–. Eine gewisse Kostenreserve ist in der Planungsphase von Vorteil.

**Gewählt wird für die weitere Planung eine Absorberfläche von rund 86 m<sup>2</sup> mit einem solaren Deckungsanteil von rund 40%.**

Ausserhalb der Heizperiode von Mai bis September steht dem Bruttoenergiebedarf von rund 29 900 kWh ein solarer Bruttoertrag von 20 038 kWh gegenüber. Der solare Deckungsgrad beträgt in dieser Zeitspanne rund 67%. Den Ansprüchen der Bauherrschaft kann mit dieser Anlagengrösse in allen Belangen Rechnung getragen werden.

### 4.9 Bestimmen des Speichervolumens

Als Ersatz für den bestehenden 2000 l Wassererwärmer wurde bereits ein Behälter von minimal 3500 l Inhalt mit Wärmetauscher für die Schnitzelheizung und Elektroeinsatz bestimmt. Gemäss Abbildung 2.27 soll das Totalvolumen bei einem solaren Deckungsgrad von 35 bis 50% für Schulen 90 bis 120 l/m<sup>2</sup> und für ganzjährig benutzte Hotelanlagen 70 bis 90 l/m<sup>2</sup> betragen. Die Bandbreite bei der gewählten Absorberfläche von 86 m<sup>2</sup> beträgt entsprechend 6020 bis 10 320 l.

Abbildung 4.02 zeigt eine geringe Nutzung am Wochenende. In dieser Zeit muss überschüssige Sonnenenergie gespeichert werden, um sie am Wochenanfang zur Verfügung zu stellen. Die Wassererwärmer sollen aus diesem Grund eher im oberen Toleranzbereich mit einem spezifischen Speichervolumen von ca. 93 l/m<sup>2</sup> gewählt werden. Bei der gewählten Absorberfläche von 86 m<sup>2</sup> ergibt dies ein gerundetes Gesamtspeicher-Volumen von 8000 l. Aus Platzgründen wird das Volumen auf zwei Speicher mit je 4000 l Inhalt verteilt.

### 4.10 Hydraulik

Die beiden Wassererwärmer werden in Serie geschaltet. Der bestehende Wassererwärmer der Wärmerückgewinnung wird der neuen Speicheranlage vorgeschaltet.

Für die Solaranlage wird ein externer Wärmetauscher gewählt. Um das gesamte Speichervolumen für die Solaranlage zugänglich zu machen, wird der Zirkulationsrücklauf beim Erreichen von 60 °C im Vorwärmer vom Bereitschaftsspeicher auf den Vorwärmer umgeschaltet.

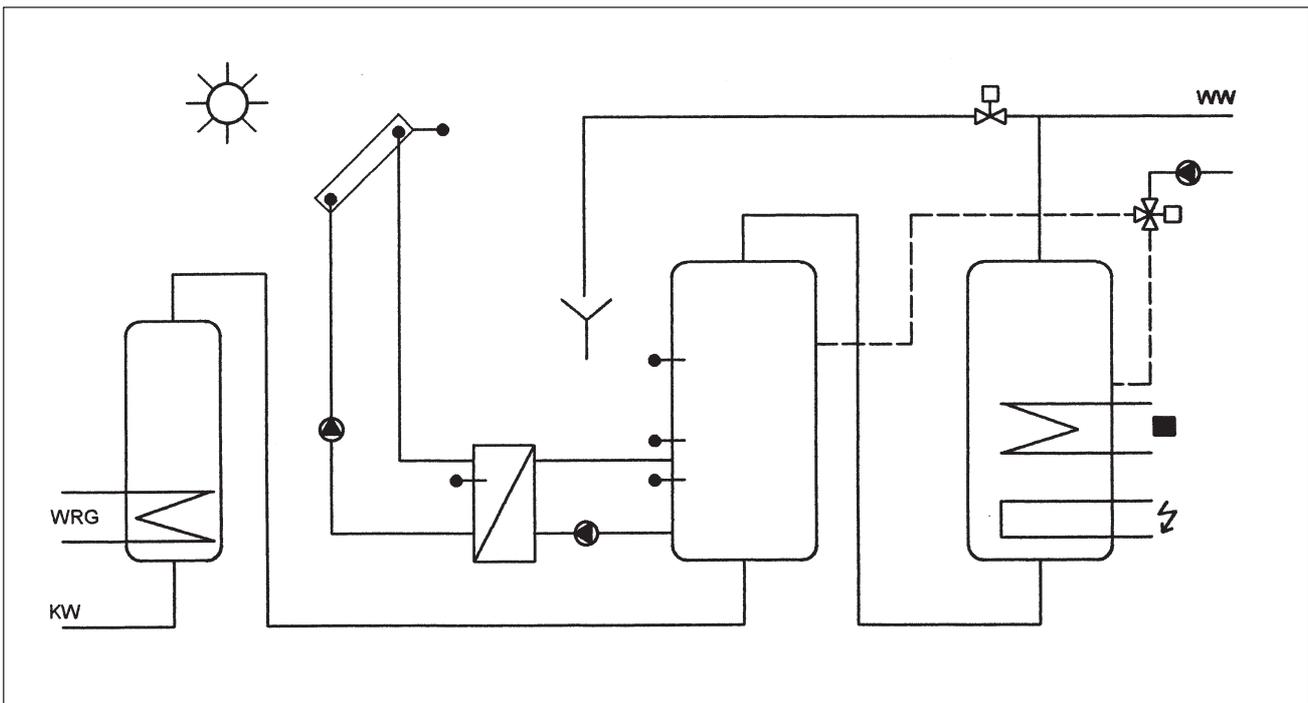


Abbildung 4.06  
Hydraulik

### 4.11 Volumenstrom

Als Wärmeträger wird ein Wasser-Glykol-Gemisch mit einer Glykol-Konzentration von 40% gewählt. Entsprechend Abbildung 2.29 ist für Flachkollektoren ein Durchfluss von 10 bis 40 l/m<sup>2</sup>h zulässig. Da die Glykolkonzentration etwas höher gewählt wurde (40% statt 35%) und eine große Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklaufleitung bei der gewählten Anlagenhydraulik keine Vorteile bringt, wird die Durchflussrate auf 35 l/m<sup>2</sup>h festgelegt.

Entsprechend dem Kollektorprodukt wird die Kollektorfeld-Hydraulik mit dem Kollektorlieferanten abgesprochen. Die Rohrleitungsdimensionierung erfolgt für den Volumenstrom von 86 m<sup>2</sup> x 35 l/m<sup>2</sup>h = 3010 l/h.

### 4.12 Wärmetauscher

Da der Volumenstrom bestimmt ist, können nun auch die Wärmetauscher-Daten festgelegt werden. Aus Kostengründen wird ein Plattenwärmetauscher eingesetzt.

Übertragungsleistung: 86 m <sup>2</sup> x 700 W/m <sup>2</sup> =	60 kW
Volumenstrom primär (Wasser-Glykol 40%):	3010 l/h
Volumenstrom sekundär (Wasser):	2700 l/h
Mittlere Temperaturdifferenz Primär-Sekundärseite:	10 K
Zulässiger Druckverlust Primärseite:	10 kPa

### 4.13 Überhitzungsschutz

Abbildung 2.31 gibt eine Übersicht über die empfohlenen Massnahmen zum Schutz vor Überhitzung. Insbesondere für die Ferienzeit müssen wirksame Schutzmassnahmen ergriffen werden.

Die gewählte Kollektorbauart erreicht im Sommer Stagnationstemperaturen von über 150 °C. Das eingesetzte Frostschutzmedium darf dauernd nur bis max. 140 °C erhitzt werden. Ein Abschalten der Anlage bei Erreichen der Solltemperatur im Speicher fällt entsprechend ausser Betracht.

Da eine Rückkühlfunktion standardmässig in der Regelung eingebaut ist, stellt dies die erste Schutzmassnahme dar. Die Rückkühlfunktion allein gewährt aber noch keinen absoluten Schutz vor zeitweiliger Überhitzung, da bei der gewählten Hydraulik das minimale Rückkühlvolumen von 50 l/m<sup>2</sup> nicht erreicht wird.

Steigt die Temperatur im Vorwärmer über 60 °C, wird zusätzlich die Warmwasserzirkulation auf den Vorwärmer umgeschaltet.

Im Normalbetrieb ist der Wassererwärmer und der thermostatische Mischer durch die Kombination dieser Massnahmen genügend geschützt.

Um beim Ausfall der Zirkulation (Pumpendefekt) die Anlage zu schützen, wird zusätzlich eine thermostatische Ablaufsicherung eingebaut. Die Ansprechtemperatur des im unteren Teil des Vorwärmers eingebauten Fühlers soll dabei der maximal zulässigen Speichertemperatur entsprechen. Wird die Ansprechtemperatur zu tief gewählt, resultiert ein unnötiger Wasserverbrauch, da unter Umständen das Ventil anspricht, bevor die Rückkühlfunktion den Speicher auf den Sollwert zurückgekühlt hat (siehe auch Abbildung 4.06).



## 5 Beispiele

<b>Einleitung</b>		<b>109</b>
1	Niedrigenergie-EFH: 100% Deckungsgrad für Heizung und Warmwasser	111
2	Doppeleinfamilienhaus: Saisonale Wärmespeicherung im Mittelland	114
3	Mehrfamilienhaus: Warmwasser-Vorwärmung mit unverglasten Kollektoren	117
4	Mehrfamilienhaus: «Gleitende» Speicherbewirtschaftung	120
5	Mehrfamilienhaus: Hoher Deckungsgrad – normaler Mietzins	123
6	Wohnsiedlung: Warmwasser-Bereitung mit Vakuumröhren-Kollektoren	126
7	Niedrigenergie-Wohnsiedlung: Kombination mit kontrollierter Wohnungslüftung	129
8	Wohnsiedlung: Nahwärmeverbund mit Sonnenenergienutzung	132
9	Wohnsiedlung: «Megawatt-Anlage» mit saisonaler Speicherung	135
10	Gefängnis/Hallenbad: Kombination WW-Bereitung/Beckenwasser-Erwärmung	139
11	Alterssiedlung: Standardlösung Warmwasser-Vorwärmung	141
12	Asyl-Empfangsstelle: Ansätze einer «exergetischen» Speicherbewirtschaftung	144
13	Sportanlage: Speichermanagement – «A und O» einer Solaranlage	147
14	Turnhalle: Augenmerk auf den Überhitzungsschutz!	150
15	Mehrzweckgebäude: Warmwasser-Bereitung und Heizungsunterstützung	153
16	Öffentliches Freibad: Solare Beckenwasser-Erwärmung ohne Zusatzenergie	156
17	Öffentliches Freibad: Duschwasser-Erwärmung	159
18	Hotel: Sonnenenergienutzung in Kombination mit Kälte-WRG	162
19	Berghotel: Warmwasser-Bereitung und Heizungsunterstützung im Alpengebiet	165
20	Spital: Konstanter Verbrauch – grosser spezifischer Ertrag	168
21	Kaserne: Solare Warmwasser-Bereitung bei Teilzeitnutzung	172
22	Kleingewerbe: Warmwasser für Coiffure-Salon	175
23	Gewerbezentrum: Autowaschen mit solar erwärmtem Regenwasser	177
24	Industrie- und Gewerbezentrum: Erde als Wärmespeicher	180
25	Büro- und Gewerbegebäude: Stockwerkweise Warmwasser-Bereitung	183
26	Verwaltungsgebäude: Solaranlagen-Planung als integraler Prozess	186
27	Werkhof Strassenunterhalt: Solare Bodenheizung mittels Direkteinspeisung	189
28	Teigwaren-Fabrik: Vorlauftemperaturen bis 120 °C	192

## EXKURSE

Spezifische Absorberfläche	110
Vari-flow	113
Schwerpunkte der Sonnenenergienutzung in der Schweiz	116
Unverglaste selektive Kollektoren	119
Dynamische Speicherbewirtschaftung	122
Solaranlagen mit hohem Deckungsgrad für Mehrfamilienhäuser	125
Sonnenwärme im Mietwohnungsbau	128
Solare Aussenluft-Vorwärmung	131
Einbindung in Nahwärme-Systeme	134
Saisonale Speicherung von Sonnenenergie	138
Vorsicht mit Ertragsprognosen!	143
Warmwasser-Zirkulation mit Sonnenenergie	146
Solaranlagen für Schulhäuser und Turnhallen	152
Fassadenkollektor-Anlagen	155
Regeltechnische Optimierung des solaren Ertrages und des System-Nutzungsgrades	158
Sonnenenergienutzung für Schwimmbäder	161
Solaranlagen für Hotels und Restaurants	164
Sonnenenergienutzung in Objekten mit Teilzeitbelegung	167
Solar load ratio und solarer Deckungsgrad: Zwei relevante Grössen?!	170
Low-flow	174
Hydraulik von Kollektorfeldern	179
Sonnenenergienutzung mit Wärmepumpen	182
Stromversorgung des Kollektorkreislaufes mit Solarzellen	185
Rationelle Wassernutzung und Sonnenenergienutzung: Konkurrenz oder ideale Ergänzung?	188
Plancher solaire	191
Solaranlagen für industrielle Prozesswärme	194

## Einleitung

### Anlageportraits

Mit den 28 Anlagenbeispielen soll kein vollständiger, sondern ein exemplarischer Überblick über die thermische Nutzung von Sonnenenergie mittels flüssigkeitsführender Kollektoren in der Schweiz gegeben werden. Nicht erwähnt werden Standardlösungen, die den Grossteil der Anlagen in Einfamilienhäusern ausmachen. Die Darstellung solcher Anlagen ist durch andere Publikationen genügend abgedeckt. Der Schwerpunkt dieser Beispielsammlung liegt auf Anlagen, für deren Projektierung in der Regel ein Haustechnik-Planer oder -Ingenieur beigezogen wird, d.h. auf speziellen und grossen Anwendungen thermischer Sonnenenergienutzung.

### Exkurse

Beinahe jedes Anlage-Portrait wird ergänzt durch einen «Exkurs». Darin werden Einzelthemen der thermischen Nutzung von Sonnenenergie abgehandelt, die in einem mehr oder weniger losen Bezug zum entsprechenden Anlagebeispiel stehen. Die einzelnen Exkurse geben nur bedingt «allgemein gültiges» Wissen wieder. Sie tragen vielmehr den Charakter von Denkanstössen, die teilweise persönliche Ansichten des Autors widerspiegeln. Die Exkurse sind aus diesem Grund mit den Namen der Autoren unterzeichnet.

### EXKURS

### Glossar der verwendeten Abkürzungen

EBF	Energiebezugsfläche
MFH	Mehrfamilienhaus
PV	Photovoltaik
SOFAS	Sonnenenergie-Fachverband Schweiz
VE	Verbrauchseinheit (5.2 kWh/d bzw. 1.9 MWh/a)
VHKA	Verbrauchsabhängige Heizkosten-Abrechnung
VWKA	Verbrauchsabhängige Wärmekosten-Abrechnung
VWWKA	Verbrauchsabhängige Warmwasserkosten-Abrechnung
WEG	Wohnbau- und Eigentumsförderungs-Gesetz
WKK	Wärme-Kraft-Koppelung
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung
WT	Wärmetauscher
WW	Warmwasser

## EXKURS

### Spezifische Absorberfläche

Als Dimensionierungshilfsmittel und grobes Beurteilungsinstrument von Solaranlagen wird die Absorberfläche in Funktion einer Verbrauchsgrösse dargestellt. Je nach Anlagentyp bzw. Nutzung der Sonnenenergie werden dabei unterschiedliche Einheiten bzw. Bezugsgrössen verwendet.

#### *Anlagen zur WW-Bereitung in Wohnbauten*

Bei WW-Anlagen für Wohnbauten wird die Absorberfläche häufig auf die Anzahl BewohnerInnen bezogen. Dieses Vorgehen ist wohl sehr praktisch, aber wenig differenziert. In den seltensten Fällen wird nämlich klargestellt, welchen WW-Verbrauch auf welchem Temperatur-Niveau die Grösse «Person» impliziert. Der Tatsache, dass der WW-Verbrauch pro Person und die WW-Nutztemperatur von Objekt zu Objekt stark differieren können, wird damit keine Rechnung getragen. Oft wird bei der Verwendung der Grösse «Person» zudem vergessen, dass u. U. im WW-System zusätzliche Energieverbräuche, wie Speicher- und Zirkulationsverluste, anfallen, die es separat einzurechnen gilt. Wird dies gemacht, müssen die Zusatzverbräuche dann als äquivalente Personenzahl oder WW-Menge dargestellt werden, was auch nicht gerade zu Klarheit verhilft. Tatsache ist, dass die Bezugsgrösse «Person» eine zwar anschauliche, aber wenig geeignete Einheit bildet, um den eigentlichen Sachverhalt, nämlich einen Energieverbrauch, darzustellen. Sie sollte in Zukunft daher vermieden werden. Sachlicher ist es, an ihrer Stelle eine spezifische Energieeinheit, z.B. kWh/d, zu verwenden. Weil dies aufgrund der weitverbreiteten Praxis in der Sanitärbranche, den WW-Verbrauch auf die Personenzahl zu beziehen, aber wenig pragmatisch ist, wurde durch die Publikation «Solare Wassererwärmungsanlagen» (1988) als Kompromiss zwischen einer Energiegrösse und der populären Einheit «Person» die Hilfsgrösse «Verbrauchseinheit» (VE) geschaffen. Sie ist als Netto-Energieverbrauch (Output Speicher) von 5.2 kWh/d, bzw. als «äquivalenter» Warmwasserverbrauch von 100 l/d à 55 °C definiert.

#### *Anlagen zur WW-Bereitung und Raumheizung*

Im Gegensatz zu den reinen WW-Anlagen ist es bei Solaranlagen, die auch der Heizungsunterstützung dienen, üblicher, die Absorberfläche auf eine Energiegrösse zu beziehen. Dies entspricht der Usanz, auch bei der Planung konventioneller Anlagen der Heizenergiebedarf als Energieeinheit darzustellen. In der Schweiz verbreitet ist das in der PACER-Publikation «Solare Warmwasser-Erzeugung» (1993) gewählte Vorgehen, als Bezugsgrösse für die Absorberfläche bei heizungsunterstützenden Anlagen den totalen Jahresenergiebedarf Wärme ( $Q_w$ ) eines Objektes in MWh/a zu verwenden. Etwas unschön daran ist, dass einerseits nicht

die in der massgebenden SIA-Norm 380/1 verwendete Einheit Joule übernommen wurde, und andererseits anstelle des Jahresenergiebedarfes Wärme nicht der Netto-Jahreswärmeverbrauch ( $Q_N$ ) gewählt. Dieser enthält auch die für die Nutzung von Sonnenenergie wesentlichen WW-Zirkulations- und Verteilverluste. Bei Anlagen mit hohem Deckungsgrad wird als Bezugsgrösse für die Absorberfläche oft auch der Wärmeleistungsbedarf oder die Energiebezugsfläche herangezogen.

#### *Bestrebungen zur Vereinheitlichung*

Im Rahmen der schweizerischen und europäischen Normierung von Solaranlagen sind Bestrebungen im Gang, die Bezugsgrösse der Absorberfläche für alle Anlagentypen zu vereinheitlichen. Die Lösung tendiert in Richtung MWh oder GJ Jahresenergieverbrauch. Die Schwierigkeit einer Vereinheitlichung, die sich auf den Jahresverbrauch bezieht, liegt darin, dass bei der Dimensionierung von Solaranlagen je nach Gebäude- bzw. Energienutzung, je nach Verhältnis von im Jahresverlauf konstantem Energiebedarf (WW) und schwankendem Bedarf (Heizung) und je nach Anlagekonzept von ganz unterschiedlichen Bezugsgrössen ausgegangen werden muss. Der Jahresbedarf ist in vielen Fällen kein relevantes Planungskriterium. Als Zeiteinheit des Verbrauchs wesentlicher können sein:

- Warmwasser-Anlagen: Durchschnittlicher Bedarf an Sommertagen
- Anlagen zur WW-Bereitung und Heizungsunterstützung: Mittlerer Tages- und Wochenbedarf in den Übergangsjahreszeiten und im Sommer
- Anlagen mit Teilzeitnutzung: Durchschnittlicher Tagesbedarf während der Nutzungszeit
- Warmwasser-/Heizungsanlagen mit hohem Deckungsgrad: durchschnittlicher Wochen oder Monatsbedarf.

Eben so wichtig wie eine Vereinheitlichung der Bezugsgrösse der spezifischen Absorberfläche wäre daher eine weitere Differenzierung nach Anlagentypen: Es sollten wie bei der Energie-Kennzahl Kennwerte für verschiedene Nutzungskategorien geschaffen werden. Die spezifischen Absorberflächen von Anlagen für Schulhäuser, Hotels, Niedrigenergiebauten usw. könnten dann untereinander verglichen werden und müssten nicht weiterhin mit solchen von konventionellen Wohnbau-Anlagen gemessen werden.

*Felix Schmid, Rifferswil*

# 1 Niedrigenergie-EFH: 100% Deckungsgrad für Heizung und Warmwasser

## Steckbrief

<i>Standort:</i>	Leuk-Stadt/VS; 750 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Niedrigenergie-EFH; Baujahr 1994
<i>Bauherrschaft:</i>	Fam. Schnider-Andenmatten
<i>Energiebezugsfläche:</i>	150 m <sup>2</sup>
<i>Energiekennzahl Wärme:</i>	ca. 210 MJ/m <sup>2</sup> a
<i>Wärmeleistungsbedarf (-8 °C):</i>	3.8 kW (HGT: 3914)
<i>WW-Nutzung:</i>	Üblicher Standard
<i>Zusatzenergie:</i>	Cheminée-Ofen (2 bis 12 kW)
<i>Wärmeabgabe:</i>	NT-Bodenheizung, t <sub>VL</sub> = 30 °C (20 °C/-8 °C)
<i>Solaranlage:</i>	WW-Bereitung und Raumheizung
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; Absorberfläche: 32 m <sup>2</sup> (45°, Süden)
<i>Speicher:</i>	Kombispeicher, 19 m <sup>3</sup> mit integriertem Wassererwärmer 300 l
<i>Planer:</i>	A. Schnider, Leuk-Stadt; Jenni Energietechnik AG, Oberburg

## Ausgangslage

Die Bauherrschaft wollte ein Solarhaus realisieren, das die Möglichkeiten der Sonnenenergienutzung im sonnenreichen Kanton Wallis aufzeigt. Die Planung des Hauses richtete sich einerseits nach einem möglichst geringen Energieverbrauch bei normalem Komfort und andererseits nach einer optimalen Nutzung der Sonnenenergie im Hinblick auf einen hohen Deckungsgrad.

## Planung und Grössenbestimmung

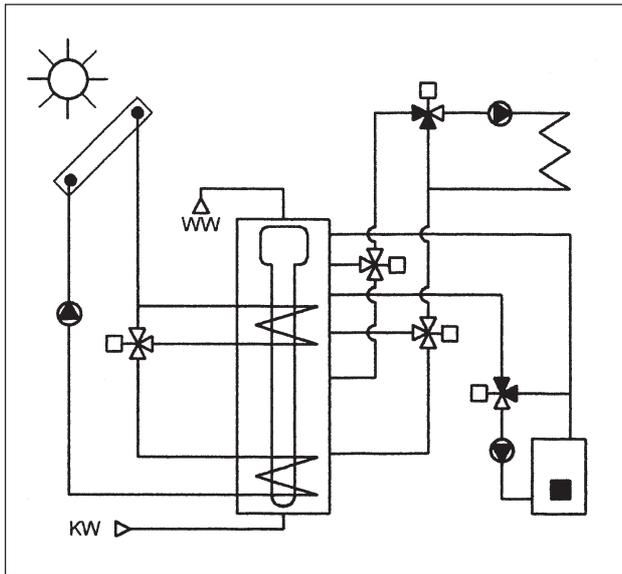
Die Lage oberhalb der Stadt Leuk ist für Sonnenenergienutzung prädestiniert: Die Sonnenscheindauer beträgt selbst am kürzesten Tag des Jahres bei Schönwetter 6 Stunden. Um die Sonnenenergie möglichst direkt und effizient nutzen zu können, wurde südseitig eine grosse Fensterfläche eingebaut (ca. 50% der Südfassaden-Fläche) und auf eine konsequente Wärmedämmung geachtet. Sie beträgt bei Dach und Aussenwand 20 cm, beim Boden zum unbeheizten Untergeschoss 15 cm. Für die Fenster, den «schwächsten» Punkt der Gebäudehülle, wurde mit der Wahl einer Wärmeschutzverglasung mit einem Glas-k-Wert von 1.1 W/m<sup>2</sup>K eine finanziell tragbare Lösung gefunden. Der nach SIA 380/1 berechnete spezifische Heizenergiebedarf beträgt 162 MJ/m<sup>2</sup>a. Im Verlauf der Konstruktion wurde dieser Planungswert allerdings noch verbessert.

Die Solaranlage wurde so ausgelegt, dass sie praktisch den gesamten Wärmebedarf inkl. Energie für die WW-Bereitung abdecken kann. An diesem Standort war dazu eine spezifische Absorberfläche von ca. 3.6 m<sup>2</sup>/MWh/a nötig. Das Speichervolumen (ca. 600 l/m<sup>2</sup> Absorberfläche) wurde auf die



Foto 5.1

**Prinzipschema**



Figur 5.1.1

längste sonnenlose Periode im Winter abgestimmt (ca. 14 Tage). Für den Fall, dass der Solarernergiegewinn nicht ausreichen sollte, steht ein Cheminée-Ofen zur Verfügung, der über ein Register den oberen Speicherbereich nachladen kann. Zur optimalen Systemnutzung wurden verschiedene hydraulische Massnahmen getroffen:

- Neben dem unteren, konventionellen Solarwärmetauscher ist ein zweiter Wärmetauscher im oberen Speicherbereich eingebaut. Er sorgt dafür, dass auch im Winter das WW grösstenteils mit Sonnenenergie bereitet werden kann (siehe Exkurs folgende Seite).
- Mehrere Speicheranschlüsse erlauben es, das Heizungswasser für die Bodenheizung dem Speicher, entsprechend der verlangten Vorlauf-temperatur, mit angepasstem Temperaturniveau zu entnehmen.

**Betriebserfahrungen**

Der Betrieb im ersten Winter erfolgte ohne Störungen. Der Cheminée-Ofen wurde nur für die Ambiance eingehiezt. Eine Speicherladung durch den Ofen erfolgte nie, wobei in Kauf genommen wurde, dass die WW-Temperatur bis auf 45 °C absank.

**Ertrag, Kosten**

Für den ersten Betriebs-Winter, während dem der gesamte Energiebedarf zu 100% mit passiv und aktiv erzeugter Sonnenenergie gedeckt werden konnte, bestanden noch keine Messungen. Bezüglich des Ertrags bestehen zur Zeit erst rechnerische Werte. Es wird angenommen, dass das Ziel 100% Deckungsgrad mit Sonnenenergie auch in Zukunft erreicht wird. Das Verhältnis von passivem zu aktivem Anteil am Sonnenenergie-Gewinn wird auf ca. 1 zu 5 geschätzt. Die Mehrkosten der Solaranlage gegenüber einer konventionellen Variante mit einer Holz-Speicherheizung werden auf ca. Fr. 50 000.– geschätzt.

**Kommentar**

Das Beispiel zeigt, dass in gut besonnten Gegenden der Schweiz voll solarbeheizte Häuser gebaut werden können, wenn konsequente Niedrigenergiehaus-Bauweise mit intensiver aktiver und passiver Sonnenenergienutzung kombiniert wird. Die Mehrkosten der Haustechnik-Anlage betragen, bezogen auf die gesamte Bausumme, rund 10%.

## EXKURS

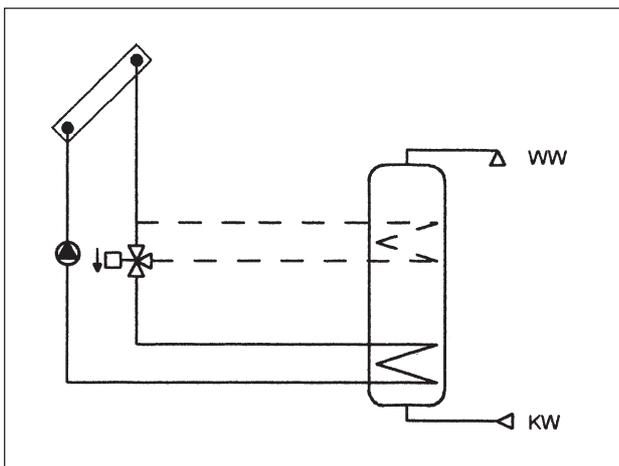
### Vari-flow

Vari-flow ist ein System zur exergetischen Speicherbewirtschaftung mittels einer quasi-automatischen, variablen bzw. zwei- oder mehrstufigen Volumenstrom-Regelung im Kollektorkreis und zwei Wärmetauschern für die Wärmeabgabe auf unterschiedlichen Temperaturniveaus. Üblicherweise werden Kollektorkreise mit einem konstanten Durchfluss betrieben und mit einem einzigen Wärmetauscher im untersten Speicherbereich ausgeführt, weil die Mehrkosten für einen variablen Betrieb mit Umstellmöglichkeit bei der Wärmeabgabe in einem schlechten Verhältnis zum erzielbaren Mehrnutzen stehen. Andererseits zeigt gerade die in jüngster Zeit im Zusammenhang mit Low-flow-Systemen geführte Diskussion darüber, wie gross der spezifische Volumenstrom bzw. die Vorlauftemperatur einer Solaranlage idealerweise sein sollten und wie die Einschichtung der Solarwärme in den Speicher am effizientesten erfolgen könnte, dass der Betrieb mit konstantem Durchfluss und einem tief liegenden Wärmetauscher im Hinblick auf eine optimale Systemnutzung ein Kompromiss darstellt. (Siehe Exkurs S. 174)

Interessant wäre ein System, das ohne grossen Mehraufwand erlauben würde, je nach Sonneneinstrahlung und erforderlichen Nutztemperaturen mit «normalem» Durchfluss (30 bis 50 l/m<sup>2</sup>h) oder reduziertem Durchfluss (10 bis 20 l/m<sup>2</sup>h; Low-flow) zu fahren und die Solarwärme auf dem jeweils «richtigen» Niveau in den Speicher einzulagern. Vari-flow kommt diesen Zielen entgegen: Mittels einem zweiten Wärmetauscher kann die Solarwärme bei genügender Kollektorleistung direkt in den oberen Nutzbereich des Speichers abgegeben werden. Um diesen Exergiebetrieb möglichst lange aufrecht erhalten zu können, erfolgt bei der Umstellung auf den oberen Wärmetauscher «automatisch» eine Reduktion des Volumenstroms, d.h. eine Anhebung der Vorlauftemperatur, indem der obere Wärmetauscher bewusst auf einen hohen Druckverlust ausgelegt wird. Angestrebt wird ein spezifischer Volumenstrom von 20 bis 30 l/m<sup>2</sup>h. Eine grössere Reduktion des Durchflusses ist kritisch, da einerseits die Strömungsverteilung im Kollektorfeld schlechter wird und andererseits der Wärmeübergang im Wärmetauscher reduziert wird.

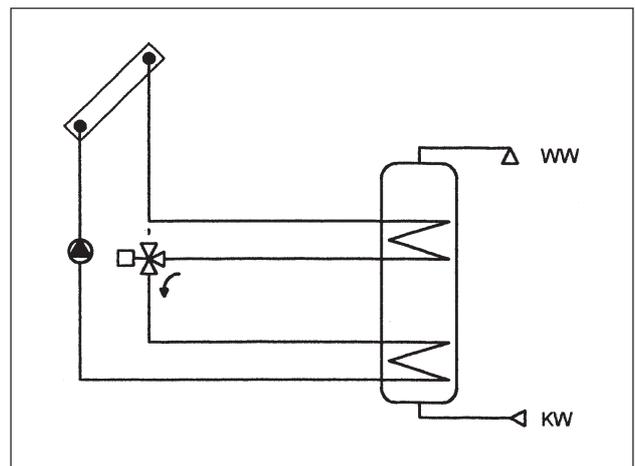
*Josef Jenni, Oberburg*

Grosser spezifischer Durchfluss, kleines  $\Delta t$



Figur 5.1.2

Geringer spezifischer Durchfluss, grosses  $\Delta t$



Figur 5.1.3

## 2 Doppelfamilienhaus: Saisonale Wärmespeicherung im Mittelland

### Steckbrief

<b>Standort:</b>	Niedergösgen/AG; 390 m ü. M.
<b>Objekt:</b>	Doppel-EFH; Baujahr: 1993/94
<b>Bauherrschaft:</b>	Fam. Tagmann, Niedergösgen
<b>Energiebezugsfläche:</b>	ca. 240 m <sup>2</sup>
<b>Wärmeleistungsbedarf (–8 °C):</b>	5 kW
<b>WW-Nutzung:</b>	Üblicher Sanitär-Standard; solare Regenwasser-Erwärmung für Waschmaschine
<b>Wärmeerzeugung:</b>	2 Holzöfen (30 und 10 kW)
<b>Solaranlage:</b>	WW-Bereitung und Raumheizung
<b>Kollektor:</b>	Flachkollektor, selektiv, dachintegriert Absorberfläche: 62 m <sup>2</sup> (38°, Süden)
<b>Speicher:</b>	Kurzzeitspeicher: 5 m <sup>3</sup> mit 2 integrierten Wassererwärmern (300 l und 150 l); Saisonspeicher: 38 m <sup>3</sup>
<b>Planer:</b>	Exertec Engineering AG, Rapperswil



Foto 5.2

### Ausgangslage

Die Vorgabe des Bauherrn an den Planer lautete: «Soviel Sonnenenergie für Heizung und WW-Bereitung wie möglich». Da das Dorf Niedergösgen grösstenteils aus Wohnbauten im typischen regionalen Baustil besteht und der Bauherr aufgrund der Bauordnung gezwungen war, das schützenswerte Äussere des bestehenden Gebäudes zu erhalten, war zur Erfüllung dieser Vorgabe keine futuristische Solararchitektur möglich. Man konzentrierte sich primär auf eine weitestgehende Reduktion des Heizenergiebedarfes mittels konsequenter Wärmedämmung und hochwärmedämmenden Fenstern (Glas-k-Wert: 0.8 W/m<sup>2</sup>K). Für die Gebäudetechnik sollten moderne, effiziente Systeme zur Anwendung kommen. Gewählt wurde eine Solaranlage in Kombination mit einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung.

### Planung, Dimensionierung

Um einen möglichst hohen solaren Deckungsgrad zu erzielen, wurde die gesamte Süddach-Fläche mit Kollektoren belegt. Bezogen auf die Energiebezugsfläche (EBF) beträgt die spezifische installierte Absorberfläche 0.26 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> EBF, bezüglich Wärmeleistungsbedarf 12.4 m<sup>2</sup>/kW. Um die Sonnenwärme optimal «verwalten» zu können, wurden zwei Speicher eingebaut:

#### *Kurzzeitspeicher («Wochenspeicher»)*

Er dient als Kombispeicher für die Bereitung von warmem Sanitär- und Regenwasser sowie für die Bereitstellung von Heizwärme. Im oberen Bereich kann er aus dem Saisonspeicher nachgeladen werden. Die Wärmedämmstärke beträgt ca.

40 cm. Alle Anschlüsse sind syphoniert, die Ein- und Austrittsgeschwindigkeiten minimiert.

#### Saisonspeicher

Der Saisonspeicher wird nur für die Energiespeicherung eingesetzt. Er besitzt nur einen Ein- und einen Austritt für Ladung und Bezug sowie zwei Anschlüsse für den Wärmetauscher. Der kubische Speicher weist bei einer Grundfläche von ca. 2.5 auf 4 m eine Höhe von 4 m auf. Sein Betriebsdruck beträgt 2.6 bar. Dies erlaubt Ladetemperaturen bis 115 °C. Höhere Betriebsdrücke werden durch das offene Expansionsgefäß verhindert. Die Isolation beträgt allseitig 80 cm. Der Speicher liegt auf einer mehrschichtigen, druckfesten Wärmedämmung. Die erste Schicht ist allseitig mit Schaumglas ausgeführt. Bei einer mittleren Speichertemperatur von 100 °C beträgt der Temperaturverlust pro Tag ca. 0.2 K, der Energieverlust ca. 10 kWh. Die Verluste tragen teilweise zur Beheizung des Gebäudes bei. Das gesamte Speichervolumen beträgt, bezogen auf die Absorberfläche, ca. 700 l/m<sup>2</sup>.

#### Regulierung

Die Regulierung ist frei programmierbar (SPS) und ermöglicht eine Optimierung der Anlage durch einfache Software-Anpassungen. Das Regelkonzept wird in Abhängigkeit von Jahreszeit und Ladezuständen der beiden Speicher laufend kontrolliert und den Gegebenheiten angepasst. Es wird dabei auf die Verfügbarkeit von genügend Warmwasser und auf den bestmöglichen Kollektorwirkungsgrad hin optimiert.

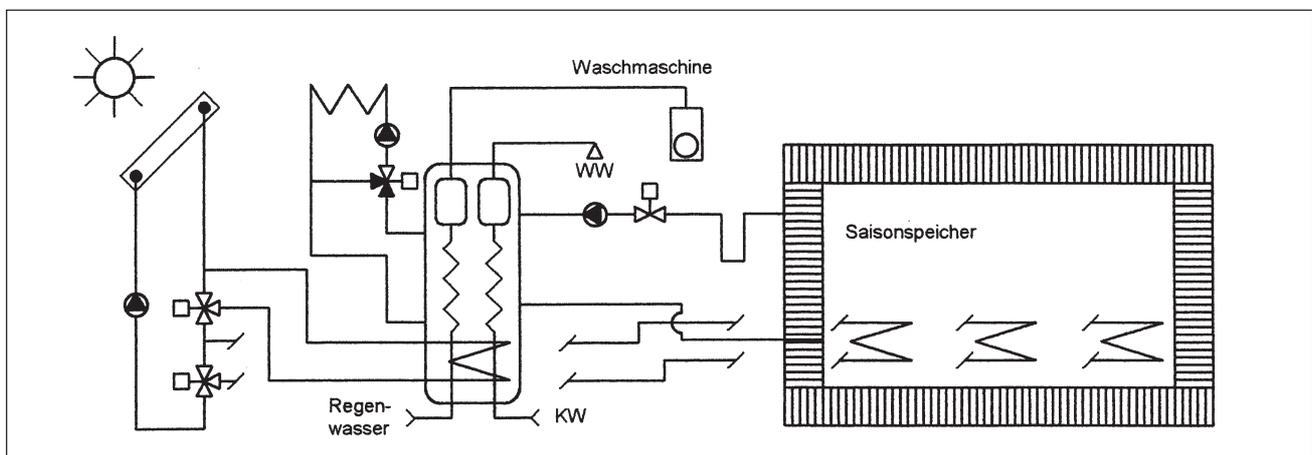
#### Ertrag, Kosten

Der solare Bruttoertrag liegt bei ca. 15 000 kWh/a (250 kWh/m<sup>2</sup>a). Der Nettoertrag dürfte 60 bis 70% davon betragen. Zu Beginn der Heizperiode, anfangs November, betrug der nutzbare Energieinhalt im Speicher ca. 3000 kWh, entsprechend 300 l Öl. Das Ziel einer vollen Deckung des gesamten thermischen Energiebedarfes wurde im ersten Winter beinahe erreicht: Trotz erhöhtem Wärmebedarf durch die Bauaustrocknung betrug der solare Deckungsgrad ca. 90%. Im Rahmen einer Forschungsarbeit wird die Regelstrategie für die unkonventionelle Speicherkonfiguration in den nächsten Jahren weiter optimiert und der Einfluss auf den Deckungsgrad untersucht. Die Mehrkosten lagen bei ca. Fr. 150 000.– (ohne Zusatzkosten für den Raumbedarf).

#### Kommentar

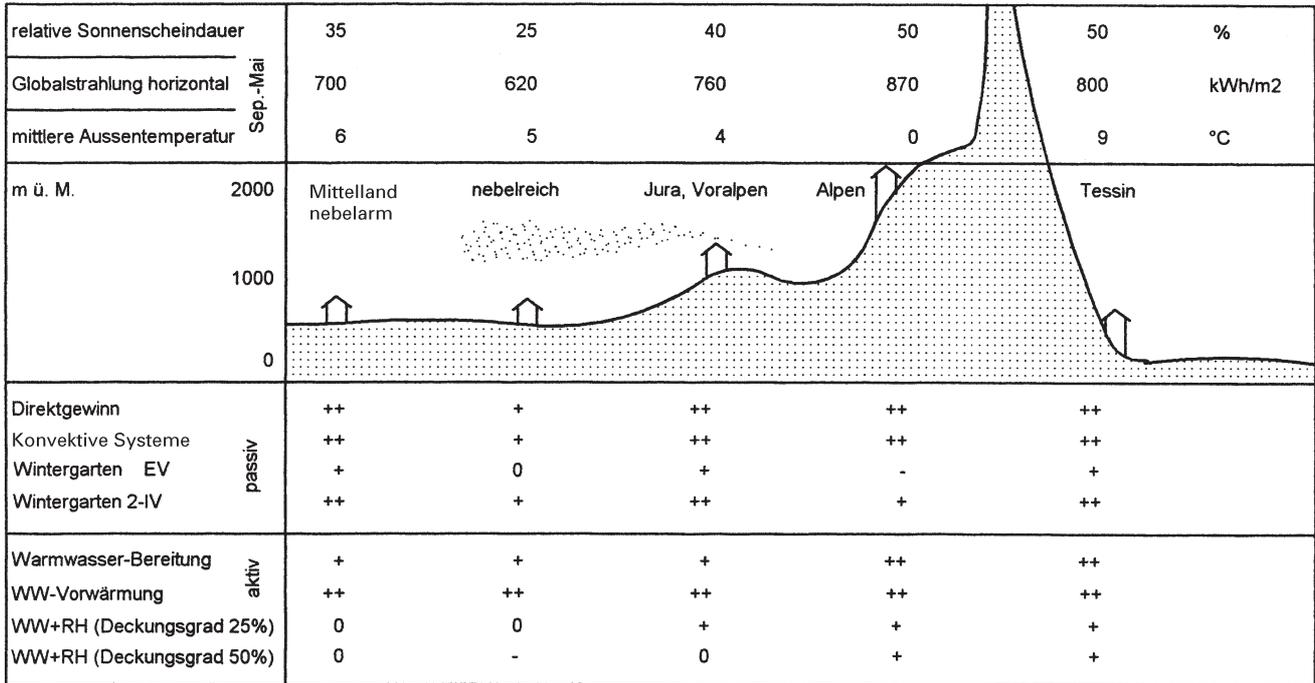
Das Beispiel zeigt, dass selbst im Schweizer Mittelland Wohnbauten mit einem sehr hohen, solaren Deckungsgrad realisiert werden können. Voraussetzung ist eine saisonale Speicherung der Sonnenwärme mittels eines Wasserspeichers. Ob solche Lösungen in dieser Klimaregion Sinn machen, darf angesichts des hohen Kosten/Ertrag-Verhältnisses allerdings in Frage gestellt werden (siehe Exkurs folgende Seite). Unkonventionell an diesem Beispiel ist das Speicherkonzept: Neben dem Langzeitspeicher kommt ein kleiner Kurzzeitspeicher zum Einsatz. Dieses System erlaubt im Vergleich zu ähnlichen Anlagen mit nur einem grossvolumigen Speicher eine dynamischere Verwaltung der gespeicherten Energie. Man erhofft sich davon energetische und exergetische Vorteile.

#### Prinzipschema



Figur 5.2.1

REKURS



Figur 5.2.2

- ++ sehr geeignet
- + geeignet
- 0 möglich
- ungeeignet

### 3 Mehrfamilienhaus: Warmwasser-Vorwärmung mit unverglasten Kollektoren

#### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Servette Genève; 390 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	MFH, 66 Bewohner; Baujahr 1960
<i>Bauherrschaft:</i>	Stadt Genf
<i>WW-Nutzung:</i>	Üblicher Sanitär-Standard; weder WW-Zirkulation noch elektrisches Heizband
<i>WW-Verbrauch:</i>	ca. 5300 l/d (à 55 °C)
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Ölkessel (400 kW)
<i>Solaranlage:</i>	Baujahr 1994
<i>Kollektor:</i>	Edelstahl-Absorber, unverglast, selektiv; 77.2 m <sup>2</sup> (5°, Süden)
<i>Speicher:</i>	Vorwärmer: 2500 l (32 l/m <sup>2</sup> ); Nachwärmer: 2 mal 350 l (in Serie)
<i>Planer:</i>	Service de l'énergie, Ville de Genève Ingenieurbüro Keller & Burnier, Lavigny BSI (Saugy & Hadorn), Lausanne

#### Ausgangslage

Die Stadt Genf, als Pionier-Gemeinde in Sachen kostengünstiger Sonnenenergienutzung in Mehrfamilienhäusern, wollte an diesem Objekt einen Versuch mit unverglasten Kollektoren zur WW-Vorwärmung machen. Ein Warmhalten der Ausstossleitungen sollte nicht erfolgen; das bestehende Heizband war bereits seit längerer Zeit ausser Betrieb, und der Einbau einer WW-Zirkulation zur Nutzung der Sonnenenergie kam nicht in Frage.

#### Planung, Anlagenbeschreibung

Die Anlage entspricht dem klassischen Konzept der WW-Vorwärmung, wie es die Stadt Genf für grössere Wohnbauten seit Jahren erfolgreich einsetzt (solarer Deckungsgrad ca. 25%). Der Entscheidung, unverglaste Absorber zu verwenden, bedeutete aber, die spezifische Absorberfläche gegenüber einer Lösung mit verglasten Kollektoren zu vergrössern. Mit ca. 1.3 m<sup>2</sup> pro Verbrauchseinheit (VE) wurde sie gut doppelt so gross gewählt. Andererseits war die nötige Bruttofläche für die Installation der Kollektoren auf das Flachdach kleiner als bei verglasten Kollektoren, da die Absorber aus diversen Gründen praktisch horizontal und als geschlossenes Feld verlegt werden konnten:

- Keine Beschattung durch das Kollektorgehäuse
- Nutzungsschwerpunkt: Sommer
- Schutz vor übermässigen konvektiven Wärmeverlusten durch Wind
- Kosteneinsparung bei der Tragkonstruktion

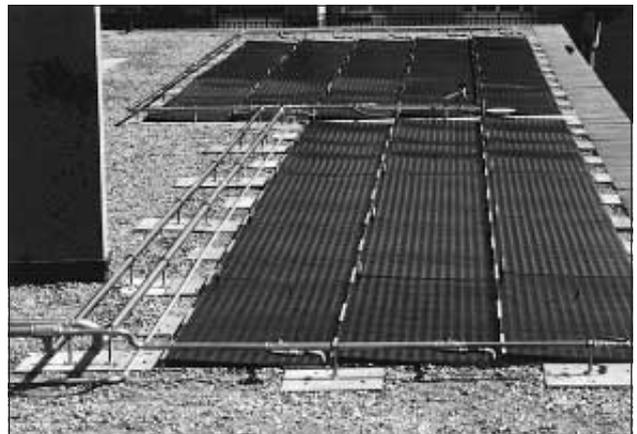
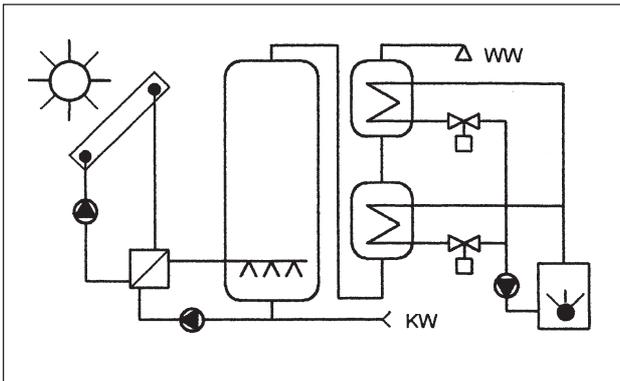


Foto 5.3.1

**Prinzipschema**



Figur 5.3

Um Kosten einzusparen und in der Annahme, die entsprechenden Verluste seien aufgrund der knappen Auslegung und der damit tiefen Systemtemperaturen gering, wurde die Wärmedämmung der Leitungen reduziert und teilweise weggelassen.

**Ertrag, Kosten**

Die Anlage wird im Rahmen eines Forschungsprojektes des Bundesamtes für Energiewirtschaft ausgewertet. Aufgrund der ersten Monatswerte ergibt sich auf ein Jahr hochgerechnet ein solarer Bruttoertrag von knapp 30 000 kWh (ca. 385 kWh/m<sup>2</sup>) und ein solarer Deckungsgrad von gegen 30%. Die Mehrkosten betragen rund Fr. 77 000.– (Fr. 1000.–/m<sup>2</sup>).

**Kommentar**

Das Beispiel zeigt einen Versuch, die Investitionskosten und das Kosten/Nutzen-Verhältnis von Solaranlagen zur WW-Vorwärmung weiter zu senken. Langfristig wird die breite Anwendung dieses Systems davon abhängen, wie sich die selektive Beschichtung der Absorber unter den direkten Witterungseinflüssen bewährt. Das teilweise Weglassen der Wärmedämmung der Leitungen empfiehlt sich aufgrund der gemachten Erfahrungen nach Aussagen des Planers nicht. Der Verzicht auf das Warmhalten der Warmwasserleitungen ist im Hinblick auf Energieeinsparungen sicher mutig aber auch gewagt, wie der überdurchschnittliche WW-Verbrauch in diesem Gebäude zeigt (ca. 80 l pro Person und Tag). Bei der Beurteilung des solareren Ertrags muss dieser Mehrverbrauch kritisch berücksichtigt werden!

## EXKURS

### Unverglaste selektive Kollektoren

Die Bestrebungen, die Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen zu verbessern, hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass insbesondere bei der Dimensionierung von Anlagen zur WW-Bereitung in grösseren Objekten ein Umdenken stattgefunden hat: Die früher verbreitete Philosophie, ausserhalb der Heizperiode das WW möglichst vollständig zu erzeugen (Jahresdeckungsgrad: 40 bis 50%) tritt heute gegenüber einer auf WW-Vorwärmung ausgerichteten Konzeption (solarer Deckungsgrad unter 30%) zunehmend in den Hintergrund. Ein weiterer Schritt zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen wird durch die Verwendung von unverglasten, selektiv beschichteten, Edelstahl-Absorbern anstelle von verglasten Kollektoren angestrebt.

#### Prinzip

Je näher Kollektoranlagen bei der Umgebungstemperatur betrieben werden, desto entscheidender sind die optischen Verluste für den Wirkungsgrad, und desto weniger fallen die thermischen Verluste ins Gewicht. Indem es gelingt, Absorber mit neuen, gegenüber von Wetter- und Umwelteinflüssen beständigen selektiven Beschichtungen zu versehen, werden die optischen Verluste durch das Weglassen der Verglasung derart verkleinert (Wegfall der Transmissionsverluste und der Beschattung durch das Kollektorgehäuse), dass trotz höherer thermischer Verluste (fehlende Wärmedämmung) der Wirkungsgrad von unverglasten Absorbern in einem breiten  $x$ -Wert-Bereich demjenigen von verglasten Kollektoren ebenbürtig ist. Zur Zeit werden in der Schweiz als unverglaste, selektive Kollektoren ausschliesslich Kissenabsorber aus Chromstahl mit optimierter Durchströmung und gutem Wärmeübergang eingesetzt.

#### Vorteile

- Die Stillstandstemperaturen betragen maximal 100 °C. Dampfbildung ist ausgeschlossen. Anlagen können so problemlos abgestellt werden.
- Da Dampfbildung ausgeschlossen ist, wird das Expansionsgefäss kleiner.
- Für die Leitungen können Kunststoffrohre und Pressverbindungen verwendet werden.
- Bei Flachdach-Installationen vermindert sich gegenüber Lösungen mit geneigten, verglasten Kollektoren der Brutto-Platzbedarf.
- Neue Gestaltungsmöglichkeiten.

#### Nachteile

- Weniger Tage mit 100% Deckungsgrad.
- Bei Schrägdach-Installationen kann sich der Brutto-Platzbedarf vergrössern.
- Mit den erhältlichen PC-Programmen lassen sich solche Anlagen nur bedingt simulieren.

#### Einsatzbereich

Da ihr Ertrag mit abnehmender Aussen- und steigender Systemtemperatur rapide sinkt, konzentriert sich die Verwendung unverglaster Kollektoren auf Sommer-Nutzungen und auf Niedertemperatur-Anwendungen, d.h. auf Betriebsbedingungen, die einem  $x$ -Wert von 0.02 bis 0.04 m<sup>2</sup>K/W entsprechen:

- Schwimmbad-Heizung
- WW-Vorwärmung (Temperaturen bis 60 °C möglich)
- Niedrigsttemperatur-Heizungen mit Direkteinspeisung (Exkurs: Plancher solaire, S. 89)
- evtl. saisonale Speicherung (siehe Beispiel 9)

Bei Anlagen mit Schwerpunkt Sommernutzung können die Absorber horizontal auf Flachdächer verlegt werden (10° Neigung werden für den problemlosen Abfluss des Regenwassers empfohlen), bei Anlagen, die auch Winter-nutzung bezwecken, ist eine einfache Fassadenintegration möglich.

#### Kosten, Ertrag

Studien über die möglichen Investitionskosten-Einsparungen, die Erträge und die Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen mit unverglasten, selektiven Absorbern sind zur Zeit auf der Datenbasis der ersten realisierten Anlagen im Gang.

#### «Solardach»

Foto 5.3.1



Eine zusätzliche Reduktion der Kosten wird durch die Weiterentwicklung der unverglasten selektiven Kollektoren zu eigentlichen Dach- bzw. Fassaden-elementen angestrebt, die neben der Sonnenenergienutzung auch die Funktion der Gebäude-Aussenhaut (Wetterschutz) vollständig übernehmen.

Yves Roulet, Energie Solaire SA, Sierre

## 4 Mehrfamilienhaus: «Gleitende» Speicherbewirtschaftung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Windisch/AG; 360 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	5-Familienhaus, Baujahr: 1993/94, EBF: 624 m <sup>2</sup>
<i>Bauherrschaft:</i>	F. Briner, Brugg
<i>Heizenergiebedarf:</i>	ca. 225 MJ/m <sup>2</sup> a (Wärmeleistungsbedarf: 15.8 kW)
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Kondensierende Gas-Therme (22 kW)
<i>Wärmeabgabe:</i>	Bodenheizung (40 °C/-8 °C)
<i>WW-Verbrauch:</i>	ca. 650 l/d
<i>Energie/Architektur:</i>	Liechti, Graf, Zumsteg, Architekten, Brugg
<i>Solaranlage:</i>	WW-Bereitung + Heizungsunterstützung
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; Absorberfläche: 27 m <sup>2</sup> (45°, Süd)
<i>Speicher:</i>	Kombispeicher 2500 l (92 l/m <sup>2</sup> ) mit integriertem Wassererwärmer 350 l
<i>Planer:</i>	Soltop Schuppisser AG, Rätterschen



Foto 5.4

### Ausgangslage

Entsprechend dem Anliegen der Bauherrschaft wurden durch die Architekten bei der Planung dieses Mehrfamilienhauses bereits im Entwurfsprozess energietechnische und bauökologische Überlegungen einbezogen. Sonnenenergie sollte sowohl durch ein aktives System zur WW-Bereitung und Heizungsunterstützung als auch durch passive Massnahmen genutzt werden. Die gesamte Südfassade wurde verglast und als Wintergarten ausgebildet.

### Planung, Anlagenbescrieb

Die Grösse der Absorberfläche ergab sich durch die zwischen den Dachlukarnen verfügbare Fläche. Bezogen auf den jährlichen Heizenergiebedarf beträgt sie 0.65 m<sup>2</sup>/MWh. Für die Wärmespeicherung sorgt ein Kombispeicher, dessen Bewirtschaftung nach einem unkonventionellen System erfolgt: Die Sonnenenergie wird wie üblich in den untersten Speicherbereich abgegeben, wo sie primär das WW vorwärmt. Im Gegensatz zu konventionellen Konzepten aber wurde der Kesselkreis-Rücklauf weiter oben, deutlich oberhalb des Heizgruppen-Rücklaufes angeordnet. Dadurch entsteht zwischen den durch Zusatzenergie beheizbaren Bereichen (VZ) und dem solaren WW-Vorwärmereich (VS<sub>WW</sub>) ein Heizgruppen-Rücklauf-Bereich (VS<sub>HR</sub>). Da in diesem Bereich die Temperatur des Heizgruppen-Rücklaufes durch Zusatzenergie nicht angehoben werden kann, stehen der Sonnenenergienutzung für die Wärmeabgabe an das Heizsystem immer die tiefstmöglichen Temperaturen zur Verfügung. Um auch den Gas-Kondensationskessels auf weitgehend tiefem Temperatur-Niveau, bei gutem Wirkungsgrad, betreiben zu

können, erfolgt die Ladung des WW-Bereitschaftsvolumens ( $VZ_{WW}$ ) bei  $60\text{ °C}$  Vorlauftemperatur täglich nur einmal, während andererseits der für die Raumheizung nutzbare Speicherbereich ( $VZ_{RH}$ ) mittels einer witterungsgeführten Regulierung, die direkt auf den Kessel wirkt, entsprechend den Aussentemperaturen «gleitend», d.h. mit variablen Vorlauftemperaturen, bewirtschaftet wird. Die Regelgröße dazu liefert der Speicherfühler F1. Da der Kesselkreis-Rücklaufanschluss nur wenig unterhalb des Vorlaufstutzens liegt, und daher die Gefahr eines hydraulischen «Rückschlusses» bestand, wurde er mit einem Sprührohr versehen.

### Funktionsweise

Die Regulierung des Kesselkreises bzw. diejenige der Wärmeabgabe erfolgen über einen heutzutage in Kesseln standardmässig eingebauten Regler für zwei unabhängige Regelkreise. Die Heizkurve der Kesselkreisregelung wird deckungsgleich mit derjenigen der Heizgruppen-Vorlaufregulierung eingestellt. Die Fühler F1 und F2 verlangen somit immer dieselbe Temperatur. Solange der Kessel nicht läuft, erfolgt der Wärmebezug ab Speicher. Unterschreitet die Temperatur am Fühler F1 den entsprechend der Heizkurve verlangten Wert, schaltet der Kessel zu. Da am Vorlauffühler F2 und am Speicherfühler F1 die gleiche Temperatur verlangt wird, ist das Heizgruppen-Mischventil bei Kesselbetrieb voll offen (Durchgang). Sobald nun genügend Sonnenwärme in den Speicher abgegeben wird, läuft der Kessel weniger oder stellt ganz ab. Steigen nun die Speichertemperaturen im Be-

reich des Heizungsvorlaufes aufgrund von grossem Solarertrag über den durch die Heizkurve verlangten Wert, schliesst das Mischventil stetig.

### Kosten

Die gesamten Investitionskosten für die Solaranlage und die Heizzentrale (Kessel, Speicher, Heizgruppe, Regelung, Wärmedämmung) belaufen sich auf rund Fr. 60 000.– (Material und Montage).

### Kommentar

Das vorliegende Beispiel ist ein interessanter Ansatz, bei Solaranlagen zur WW-Bereitung und Heizungsunterstützung in Kombination mit Gas-Wandheizkesseln auf einfache Weise das System bzw. Speichermanagement zu optimieren (siehe auch Exkurs folgende Seite). Bewusst wurden dabei konventionelle Regelgeräte verwendet, die es auch dem auf Solaranlagen nicht spezialisierten Servicemonteur der Kesselfirma erlauben, die Anlage zu betreuen.

Die Anlage hat den Nachteil, dass das Warmhalten der WW-Ausstossleitungen über ein elektrisches Heizband erfolgt. Kombinierte Solaranlagen (WW-Bereitung und Heizungsunterstützung) produzieren vor allem ausserhalb der Heizperiode genügend Energie mit der notwendigen Temperatur, um den Bedarf einer WW-Zirkulation weitgehend abzudecken. Eine rechtzeitige Koordination zwischen Sanitär- und Solaranlagen-Planer hilft, Systemmängel der vorliegenden Art zu vermeiden.

### Prinzipschema

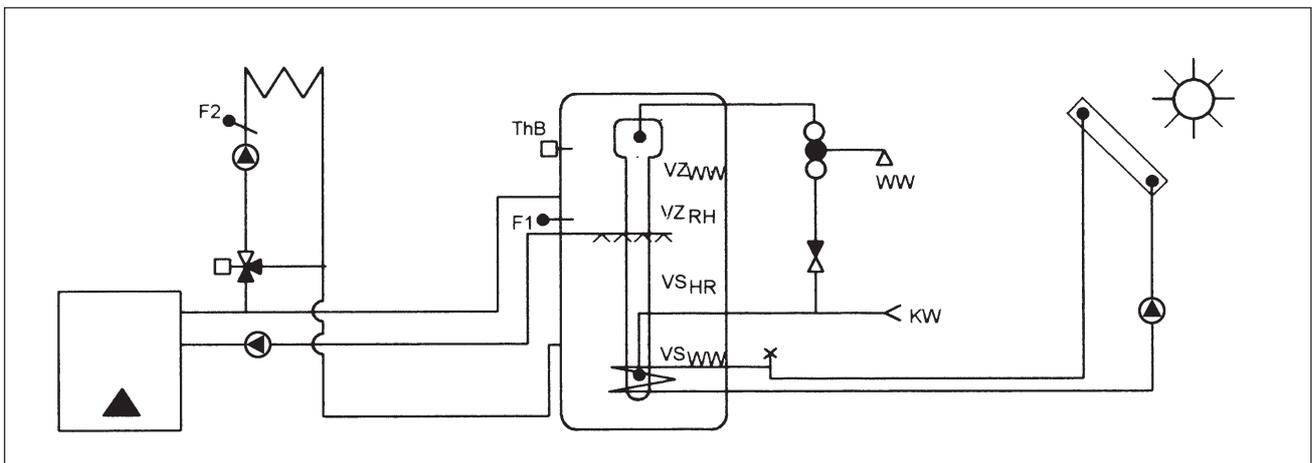


Fig. 5.4

## LEKURS

### Dynamische Speicherbewirtschaftung

Das Speichermanagement hat auf den Ertrag einer Solaranlage wesentlichen Einfluss. Je wärmer der Speicher gehalten wird, umso grösser sind die Systemverluste, umso geringer ist der Solarertrag. Für die meisten Anlagen gilt: Das Temperaturniveau für das Warmwasser ist im Jahresprofil konstant. Anders ist dies bei der Heizung: Die geforderte Vorlauftemperatur ist entsprechend der Aussentemperatur variabel. In der Übergangszeit liegt sie je nach Auslegung und System normalerweise bei 25 bis 45 °C. Die bei der Verwendung von Kombispeichern häufig angewendete Lösung, den Kessel mit einem auf die Solltemperatur im WW-Bereitschaftsbereich eingestellten Speicherthermostaten aufzuschalten, trägt diesem Sachverhalt keine Rechnung. Es kann vorkommen, dass in der Übergangszeit die Solaranlage 45grädiges Wasser bringt, der Heizungsvorlauf bei 30 °C liegt und der Brenner trotzdem startet, weil am Thermostaten die zum Zeitpunkt nicht notwendige Temperatur von 60 °C unterschritten wird. Weitere nachteilige Folgen sind:

- Durch die unnötige Erhöhung der Speichertemperatur steigen auch die Systemverluste.
- Durch die Nachladung ab Kessel kommt es im Speicher zu Umschichtungen. Als Folge steigt die Systemtemperatur im Kollektorkreis.

Verbessert werden kann dieses verbreitete System dadurch, dass das Zuschalten des Kessels über den Endschalter des Heizgruppen-Mischventils erfolgt, also erst dann, wenn dieses voll geöffnet ist, was bedeutet, dass die Energie im Speicher nicht mehr ausreicht. Ist im Speicher genügend Sonnenenergie vorhanden, «kommt» der Kessel somit nicht; die Speicherbewirtschaftung wird «dynamisch». Ein Nachteil dieser Lösung ist, dass Kaminfeger und Brenner-Serviceleute sie nicht kennen. Für die Praxis waren daher weitere Vereinfachungen nötig. Folgende zwei Lösungsansätze haben sich schliesslich bewährt.

- Es wird überhaupt keine Energie mehr ab Heizkessel in den zu Heizzwecken nutzbaren Speicherteil abgeben.
- Die Bewirtschaftung des zu Heizzwecken nutzbaren Speicherbereichs erfolgt gleitend nach Aussentemperatur. Nur ein kleines Speichervolumen kann durch den Kessel geladen werden.

Erfahrungen zeigen, dass durch ein optimiertes, dynamisches Speichermanagement dieser Art die Temperaturen im Solarbereich des Speichers durchschnittlich 10 bis 20 K tiefer liegen als bei der konventionellen Lösung mit Thermostat.

*Fritz Schuppisser, Rätterschen*

## 5 Mehrfamilienhaus: Hoher Deckungsgrad – normaler Mietzins

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Sevelen/SG; 471 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	8-Familienhaus, Baujahr 1994
<i>Bauherr:</i>	H. Rüesch, St. Gallen
<i>Energiebedarf WW:</i>	60 MJ/m <sup>2</sup> a (gemessen) (entspricht ca. 800 l/d zu 60 °C)
<i>Energiebezugsfläche:</i>	1028 m <sup>2</sup>
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Holzheizkessel (Spalten) 60 kW
<i>Solaranlage:</i>	WW-Bereitung und Raumheizung
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, 2fach verglast, nicht selektiv, dachintegriert Absorberfläche: 111.6 m <sup>2</sup> (45°; Süden) (entspricht 0.11 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> EBF)
<i>Speicher:</i>	Kombispeicher 25 m <sup>3</sup> mit 4 integrierten Wassererwärmern zu 170 l
<i>Planer:</i>	Rüesch Solartechnik AG, Cham

### Ausgangslage

Der Bauherr des Objektes ist Inhaber einer Firma für thermische Sonnenenergienutzung. Mit dem Solarhaus Sevelen wollte er beweisen, dass ein Mehrfamilienhaus, dessen Wärmebedarf zum grössten Teil mit Sonnenenergie gedeckt wird, nicht wesentlich teurer sein muss als ein konventioneller Bau. Architektur und Komfort des Hauses orientierten sich dabei bewusst am Normalen.

### Planung, Anlagenbeschrieb

Die Dimensionierung der Kollektoranlage erfolgte nicht aufgrund einer genauen Berechnung. Sie richtete sich nach der zur Verfügung stehenden Fläche des Süddachs, das vollständig mit Kollektoren eingedeckt wurde. Herz der Anlage ist ein bis zum Dachgeschoss reichender, 12 m hoher, mit 30 cm wärmegeämmter Kombispeicher. Er grenzt zweiseitig an Wohnraum und einseitig an das Treppenhaus. Der Speicher wurde vorverroht und inkl. Wärmedämmung mittels Pneukran in den Rohbau abgesenkt. Die übrigen Haustechnikinstallationen entsprechen gängiger Technik. Als Zusatzheizung wurde aufgrund des kleinen Nachheiz-Energiebedarfs ein Holzspalten-Kessel installiert. (Prinzipschema siehe Exkurs S. 125)

### Betriebserfahrungen, Messergebnisse

Die Anlage wird laufend detailliert ausgemessen. Während des ersten Betriebsjahres betrug der solare Deckungsgrad ca. 65%, der solare Bruttoertrag ca. 33.5 MWh (301 kWh/m<sup>2</sup>a). Von Anfang April bis Ende Oktober vermochte die Solaranlage praktisch den gesamten Wärmebedarf zu decken. Der Holzverbrauch lag bei ca. 12 Ster. 39% des gesamten Wärmebedarfes entfielen auf das WW, was deutlich über dem Wert konventioneller Bauten liegt. Der gemessene Heizenergiebedarf von ca.



Foto 5.5

80 MJ/m<sup>2</sup>a (HGT bereinigt) liegt deutlich unter dem berechneten Wert. Gründe dafür werden in höheren passiven solaren Gewinnen als angenommen und in der weitgehenden Nutzung der Speicherverluste vermutet. Zusammen mit dem Energieverbrauch für die WW-Zirkulation machen diese Verluste ca. 38% des Bruttoenergie-Verbrauchs aus. Die Messungen zeigten, dass die maximale Speichertemperatur im oberen Bereich 92 °C betrug. Die Speicher-Schichtung funktionierte einwandfrei; die mittlere Temperaturspreizung im Speicher lag während dem Heizbetrieb bei rund 30 K. Der Holzkessel musste praktisch nur zur WW-Bereitung in Betrieb genommen werden. Die manuelle Betriebsweise brachte allerdings mit sich, dass er in der Übergangszeit manchmal zu früh beschickt wurde. Mit zunehmender Erfahrung bei der Beurteilung der Wetterentwicklung und der Restwärmemenge im Speicher kann unnötiger Kesselbetrieb in Zukunft vermieden werden.

**Kosten**

Die Baukosten nach BKP2 lagen bei Fr. 453.– /m<sup>3</sup>. Gegenüber einer Ölheizanlage beliefen sich die Nettomehrkosten (Solaranlage, Speicher und Holzkessel) auf rund Fr. 100 000.– (ohne Bundes-subventionen für die Solaranlage).

**Kommentar**

Das Beispiel zeigt, dass Mehrfamilienhäuser von normalem Standard mit Solaranlagen ausgerüstet werden können, ohne dass daraus hohe Mietzinse resultieren müssen. Dies gilt auch, wenn die Anlage auf einen hohen Deckungsgrad ausgelegt wird; in diesem Fall beträgt er für Raumheizung und Warmwasser-Bereitung zusammen rund 62%. Der Mietzins für eine 5½-Zimmer-Wohnung beträgt Fr. 1700.– (inkl. Nebenkosten, bei WEG-Bundes-Unterstützung).

Die Betriebserfahrungen zeigen, dass bei massiv gebauten Niedrigenergiehäusern mit grossen passiven Sonnenenergie-Gewinnen unbedingt auf eine geeignete, angepasste Regelung geachtet werden muss. Ein konventioneller witterungsgeführter Vorlauftemperatur-Regler in Analogtechnik vermag nicht in allen Belangen zu genügen. Die Gebäudeträgheit muss durch die Regelcharakteristik berücksichtigt werden können, weil sonst die Heizung in der Übergangszeit zu häufig läuft. Ein Zusatzfühler für die Sonneneinstrahlung oder eine Platzierung des Aussentemperatur-Fühlers an einer besonnten Aussenwand könnte dies gewährleisten. Wichtig ist auch, dass die Sommer-Winter-Umschaltung bei kurzfristigem Unterschreiten der Heizgrenze (unter 10 °C) mit nur geringer Raumkühlung richtig reagiert.

## EXKURS

### Solaranlagen mit hohem Deckungsgrad für Mehrfamilienhäuser

In der Schweiz und im nahen Ausland gibt es verschiedene Beispiele von Einfamilienhäusern mit einem solaren Deckungsgrad von über 50%. Gemessen an den Einsparungen ist der technische und finanzielle Aufwand für derartige Anlagen bei Einfamilienhäusern allerdings hoch. Mehrfamilienhäuser bieten hier bessere Voraussetzungen: Zum einen ist der Wärmebedarf über das Jahr gleichmässiger verteilt, zum andern lässt sich dieselbe Infrastruktur von mehreren Haushalten nutzen. Sonnenenergienutzung mit hohem Deckungsgrad lässt sich allerdings auch bei Mehrfamilienhäusern aufgrund der nachfolgend aufgeführten Bedingungen und Voraussetzungen praktisch nur mit Neubauten realisieren. In Altbauten steht nach wie vor die solare WW-Vorwärmung im Vordergrund.

#### Voraussetzungen

Voraussetzung für einen solaren Deckungsanteil über 50% ist eine Niedrigenergiebauweise. Der spezifische Heizenergiebedarf sollte weniger als  $180 \text{ MJ/m}^2\text{a}$  betragen. Für die Kollektor-Aufstellung sind Dachflächen mit Südost- bis Südwest-Ausrichtung und einer Neigung über  $30^\circ$  ideal. Auch Flachdächer eignen sich, sofern sich die nötige Absorberfläche unterbringen lässt.

#### Absorberfläche

Die Absorberfläche muss im Schweizer Mittelland für einen solaren Deckungsgrad  $> 50\%$  mindestens  $0.12 \text{ m}^2/\text{m}^2$  EBF oder  $5 \text{ m}^2/\text{kW}$  Wärmeleistungsbedarf betragen. In sehr sonnigen Lagen ist dieses Ziel u.U. bereits mit etwas weniger Fläche erreichbar. Die südlich orientierten Dachflächen werden in der Regel von der Kollektoranlage vollständig beansprucht. Zusätzliche Dachaufbauten und Dachfenster sind daher praktisch unmöglich.

#### Speicher

Der Speicher muss zwei Funktionen erfüllen: Erstens muss er die Schwankungen zwischen Angebot und Nachfrage ausgleichen und zweitens Schutz vor Überhitzung des Systems bieten. Die erste Funktion ergibt die obere Grenze des Speichervolumens: Der Speicher sollte so gross sein, dass ihn die Solaranlage mindestens einmal während des Sommers voll aufladen kann. Die zweite Funktion ergibt das minimale Speichervolumen: Zur Gewährleistung des Überhitzungsschutzes sollten bei Solaranlagen mit hohem Deckungsgrad das solare Vorwärmvolumen minimal  $50 \text{ l/m}^2$  Absorberfläche bzw. das Speicher-Gesamtvolumen min.  $120$  bis  $150 \text{ l/m}^2$  betragen. Für Mehrfamilienhäuser mit einem solaren Deckungsgrad bis  $50\%$  im Schweizer Mittelland hat sich ein spezifisches Speichervolumen von  $200$  bis  $400 \text{ l/m}^2$  Absorberfläche bewährt.

Soll der Deckungsgrad auf über  $70\%$  steigen, muss die Wärme über einige Wochen gespeichert werden. Dazu sind wesentlich grössere Speichervolumen nötig. Solche Speicher lassen sich nur schwer innerhalb von umbautem Raum realisieren. Als Alternative bieten sich Speicher im Erdreich an.

Bezüglich Ausführung und Platzierung der Speicher gilt folgendes: Der Speicher sollte im Hinblick auf eine gute Schichtung möglichst schlank und hoch sein. Idealerweise wird er über alle beheizten Stockwerke geführt. Sämtliche Haustechnik-Installationen lassen sich so kostengünstig durch den Speicherschacht führen. Zudem bleiben die Speicherverluste im Haus und tragen zur Beheizung des Wohnraumes bei. Als Wärmedämmstärke sind  $25$  bis  $40 \text{ cm}$  üblich.

#### Hydraulik, Regelung

Die Ladung und Entladung des Speichers sollte abhängig von den Temperaturverhältnissen auf verschiedenen Höhen (Schichten) erfolgen.

#### Prinzipschema mit Holzkessel

(analog Beispiel 5):

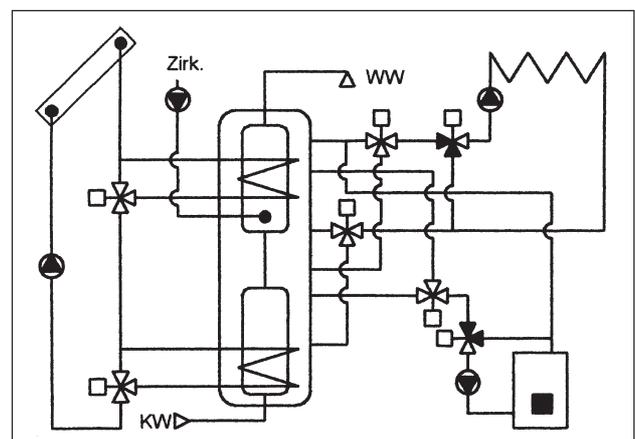


Fig 5.5

#### Zusatzenergie

Auch bei hohem solarem Deckungsanteil braucht ein Gebäude eine Zusatzwärmequelle. Dank dem grossen Speicher kann ihre Heizleistung kleiner als üblich bemessen werden.  $85\%$  des Wärmeleistungsbedarfes nach SIA 384/2 genügen in der Regel. Für die WW-Bereitung muss ein Zuschlag gerechnet werden.

Jürg Marti, Horgen

## 6 Wohnsiedlung: Warmwasser-Bereitung mit Vakuumröhren-Kollektoren

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Zürich-Affoltern; 450 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Wohnsiedlung, Baujahr 1982; 62 Wohnungen, ca. 160 Personen
<i>Bauherrschaft:</i>	Liegenschaftsverwaltung Stadt Zürich
<i>WW-Nutzung:</i>	Üblicher Komfort
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Nahwärme (ganzjährig)
<i>Solaranlage:</i>	Baujahr: 1991
<i>Kollektor:</i>	Vakuumröhren, direkt durchflossen Absorberfläche: 62.4 m <sup>2</sup> (35°, Süden)
<i>Speicher:</i>	Konventionell und solar: je 2000 l
<i>Planung:</i>	ATG, Stadt Zürich Schweizer Solartechnologie AG, Rafz



Foto 5.6

### Ausgangslage

Die Solaranlage in der Wohnsiedlung Stöckenacker geht auf eine Initiative des MieterInnenvereins zurück. Mit dem Anliegen, auch als MieterInnen Sonnenenergie nutzen zu können, gelangte der Verein an die Hauseigentümerin. Die MieterInnen zeigten sich bereit, zu diesem Zweck eine gewisse Mietzinserhöhung in Kauf zu nehmen.

Zur gleichen Zeit wurde im Auftrag des Amtes für technische Gebäudeausrüstung der Stadt Zürich (ATG) eine Untersuchung über die Eignung von stadt-eigenen Gebäuden für den Bau von Pilot-Solaranlagen durchgeführt. Die Wohnsiedlung Stöckenacker wurde darin als «mittelgut» geeignet taxiert. Positiv wurden der relativ konstante, hohe WW-Verbrauch und die zur Verfügung stehenden Flachdächer bewertet; eher negativ gewichtet wurden der knappe Platz in der Zentrale und vor allem die Tatsache, dass der Einbau einer Solaranlage in Bezug auf die Nahwärmeversorgung kein Vorteil darstellt. (Diese kann trotz der Solaranlage im Sommer nicht ausser Betrieb genommen werden, ist andererseits aber schlechter ausgelastet!) Ausserdem wurde bemerkt, dass vor dem Bau einer Solaranlage unbedingt die Energieverluste auf der Fernleitung mittels Temperatursenkung im Sommer und Umstellung auf variablen Volumenstrom vermindert werden sollten.

### Dimensionierung, Anlagenbescrieb

Planungsziel war ein möglichst hoher spezifischer Ertrag bei vernünftigem Kosten/Nutzen-Verhältnis. Dazu orientierte man sich an den Dimensionierungs-Grundsätzen, die die Stadt Genf für Wohnsiedlungen dieser Grössenordnung entwickelt und erprobt hat: 0.5 m<sup>2</sup> Absorberfläche pro Person (gültig für Flachkollektoren, selektiv). Im Mittelland entspricht dies einem solaren Deckungsgrad von

ca. 25%. Ausgehend von 160 BewohnerInnen (geschätzter WW-Verbrauch inkl. Verluste und WW-Zirkulation: ca. 8000 l/d), rechnete man mit einer nötigen Absorberfläche von ca. 80 m<sup>2</sup>.

Für das Einholen von Offerten wurde anstelle eines Devis ein Pflichtenheft mit Vorgaben bezüglich des Ertrags und des Solarwärme-Preises formuliert. Dies hatte den Vorteil, dass unterschiedliche Systeme miteinander verglichen werden konnten. Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde neben den eigentlichen Kosten der Solaranlage auch der Abschreibungsrestwert des Flachdaches berücksichtigt, das man wegen dem Bau der Solaranlage noch vorzeitig sanieren wollte. Am besten schnitt unter diesen Voraussetzungen die Variante mit Vakuumröhren-Kollektoren ab, weil sie im Gegensatz zur Variante mit schräg gestellten Flachkollektoren auf einem einzigen Flachdach Platz fand. Dies reduzierte einerseits die zu sanierende Dachfläche, andererseits konnte auch Verrohrung eingespart werden. Eine kostengünstige Lösung ergab sich bezüglich der Speicherung: Die beiden bestehenden 2000-l-Wassererwärmer konnten einfach von Parallel- auf Serieschaltung umverrohrt werden.

### Kosten, Ertrag

Die Gesamtkosten für den Umbau (inkl. Aufwand für die vorgängige Flachdachsanierung) beliefen sich auf Fr. 196 000.–. Rechnet man nur den Anteil für die Solaranlage, ergeben sich spezifische Investitionskosten von Fr. 2160.– pro m<sup>2</sup> Absorberfläche (ohne Speicher!). Für die Finanzierung stand ein Kredit des PRESANZ (Programm zur energetischen Sanierung der Liegenschaften der Stadt Zürich) zur Verfügung, so dass die Anlage ohne Mietzinsaufschlag realisiert werden konnte. Der gemessene solare Bruttoertrag beträgt im Durchschnitt über die bisherigen Betriebsjahre 710 kWh/m<sup>2</sup> (Planungsannahme Bruttowärmeertrag am Kollektor: 727 kWh/m<sup>2</sup>a). Der solare Dekungsgrad liegt bei 26%, was ziemlich genau dem Planungswert entspricht. Der gemessene Warmwasser-Verbrauch stimmt mit der Abschätzung recht gut überein: Er beträgt im Durchschnitt ca. 7320 l/d.

### Kommentar

Das Beispiel ist ungewöhnlich, weil für eine klassische WW-Vorwärmung Vakuumröhren-Kollektoren eingesetzt wurden, was sich normalerweise kaum lohnt. Die Tatsache, dass dies in diesem speziellen Fall aber die wirtschaftlichste Lösung

war, zeigt, dass Solaranlagen nicht nach sturen Prinzipien geplant werden können. Die von Fall zu Fall unterschiedlichen Rahmenbedingungen erfordern auf dem Weg zu guten Resultaten ein situationsbezogenes Vorgehen und erlauben nicht immer Standardlösungen. Nach Aussagen des Planers würde zum heutigen Zeitpunkt auch der Einsatz von unverglasten selektiven Kollektoren geprüft (siehe Anlagen-Beispiele).

Schön an diesem Beispiel ist, dass die Sonnenenergienutzung für einmal MieterInnen zugute kommt. Auch wenn in diesem Fall die Finanzierung der Solaranlage über einen städtischen Unterstützungsfonds erfolgte, gibt es bereits andere Beispiele, die zeigen, dass Sonnenenergienutzung in Mietwohnungsobjekten auch ohne Subventionen nicht zwingend eine Erhöhung des Mietzinses bedeuten muss (siehe Anlagen-Beispiel 5). Soll der Sonnenenergienutzung im Mietwohnungsbau allerdings zu einem grösseren Durchbruch verholfen werden, sind mit Sicherheit neben neuen technischen Konzepten auch neue Investitions- und Umsetzungsmodelle gefragt (Exkurs folgende Seite).

### Prinzipschema

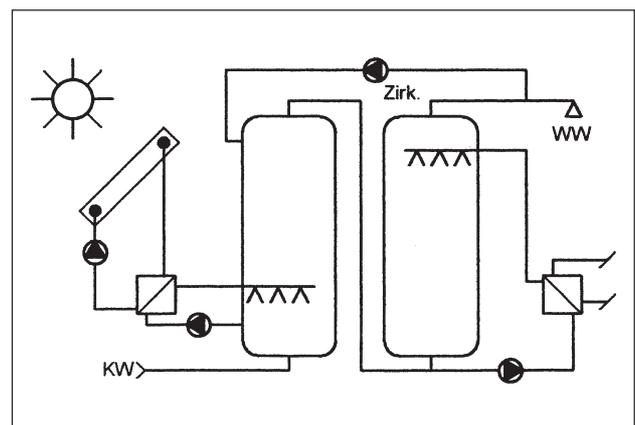


Fig 5.6

## LEXIKON

### Sonnenwärme im Mietwohnungsbau

Immer häufiger wird heute von Haustechnik-Planern verlangt, beim Neubau oder bei der Sanierung von Mehrfamilienhäusern einen Vergleich von verschiedenen Wärmeerzeugungsvarianten vorzulegen. Dabei wird ausdrücklich gewünscht, auch die Möglichkeiten der Nutzung erneuerbarer Energien zu prüfen. In den meisten Fällen kommt die Variante mit Solaranlage schlussendlich nicht zum Zuge. Dies hat unter anderem folgende Gründe:

- Die Lösung mit Sonnenenergienutzung ist teuer. Das Budget ist andererseits knapp; für Mehrinvestition besteht kaum Spielraum. Eine Abwälzung der Mehrkosten auf die MieterInnen ist kaum möglich, da Solaranlagen nur bedingt eine Wertvermehrung des Objektes darstellen und ihre Amortisation gemäss Mietrecht nicht auf die Nebenkosten überwältzt werden kann.
- Eine gewisse Skepsis gegenüber Ertrag und technischer Ausgereiftheit von Solaranlagen besteht immer noch. Solange Hauseigentümer im voraus keine Sicherheit bezüglich der durch eine Solaranlage möglichen Einsparung an konventioneller Energie, bzw. an Betriebskosten usw., haben, lassen sie lieber die Hände davon.
- In Fällen, in denen bei Hauseigentümern oder MieterInnen eine grundsätzliche Bereitschaft besteht, für die Sonnenenergie etwas mehr zu bezahlen als für konventionelle Energie, fehlt es oft an allseitig akzeptierten Lösungen und Rechtsformen, die die Aufteilung und Übernahme der Mehrkosten klar und verlässlich regeln. Aus Unsicherheit wird dann lieber verzichtet.

Im folgenden werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie diesen Problemen u.U. begegnet und Solaranlagen im Wohnungsbau gefördert werden können.

#### *Erfolgshonorar*

Durch diesen leistungsbezogenen Honorar-Modus, der die Entlohnung des Planers vom Erreichen vertraglich festgelegter Ertrags- und Qualitätsziele abhängig macht, entsteht für den Hauseigentümer eine gewisse Garantie, eine gute Anlage zu bekommen. Er kann die Mehrkosten zwar nicht auf die MieterInnen abwälzen, erhält aber von Beginn an Sicherheit bezüglich Qualität und Ertrag der Anlage, was ihm eine genaue Kalkulation erleichtert.

#### *Contracting – Verkauf von Solarwärme*

Die Solaranlage wird nicht vom Hauseigentümer, sondern von einem sogenannten Contractor (z.B. einer Genossenschaft) erstellt und betrieben. Dieser verkauft dem Hausbesitzenden die solar erzeugte Wärme zu einem im voraus definierten Preis. Die Amortisation der Anlage ist im Wärmepreis inbegriffen. Dieses Vorgehen gilt nicht als Umgehung des Mietrechtes; auch jeder Fernwärmebezug läuft nach diesem Muster. Wichtig ist aber, dass Eventualitäten, wie eine Handänderung der Liegenschaft oder ein markanter Rückgang des Energiebedarfs, sorgfältig geregelt werden. Für den Hauseigentümer bietet diese Lösung die Vorteile, dass er ohne zusätzliche Investitionskosten auskommt, dass die Wärmekosten im voraus definiert sind und dass durch den Effizienzdruck, unter dem der Betreiber der Anlage steht, ein wirtschaftlicher Betrieb erwartet werden kann.

#### *Solaranlagen-Leasing*

Beim Leasing oder Miet-Kauf übernimmt ein Leasing-Geber die Rolle des Kreditgebers. Das Investitionsrisiko liegt aber vollständig beim Bauherrn, der damit in die Verantwortung für das Betriebs-Ergebnis eingebunden wird. Eine relativ genaue Kalkulation im voraus ist hier schwieriger.

*Felix Schmid, Rifferswil*

## 7 Niedrigenergie-Wohnsiedlung: Kombination mit kontrollierter Wohnungslüftung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Obersiggenthal/AG; 480 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Niedrigenergie-Wohnsiedlung; Baujahr: 1996 10 Reihen-EFH; Attikawohnung; 2 2-Zi.-Wohnungen
<i>Energiebezugsfläche:</i>	135 m <sup>2</sup> pro REFH
<i>Heizenergiebedarf (SIA 380/1):</i>	170 MJ/m <sup>2</sup> a
<i>Elektrizitätsbedarf (RH, WW, Lüftung):</i>	100 MJ/m <sup>2</sup> a
<i>WW-Nutzung:</i>	Konventioneller Sanitärstandard
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Luft/Luft-Wärmepumpen (1.7 kW th.) (bei tiefen Aussentemp.: el. Luftnachheizung)
<i>Wärmeabgabe:</i>	Warmluft bis 40 °C
<i>Architektur, Energie:</i>	Metron Architekten AG, Brugg
<i>Solaranlage:</i>	Flachkollektor, selektiv, (40°, -10° SE) Absorberfläche: 4 m <sup>2</sup> pro REFH
<i>Speicher:</i>	180 l pro REFH
<i>Planung Haustechnik:</i>	Dr. Eicher+Pauli AG, Zürich

### Ausgangslage

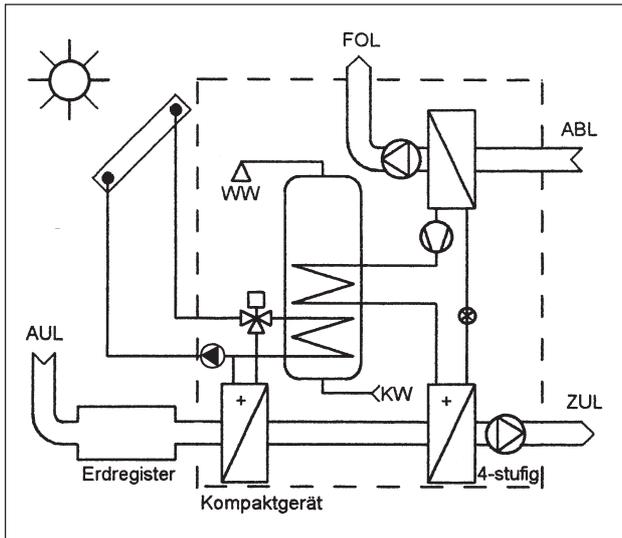
Die Wohnsiedlung Weber ist ein Niedrigenergiegebäude. Eine gute Wärmedämmung der Gebäudehülle und eine kontrollierte Wohnungslüftung waren bereits bei Planungsbeginn die Eckpfeiler des Energiekonzeptes. Aufgrund des tiefen Wärmeleistungsbedarfes von 22 W/m<sup>2</sup> EBF wurde entschieden, die Heizwärme nicht über ein klassisches pumpenbetriebenes Heizwassersystem, sondern über die Lüftung zu verteilen. Dieser Systementscheid und der Reihenhaus-Grundriss des Gebäudes brachten es mit sich, für jede Wohneinheit eine eigene Wärmeversorgung zu erstellen. Die Vorteile gegenüber einer zentralen Lösung sind die wesentlich tieferen Verteilverluste und das Wegfallen der verbrauchsabhängigen Heizkostenabrechnung (VHKA).

Den Hauptteil des Wärmebedarfes deckt ein Wärmepumpen-Lüftungsgerät. Die WP entzieht der Wohnungsabluft Energie und gibt diese an die Zuluft und den WW-Speicher ab. Die Aussenluft wird in einem Bodenkanal vorgewärmt. Mit einer Heizleistung von 1.7 kW vermag die Wärmepumpe den Wärmebedarf bis zu einer Aussentemperatur von +1 °C alleine zu decken. Darunter wird zusätzlich ein Elektroheizregister eingesetzt. Eine Spitzenlastdeckung mit Holzöfen liess sich aufgrund des Gebäudekonzeptes leider nicht realisieren. Die gesamte elektrische Anschlussleistung für Heizung, Lüftung und WW-Bereitung liegt mit 20 W/m<sup>2</sup> (2.7 kW pro REFH) tiefer als bei vielen Neubauten mit WP-Heizungen und üblichem Wärmedämm-Standard.



Foto 5.7

### Prinzipschema



Figur 5.7

Da die Siedlung an einem Südhang liegt, drängte es sich auf, auch die Möglichkeiten der Sonnenenergienutzung zu prüfen. Man dachte dabei nicht nur an die WW-Bereitung, sondern im Zusammenhang mit der kontrollierten Wohnungslüftung auch an die solare Zuluft-Vorwärmung. Diese ist aus verschiedenen Gründen nicht unproblematisch (vgl. Exkurs folgende Seite). Es zeigte sich jedoch, dass das Projekt die nötigen Voraussetzungen erfüllte. Mit einem dänischen Kompaktgerät wurde ein Standardprodukt gefunden, das in einem Gehäuse ein Lüftungsgerät, eine Wärmepumpe zur WW- und Zuluft-Nachheizung, einen Wassererwärmer und eine Solarsteuerung vereinigt. Neben dem Wärmetauscher für die solare WW-Bereitung ist ein zweites Solarregister für die Aussenluft-Vorwärmung eingebaut.

### Dimensionierung

Eine wesentliche Rahmenbedingung für die Dimensionierung der Absorberfläche bildete das durch die Wahl des Kompaktgerätes vorgegebene Speichervolumen von 180 l. Diese knappe Speicherbemessung ist ein Kompromiss an den kleinen Grundriss des Gerätes (0.6 x 0.6 m), der überall eine problemlose Aufstellung erlaubt (z.B. in Küchenkombination; siehe Foto). Um im Sommer den Überhitzungsschutz auf einfache Art gewährleisten zu können, wurde ein Wärmeträgermedium mit tiefem Verdampfungsdruck bei Kollektorstillstandtemperatur gewählt (thermisches Öl).

Die Solaranlage kann so bei erreichter Speichertemperatur abgestellt werden, ohne dass ein aktiver Überhitzungsschutz nötig ist. Die Absorberfläche wurde pro Reiheneinfamilienhaus auf 4 m<sup>2</sup> festgelegt.

### Regulierung

Die Regelstrategie des Gerätes ist werkseitig festgelegt: Im Sommer erfolgt die Steuerung der Solaranlage über einen üblichen Temperaturdifferenz-Regler. Die Nachladung mittels Wärmepumpe erfolgt über ein Temperaturfühler im Speicher. Im Winter lädt die Solaranlage vorrangig den WW-Speicher, solange dessen Temperatur unter einem einstellbaren Sollwert liegt. Bei Erreichen desselben wird auf die solare Luftvorwärmung umgeschaltet. Die Wärmepumpe ist in Betrieb, sobald der Raumfühler oder der Fühler im WW-Speicher Bedarf meldet. Durch eine Serieschaltung der Kondensatoren lädt sie immer zuerst den Speicher. Der Zuluft kommt nur der Wärmeüberschuss zu.

### Ertrag, Kosten

Es wird mit einem solaren Bruttoertrag von ca. (550 kWh/m<sup>2</sup>a) gerechnet. Davon entfällt schätzungsweise knapp die Hälfte auf die WW-Bereitung. Die Mehrkosten für die Solaranlage liegen pro Wohneinheit bei Fr. 7000.–.

### Kommentar

Die Solaranlage wird neben der WW-Bereitung zur Aussenluft-Vorwärmung eingesetzt. Dadurch kann sie länger als bei Standard-Anwendungen auf tiefen Systemtemperaturen betrieben werden. (Allerdings wird dieser Philosophie mit der werkseitig vorgegebenen Vorrangschaltung auf den Wassererwärmer wieder entgegengewirkt.) Die Wahl eines Kompaktgerätes, das neben den Kollektorkreis-Armaturen und dem WW-Speicher auch ein komplettes Gerät zur Wohnungslüftung und eine Wärmepumpe zur WW-Bereitung und Zulufterwärmung beinhaltet, stellt eine kostengünstige Lösung dar, die wegweisend sein könnte für eine vermehrte solare Luftvorwärmung in Niedrigenergie-Häusern.

## LEHRGANG

### Solare Aussenluft-Vorwärmung

#### Voraussetzungen

Grundidee der solaren Luftvorwärmung ist es, Sonnenenergie auf tiefem Temperaturniveau und damit möglichst effizient nutzen zu können. Die solare Luftvorwärmung steht dabei allerdings meistens in Konkurrenz zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft, die tendenziell ein besseres Kosten/Nutzen-Verhältnis aufweist. Solare Luftvorwärmung kann dann Sinn machen, wenn folgende drei Bedingungen erfüllt sind:

- Das Gebäude muss einen Heizenergiebedarf unter  $180 \text{ MJ/m}^2\text{a}$  aufweisen (Niedrigenergie-Haus).
- Die Solaranlage muss mindestens ausserhalb der Heizsaison zur Wassererwärmung eingesetzt werden. (Die solare Luftvorwärmung hat nur Zweitfunktion).
- Der Wärmeinhalt der Wohnungsabluft muss während der Heizsaison anstelle der wegfallenden WRG mit einer Wärmepumpe sinnvoll genutzt werden.

#### System-Konzeption

Die solare Luftvorwärmung wird als Grundstufe der Aussenluft-Erwärmung eingesetzt, damit eine Betriebsweise der Solaranlage mit tiefsten Systemtemperaturen möglich wird. Im Gegensatz zu einer konventionellen Lüftungsanlage erübrigt sich eine spezielle Frostschutz-Vorkehrung für das Register in der Aussenluft-Zuführung, weil der Kollektorkreis mit einem Frostschutz-Medium betrieben wird. Die Wärme in der Wohnungsabluft wird mittels einer Klein-Wärmepumpe für die WW-Bereitung oder zur Raumheizung (Bodenheizung oder warme Zuluft) genutzt. Eine Abluft-Wärmepumpe und eine solare Luftvorwärmung allein können auch in einem Niedrigenergiehaus nicht den gesamten Wärmeleistungsbedarf abdecken. Als sinnvolle Spitzendeckung bietet sich ein Holzofen an.

#### ...bei kleiner Absorberfläche

Bei einer Absorberfläche bis ca.  $4 \text{ m}^2$  pro Wohnung ist die im Beispiel beschriebene Lösung mit einem Solarregister im Zuluftstrom sinnvoll. Die Kollektorleistung an Wintertagen steht dann in einem vernünftigen Verhältnis zum Zuluft-Volumenstrom: Bei einer Kollektorleistung von  $1 \text{ kW}$  wird ein Luftstrom von  $150 \text{ m}^3/\text{h}$  von  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  auf  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  erwärmt.

#### ...bei mittlerer Absorberfläche

Bei einer Absorberfläche von  $5$  bis  $10 \text{ m}^2$  pro Wohneinheit sollte die Solaranlage immer auf einen Speicher (Warmwasser oder Heizung) arbeiten. Die Leistung wäre bei dieser Absorberfläche vielfach bereits so gross, dass ein direktes Solarregister im Luftstrom die Zuluft zu stark erwärmen würde. Folgendes Rechnungsbeispiel zeigt, dass die Luftvorwärmung dabei so hohe Kollektorkreis-Vorlauftemperaturen zur Folge hätte, dass damit ebenso gut direkt Warmwasser produziert werden könnte: Bei  $7 \text{ m}^2$  Absorberfläche und einer Bruttoleistung von  $250 \text{ W/m}^2$  werden  $150 \text{ m}^3/\text{h}$  viergrädige Aussenluft auf  $41 \text{ }^\circ\text{C}$  aufgeheizt, was eine Kollektor-Vorlauftemperatur von mehr als  $45 \text{ }^\circ\text{C}$  bedeutet.

Bei Anlagen mit Speicher ist auch nachts und an Tagen mit sehr geringer Einstrahlung eine solare Luftvorwärmung möglich. Die Wärme zur solaren Luftvorwärmung sollte dazu aus dem untersten Speicherbereich entnommen werden.

#### ...bei grosser Absorberfläche

Bei einer sehr grossen Absorberfläche von  $20 \text{ m}^2$  und mehr pro Wohneinheit ist eine solare Luftvorwärmung nicht mehr sinnvoll. Die Solaranlage würde praktisch immer höhere Temperaturen als  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  liefern. Mit Wärme auf diesem Energieniveau sollte eine solare Raumheizung über Heizflächen erfolgen. Daneben kann eine Lüftungs-WP die Spitzendeckung für die WW-Bereitung übernehmen.

Heiri Huber, Dr. Eicher+Pauli, Zürich

## 8 Wohnsiedlung: Nahwärmeverbund mit Sonnenenergienutzung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Wald/ZH; 670 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Wohnsiedlung, Baujahr: 1990/91 11 EFH, 8 Whg., 1 Büro (EBF total: 2247 m <sup>2</sup> )
<i>Bauherr:</i>	Wohnbau-Genossenschaft Wald
<i>Wärmeleistungsbedarf:</i>	72 kW (Heiztage: 155)
<i>Heizenergiebedarf:</i>	164 MJ/m <sup>2</sup> a (Messung)
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Holzsnitzelfeuerung (100 kW)
<i>Betriebstemperaturen:</i>	Heizung max. 45/35 °C, Fernleitung max. 75/60 °C
<i>Solaranlage:</i>	5 Kollektorfelder (23°; -18° bzw. +21°), Flachkollektor, selektiv, dachintegriert; Absorberfläche total: 107.5 m <sup>2</sup>
<i>Speicher:</i>	pro Hausgruppe (3 bis 4 WE): 3800 l mit integriertem Wassererwärmer 440 l
<i>Energieplanung:</i>	Ingenieurbüro H. Hobi, Wetzikon



Foto 5.8

### Ausgangslage

Der Wohnbau-Genossenschaft war es ein Anliegen, die nach ökologischen Grundsätzen erstellte Siedlung mit erneuerbaren Energien zu heizen. Aus verschiedenen Projektvarianten wurde eine automatische Schnitzelfeuerung (Grünschnitzel) ausgewählt. Der Sommerbedarf sollte mit Sonnenenergie gedeckt werden, wobei die Absorberfläche und der Speicher so zu dimensionieren waren, dass keine Nachladung (Elektroeinsätze) benötigt wurde.

### Planung, Realisierung

Als Grundlage für die Entscheidung zwischen einer zentralen WW-Bereitung für die ganze Siedlung, und einer dezentralen Lösung mit Unterstationen pro Hausgruppe wurden die Verteilverluste berechnet. Da mit einer zentralen Wassererwärmung die Verluste ca. 11 MWh/a höher lägen, wurde eine dezentrale Variante gewählt: In jeder Häusergruppe mit 3 bis 4 Wohnungen wurde ein Kombispeicher plaziert. Damit verbrauchsbezogen abgerechnet werden kann, wurden im Heizkreis und im WW-System Zähler eingebaut. Die hausweise angeordneten Kollektorfelder haben eine Absorberfläche von je 21.5 m<sup>2</sup>.

### Kosten, Ertrag

Die Mehrkosten für die Solaranlagen betragen total Fr. 152 000.– Dies ergab pro Wohneinheit Mehrkosten von ca. Fr. 8000.–. Das Hauptziel, das WW im Sommer ausschliesslich mit Sonnenenergie zu erzeugen, wurde erreicht. Es war insofern nicht schwierig, als in dieser Siedlung sehr haushalterisch mit Energie und Wasser umgegangen

### Prinzipschema

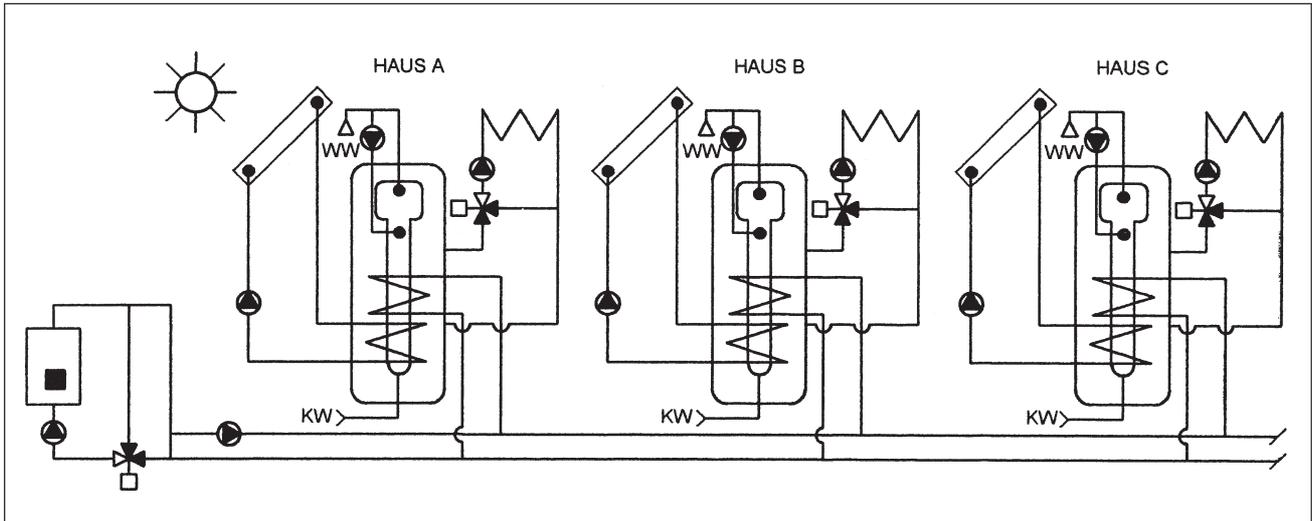


Fig 5.8

wird. Der WW-Bedarf pro Wohneinheit beträgt durchschnittlich nur 75 l/d. Der solare Bruttoertrag liegt bei ca. 365 kWh/m<sup>2</sup>a.

#### Kommentar

Holzschneitzelfeuerungen sollten aufgrund ihres schlechten Verhaltens bei reinem WW-Bereitungsbetrieb im Sommer abgeschaltet werden. Als Wärmeerzeugung für diese Periode bietet sich die Sonnenenergienutzung an. Das vorliegende Beispiel zeigt, wie eine Solaranlage dimensioniert und in ein zentrales Wärmeversorgungssystem mit Holzschneitzelfeuerung eingebunden werden

kann, damit eine vollständige Abdeckung des WW-Bedarfs im Sommer möglich wird.

Was auch mit der Solaranlage nicht verhindert werden kann, ist das häufige Pendeln der Holzschneitzelfeuerung zwischen Standby-Betrieb und unterster Heizstufe in den Übergangsjahreszeiten. Bei Bauten mit guter passiver Sonnenenergienutzung ist dieser Effekt besonders gross. Der Anlage-Wirkungsgrad ist dann sehr schlecht. Für den Heizbetrieb bei kleiner Teillast sollte daher eine bessere Lösung der Wärmeerzeugung (z.B. mittels dezentraler Luft-Wasser-Wärmepumpe) gesucht werden.

## INHALT

### Einbindung in Nahwärme-Systeme

Nahwärme-Versorgungen machen bekanntlich nur dort Sinn, wo die Nachteile solcher Systeme, wie hohe Verteilverluste und Mehrverbrauch an Pumpenenergie, durch die Verwendung erneuerbarer Energieträger oder rationeller Energienutzungssysteme, deren lohnender Einsatz an eine gewisse Anlagengrösse bzw. -leistung gebunden ist, aufgewogen werden. Dies ist der Fall bei Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen, Abwärmenutzungssystemen (Kraftwerke, Müllverbrennungsanlagen usw.) und automatischen Holzschnitzel-Feuerungen. Die Sonnenenergienutzung allein rechtfertigt den Bau eines Nahwärme-Systems selten. Eine Ausnahme können Anlagen zur saisonalen Speicherung von Sonnenenergie bilden, da mit einem zentralen Grossspeicher die Kosten der Wärmespeicherung und die Speicherverluste deutlich gesenkt werden können. Voraussetzung für einen sinnvollen Einsatz von solaren Nahwärme-Systemen in Kombination mit Saisonspeicherung ist allerdings, dass die Systemtemperaturen nicht zu hoch liegen (Rücklauftemperaturen: max. 40°C).

#### Grundsätzliche Überlegungen

Wie bereits dargestellt, ist der Entscheid für den Bau einer Nahwärme-Versorgung in der Regel im Einsatz dafür geeigneter, nicht solarer Energienutzungs-Systeme oder Energieträger begründet. Bei der Frage, ob diese durch Sonnenenergienutzung sinnvoll ergänzt werden können, gilt es zunächst zu überlegen, welche Folgen bzw. Vor- oder Nachteile dies für das System hat:

- WKK-Anlagen sind Grundlast-Energielieferanten. Sie erfordern lange Laufzeiten und eine grosse Temperaturspreizung. Eine Ergänzung mit Sonnenenergie steht diesen Erfordernissen entgegen. Die Kombination beider Systeme ist unter Umständen bei Prozesswärme-Anlagen möglich.
- Abwärmenutzungssysteme sind in der Regel Ganzjahres-Energielieferanten. Vor allem im Sommer würden sie durch Sonnenenergienutzung konkurrenziert.
- Eine Holzschnitzel-Feuerung hat im reinen WW-Bereitungsbetrieb bekanntlich einen schlechten Wirkungsgrad. Falls sie dadurch im Sommer abgestellt werden kann, ist eine Ergänzung mit Sonnenenergienutzung sinnvoll.
- Bei Wärmeerzeugern mit Abgaskondensation werden die tiefen Rücklauftemperaturen für die Kondensation benötigt und stehen der Sonnenenergienutzung somit nicht zur Verfügung.

#### Systemwahl

Eine zentrale Erzeugung bzw. Speicherung der Sonnenwärme mit einer Verteilung über das Netz ist praktisch nur bei Anlagen mit saisonaler Speicherung zwingend (Anlagen-Beispiel 9). In allen andern Fällen müssen die Entscheide, ob die Sonnenenergie zentral oder dezentral ins System eingespiessen, wie sie gespeichert und ob sie überhaupt über das Netz verteilt werden soll, aufgrund genauer Abklärungen der Verhältnisse getroffen werden.

Der Entscheid für eine zentrale Einspeisung bzw. Verteilung der Sonnenenergie hängt wesentlich davon ab, wie der Wärmebedarf im Sommer aussieht und inwiefern die Systemtemperaturen einen vernünftigen Nutzungsgrad der Solaranlage gestatten. Eine weitestmögliche Senkung der Temperaturen ist auf jeden Fall anzustreben. Bei Nahwärme-Versorgungen, die auch zur WW-Bereitung dienen, ist zu prüfen, ob zentral allenfalls nur eine WW-Vorwärmung erfolgen soll, ergänzt durch eine dezentrale Nachwärmung (Anlagen-Beispiel 8). Lösungen mit dezentralen Kollektoranlagen, gilt es bezüglich der Investitions- und Betriebskosten genau unter die Lupe zu nehmen. Vorteilhaft ist es hier, wenn die dezentralen Einheiten nicht zu klein sind.

Bezüglich der Speicherung der Sonnenenergie sind die unterschiedlichsten Varianten möglich. Die Lösung mit dezentralen Speichern und dezentraler WW-Bereitung, wie in Beispiel 8, ist hydraulisch und exergetisch zweifellos am vorteilhaftesten. Abzuwägen gilt es dies aber gegenüber den höheren Investitionskosten und Speicherverlusten. Eine zentrale Speicherung erlaubt, wie Beispiel 9 zeigt, unter Umständen den Verzicht auf zusätzliche dezentrale Speicher, hat aber natürlich alle Nachteile der zentralen Verteilung. Eine letzte, bei grossen Netzen mögliche Lösung, der sogenannte Einspeiseverbund, arbeitet ganz ohne Speicher. Die Speicherfunktion wird hier durch das Netz übernommen. Diese von den wegfallenden Speicherkosten her interessante Lösung ist hydraulisch und regeltechnisch anspruchsvoll, erlaubt aber keine tiefen Kollektorkreis-Temperaturen und kommt nur für Anlagen mit kleinstem Deckungsgrad in Frage.

#### Zusammenfassung

Die Einbindung von Solaranlagen in Nahwärme-Systeme ist komplex. Der Systementscheid ist neben den genannten Parametern, wie der konventionellen Wärmeerzeugung, der Netzgrösse bzw. Gesamtleistung und den Temperatur-Verhältnissen, von der Verbrauchsstruktur, der Bebauungssituation und weiterer Faktoren abhängig.

*Felix Schmid, Rifferswil*

## 9 Wohnsiedlung: «Megawatt-Anlage» mit saisonaler Speicherung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Saillon/VS; 466 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Wohnsiedlung; Baujahr 1993/94, 44 Wohnungen; EBF total: 4909 m <sup>2</sup>
<i>Bauherrschaft:</i>	CIA Genève (Pensionskasse)
<i>Architektur:</i>	F. Franzetti, Martigny
<i>Wärmebedarf:</i>	326 MJ/m <sup>2</sup> a (berechnet)
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Ölkessel (193 kW)
<i>Wärmeverteilung:</i>	Fernleitung: 55/35 °C; Bodenheizung: 50/30 °C
<i>Solaranlage:</i>	Saisonale Speicherung
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; Absorberfläche: 62 m <sup>2</sup> (45°, Süd) Unverglaste selektive Absorber; Absorberfläche: 957 m <sup>2</sup> (Neigung: 0°)
<i>Speicher:</i>	WW-Tagesspeicher: 15 m <sup>3</sup> ; Aquifer-Saisonspeicher: ca. 7500 m <sup>3</sup>
<i>Planer:</i>	Meldem Energie SA, Martigny BSI (Saugy & Hadorn), Lausanne Energie Solaire SA, Sierre

### Ausgangslage

Die Bauherrschaft hatte vom Planungsbeginn an die Absicht, bezüglich Architektur und Energienutzung ein Pilotprojekt zu realisieren. Hauptziel war eine Wärmeautarkie von 50% bei vertretbaren Kosten. Wie eine Energiestudie zeigte, konnte dies einerseits mit einer weitgehenden Reduktion des Wärmebedarfes durch eine Optimierung der Grundrisse und der Gebäudehülle und andererseits mit saisonaler Wärmespeicherung von Sonnenenergie erreicht werden. Voraussetzung für saisonale Wärmespeicherung bei einem Objekt dieser Größenordnung bedeutete eine zentrale Wärmeerzeugung und eine zentrale Wärmespeicherung. Unterstützung für das Pilotvorhaben wurde beim Bundesamt für Energiewirtschaft gefunden (Pilot- und Demonstrationsanlage).

### Planung

Hauptaufgabe der Solaranlagen-Planung war es, ausgehend von einem fixen, knappen Kostenrahmen eine möglichst günstige Lösung für die Wärmespeicherung zu finden. Konventionelle wärmegeämmte Wasserspeicher in umbautem Raum kamen aus Platz- und Kostengründen nicht in Frage. Die Wärmespeicherung musste in einer Lösung im Erdreich ohne teure Wärmedämmung gefunden werden. Da solche Speicher für Wärmespeicherung auf hohem Temperaturniveau ungeeignet sind, musste auch ein Wärmeverteil- bzw. ein Wärmeabgabesystem mit möglichst tiefen Betriebstemperaturen gesucht werden. Die hy-



Foto 5.9

draulische Einbindung des Saisonspeichers ins System hatte dementsprechend an der kältesten Stelle, d.h. im Fernleitungsrücklauf, zu erfolgen.

### Speicherung

Aufgrund der örtlichen geologischen Verhältnisse entschied man sich, Grundwasser in 18 bis 30 m Tiefe als Speichermedium zu verwenden. Hauptschwierigkeit bei dieser Lösung war, die Grundwasser-Strömung zu unterbinden, das heisst, so zu stabilisieren, dass die zu speichernde Wärme nicht mit fluktuierendem Wasser wegtransportiert wird. Zu diesem Zweck wurde ein Drainage-System mit drei Pumpen eingebaut, die auf der Abfluss-Seite ständig Unterdruck und auf der Zufluss-Seite Überdruck erzeugen. Das auf diese Weise bewirtschaftete totale Volumen der Grundwasser-Schicht beträgt  $7500 \text{ m}^3$  (ca.  $7.5 \text{ m}^3$  pro  $\text{m}^2$  Absorberfläche); pro Wohnung beträgt das Speichervolumen ca.  $170 \text{ m}^3$ . Die spezifischen Investitionskosten des Speichers betragen Fr.  $20.-/\text{m}^3$ . Sie liegen damit tiefer als diejenigen anderer Speichertypen. Die Kosten für Erdkavernen-Speicher lägen bei gleicher Kapazität bei Fr.  $200.-$  bis  $400.-/\text{m}^3$ , diejenigen für wärmegedämmte Stahlspeicher bei Fr.  $1200.-$  bis  $1400.-/\text{m}^3$ . Der tiefere Nutzungsgrad des gewählten Speichersystems wird durch diesen Kostenvorteil klar aufgewogen. Neben dem Saisonspeicher besteht ein Kurzzeitspeicher, der eine dynamischere Bewirtschaftung in bezug auf die aktuelle Bedarfssituation erlaubt.

### Wärmeverteilung

Um die Systemtemperaturen des Nahwärmenetzes möglichst tief zu halten und damit die Sonnenenergie bzw. den Saisonspeicher optimal nutzen zu können, wurde eine neuartige, exergetisch optimierte Wärmeverteilung entwickelt, die über das Sanitärsystem erfolgt: Ausserhalb der Heizperiode wird die Vorlauftemperatur auf  $48^\circ\text{C}$  gesenkt. Jede Wohnung hat in der Küche einen elektrischen Kleinboiler, der es erlaubt, individuell höhere WW-Temperaturen anzufordern. Während der Heizperiode wird die Vorlauftemperatur des Netzes gleitend bis max.  $60^\circ\text{C}$  angehoben. Die wohnungsweisen Übergabestationen beinhalten einen WW-Zähler und einen Wärmetauscher für die Wärmeabgabe an die Bodenheizung. Das System funktioniert also genau umgekehrt wie konventionelle Nahwärme-Versorgungen, bei denen Heizungswasser die Wärme zu den Übergabestationen transportiert, und die WW-Bereitung über einen Wärmetauscher erfolgt, eine Lösung, die höhere Vorlauftemperaturen von mindestens  $65^\circ\text{C}$  erfordert.

### Kollektorfeld

Mit einer Absorberfläche von mehr als  $1000 \text{ m}^2$  setzt die Kollektoranlage mehr als  $1 \text{ MW}$  Strahlungsleistung um. Die Absorberfläche ist aufgeteilt auf ein grosses Kollektorfeld mit unverglasten, horizontal verlegten, selektiven Absorbern und ein kleines Feld mit verglasten, geneigten Flachkollektoren. Die beiden Felder können sowohl seriell als auch alternierend betrieben werden. Die nachgeschalteten, verglasten Kollektoren dienen v.a. dazu, im Tagesspeicher das erforderliche Nutztemperatur-Niveau einfacher zu erreichen. Bei den für die Ladung des Saisonspeichers im Sommer genügenden mittleren Systemtemperaturen bis  $36^\circ\text{C}$  arbeiten die unverglasten Absorber mit einem ähnlichen Wirkungsgrad wie die verglasten. Es wird damit gerechnet, dass ihre Leistung bei der gewählten Betriebsweise im Jahresdurchschnitt ca.  $20\%$  unter derjenigen von verglasten selektiven Flachkollektoren liegt. Die spezifischen Investitionskosten der unverglasten Absorber hingegen betragen nur ungefähr die Hälfte von denen verglaster Kollektoren. Im vorliegenden Beispiel betragen sie ca. Fr.  $450.-/\text{m}^2$  (inkl. Kosten für die Kollektorkreis-Verrohrung).

### Ertrag, Wirtschaftlichkeit

Aufgrund von PC-Simulationen werden folgende Resultate erwartet: Der solare Bruttoertrag liegt bei ca.  $550 \text{ MWh/a}$  ( $550 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ).  $130 \text{ MWh}$  werden direkt ans Wärme-Verteilssystem bzw. den Kurzzeitspeicher, ca.  $420 \text{ MWh}$  an den Saisonspeicher abgegeben. In der Hoffnung, ca.  $100 \text{ MWh}$  dem Saisonspeicher wieder entnehmen zu können (Speichernutzungsgrad:  $25\%$ ), ergibt sich ein solarer Nettoertrag von ca.  $230 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Es wird mit solaren Wärmekosten von ca. Fr.  $-.25$  pro kWh gerechnet.

### Betriebserfahrungen

Die Auswertung der ersten Betriebsmonate deutet darauf hin, dass die gesteckten Ziele nicht ganz erreicht werden. Insbesondere die Bewirtschaftung des Saisonspeichers erweist sich als äusserst diffizil, da der Grundwasser-Strom sehr dynamisch ist. Je nach Jahresniederschlagsmenge kann z.B. sein Niveau beachtlich variieren.

### Kommentar

Die Anlage ist ein Beispiel für saisonale solare Wärmespeicherung im grossen Stil. Obwohl von dieser Anwendung thermischer Sonnenenergienutzung unter Umständen wirtschaftlich interessante Resultate erwartet werden dürfen, ist sie noch

wenig verbreitet. Interessant in diesem Fall ist die Verwendung von Grundwasser als Speichermedium. Bei dieser von den Investitionskosten her gesehen günstigen Speicherlösung gilt es allerdings, den Hilfsenergiebedarf für die zur Stabilisierung des Speichers nötigen Pumpen kritisch zu hinterfragen. Neuartig und vielversprechend an dieser Anlage ist der Versuch einer exergetisch optimierten Wärmeverteilung.

**Prinzipschema**

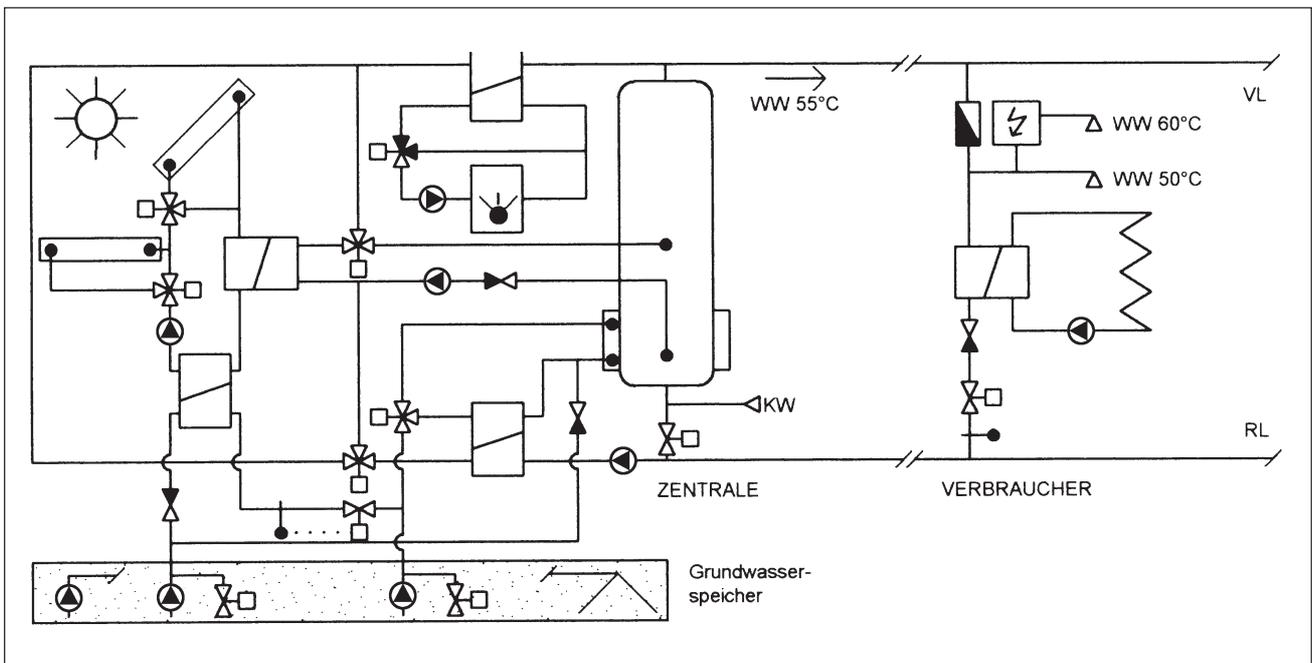


Fig. 5.9

## EXKURS

### Saisonale Speicherung von Sonnenenergie

In Mitteleuropa fallen zwei Drittel der Sonnenstrahlung im Sommer an, zu einem Zeitpunkt, in dem Wärme vor allem zur WW-Bereitung benötigt wird. Im Winter, in der Zeit des grössten Wärmebedarfes, ist die Sonnenstrahlung schwach. Soll Sonnenenergie in der Zukunft in einem grösseren Mass auch für die Raumheizung genutzt werden, müssen Möglichkeiten der saisonalen Wärmespeicherung entwickelt und verbreitet werden. Saisonspeicher können nicht nur für die Aufnahme von Sonnenenergie, sondern gleichzeitig auch für andere Wärmequellen (z.B. Abwärme) verwendet werden. Zudem können sie im Sommer unter Umständen auch zu Kühlzwecken eingesetzt werden. Während die «chemische» Speicherung von Sonnenenergie (z.B. Wasserstoff) oder ihre Speicherung mittels Latentspeicher heute noch teuer und weit von einer breiten Anwendung entfernt sind, ist die Speicherung in Form von erwärmtem Wasser praktikabel und erprobt. Je nach Grösse, Typ, Bewirtschaftung und Nutzung eines Wasserspeichers können die Speicherungs- und damit die Energiekosten allerdings stark variieren.

#### *Dezentrale, hausweise Speicherung*

Für einzelne, kleinere Objekte ist die Wärmespeicherung in wärmeisolierten Stahl- oder Betonbehältern am einfachsten. Die Kosten für solche Speicher und den benötigten umbauten Raum sind allerdings oft hoch. Um das Speichervolumen bzw. die Kosten in einem vertretbaren Rahmen halten zu können, muss auf Speicherzyklen von mehr als 2 Monaten und auf einen solaren Deckungsgrad von über 80% verzichtet werden, so dass nicht mehr von einer eigentlichen Saisonspeicherung geredet werden kann. Ausserdem sind der Wärmebedarf des Gebäudes und die Systemtemperaturen weitestmöglich zu minimieren. In Wohnbauten sollte der Heizenergiebedarf bei saisonaler Wärmespeicherung 150 MJ/m<sup>2</sup>a nicht übersteigen und die Auslegungsmitteltemperatur im Wärmeabgabe-System nicht über 40 °C liegen. Als Wärmedämmstärke des Speichers haben sich 30 cm bewährt. Für ältere Gebäude mit einer Energiekennzahl Heizung von mehr als 500 MJ/m<sup>2</sup>a bestehen noch keine verlässlichen und wirtschaftlich tragbaren Lösungen der saisonalen oder mindestens monatsweisen Wärmespeicherung. Versuche und Erfahrungen mit Erdspeichern, wie sie in Grossanlagen angewendet werden, stehen für Kleinobjekte noch aus; die Erwartungen diesbezüglich sind allerdings nicht allzu gross, da die Verluste von kleinen Speichern ohne künstliche Wärmedämmung hoch sind.

#### *Zentrale, quartierweise Speicherung*

Interessant und wirtschaftlich mit konventionellen Wärmeversorgungssystemen konkurrenzfähig ist die saisonale

Speicherung von Sonnenenergie im grossen Massstab, bei Wärmeversorgungen für Grossobjekte und Quartiere. Der Grund liegt darin, dass die spezifischen Speicherkosten und Speicherverluste mit zunehmender Anlagengrösse naturgemäss sinken. Aus Platzgründen kommt bei Grossprojekten nur eine Speicherung im Erdreich in Frage, wobei meistens auf eine Wärmedämmung verzichtet wird. Für Anlagen zur WW-Bereitung und Raumheizung ist ein Speichervolumen von 3 – 5 m<sup>3</sup> pro m<sup>2</sup> Absorberfläche nötig. Pro Wohneinheit wird eine Absorberfläche von ca. 25 m<sup>2</sup> empfohlen.

Grundsätzlich bestehen drei Varianten für Wärmespeicherung im Erdreich. Die Systemwahl hängt im Einzelfall stark von der geologischen Situation ab:

- Fels-Kavernen oder gedeckte Bassins: Diese Lösung ist zuverlässig aber relativ teuer. Nach einer 10jährigen Pilotphase wurden in den letzten Jahren in Europa mehrere grössere Speicher dieser Art (1000 bis 12 000 m<sup>3</sup>) gebaut.
- Durchlässige Gesteinsschichten: In den meisten Fällen werden für solche Speicher, ähnlich wie für Erdsonden von Wärmepumpen, 10 bis 100 m tiefe Löcher gebohrt, in die Plastikrohre abgesenkt werden. Die Erfahrungen mit dieser Variante sind in Europa ziemlich gut, obschon die Entwicklung dieser Lösung immer noch in den Anfängen steckt.
- Grundwasser («geothermische» Speicherung): Warmwasser wird im Sommer in 10 bis 250 m tief liegende Grundwasser-Schichten eingespiesen und im Winter wieder entzogen. Diese Lösung ist kostengünstig, in Planung und Betrieb aber äusserst anspruchsvoll und heikel.

Speicher im Erdreich weisen trotz fehlender Wärmedämmung bei tiefer Betriebstemperatur von weniger als 25 °C sehr geringe Verluste auf. Sie können aber nur mit einer Wärmepumpe sinnvoll genutzt werden. Die Speicherung auf höherem Temperaturniveau, bis 90 °C, für Direktnutzung ist in nicht wärmeisolierten Erdspeichern möglich, wirtschaftlich aber bedeutend schlechter. Sie lohnt sich für saisonale Speicherung erst ab Speichervolumen von über 5000 m<sup>3</sup>, wenn die Speicherverluste ein vertretbares Mass (unter 10%) annehmen. Voraussetzung dazu sind Siedlungen mit mindestens 25 bis 50 Wohneinheiten oder grosse Verwaltungs- und Industriebauten, die ein Wärmeabgabe-System auf tiefem Temperaturniveau haben.

Jean-Christophe Hadorn, Lausanne

## 10 Gefängnis/Hallenbad: Kombination WW-Bereitung/Beckenwasser-Erwärmung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Gorgier/NE; 480 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Baujahr: 1974; Umbau: 1994/95
<i>Nutzung:</i>	Gefängnis mit Turnhalle, Kindergarten, Hallenbad
<i>Bauherrschaft:</i>	Kanton Neuenburg
<i>Belegung:</i>	60 Gefangene, 15 Angestellte; Hallenbad: 25 Eintritte pro Tag
<i>WW-Verbrauch (geschätzt):</i>	3500 l/d (60 °C)
<i>WW-Nutzung:</i>	Übliche Sanitäreanlagen, Duschen (Hallenbad und Turnhalle) Beckenwasser Hallenbad
<i>Hallenbad:</i>	Fläche: 82.5 m <sup>2</sup> ; Volumen: 150 m <sup>3</sup> , Wassertemperatur: 26 °C
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Ölkessel (2 x 240 kW), WRG (Hallenbad-Fortluft)
<i>Solaranlage:</i>	Erstellungsjahr: 1995
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; Absorberfläche: 76 m <sup>2</sup> (45°, Süd)
<i>Speicher:</i>	Vorwärmer und Nachwärmer: je 1500 l
<i>Planung:</i>	Planair SA, La Sagne

### Ausgangslage

Im Kanton Neuenburg sind dank einer Initiative der kantonalen Energiefachstelle bereits drei Gefängnisbauten mit einer Solaranlage ausgerüstet. Das Gefängnis in Gorgier wurde 1995 eingeweiht, indem eine ehemalige Mädchen-Erziehungsanstalt umgebaut und totalsaniert wurde. Bereits bestehend waren im Gebäude ein Kindergarten und ein Klein-Hallenbad für Schul- und Vereinszwecke.

### Planung, Grössenbestimmung

Folgende Ziele lagen der Planung zugrunde:

- Der Energiebedarf für die Beckenwasser-Erwärmung sollte im Sommer weitmöglichst gedeckt werden. Da der bisherige Bedarf nicht bekannt war, musste er geschätzt werden: Es wurde angenommen, dass er etwas über 300 kWh/d liegt. Dies bedeutete, dass für die Beckenwasser-Erwärmung problemlos mehr als 100 m<sup>2</sup> Absorberfläche hätten eingesetzt werden könnten.
- Das WW sollte vorgewärmt werden (Dimensionierungswert: 1 m<sup>2</sup> pro Verbrauchseinheit (VE). Bei 3500 l/d (zu 60 °C) Verbrauch gab dies eine Absorberfläche von ca. 44 m<sup>2</sup>.

Da die Dachfläche beschränkt war, konnten von den somit theoretisch ermittelten ca. 145 m<sup>2</sup> Absorberfläche nur 76 m<sup>2</sup> installiert werden.



Foto 5.10

**Regulierung**

Die WW-Vorwärmung und das Hallenbad werden ohne Vorrang, parallel bewirtschaftet. Sanitärseitig wurde grosser Wert auf eine Mischwasser-Regelung mit optimierter WW-Zirkulation gelegt, um die Verluste möglichst klein zu halten und ein gutes Speichermanagement zu erzielen. Die Beckenwasser-Erwärmung wird bei 26 °C begrenzt. Bei Über-temperatur wird die Solaranlage abgestellt. Eine grosse Expansionsanlage verhindert Mediumsverluste und Entlüftungsprobleme bei Dampf-bildung.

**Kosten, Ertrag**

Die Kosten für die gesamte Solaranlage inkl. Speicher betragen ca. Fr. 140 000.– (Fr. 1850.–/m<sup>2</sup>). Betriebserfahrungen liegen aufgrund der erst vor kurzem erfolgten Inbetriebnahme noch keine vor. Mess-einrichtungen wurden eingebaut.

**Kommentar**

Das Gefängnis in Gorgier bietet ideale Vorausset-zungen für den Betrieb einer Solaranlage. Der WW-Verbrauch im Jahresprofil ist sehr konstant, und mit dem Hallenbad steht ein Grossverbraucher mit niedriger Nutzttemperatur zur Verfügung. Da keine Beckenwasser-Erwärmung durch eine WRG-Anla-ge bestand (Die WRG der Hallen-Fortluft dient nur der Lüftungsanlage.), stösst die solare Beckenwasser-Aufheizung nicht auf Konkurrenz. Aus bauli-chen Gründen konnten die wassernutzenden Gerä-te der Küche und einer nachträglich eingebauten Wäscherei leider nicht an das solare Warmwasser-System angeschlossen werden.

**Prinzipschema**

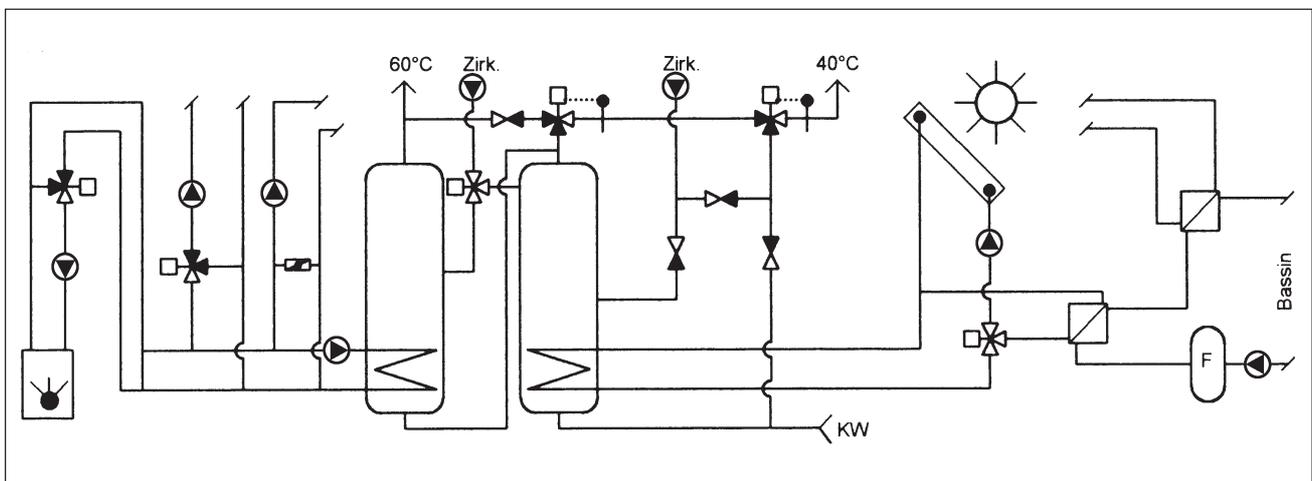


Fig 5.10

## 11 Alterssiedlung: Standardlösung Warmwasser-Vorwärmung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Uetikon a. S./ZH; 470 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Alterssiedlung; Baujahr: 1976, 38 1- bzw. 1½-Zi-Wohnungen
<i>Bauherrschaft:</i>	Genossenschaft Stöckli
<i>Nutzungs-Struktur:</i>	Belegung sehr konstant
<i>WW-Nutzung:</i>	Üblicher Sanitär-Standard
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Ölkessel (150 kW)
<i>Solaranlage:</i>	Erstellungsjahr: 1990
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv Absorberfläche: 31.5 m <sup>2</sup> (45°, -20° Süd-Südost)
<i>Speicher:</i>	Vor- und Nachwärmer: je 1000 l
<i>Planung:</i>	Basler & Hofmann AG, Zürich E. Schweizer AG, Hedingen

### Ausgangslage

1990 war aus mehreren Gründen eine Sanierung der bestehenden Heizzentrale der Alterssiedlung fällig. Zur gleichen Zeit suchte die Gemeinde Uetikon im Rahmen der kommunalen Energieplanung die Möglichkeit, eine Pilot-Solaranlage zu realisieren. Der aufgrund vorhandener Messeinrichtungen bekannte relativ konstante WW-Verbrauch (2000 l/d) der Alterssiedlung bot dazu ideale Voraussetzungen, womit sich eine Zusammenarbeit zwischen der Alterssiedlungsgenossenschaft und der Gemeinde aufdrängte.

### Planung, Anlagenbeschreibung

Das Konzept entspricht sowohl hydraulisch als auch bezüglich der Dimensionierung ganz einer Standard-Solaranlage zur WW-Vorwärmung: Die spezifische Absorberfläche beträgt ca. 1.2 m<sup>2</sup> pro Verbrauchseinheit (inkl. äquivalente WW-Menge der WW-Zirkulation). Dem bestehenden konventionellen Speicher (Volumen: ½- bis ⅓-Tagesbedarf) wurde ein Solarspeicher vorgeschaltet (solares Vorwärmvolumen: ca. 32 l/m<sup>2</sup> Absorberfläche). Sanitärseitig wurden parallel zum Einbau der Solaranlage keine Veränderungen, wie z.B. Massnahmen zur rationellen Wassernutzung oder der Anschluss der Waschmaschinen vorgenommen.

### Kosten, Ertrag

Die Mehrkosten der Anlage, inkl. der zur Erfolgskontrolle eingebauten Messstellen, werden gegenüber den Kosten einer konventionellen Sanierung auf ca. Fr. 60 000.– beziffert (davon Unterstützungsbeitrag der Gemeinde: Fr. 50 000.–). Die Messungen zeigen folgende Resultate: Der registrierte WW-Verbrauch liegt seit der Sanierung etwas höher, bei durchschnittlich rund 2500 l/d. Dies erklärt



Foto 5.11

**Prinzipschema**

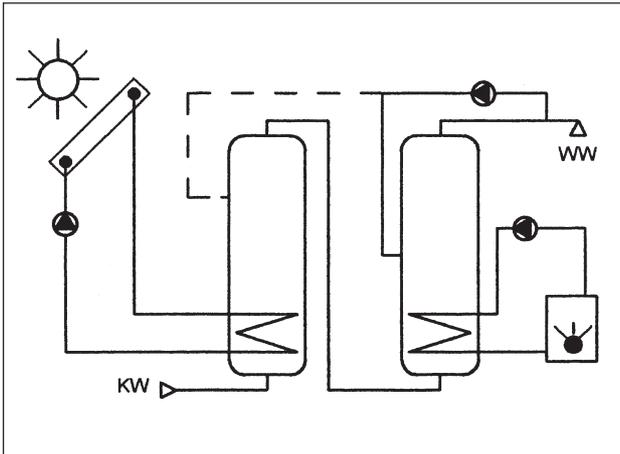


Fig. 5.11

sich teilweise damit, dass die WW-Temperatur anlässlich der Sanierung von 65 °C auf 57 °C gesenkt wurde. Der im Kollektorkreis gemessene spezifische solare Bruttoertrag beträgt ca. 330 kWh/m<sup>2</sup>a Absorberfläche, was 67% des prognostizierten Wertes entspricht.

**Betriebsoptimierung**

Da der Ertrag unter dem erwarteten Ergebnis lag, wurden 1992 detaillierte Messungen durchgeführt. Dabei wurde bemerkt, dass sich die ständige Rückführung der WW-Zirkulation in den Vorwärm-speicher in doppelter Hinsicht negativ auswirkte: Bei «kaltem» Vorwärm-speicher wird einerseits der Zirkulationsrücklauf unnötig abgekühlt (Exergie-verlust), andererseits wird das der Sonnenenergie zur Verfügung stehende Vorwärmvolumen zum Teil unnötig aufgeheizt und dadurch verkleinert. Zur Behebung dieser Situation wurde die WW-Zirkulation umgebaut und neu fest in den konventionellen Speicher zurückgeführt. Seit dieser Änderung bleibt nun der Vorwärm-speicher bei normalen Wetterverhältnissen kalt. Umgekehrt können an sehr schönen Sommertagen im Vorwärm-speicher kurzzeitig hohe Temperaturen abgelesen werden. Der Grund dafür liegt darin, dass bei geringem WW-Verbrauch die Sonnenenergie wegen der nunmehr fehlenden konstanten Wasserzirkulation über den Vorwärm-speicher nur noch teilweise abgeführt werden kann und dadurch eigentliche «Wärmestaus» entstehen können. Diese Situation könnte verbessert werden, indem mittels eines Umstellventils die Zirkulation je nach den Temperaturverhältnissen in den Vor- oder in den Nachwärmer geführt wird. (siehe Fig. 3.27)

**Kommentar**

Alterssiedlungen eignen sich für Sonnenenergie-nutzung zur WW-Bereitung aufgrund ihres ausge-glichenen Verbrauchs gut. Weshalb der solare Bruttoertrag dieser Anlage trotz der theoretisch optimalen Auslegung der Absorberfläche nicht der Prognose entspricht, ist bis heute ungeklärt. Dies zeigt, wie heikel Ertragsprognosen sind (siehe Ex-kurs folgende Seite), und wie wichtig es ist, dass Anlagen auch nach der Inbetriebnahme begleitet und laufend optimiert werden.

## EXKURS

### Vorsicht mit Ertragsprognosen!

Auf Wunsch von Bauherren, für Wirtschaftlichkeitsrechnungen, Variantenvergleiche usw. werden von Solaranlagen-Planern immer wieder Ertragsberechnungen und -abschätzungen gemacht. Dabei zeigt sich nicht selten, dass zwischen den Prognosen und den später im Betrieb gemessenen Werten zum Teil beachtliche Unterschiede klaffen. In den meisten Fällen sind die Annahmen zu optimistisch.

#### *Vielfalt an Begriffen*

Der Ertrag von Solaranlagen wird in Abhängigkeit der gewählten Systemgrenzen verschieden definiert. Es macht einen Unterschied, ob der Kollektor(feld)ertrag (Wärme-Output Kollektor), der Bruttowärmeertrag (Kollektorertrag bei fixer Kollektortemperatur), der solare Bruttoertrag (an den Speicher abgegebene Solarwärme), der solare Nettoertrag (Wärme-Output solaren Ursprungs aus dem Speicher) oder die eingesparte Zusatzenergie gemeint ist.

#### *Zusatzenergie-Einsparung*

Aus Sicht der Bauherrschaft und für Wirtschaftlichkeitsrechnungen am interessantesten sind Aussagen über die Einsparung an konventioneller Endenergie (z.B. Liter Öl). Werden Solaranlagen einem bestehenden Haustechnik-System hinzugefügt, ist dies unter Umständen durch einen Vorher-Nachher-Vergleich möglich; bei Neubauten ist man dabei aber immer auf Abschätzungen angewiesen.

#### *Bruttowärmeertrag und Kollektor(feld)ertrag*

Der Bruttowärmeertrag ist eine theoretische Grösse und dient dazu, im Rahmen genormter Tests Kollektorprodukte bezüglich Wirkungsgrad und Charakteristik miteinander zu vergleichen. In Bezug auf den Nutzen einer Solaranlage ist er nur bedingt aussagekräftig, weil darin die gesamten Systemverluste, bzw. der Anlage-Nutzungsgrad, nicht enthalten sind. Heikel sind Aussagen zum Bruttowärmeertrag auch, weil dabei eine konstante mittlere Systemtemperatur angenommen werden muss, was nur bei grosser Erfahrung und Systemkenntnis einigermaßen gelingt. Wenn der Bruttowärmeertrag aus Testberichten gerne für Ertragsangaben ganzer Systeme verwendet wird, ist dies eindeutig falsch, insofern aber verständlich, als es oft der einzige verfügbare Anhaltspunkt für den zu erwartenden Ertrag ist. Der mit dem Bruttowärmeertrag nicht zu verwechselnde Kollektor(feld)ertrag, der effektive Energie-Output des Kollektors ist zwar relevant, wird in der Praxis aber kaum gemessen.

#### *Solarer Bruttoertrag*

Der solare Bruttoertrag ist mit einem Wärmehähler im Kollektorkreis relativ einfach zu ermitteln. Die Beschränktheit dieses Parameters liegt darin, dass damit nur die Kollektorkreis-, nicht aber die Speicherverluste erfasst sind.

#### *Solarer Nettoertrag*

Werden Prognosen über den solaren Nettoertrag gemacht, wird oft auf eine entsprechende Kurve aus der Publikation «Solare Wassererwärmungsanlagen» (1988) zurückgegriffen. Diese Kurve hat einen sehr beschränkten Geltungsbereich. Sie wurde im Rahmen einer SOFAS-Studie ermittelt und ist dem Inhalt und den Adressaten besagter Publikation entsprechend für kleinere Standardanlagen gemeint. Nur äusserst bedingt anwendbar ist sie für Grossanlagen (über 30 m<sup>2</sup>) mit komplexem Verbrauchsprofil, unbeschränkt zur Verfügung stehender Zusatzenergie, mehreren Speichern, externen Wärmetauschern, langer Verrohrung usw., also nahezu für sämtliche Anlagen, die unter Beizug von Planern projektiert werden! Messtechnisch lässt sich der solare Nettoertrag kaum ermitteln, weil es (insbesondere bei Anlagen mit einem einzigen Speicher) unmöglich ist, die Speicherverluste anteilmässig für den solaren bzw. den konventionellen Teil getrennt zu erheben. In der Praxis kann er somit immer nur abgeschätzt werden. Leider eignen sich auch die zur Verfügung stehenden Computer-Programme für Aussagen über den solaren Nettoertrag nur bedingt, da insbesondere ihre Möglichkeiten, die Auswirkungen komplexer Verbrauchsprofile auf die Speichervorgänge und damit auch auf den System-Nutzungsgrad dynamisch zu rechnen, noch beschränkt sind. Kommt dazu, dass auch Vergleiche zwischen einzelnen Solaranlagen und Systemen aufgrund des solaren Nettoertrages nur ganz beschränkt möglich sind, weil sich die Systemverluste von Anlage zu Anlage naturgemäss stark unterscheiden.

#### *Fazit*

Ertragsangaben irgendwelcher Art sind schwierig und müssen daher mit grösster Vorsicht und Zurückhaltung erfolgen. Sie sind wertlos, wenn die gezogenen Systemgrenzen nicht definiert und für die Bauherrschaft verständlich sind. Aussagekräftig und sinnvoll sind sie nur dann, wenn die Werte auch in Relation zum Nutztemperatur-Niveau (d.h. zur Exergie) gesetzt werden. Für grobe Abschätzungen über den solaren Bruttoertrag können die Werte in Figur 2.10 verwendet werden.

*Felix Schmid, Rifferswil*

## 12 Asyl-Empfangsstelle: Ansätze einer «exergetischen» Speicherbewirtschaftung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Basel; 260 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Empfangsstelle mit 600 Schlafplätzen
<i>Bauherr:</i>	Amt für Bundesbauten
<i>Belegung:</i>	Schwankend; 1994: Ø 100 P./d
<i>WW-Verbrauch:</i>	1994: Ø 3500 l/d zu 60 °C; d.h. ca. 35 l/P.d (ohne Waschmaschine)
<i>Wärmeerzeugung:</i>	2 Gaskessel (92 kW, 168 kW)
<i>Solaranlage:</i>	Erstellungsjahr: 1993
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; Absorberfläche: 46.2 m <sup>2</sup> (45°, Süden)
<i>Speicher:</i>	2 Nachwärmer: 2700 l, 1500 l; 2 Vorwärmer: 2 x 1850 l (80 l/m <sup>2</sup> )
<i>Planung:</i>	Suisselectra AG, Basel



Foto 5.12

### Ausgangslage

Die bestehende Asyl-Empfangsstelle mit 80 Schlafplätzen sollte 1993 um 520 Plätze erweitert werden. Das Amt für Bundesbauten entschied, einen Teil des Warmwasser-Energiebedarfes mit Solarenergie zu decken. Als Grundlage für die Grössenbestimmung der Anlage wurde eine durchschnittliche Belegung von ca. 400 Personen pro Tag prognostiziert.

### Planung, Grössenbestimmung

Das Anlagen-Konzept wurde auf WW-Vorwärmung ausgerichtet. Ausgehend von einem WW-Bedarf von 11 bis 12 m<sup>3</sup>/d wurde eine theoretisch ideale Kollektorfläche von über 100 m<sup>2</sup> errechnet. Aufgrund der engen Platzverhältnisse auf dem Dach konnte allerdings nur knapp die Hälfte dieser Fläche installiert werden. Infolge des Kapazitätsausbaus wurde der bestehende Wassererwärmer mit einem parallel geschalteten Wassererwärmer ergänzt; für die Aufnahme der Sonnenenergie wurden zwei zueinander parallel geschaltete Vorwärmerspeicher vorangestellt. Mit 80 l/m<sup>2</sup> wurde das solare Vorwärmvolumen im Verhältnis zur Absorberfläche gross gewählt. Verbrauchsseitig wurden zwei exergetisch unterschiedliche Gruppen (60 °C für Küche und Putzräume bzw. 40 °C für Duschanlagen und Waschrinnen) geplant, in der Absicht, die Sonnenenergie dadurch teilweise auf niedrigem Temperaturniveau nutzen zu können.

### Hydraulik, Regulierung

Aufgrund der grossen Distanz zwischen Kollektorfeld und Speichern wurde im Kollektorkreis ein Bypass zum «Hochfahren» des Systems eingebaut. Die Solarkreis-Pumpe wird über einen Strahlungsfühler eingeschaltet. Die parallele Anordnung der Solarspeicher erlaubte es, mit preisgünstigen internen Wärmetauschern zu arbeiten. Die



## EXKURS

### Warmwasser-Zirkulation mit Sonnenenergie

Warmwasser-Zirkulationen sind konstante und, sofern nachts abgestellt, zeitlich in beachtlichem Masse mit dem Sonnenenergie-Angebot überlagerte Energieverbraucher. In Fachkreisen wird daher das Warmhalten von Ausstossleitungen mittels WW-Zirkulation in Objekten mit Solaranlage propagiert. So einleuchtend es scheint, anstelle von Strom (Heizband) Sonnenenergie zu nutzen, so nüchtern gilt es festzuhalten, dass die in der Praxis anzutreffenden Lösungen diesem Ziel leider oft nur bedingt gerecht werden. Der vielfach vergessene «Haken an der Sache» ist das Temperaturniveau von WW-Zirkulationen. Wie soll z.B. eine 60 °C-Zirkulation mittels Sonnenenergie betrieben werden, wenn das benötigte Temperatur-Niveau mit einer auf WW-Vorwärmung ausgelegten Anlage nur gerade an wenigen Sommertagen erreicht wird?

#### Systemüberlegungen

Die effiziente Nutzung von Sonnenenergie für WW-Zirkulationen gelingt nur, wenn bei der Planung die nötigen exergetischen Überlegungen angestellt und unter Berücksichtigung des solaren Deckungsgrades, der Verbrauchscharakteristik und des Verhältnisses zwischen dem WW-Nutzenergiebedarf und dem Energiebedarf für die Zirkulation die richtigen Systementscheide getroffen werden. Grundsätzlich gilt, dass die Verwendung von Sonnenenergie für WW-Zirkulationen nur Sinn macht, wenn der solare Deckungsgrad über 40% beträgt. Eine Anlage mit kleinerem Deckungsgrad systemtechnisch so auszulegen, dass sie auch für die WW-Zirkulation arbeiten kann, lohnt sich höchstens, wenn die Zirkulation einen wesentlichen Anteil des Energiebedarfs ausmacht oder der WW-Verbrauch im Gegensatz zum Zirkulationsbetrieb zeitlich zum Sonnenenergie-Angebot stark verschoben ist. Systemtechnisch wesentlich ist in

diesem Fall, dass im Kollektorkreis das nötige Temperaturniveau erreicht wird und die Sonnenwärme auf der richtigen Höhe an den Speicher abgegeben werden kann. (Matched-flow-Anlagen gemäss Exkurs 21 werden in diesem Zusammenhang an Bedeutung gewinnen.) Analog dazu muss das Warmwasser dem Speicher, soweit als möglich, auch wieder auf dem richtigen Niveau entzogen werden können, ohne dass es zuerst unnötigerweise aufgeheizt und nachher wieder heruntergemischt wird.

#### Beispiel

Das folgende Schema einer realisierten Anlage in einem Grossobjekt mit vorhandenem Mischwasser-System war ein Versuch, den obengenannten Gesichtspunkten teilweise gerecht zu werden.

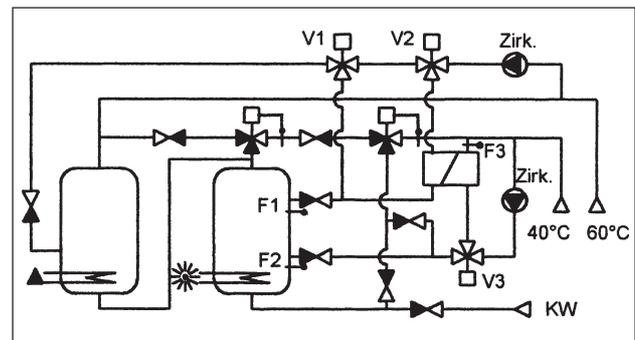


Fig 5.12.2

- F1 > 58 °C → V1: Eckschaltung
- F2 > 38 °C → V2+V3: Durchgang
- F2 < 38 °C → V2: stetig geregelt nach F3: 40 °C

Felix Schmid, Rifferswil

## 13 Sportanlage: Speichermanagement – «A und O» einer Solaranlage

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Zürich; 580 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Firmen-Sportplatz
<i>Bauherr:</i>	Schweizerische Bankgesellschaft
<i>Nutzung:</i>	7 Tennisplätze (im Winter: 1 Traglufthalle), 1 Fussballplatz, Clubraum, Restaurant mit 90 Plätzen Speiseraum Direktion, Abwartwohnung
<i>Belegung:</i>	Sommer: 7 d/Woche; Winter: 5 d/Woche
<i>WW-Nutzung:</i>	24 Duschplätze, Toiletten, Abwartwohnung: üblicher Standard Restaurant (ohne Abwaschmaschinen)
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Öl (200 kW); WP (3.7 kW th.)
<i>Solaranlage:</i>	Erstellungsjahr: 1991
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; Absorberfläche: 60 m <sup>2</sup> (30°, –20° Süd-Südost)
<i>Speicher:</i>	Kombispeicher 10m <sup>3</sup> mit 4 Einschub-Wassererwärmern von total 1900 l Inhalt
<i>Planung:</i>	Schweizerische Bankgesellschaft SBG, Zürich Britz & Andenmatten, Zürich
<i>Photovoltaikanlage:</i>	3 kW p, im Netzverbund

### Ausgangslage

«Entwicklungen auf dem Gebiet erneuerbarer Energien sind aufmerksam zu verfolgen». Dieser Satz aus dem bankeigenen Energieleitbild war der Auslöser, dass anfangs der 90er Jahre bei einigen SBG-Objekten Solaranlagen realisiert wurden. Dass dabei auch die Sportanlage Sonnenberg «zum Zug kam», hat vor allem zwei Gründe:

- Der Heizkessel-Ersatz stand bevor. Dabei wurde nach Möglichkeiten gesucht, die vor allem im Sommer häufigen Brennerstarts zu vermindern bzw. die Brennerlaufzeiten zu verlängern.
- Die Sportanlage beinhaltet auch ein Restaurant und den Speisesaal der Direktion. Eine Anlage an diesem stark frequentierten Ort trägt ideal zur Sensibilisierung in Sachen Sonnenenergie bei und erfüllt gleichzeitig einen PR-Zweck.

### Planung, Dimensionierung

Grundlage für die Planung bildete eine WW-Verbrauchsmessung während einem Jahr. Der Verbrauch lag an Tagen mit Sportbetrieb bei durchschnittlich 2000 l mit Schwankungen von 1300 l bis 3600 l. An Tagen ohne Betrieb sank er auf ca. 100 l (Abwartwohnung). Der Anteil der WW-Zirkulation am Energiebedarf des WW-Systems lag über 50% (ungenügende Wärmedämmung, grosse Distanz zur Abwart-Wohnung). Mit dem Einbau einer Zeitsteuerung hoffte man, diese Situation verbessern zu können. Zudem beschloss man, die



Foto 5.13

Zirkulationsverluste neu mit einer Wärmepumpe zu decken, die die Abwärme des Getränkelagers (Restaurant) nutzt. Ziel der Dimensionierung war es, auf die Ölheizung im Sommer weitmöglichst verzichten zu können. In Anbetracht der bei Freiluft-Sportanlagen günstigen Überlagerung von Sonnenenergie-Angebot und WW-Nachfrage im Jahresverlauf, rechnete man mit einer nötigen spezifischen Absorberfläche von ca. 2.4 m<sup>2</sup> pro Verbrauchseinheit (VE). Ausgehend davon, dass die Zirkulationsverluste hauptsächlich durch die WP gedeckt würden, ergab sich eine Gesamtfläche von 60 m<sup>2</sup>.

### Speicher

Aussergewöhnlich an der Anlage ist das Speicher-Konzept. Mit einem Inhalt von 10 m<sup>3</sup> (5-facher Tagesbedarf) wurde der Speicher bewusst gross dimensioniert, um einerseits lange Brennerlaufzeiten, andererseits im Hinblick auf die beachtlichen Verbrauchsschwankungen gute Pufferungsmöglichkeiten für die Sonnenenergie zu erzielen. Kostengründe und die Absicht ein exergetisch optimales Speichermanagement zu erzielen, führten dazu, dass man sich für einen kubischen Speicher mit integrierten Wassererwärmern anstelle eines reinen Speicher-Wassererwärmers entschied. Der Kostenvorteil dieser Lösung liegt darin, dass ein Grossteil der Energie im Heizungswasser gespeichert wird, wodurch auf teure, trinkwasserverträgliche Werkstoffe weitgehend verzichtet werden kann. Exergetische Vorteile erhoffte man sich ausgehend von der Vorstellung, dass in einem Kombispeicher auf einfachere Weise als in einem Speicher-Wassererwärmer eine gute Schichtung zu erzielen sei, weil die Wärmeübertragung hauptsächlich durch Wärmeleitung bzw. «sanfte Konvektion», d.h. ohne grosse Umwälzung, erfolge.

Die Einschub-Wassererwärmer im Bereitschaftsbereich wurden mit total 1200 l Inhalt im Hinblick auf hohe Stundenspitzen bei Sportveranstaltungen ebenfalls gross dimensioniert. Um trotz des erwünschten «sanften» Wärmeaustausches zwischen Heizungs- und Sanitärwasser im Extremfall eine genügend grosse Leistung zur Verfügung zu haben, wurde die Speicherladung ab Heizkessel auf hohe Temperaturen (90/70 °C) ausgelegt. Die Wärmeabgabe aus dem Solarkreis erfolgt nicht über einen externen Plattenwärmetauscher, wie bei dieser Anlagengrösse üblich, sondern mittels interner Glattrohr-Wärmetauscher. Absicht dahinter war wieder die optimale Einschichtung bzw. die exergetische Bewirtschaftung. Auch die Verwen-

dung von zwei Solar-Wärmetauschern, einem oberen (5.5 m<sup>2</sup>) für die direkte Nutzung der Sonnenwärme auf dem Nutztemperaturniveau und einem unteren (8 m<sup>2</sup>), der sich im Bereich des untersten Einschubboilers befindet und der WW-Vorwärmung dient, zielte in diese Richtung.

### Kosten, Ertrag

Die Kosten sind im Vergleich mit anderen Solaranlagen hoch, was vor allem dem Pilotcharakter der Anlage (Speicherkonzept) sowie den detaillierten Messeinrichtungen zugeschrieben wird. Der gemessene solare Bruttoertrag liegt bei durchschnittlich 410 kWh/m<sup>2</sup>a. Der solare Deckungsgrad wird mit 57 bis 60% angegeben. Mitentscheidend für diesen über den Planungsannahmen liegenden Wert war ein markanter Rückgang des WW-Verbrauchs nach der Sanierung (um 25%!), der vor allem auf den Einbau automatischer Duschanlagen zurückgeführt wird.

### Kommentar

Das Beispiel zeigt exemplarisch, wie anspruchsvoll die Realisierung einer Solaranlage bei bestehenden Grossobjekten ist, wie leicht sich Fehler einschleichen können und welche grundlegenden Punkte es daher unbedingt zu berücksichtigen gilt:

- Bei der Einbindung einer Solaranlage in eine bestehende, komplexe Haustechnik-Anlage muss integral vorgegangen werden. Zuerst gilt es, allfällige Mängel der vorhandenen Anlage zu korrigieren. Wird dies unterlassen, ist auch eine Solaranlage nur Flickwerk. Im vorliegenden Fall musste schon bei der bestehenden Anlage die WW-Temperatur einzig wegen der mit einer langen, schlecht gedämmten Unterputz-Leitung angeschlossenen Hauswartwohnung auf über 60 °C gehalten werden. Der Einbau einer dezentralen WW-Bereitung für die Hauswartwohnung hätte es erlaubt, die Temperaturen der verbleibenden WW-Verteilung auf für die Duschanlagen und die weiteren Zwecke genügende 50 °C zu senken. Diese für die Sonnenenergienutzung vorteilhafte Massnahme wurde leider unterlassen.
- Je komplexer Lösungen sind, desto eher besteht die Gefahr, dass Fehler auftreten, die unter Umständen im Betrieb nicht einmal bemerkt werden. In diesem Fall passierte dies typischerweise beim ausgeklügelten Speicher. Der durch die zur Kühlung des Getränkelagers eingesetzte Wärmepumpe gochgehaltene Zirkulationsrück-

lauf wurde mitsamt dem WP-Einschaltthermostat (T1) am Speicher unterhalb des oberen Solar-Wärmetauschers platziert. Der obere Solar-Wärmetauscher kommt dadurch praktisch gar nie in Funktion, womit ein wichtiger Teil des Speichermanagements entfällt. Die vorgenommene Kombination von Sonnenenergie-Nutzung und Kälte WRG ist allerdings generell heikel (siehe Exkurs 4.18) und wird, um unbefriedigte Kompromisse zu umgehen, meistens vermieden.

**Prinzipschema**

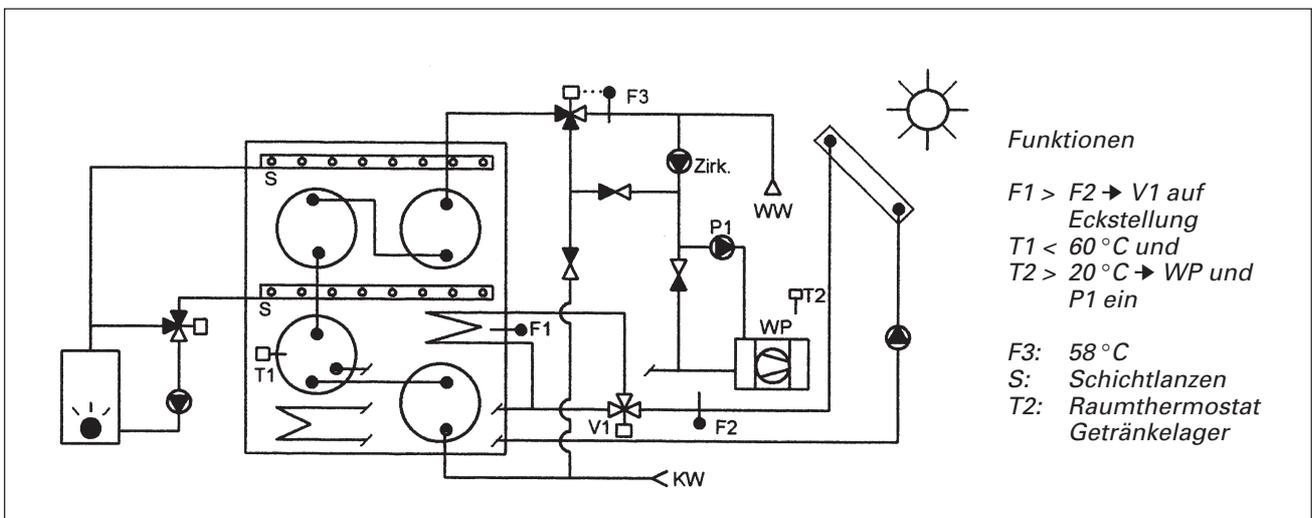


Fig. 5.13

## 14 Turnhalle: Augenmerk auf den Überhitzungsschutz!

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Elgg/ZH; 534 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Einzelturnhalle von Oberstufenschulhaus; Baujahr 1994
<i>Bauherr:</i>	Oberstufen-Schulgemeinde Elgg
<i>WW-Nutzung:</i>	Duschen, Garderoben
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Sommer: elektrisch; Winter: Nahwärme von Holzschnitzelfeuerung
<i>Solaranlage:</i>	Reine WW-Bereitung
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; Absorberfläche: 32 m <sup>2</sup> (45°, -10°Südost)
<i>Speicher:</i>	Vor- und Nachwärme-Speicher: je 2000 l
<i>Planung:</i>	Tramonti Gebäudetechnik AG, Winterthur Soltop Schuppisser AG, Rätterschen



Foto 5.14

### Ausgangslage

Anlässlich einer Erweiterung des Oberstufenschulhauses entschloss sich die Bauherrschaft für die Integration einer thermischen Solaranlage in die Haustechnik des Turnhallentraktes. Im Vordergrund des Vorhabens stand insbesondere die Förderung des ökologischen Bewusstseins der SchülerInnen. Aufgrund der für Solaranlagen ungünstigen Nutzungsverhältnisse in Schulhäusern und Turnhallen (Ferien, Wochenende usw.) wurde von Anfang an nicht mit Spitzenerträgen und niedrigen Energie-Gestehungskosten gerechnet.

### Dimensionierung

Grundlage für die Dimensionierung bildete eine Abschätzung des WW-Verbrauchs in Zusammenarbeit mit dem Abwart. Abgestellt wurde dabei auch auf Erfahrungen von vergleichbaren Objekten, bei denen sich gezeigt hatte, dass zwischen gemessenen WW-Verbrauchswerten von Turnhallen und Fachliteratur-Angaben z.T. markante Differenzen bestehen. In diesem Fall wurde von einem Bedarf von durchschnittlich 2200 l zu 55 °C (inkl. WW-Zirkulation) an Tagen mit Schulbetrieb ausgegangen. Während den Ferien entsteht praktisch kein Verbrauch; an Wochenenden finden ab und zu Sportanlässe statt. Die Bemessung der Absorberfläche orientierte sich in erster Linie am Verbrauch bei Schulbetrieb. Sie beträgt bezogen auf den Planungswert 1.45 m<sup>2</sup> pro Verbrauchseinheit (VE).

### Hydraulik, Regulierung

Hydraulisch besteht die Anlage aus zwei in Serie geschalteten Speichern mit je 2000 l Inhalt. Der Bereitschaftsspeicher wird im Sommer elektrisch, im Winter über einen Nahwärmeverbund nachgeheizt. Die Solaranlage wurde über einen Plattenwärmetauscher ins Brauchwassersystem eingebunden. Dank einem Umschaltventil kann bei star-

ker Einstrahlung direkt auf den Bereitschaftsspeicher gefahren werden (Magro-Prinzip). Dies ermöglicht die direkte Abdeckung der Zirkulationsverluste mit Solarenergie, auch wenn kein Warmwasser gezapft wird. Der Betrieb der Solaranlage erfolgt über einen  $\Delta t$ -Regler, wobei der Ladekreis zeitverzögert zum Kollektorkreis eingeschaltet wird. Solange die WW-Temperatur am Wärmetauscher-Austritt unter  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  liegt, wird in den Solarspeicher geladen. Darüber erfolgt eine Umschaltung auf Speicher 2. Um die Schichtung nicht zu zerstören, wird die Eintrittsgeschwindigkeit mittels 2"-Stutzen tiefgehalten. Aufgrund des Nutzungsprofils wurde der Überhitzungsproblematik grosse Beachtung geschenkt. Insbesondere während den Sommerferien, wenn praktisch kein WW-Bedarf besteht, muss ein Grossteil des gesamten Ertrags wieder abgeführt werden können. Weil der Einsatz eines thermischen Ablassventils zu einem unnötig hohen Wasserverbrauch geführt hätte, entschied man sich für eine nächtliche Rückkühlung über das Kollektorfeld und über die WW-Zirkulation. Um am anderen Tag wieder genügend Wärme aufnehmen zu können, wird das gesamte Vorwärmerspeicher-Volumen rückgekühlt. Hierfür ist eine separate Umwälzung des Solarspeichers erforderlich (Pumpe P; vgl. Schema).

### Betriebserfahrungen

Es zeigt sich, dass der WW-Verbrauch bedeutend kleiner ist als angenommen.

### Kommentar

Das Beispiel zeigt auf, wie der Überhitzungsproblematik bei Solaranlagen in Gebäuden mit Belegungspausen (Schulhäuser, Kasernen, Bürogebäude usw.) wirksam begegnet werden kann. Daneben macht es deutlich, dass die in einschlägigen Publikationen aufgeführten WW-Verbrauchswerte gerade in Bezug auf die Dimensionierung von Solaranlagen unbedingt kritisch hinterfragt werden müssen (siehe Exkurs folgende Seite).

### Prinzipschema

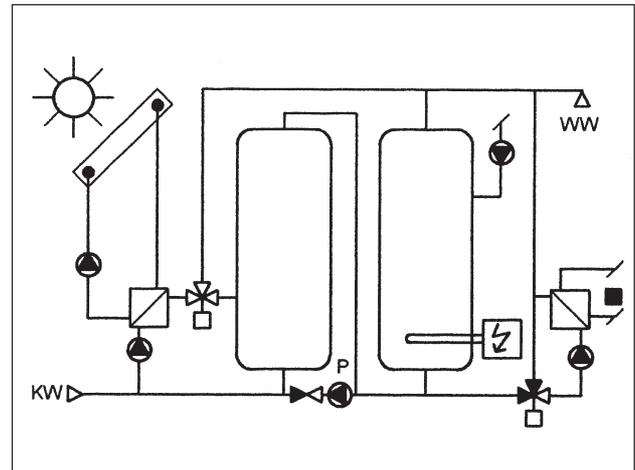


Fig. 5.14

## EXKURSE

### Solaranlagen für Schulhäuser und Turnhallen

In den letzten Jahren wurden bei vielen Schulhäusern und Turnhallen Solaranlagen gebaut. Mit wenigen Ausnahmen handelt es sich dabei um Anlagen zur WW-Vorwärmung. In sonnenreichen Berggebieten wurden auch Anlagen zur Heizungsunterstützung realisiert.

#### Bedarfssituation

- Der Hauptanteil am WW-Nutzenergie-Bedarf macht das Duschenwasser aus (bis zu 90%!). Die Menge variiert nach Schultypus stark.
- Ein wesentlicher WW-Bedarf, der aber zeitlich stark differenziert auftritt, besteht für Reinigungszwecke.
- Eine Hauswart-Wohnung stellt einen kleinen aber konstanten WW-Verbraucher dar. Für die Sonnenenergienutzung ist dies insofern bedeutend, als an Wochenenden und während den Ferien oft nur dadurch WW-Bezug erfolgt.
- Das benötigte WW-Nutztemperatur-Niveau liegt entsprechend dem Duschenwasser-Anteil zum Grossteil bei 40 bis 45 °C. Die Betriebstemperaturen der WW-Zirkulation sind analog.
- Der Energiebedarf für die WW-Zirkulation kann in Schulhäusern selbst bei Neuanlagen (optimierte Steuerung) einen hohen Anteil am Netto-Energieverbrauch des WW-Systems ausmachen. Werte bis 50% sind keine Seltenheit! Der genaue Anteil ist für die Systemwahl bei der Solaranlage von Bedeutung.
- WW-Einsparungen, wie sie z.B. durch automatische Duschsteuerungen möglich sind, können zu Verbrauchswerten führen, die deutlich unter klassischen Planungsannahmen liegen.

Als Richtwerte für den durchschnittlichen WW-Verbrauch (zu 60 °C, inkl. Reinigungszwecke) pro Betriebstag gelten:

- Turnhalle (mit Vereinsbelegung): 500 bis 600 l
- Schulklasse (ohne Duschwasser): 10 bis 30 l

#### Verbrauchscharakteristik

- Mehrmals jährlich sind ferienbedingte Verbrauchsunterbrüche zu verzeichnen. Es gilt abzuklären, ob die Turnhallen durch Vereine, Militär usw. während dieser Zeit trotzdem belegt sind.
- Der WW-Verbrauch an Wochenenden ist davon abhängig, ob die Turnhallen durch Sportvereine genutzt werden (Turniere usw.). Spitzen-WW-Verbräuche bei Sportgrossanlässen sind für die Dimensionierung der Solaranlage nicht relevant.
- Das WW-Verbrauchsprofil im Tagesgang ist sehr schwankend. Der grösste Bedarf besteht in der Regel abends durch Sportvereine.

- Die WW-Zirkulation läuft häufig nur wegen der Hauswart-Wohnung. Es gilt genau abzuwägen, ob für diese Wohnung eine dezentrale WW-Bereitung oder eine zentrale Lösung mit der Möglichkeit von Sonnenenergienutzung effizienter ist.

#### Dimensionierung und Systemwahl

Anlagen für Schulhäuser und Turnhallen sollten aufgrund des Bedarfsprofils im Jahresgang hauptsächlich zur WW-Vorwärmung eingesetzt werden. Als grober Richtwert für die Absorberfläche gilt:

- Turnhalle separat, ohne Hauswartwohnung und übrigen Schulbetrieb: 12 bis 15 m<sup>2</sup>
- Turnhalle inkl. Hauswart-Wohnung und übrigen Schulbetrieb: 12 bis 18 m<sup>2</sup>

Die Dimensionierung des Vorwärmerspeichervolumens hängt von verschiedenen Faktoren ab: Als Überhitzungsschutz reicht in der Regel ein rückkühlbares spezifisches Volumen von 50 l/m<sup>2</sup> Absorberfläche. Ist der Nachwärmerspeicher zu gross bemessen, was in Schulhäusern sehr oft der Fall ist, sollte versucht werden, einen Teil seines Volumens in den rückkühlbaren Bereich zu integrieren, so dass ein Vorwärmer-Volumen von 20 bis 30 l/m<sup>2</sup> genügt. Ein zu grosses solares Volumen, in der Absicht, einerseits die Übertemperatur-Problematik besser in den Griff zu bekommen, andererseits an Wochenenden «puffern» zu können, lohnt sich aus zwei Gründen nicht:

- Übertemperatur-Probleme entstehen vor allem während den langen Sommerferien, wogegen auch ein grösseres Speichervolumen nicht hilft.
- Angesichts der Verbrauchsschwankungen und der in Schulhäusern verbreiteten grosszügigen Speichervolumen-Auslegung ist die Verweilzeit des Wassers im Speicher oft lange, was aus hygienischen Gründen unerwünscht ist. Sie sollte nicht noch zusätzlich verlängert werden.

Solaranlagen zur WW-Bereitung in Schulhäusern und Turnhallen sollten im Grundsatz so einfach wie möglich gebaut werden. Bei grossen Schulhaus-Anlagen, bei denen die WW-Zirkulation einen hohen Anteil am Energieverbrauch ausmacht, kann sich unter Umständen ein erweitertes System rechtfertigen (vgl. Exkurse 1, 12 und 21). Ideal ist, wenn das ganze System weitgehend auf einem tiefen, für das Duschenwasser genügenden Temperatur-Niveau betrieben werden kann und das Bereitschaftsvolumen im Hinblick auf die grossen Verbrauchsschwankungen variabel ist. Dem für Schulhaus-Anlagen wichtigen Übertemperatur-Schutz kann gemäss Kapitel 2.9 begegnet werden.

*Bernhard Blum, Grossaffoltern; Felix Schmid, Rifferswil*

## 15 Mehrzweckgebäude: Warmwasser-Bereitung und Heizungsunterstützung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Flond/GR; 1078 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Mehrzweckgebäude, Baujahr 1991/92
<i>Bauherrschaft:</i>	Gemeinde Flond
<i>Nutzung:</i>	Turnhalle (für 3 Primarschulklassen), Mehrzweckhalle, Verwaltung, öffentliche Waschküche, Langläufer-Garderobe
<i>Energiebezugsfläche:</i>	2100 m <sup>2</sup>
<i>Energiekonzept:</i>	R. Kröni, ehem. Büro Straub, Chur
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Holzschnitzelheizung 65 kW Elektroheizung für WW-Bereitung im Sommer
<i>Solaranlage:</i>	WW-Bereitung und Heizungsunterstützung
<i>Kollektor:</i>	2fach-verglast, nicht selektiv; Absorberfläche: 33.6 m <sup>2</sup> (67°, Süden)
<i>Speicher:</i>	Heizung: 1530 l; Warmwasser: 1000 l
<i>Planung:</i>	A. Weibel, Ingenieurbüro, Chur Rüesch Solartechnik AG, Cham
<i>Photovoltaik:</i>	3 kW <sub>p</sub> , im Netzverbund

### Ausgangslage

Das Schulhaus musste altersbedingt und wegen steigender SchülerInnenzahl saniert und erweitert werden. Bereits im Projektwettbewerb wurden Anforderungen an eine effiziente Energienutzung und an die Verwendung von Sonnenenergie und Holz als einheimische Energieträger festgelegt. Eine Energiestudie diente als Entscheidungsgrundlage.

### Planung, Anlagenbeschreibung

Da für die Platzierung der Sonnenkollektoren das ostwestorientierte Satteldach nicht in Frage kam, wurde zusammen mit dem Architekten bereits früh in der Planungsphase nach anderen Möglichkeiten der Kollektoranordnung gesucht. Anfänglich wurde eine Lösung mit senkrecht in die Fassade integrierten Kollektoren angestrebt. Eine Simulationsrechnung zeigte aber, dass bei einer Kollektor-Neigung von 65° statt 90° ein Mehrertrag von ca. 25% resultiert, worauf man sich für 67° entschied.

Ziel des Konzeptes war es, mit der Solaranlage die WW-Bereitung ausserhalb der Heizperiode vollständig abzudecken, um die im Sommerbetrieb mit einem schlechten Wirkungsgrad laufende Holzschnitzelfeuerung abschalten zu können. Die Gefahr, dass bei einer entsprechenden Auslegung der Absorberfläche während den zweimonatigen Schul- und Vereinsferien im Sommer Überhitzung entstehen könnte, ist aufgrund der steilen Kollektorneigung gering. Als Notheizung wurde ein Elektroersatz in den Wassererwärmer eingebaut. Während der Heizperiode wird zusätzlich Wärme



Foto 5.15

in einen Heizungsspeicher abgegeben. Die Steuerung sorgt dafür, dass immer derjenige Speicher mit der tieferen Temperatur vorrangig geladen wird.

**Betriebserfahrungen, Messergebnisse**

Der Holzschnitzel-Verbrauch belief sich auf 197 MWh pro Jahr. Der jährliche solare Bruttoertrag betrug knapp 7 MWh (ca. 200 kWh/m<sup>2</sup>a). Die Kollektoranlage leistete ihr Maximum Ende Oktober mit einem Bruttoenergieertrag von 36 kWh/d (mehr als 1 kWh/m<sup>2</sup>d). Wird für die Holzschnitzel-feuerung ein Jahreswirkungsgrad von 70% angenommen, beträgt der solare Deckungsgrad ca. 5%. Für dieses bescheidene Ergebnis sind verschiedene Gründe verantwortlich:

- Flond liegt am Nordhang einer Bergkette und ist während den Monaten Oktober bis Februar teilweise beschattet.
- Die Kollektorneigung ist gross.
- Im Hochsommer, während den Schulferien, besteht praktisch kein Verbrauch.
- Der effektive WW-Verbrauch ist bedeutend geringer als angenommen. Er schwankt von praktisch 0 l/d während den Schulferien bis zu durchschnittlich 150 l/d im Winter bei Schulbetrieb und Benützung der Langläufer-Garderobe.

**Kosten**

Die Kollektoranlage allein kostete Fr. 48 000.–. Die gesamten durch die Solaranlage bedingten Mehrkosten lassen sich nur schwierig beziffern, da insbesondere ihr Anteil an den Planungskosten und am Mehraufwand für die Fassadenkonstruktion nicht ausgewiesen ist. Sie dürften tendentiell eher hoch liegen. Zusammen mit dem relativ geringen spezifischer Ertrag wird auch der Solarwärmepreis entsprechend hoch sein. Die thermische Solaranlage wurde vom Kanton Graubünden subventioniert, die Photovoltaik-Anlage durch eine Genossenschaft erstellt.

**Kommentar**

Die vorgestellte Solaranlage steht als Beispiel für eine gelungene architektonische Lösung einer Kollektor-Integration in eine Gebäudefassade. Der solare Brutto-Ertrag von ca. 200 kWh/m<sup>2</sup>a liegt aufgrund der speziellen Anlage-Situation begründeterweise tief. Allerdings fragt es sich, ob der Bau einer Solaranlage im vorliegenden Fall, bei einer zweimonatigen, praktisch vollständigen Verbrauchspause im Hochsommer, überhaupt eine sinnvolle Systemwahl darstellt. Das verfolgte Ziel, dank der Solaranlage die Holzschnitzelheizung während der dreimonatigen heizfreien Zeit abstellen zu können, wird wohl erreicht; für zwei Drittel dieser Zeit könnte dies aufgrund des sehr geringen WW-Bedarfs aber auch erreicht werden, wenn der Restbedarf, z.B. mit dezentralen elektrischen Klein-Wassererwärmern abgedeckt würde. Für den geringen spezifischen Ertrag ist einmal mehr auch eine zu hohe WW-Verbrauchsprognose verantwortlich; sie war um Faktor 3 zu gross. Ein Anschluss zusätzlicher Verbraucher wird jetzt geprüft.

**Prinzipschema**

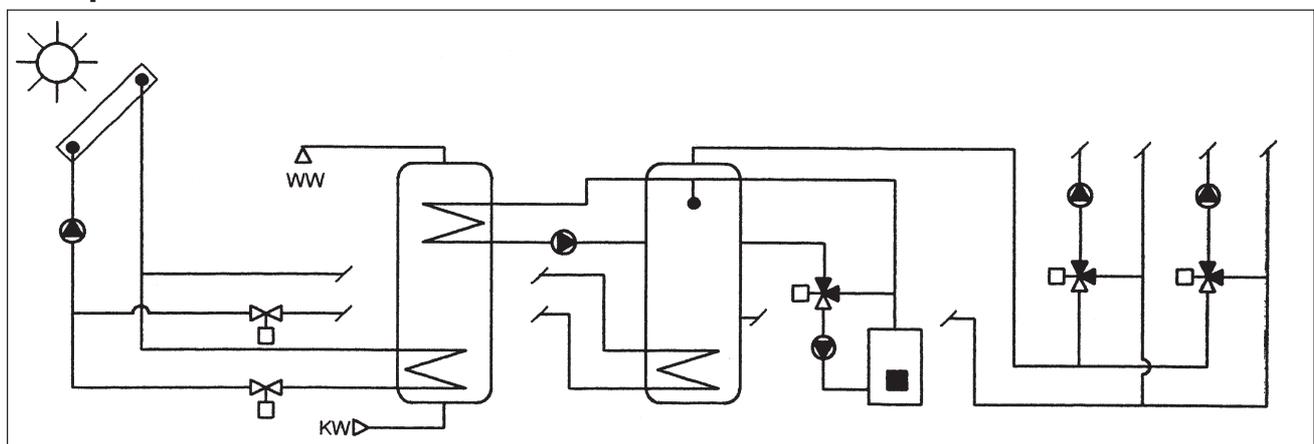


Fig. 5.15

## EXKURS

### Fassadenkollektor-Anlagen

Eine Alternative zur traditionellen Dachmontage bildet sowohl in gestalterischer als auch in technischer Hinsicht die Fassadenmontage von Flach- und Vakuumröhren-Kollektoren. Dabei wird unterschieden zwischen vertikal in die Fassade integrierten Anlagen und der Fassade «vorgehängten» Kollektoren mit steilen Neigungswinkeln (über 65°).

#### *Einsatzbereich*

Der Einsatz von Kollektoren mit steiler bis senkrechter Neigung an Fassaden kann in folgenden Fällen sinnvoll sein:

- Es gibt keine andere Plazierungsmöglichkeit.
- Architektonische Aspekte
- Im Sommer besteht zeitweise kein oder ein nur sehr geringer Bedarf, was Überhitzungs- bzw. Überschussprobleme zur Folge hätte.
- Der Energiebedarf ist im Winter markant höher als im Sommer.

Unabdingbare Voraussetzung für den Einsatz von Fassaden-Kollektoren ist eine geringe Abweichung der Fassade von der Südausrichtung (max. +/-30°). Wichtig ist auch das Platzangebot an der Südfassade: Bei grösseren Wohnbauten genügt es für heizungsunterstützende Anlagen selten!

#### *Optimierung der Kollektorneigung*

Bei der Evaluation der ertragsbezogen optimalen Kollektor-Neigung für Anlagen mit Nutzungsschwerpunkt im Winter zeigt sich, dass Anstellwinkel von 90° (vertikal) im Gegensatz zu solchen von 45 bis 60° in jedem Fall schlechter sind. Dies liegt daran, dass allein während der Heizperiode, je nach Region, die Globalstrahlung auf eine senkrechte, südgerichtete Fläche schon 20 bis 30% geringer ist als auf eine Fläche mit einer Neigung von 45 bis 60°; zudem fällt auch die Beschattung des Absorbers durch den Kollektor-Rahmen mehr ins Gewicht.

#### *Bauliche Überlegungen*

Fassadenkollektoren beeinflussen das Erscheinungsbild eines Gebäudes wesentlich stärker als Dachkollektoren. Bei Neubauten sollten sie deshalb frühzeitig ins architektonische Konzept einbezogen werden. Das Anbringen von Kollektoren an der Südfassade eines Gebäudes kann aus Platzgründen im Konflikt mit der Nutzung des Tageslichtes und passiver solarer Gewinne stehen. Kostenmässig interessant dürfte in Zukunft vor allem die Lösung mit vertikalen, voll in die Fassade integrierten Kollektoren werden, da dadurch Einsparungen bei der konventionellen Fassadenkonstruktion zu erzielen sind.

Jürg Marti, Horgen  
Felix Schmid, Rifferswil

## 16 Öffentliches Freibad: Solare Beckenwasser-Erwärmung ohne Zusatzenergie

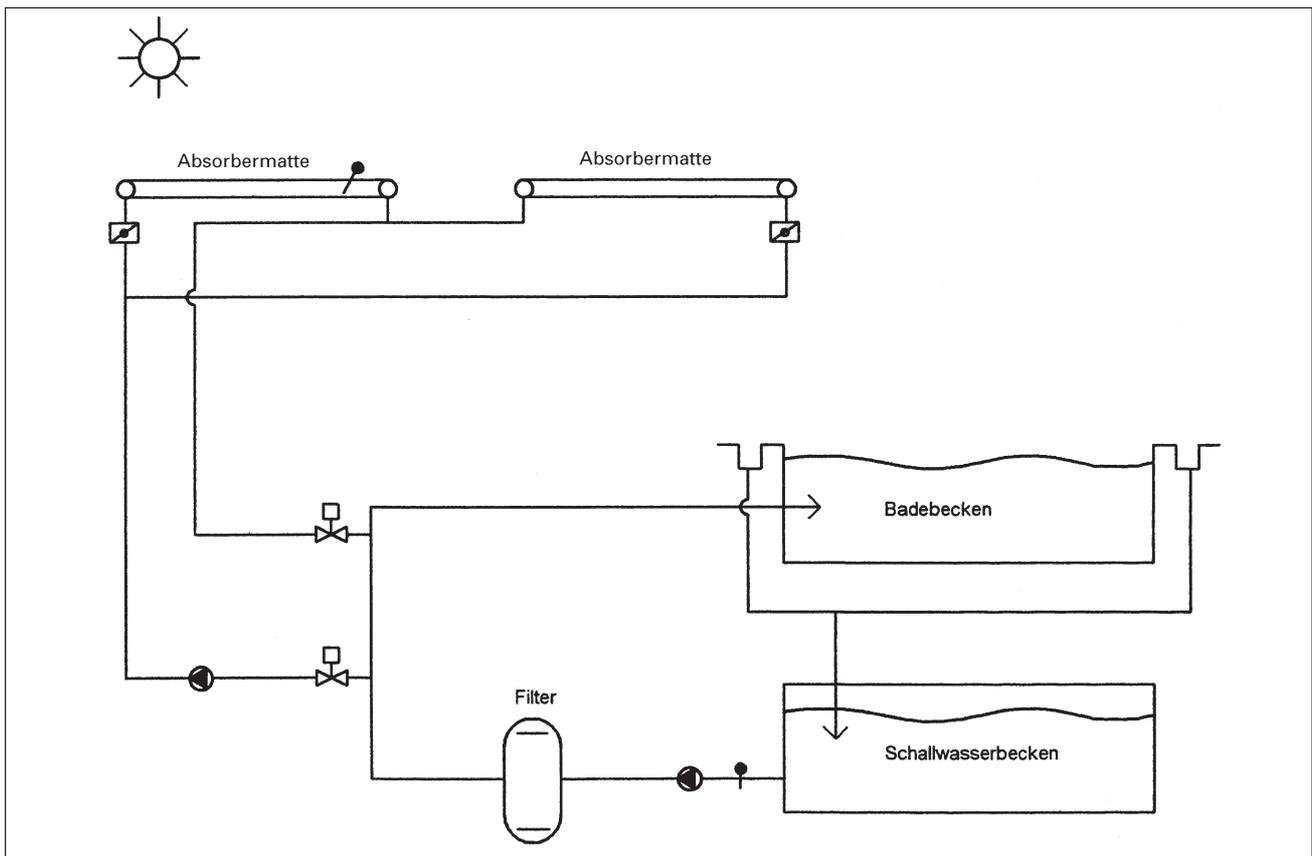
### Steckbrief

Standort:	Winterthur-Töss/ZH; 440 m ü. M.
Objekt:	Öffentliches Freibad
Bauherrschaft:	Stadt Winterthur
Nutzungsstruktur:	Reiner Sommerbetrieb
Bassins:	1220 m <sup>2</sup> , 510 m <sup>2</sup> ; 50 m <sup>2</sup> , total: 1780 m <sup>2</sup>
Solaranlage:	Erstellungsjahr 1991
Kollektor:	Niedertemperatur-Kunststoffabsorber Absorberfläche: 580 m <sup>2</sup> horizontal verlegt
Energiekonzept:	Sulzer Energieconsulting AG
Planung:	Ochsner Solarsysteme, Neuhausen Rüesch Solartechnik AG, Cham

### Ausgangslage

1988 liess die Stadtverwaltung Winterthur die Möglichkeiten alternativer Wärmeerzeugung für den Ersatz der defekten Gasheizung im Schwimmbad Auwiesen prüfen. Die Aufnahme des Ist-Zustandes ergab, dass die Bassinheizung rund 68% der gesamten Wärmeenergie verbrauchte. Der grösste Wärmebedarf betraf die Aufrechterhal-

### Prinzipschema



Figur 5.16.1

tung der Badewasser-Temperatur in den Monaten Mai und September. Total wurden ca. 80% der gesamten, während der Betriebszeit benötigten Energie in diesen beiden Monaten verbraucht. Mittels einer Detailanalyse wurden verschiedene Wärmeerzeugungsvarianten miteinander verglichen: Abwasser-WRG, Wärmepumpen-Einsatz und Solaranlage. Empfohlen wurde trotz gewisser Nachteile (keine konstanten Bassintemperaturen) der Einbau einer Solaranlage ohne Zusatzheizung.

**Planung, Anlagenbeschreibung**

Die Solaranlage wurde für den monovalenten Betrieb ausgelegt, obwohl die Studie auswies, dass in den Übergangsmonaten die gewünschte Temperatur von 22°C damit nicht gehalten werden kann. Das Bad wird in dieser Periode wegen der tiefen Lufttemperaturen allerdings trotz geheiztem Wasser nur von wenigen Badegästen genutzt. Eine Rechnung ergab, dass in der Randsaison bisher pro Badegast ca. 1500 kWh Endenergie (Gas) benötigt wurden! Die Absorberanlage wurde auf zwei Flachdächern der Garderobebauten installiert. Hydraulisch wird sie mittels einer separaten Pumpe im Nebenstrom betrieben (spezifischer Durchfluss: 110 l/hm<sup>2</sup>).

**Messergebnisse, Betriebserfahrungen**

Seit der Inbetriebnahme der Anlage im Juni 1991 bis zum Ende der Badesaison 1994 wurden gemäss Wärmemessung total 702 MWh Solarwärme ans Schwimmbad abgegeben. Daraus ergibt sich ein solarer Nettoertrag von ca. 320 kWh/m<sup>2</sup>a.

Die detaillierte Aufzeichnung der Schwimmbad-Temperaturen belegt, dass bei Lufttemperaturen über 20 °C, wenn die Besuchsfrequenz stark ansteigt, die gewünschte minimale Wassertemperatur von 20 °C praktisch immer erreicht wird. Während der Messperiode von Juni bis August 1994 betrug sie an schönen Tagen meistens über 23 °C. Die Spitzenwerte lagen bei 27 °C. Nach mehreren Regentagen mit Temperaturen unter 15 °C braucht es ca. zwei Sonnentage, bis die geforderte minimale Bassintemperatur wieder erreicht ist (vgl. Diagramm). Bis Mitte September sinkt die Temperatur selten unter 20 °C, obwohl die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur dann bereits oft unter 20 °C liegen.

**Luft- und Beckenwasser-Temperaturen**  
(Messung Monat Juni 1994)

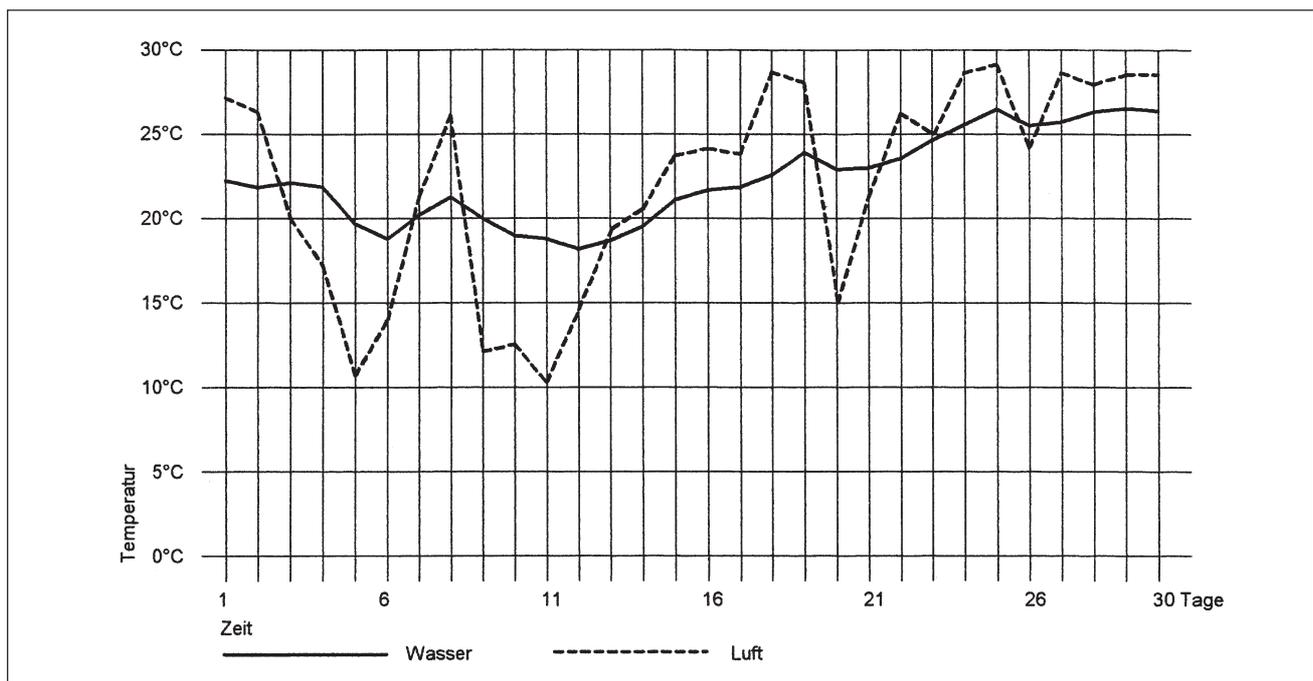


Fig. 5.16.2

**Kosten**

Die Kosten für die Absorberanlage betragen inkl. Montage Fr. 90 000.– (Fr. 155.– pro m<sup>2</sup>). Nicht eingeschlossen sind darin die Verrohrung inkl. Pumpe und die Dacharbeiten inkl. Gerüst. Der Voranschlag für die gesamte Anlage exkl. Zusatzkosten für die Messung belief sich auf Fr. 190 000.–.

**Kommentar**

Die Solaranlage im Freibad Auwiesen steht als Beispiel für viele in der Schweiz realisierte Schwimmbad-Anlagen dieser Grösse. Die Bade-gäste treffen in diesem ausschliesslich mit Son-

nenenergie beheizten Freibad meistens Temperaturen von deutlich über 20 °C an. Am Rand der Saison (Mai und September) kann bei längerem unfreundlichem Wetter die Minimaltemperatur von 20 °C nicht aufrecht erhalten werden. Die Besucherfrequenz liegt dann aber sehr tief, und die Kosten für eine zusätzliche Beheizung stünden in keinem Verhältnis zum Nutzen. Der gemessene solare Nettoertrag darf als gut bezeichnet werden. Eine Amortisationsrechnung ergibt, dass sich die Anlage dank niedriger Betriebskosten innerhalb der Nutzungszeit problemlos amortisieren lässt.

**EXKURS****Regeltechnische Optimierung des solaren Ertrages und des System-Nutzungsgrades**

Für eine optimale Nutzung der Sonnenenergie ist, parallel zur richtigen Auslegung und hydraulischen Konzeption der Solaranlage, der zusätzlichen Wärmeerzeugung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe, eine gute Regelung aller Anlagefunktionen notwendig. Wie die anderen Anlagenteile hat die Regelung dabei zu folgenden Zielen beizutragen:

- möglichst tiefe System-Temperaturen
- möglichst lange Laufzeiten der Solaranlage
- möglichst kurze solare Speicherzyklen
- möglichst wenig solare Überschüsse
- möglichst sicherer Betrieb

Dazu werden in der Regel möglichst einfache und bewährte Regelgeräte und Regelstrategien eingesetzt. Auch wenn damit nicht immer die letzten Bruchteile des maximal möglichen Energieertrages bzw. Anlage-Nutzungsgrades ausgeschöpft werden können, lohnt sich dieses Vorgehen aus Kostengründen meistens. Grundsätzlich gilt: Je deckungsgleicher das Verbrauchsprofil zum Sonnenenergie-Angebot ist, und je grösser die Komfortschwankungen sein dürfen, desto weniger sensitiv sind die genannten Zielsetzungs-Parameter und desto einfacher kann das Regelsystem gewählt werden, ohne dass wesentliche Ertragseinbussen entstehen (Paradebeispiel dieser Kategorie sind Anlagen zur Bassinwasser-Erwärmung wie im obigen Beispiel dargestellt).

*Erfolgversprechende Entwicklungen*

Je weniger aber solares Angebot und Wärme-Nachfrage übereinstimmen, desto grösser wird das Ertragssteigerungs-Potential durch die Wahl von «intelligenteren» Regelsystemen. Es geht dabei vor allem darum, die Wärmespeicherung, sowie das Zusammenspiel zwischen Zusatz- und Sonnenenergie optimal zu managen. Bei heizungsunterstützenden Anlagen ist diese Aufgabe insofern komplexer als bei reinen WW-Bereitungs-Anlagen, weil das Energiemanagement stark von den dynamischen Meteeinflüssen abhängt und für die Speicherung der Solarwärme neben dem primären Wasserspeicher auch die gesamte Gebäudemasse als sekundärer Wärmespeicher zu berücksichtigen ist. Hauptziel der jüngsten Anstrengungen einer regeltechnischen Optimierung des solaren Ertrages ist daher die weitgehende Berücksichtigung der meteorologischen Entwicklung im Hinblick auf eine dynamische Bewirtschaftung des Wasserspeichers (vgl. Exkurs 4), des Wärmespeichers Gebäudemasse und der Wärmeabgabe. Möglich ist dies durch den Einsatz von Rechnern, die, vereinfacht gesagt, in der Lage sind, Meteosituationen zu antizipieren. Dass solche Geräte einer ganz andern Preisklasse angehören wie einfache herkömmliche Regler, versteht sich. Gerade bei grösseren Objekten könnte sich ihr Einsatz in der Zukunft allerdings lohnen. Erste Messprojekte in der Schweiz zeigen, dass damit Energieeinsparungen in der Grösse von 20% zu erzielen sind, die trotz hohen Gerätekosten wirtschaftlicher sind als andere Einsparmassnahmen (Bremer, 1995; S. 3 ff).

*Felix Schmid, Rifferswil*

## 17 Öffentliches Freibad: Duschwasser-Erwärmung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Bulle/FR; 780 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Öffentliches Freibad
<i>Bauherrschaft:</i>	Stadt Bulle
<i>Schwimmbecken:</i>	1330 m <sup>2</sup> (mit Abdeckung)
<i>Öffnungszeiten:</i>	Ende Mai bis Mitte September
<i>Belegung (Sonnentage):</i>	Ø: 1000 P.; max.: 2000 P.
<i>WW-Verbrauch:</i>	max. ca. 30 m <sup>3</sup> /d (zu 27 °C), (entspricht ca. 9.3m <sup>3</sup> /d zu 60 °C)
<i>Wärmeerzeugung Beckenwasser:</i>	Wärmepumpe
<i>Solaranlage:</i>	Reine Duschwasser-Erwärmung; Erstellungsjahr 1995
<i>Kollektor:</i>	Selektive, unverglaste Absorber Absorberfläche: 120 m <sup>2</sup> (20°, +45° Südost)
<i>Speicher:</i>	2 x 2900 l, Parallelschaltung
<i>Planung:</i>	Chuard SA, Bulle Agéna énergies, Moudon

### Ausgangslage

Das Beckenwasser des Schwimmbades wurde bereits seit einiger Zeit mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe erwärmt. Dagegen wurde das Duschwasser für die Garderoben und die Durchschreite-Becken nicht temperiert, was den Komfort-Ansprüchen der Badenden nicht mehr genügte. Die Folge war, dass sehr viele Badegäste ungeduscht ins Bassin stiegen, was einen spürbaren Einfluss auf die Beckenwasser-Qualität hatte. Die Konsequenz war eine hohe Wasser-Regenerationsrate mit entsprechend hohem Energieverbrauch. Eine Energiestudie untersuchte drei Varianten für die Duschwasser-Erwärmung: Gas, Wärmepumpe und Solaranlage. Der Entscheid fiel zugunsten der Sonnenenergie, die insbesondere aufgrund des geringen Unterhalts das beste Kosten/Nutzen-Verhältnis aufwies.

### Planung, Dimensionierung

Basis für die Dimensionierung der Absorberfläche bildete die Besuchsfrequenz an schönen Tagen. Im Gegensatz zu Solaranlagen zur WW-Bereitung darf hier nahe am Verbrauchsmaximum dimensioniert werden, weil sich die Besuchsfrequenz ziemlich proportional zur Wettersituation und damit auch zur Solarstrahlung verhält. Bei den gewählten 120m<sup>2</sup> Absorberfläche entspricht der maximale solare Netto-Tagesbedarf (Ausnahme: spezifischer Nettoertrag an einem Sonnentag im Sommer: 4.5 kWh/m<sup>2</sup>) ziemlich genau dem maximalen Wärmebedarf von ca. 540 kWh/d.



Foto 5.17

**Prinzipschema**

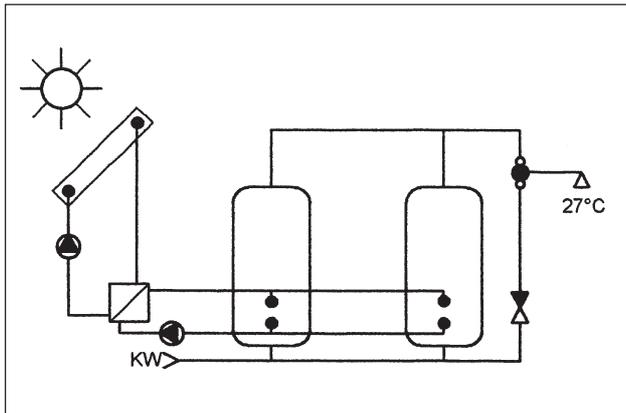


Fig. 5.17

Für die Montage an eine Böschung boten die starren Edelstahl-Absorber gegenüber flexiblen Niedertemperatur-Absorbern Vorteile. Das Speichervolumen wurde so ausgelegt, dass eine dreistündige Verbrauchspause bei voller Einstrahlung überbrückt werden kann. Ein thermostatischer Mischer am Speicheraustritt sorgt dafür, dass die Nutztemperatur auf 27 °C begrenzt wird.

**Betriebserfahrungen, Messungen**

Das Hauptziel, mehr Badegäste vor dem Bassineinstieg zum Duschen zu bewegen wurde klar erreicht. Die Wasserqualität liegt heute merklich höher als in früheren Jahren. Eine Ertragsmessung wurde eingerichtet. Die Auswertung steht noch aus.

**Kosten**

Die Mehrkosten für die gesamte Solaranlage (inkl. Unterbau, Baumeister-Arbeiten, Elektriker usw.) beliefen sich auf gut Fr. 100 000.– (Fr. 833.–/m<sup>2</sup>).

**Kommentar**

Duschwasser-Erwärmung in Freibädern ist eine ebenso sinnvolle und wirtschaftliche Anwendung der Sonnenenergienutzung wie die Beckenwasser-Erwärmung (vgl. Exkurs folgende Seite). Der Grund liegt neben der weitgehenden Deckung von Nachfrage und Sonnenenergie-Angebot hauptsächlich in den sehr niedrigen Duschwasser-Temperaturen. In der Regel genügen Temperaturen, die ungefähr denjenigen des Beckenwassers entsprechen. Es ist daher auch möglich, das Beckenwasser und das Duschwasser mit derselben Kollektoranlage zu erwärmen.

## EXKURS

### Sonnenenergienutzung für Schwimmbäder

In der Schweiz sind bereits einige Dutzend öffentliche Freibäder und viele private Schwimmbecken mit Solaranlagen zur Becken- und Duschwasser-Erwärmung ausgerüstet. Gefördert wird diese Entwicklung durch den Energienutzungsbeschluss, der die Beckenwasser-Erwärmung mit erneuerbaren Energien vorschreibt. Die Anlagen können sehr einfach gebaut werden. Unverglaste Niedertemperatur-Absorber aus Kunststoff oder selektiv beschichtetem Edelstahl genügen. Bei Kunststoff-Absorbern kann das Beckenwasser im Nebenstrom direkt durch die Absorbermatten gepumpt werden. Edelstahl-Absorber erfordern einen Wärmetauscher als Vorsorge gegen Korrosion durch das chlorierte Beckenwasser. Überhitzungsprobleme entstehen keine, da Dampfbildung beim Abstellen der Anlagen ausgeschlossen ist. Im Winter müssen die Absorber-Anlagen nicht entleert werden (Kunststoff ist flexibel; Edelstahl-Absorber sind mit Frostschutz gefüllt).

#### *Kosten, Erträge*

Je nach Grösse, Dachgeometrie und Rohrleitungslänge belaufen sich die spezifischen Kosten für Kunststoff-Absorber inkl. Infrastruktur auf Fr. 250 bis 350.– pro m<sup>2</sup>. Bei der Verwendung von Edelstahlabsorbern liegen sie höher. Der solare Nettoertrag hängt von der Nutzungsdauer, der maximal zulässigen Wassertemperatur, der Frischwasserrate pro Badegast und der spezifischen Absorberfläche ab. Im Mittelland beträgt er 250 bis 350 kWh/m<sup>2</sup>a. Die Gesteungskosten der Solarwärme für Freibad-Anlagen liegt bei 5 bis 7 Rp./kWh.

#### *Dimensionierung*

Schwimmbäder weisen die grössten Wärmeverluste an der Wasseroberfläche auf (ca. 70%). Die Absorberfläche wird deshalb meistens aufgrund der Beckenoberfläche dimensioniert. Für öffentliche Freibäder werden rund 30 bis 50% der Beckenoberfläche gewählt. Der begrenzende Faktor liegt meistens mehr bei der zur Verfügung stehenden Dachfläche als bei den Kosten. Für private Kleinbäder wird die Absorberfläche entsprechend den höheren Ansprüchen in der Regel grosszügiger dimensioniert. Bei optimaler Besonnung und vorhandener Bassin-Abdeckung genügen als Absorberfläche in der Regel 50 bis 60% der Beckenoberfläche. Bei Bädern ohne Abdeckungsmöglichkeit werden 80 bis 100% der Beckenoberfläche benötigt. Eine Überdimensionierung von Niedertemperatur-Kollektoranlagen ist im Gegensatz zu Anlagen mit verglasten Kollektoren unkritisch, da der Kollektorkreis bei Erreichen der Solltemperatur im Becken problemlos abgestellt werden kann.

#### *Alternativen zum Niedertemperaturabsorber*

Gelegentlich taucht der Wunsch auf, ein Freibad mit Flach- oder hochwertigen Vakuumröhren-Kollektoren zu beheizen. Es wird davon ausgegangen, dass diese «besseren» Kollektoren weniger Fläche brauchen würden. Ein Blick auf die Wirkungsgradkurven der verschiedenen Kollektortypen ergibt ein gegenteiliges Bild: Heutige Niedertemperaturabsorber aus EPDM oder Polypropylen weisen, wenn sie, wie bei Schwimmbad-Anwendungen, nahe der Umgebungstemperatur betrieben werden, dank optimal gekühlter Oberfläche einen Wirkungsgrad von über 80% auf. Ein guter Flachkollektor bringt es im gleichen Fall auf höchstens 75%. Flach- und Vakuumröhren-Kollektoren bringen für Freibad-Anwendungen somit kaum Vorteile, sind aber wesentlich teurer in der Anschaffung und aufwendiger im Betrieb.

Wichtig für eine effiziente Anwendung von Niedertemperatur-Absorbern sind zwei Faktoren:

- Betrieb maximal 5 bis 10 K über der Umgebungstemperatur (→ guter Absorberwirkungsgrad)
- Hoher spezifischer Durchfluss: Bei optimaler Besonnung 100 bis 120 l/m<sup>2</sup> (→ kleine Temperaturspreizung und damit geringe Wärmeverluste)

#### *Duschwasser-Erwärmung*

Neben der Beckenwasser-Erwärmung sollte in jedem Fall auch eine solare Erwärmung des Duschwassers für die Garderoben und die Durchschreibecken geprüft werden. Für die Garderoben genügen WW-Temperaturen von 35 °C, für die Durchschreibecken 25 °C. Anlagen mit unverglasten, selektiven Absorbern oder mit verglasten Flachkollektoren erfüllen diese Ansprüche vollauf. Anlagen mit verglasten Kollektoren müssen allerdings ausserhalb der Betriebsphase stillgelegt werden können. Allenfalls kann die Wärme anderweitig (z.B. Temperierung eines Raumes) verwendet werden.

#### *Hallenbäder*

Hallenbäder mit Ganzjahresnutzung eignen sich für Sonnenenergienutzung nur bedingt. Im Vordergrund steht dabei nicht die Beckenwasser-, sondern die Duschwasser-Erwärmung. Dementsprechend sind verglaste Flachkollektoren zu wählen. Für die Beckenwasser-Erwärmung steht die Sonnenenergienutzung in Konkurrenz zur Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser und der Schwimmhallen-Fortluft. Diese weist meistens das bessere Kosten/Nutzen-Verhältnis auf.

Jürg Marti, Horgen

## 18 Hotel: Sonnenergienutzung in Kombination mit Kälte-WRG

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Wengen/BE; 1275 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Hotel/Restaurant; Baujahr: Jahrhundertwende 34 Gästezimmer, 52 Betten
<i>Besitzer:</i>	Fam. Schweizer
<i>Nutzungs-Struktur:</i>	Ganzjährig
<i>WW-Dienstleistungen:</i>	Küche, Küchenapparate, sanitäre Einrichtungen
<i>WW-Verbrauch:</i>	Ø ca. 3000 l/d (Hauptsaison)
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Ölkessel, Kälte-WRG (6.3 kW th.)
<i>Solaranlage:</i>	Erstellungsjahr: 1994
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor Typ Einbau, selektiv Absorberfläche: 32 m <sup>2</sup> (24°, Süden)
<i>Speicher:</i>	Nachwärmer: 900 l; Vorwärmer: 1500 l
<i>Planung:</i>	Fritz Krebs+Co. AG, Aarberg



Foto 5.18

### Ausgangslage

Die Bauherrschaft wollte die 20jährige Wärmeerzeugung bzw. WW-Bereitungs-Anlage (Öl-Kombikessel mit Modulboiler) mit erneuerbaren Energieträgern ergänzen, um den hohen Verbrauch an fossilem Brennstoff zu reduzieren. In einem ersten Schritt war 1992 eine Wärmerückgewinnungs-Anlage für den Kühlraum des Hotels eingerichtet worden, die zur WW-Vorwärmung genutzt wird. Aufgrund der praktisch nebelfreien Lage entschied man sich, einen zusätzlichen Anteil der WW-Bereitung mit Sonnenenergie abzudecken.

### Planung, Anlagenbeschrieb

Das Konzept der Solaranlage wurde im wesentlichen durch folgende Vorgaben geprägt:

- Die vorhandene Wärmeerzeugungsanlage und der Modulboiler sollten vorläufig bestehen bleiben und einbezogen werden.
- Die Platzverhältnisse im Heizraum waren zu eng, um zusätzlichen Installationen Platz zu bieten. Als Standort für den Solarspeicher musste ein Raum auf der andern Kellerseite benutzt werden.
- Der 800-l-Speicher für die Wärmerückgewinnung der Kälteanlage musste einbezogen werden.
- Die ungenügende Wärmedämmung der grossenteils unter Putz verlegten WW-Zirkulationsleitungen konnte nicht verbessert werden.
- Das Konzept sollte im Hinblick auf eine baldige Sanierung der Wärmeerzeugung flexibel sein.

Die Grössenbestimmung der Solaranlage basierte auf einem geschätzten WW-Bedarf von durchschnittlich 3000 bis 3500 l/d in den Hauptsaisons (inkl. WW-Zirkulation), was ca. 60 l pro Tag und Gästebett entspricht. Wegen des relativ kleinen Volumens des bestehenden Modulboilers aber auch aufgrund der teilweise grossen, saisonal bedingten Verbrauchs-Schwankungen (in den Zwischen-Saisons kann der Durchschnittsverbrauch auf die Hälfte absinken) wurde das solare Vorwärmvolumen tendentiell gross gewählt (ca. 50 l/m<sup>2</sup>). Mit dem Ziel, einen solaren Deckungsgrad von 40 bis 45% zu erreichen, wurde eine spezifische Absorberfläche von ca. 1 m<sup>2</sup> pro Verbrauchseinheit gewählt. Computer-Simulationen zeigten, dass bei dieser Grössenbestimmung im Sommer höchst selten mit Überschüssen gerechnet werden muss.

### Regulierung

Der Kollektorkreis wird mittels eines konventionellen Temperaturdifferenz-Reglers gesteuert. Sobald die Speichertemperatur im unteren Bereich mehr als 65 °C erreicht, wird die nächtliche Rückkühlung über die Kollektoren eingeschaltet. Eine zusätzliche Abkühlung erfolgt dadurch, dass die WW-Zirkulation über den Solarspeicher geschaltet wird und bis zum Erreichen der Ausschalttemperatur durchläuft. Da der Hotelbetrieb ab und zu durch Betriebsferien unterbrochen oder stark reduziert wird, wurde als zusätzliche Sicherheit vor Überhitzung ein thermisches Ablaufventil eingebaut, das bei 80 °C im Solarspeicher anspricht.

### Kosten, Ertrag

Die Kosten für den Bau der Solaranlage inkl. der Anpassungsarbeiten am bestehenden Sanitärsystem betragen ca. Fr. 50 000.– (Fr. 1562.–/m<sup>2</sup>). Angaben über den genauen Ertrag fehlen, da keine Messung eingebaut wurde. Aufgrund der vorgeschalteten Wärmerückgewinnung, die das Kaltwasser auf ca. 25 °C vorwärmt, kann naturgemäss nicht mit einem Spitzenresultat gerechnet werden.

### Kommentar

Das Beispiel ist exemplarisch für den Fall, dass eine Solaranlage in ein bestehendes Haustechniksystem eingebunden werden muss. Oft ist der Planer dabei an Vorgaben und Rahmenbedingungen gebunden, die ihm die Aufgabe nicht einfach machen und spezifische Lösungen erfordern. In diesem Fall war die «Knacknuss» eine bestehende Wärmerückgewinnungs-Anlage des Kühlraums, mit der das Warmwasser vorgewärmt wird. Wär-

merückgewinnungs-Anlagen dieser Art stehen meistens in direkter Konkurrenz zur Sonnenenergienutzung, so dass auf letztere häufig verzichtet wird. Wird trotzdem eine Solaranlage gebaut, sollte die Absorberfläche unbedingt knapp dimensioniert werden. Hydraulisch und regeltechnisch sollte sie, wie in diesem Beispiel, so konzipiert werden, dass die bestehende WW-Vorwärmung durch die WRG nicht konkurrenziert wird. Bei vorhandener WW-Zirkulation arbeitet die Solaranlage unter Umständen sinnvollerweise weitgehend direkt auf das Zirkulations-Temperaturniveau (Matched-flow-Prinzip; vgl. Exkurs 174).

### Prinzipschema

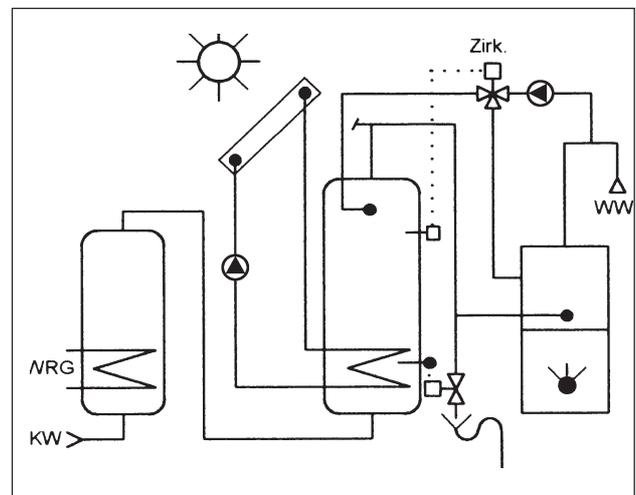


Fig. 5.18

## LEKURS

### Solaranlagen für Hotels und Restaurants

Hotels und Gastronomiebetriebe sind oft ideale Objekte, um Sonnenenergie für die WW-Bereitung zu nutzen. Insbesondere bei ganzjähriger Nutzung und ausgeglichener Belegungsstruktur können hohe solare Erträge erzielt werden. Wesentlich im Hinblick auf einen hohen Nutzen ist, dass zu Beginn der Planung eine möglichst genaue Situations-Analyse gemacht wird:

#### Verbrauchscharakteristik

Es gilt folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Wirtesonntag, Betriebsferien
- saisonale Schwankungen (Gute Hinweise dazu geben Reservations- und Gästelisten)
- Spitzen im Tagesverlauf (z.B. Mittagessen)
- Spitzen im Wochenverlauf (z.B. Wochenende)
- Spitzen bei Grossanlässen (Saalbetrieb)

#### Verbraucher (Zapfstellen)

Der WW-Verbrauch hängt wesentlich davon ab, welche Verbraucher angeschlossen sind bzw. welche WW-Dienstleistungen geboten werden und welche WW-Leistungen dabei verlangt werden. Zu beachtende Faktoren:

- Küchenapparate mit WW-Anschluss (z.B. Geschirrspülmaschinen, Bain-marie)
- Wäscherei
- evtl. Schwimmbad
- Armaturen (Duschbrausen, Mischertypen, Wasserspar-Vorrichtungen usw.)
- WW-Zirkulation, Verteilsystem

#### Warmwasser-Temperaturen (Exergie)

Temperaturen von 55 bis 60 °C verlangen:

- Küche: Geschirrspülmaschine, Spültrog, Bain-marie und Steamer (letzte eventuell über 60 °C)
- Zapfstellen für Putzzwecke
- Wäscherei
- WW-Zirkulation 60 °C

Temperaturen von 40 bis 45 °C erfordern:

- Körperpflege (Duschen, Bad)
- Waschtische Toiletten
- WW-Zirkulation (45 °C, Mischsystem)

Für grobe Abschätzungen kann folgendes Verhältnis zwischen 60grädigem und von 45grädigem WW-Verbrauch angenommen werden:

- Hotel (mittlerer Standard): 40% : 60%
- Restauration (ohne Übernachtung): 60% : 40%

#### Bedarfsabschätzungen

Wo keine exakten WW-Verbrauchswerte bekannt sind und deshalb aufgrund von Abschätzungen geplant werden muss, kann grob von folgenden durchschnittlichen Tages-Verbrauchswerten (zu 60 °C; inkl. Waschmaschine und Geschirrspüler) ausgegangen werden:

- Hotel- und Restaurant (inkl. Küchenapparate und Wäscherei): 60%

Ist nur der Jahres-WW-Verbrauch bekannt, wird dieser auf den durchschnittlichen Tagesverbrauch umgerechnet und davon, sollen partielle Überschüsse vermieden werden, für die Dimensionierung der Kollektoranlage max. 60% eingesetzt (bei vorhandener WRG weniger!). Ist nur der gesamte Wasserbezug (KW+WW) bekannt, gelten grob folgende Richtwerte für den WW-Anteil:

- Hotel: Anteil WW (inkl. Küchenapparate): 40%
- Restaurant: Anteil WW (inkl. Küchenap.): 60%

#### Systemwahl:

Solaranlagen für Hotels und Gastronomiebetriebe werden sinnvollerweise als «Vorwärmanlagen» konzipiert. Im Hinblick auf ein gutes Kosten/Nutzen-Verhältnis lohnt es sich, die Kollektorfläche zurückhaltend zu dimensionieren. Dies gilt umso mehr, je grösser ein Objekt ist. Sehr vorsichtig gilt es zu planen, wenn gleichzeitig eine Kälte-WRG zur WW-Vorwärmung betrieben wird. Es ist darauf zu achten, dass die WRG gegenüber der Sonnenenergie Priorität hat.

Bernhard Blum, Grossaffoltern  
Felix Schmid, Rifferswil

## 19 Berghotel: WW-Bereitung und Heizungsunterstützung im Alpengebiet

### Steckbrief

Standort:	Silvretta-Passhöhe (Österreich); 2020 m ü. M.
Objekt:	Hotel mit Restaurant; Baujahr 1992 28 Gästebetten und Personalwohnungen
Bauherrschaft:	Vorarlberger Illwerke AG
Betriebszeiten:	Mitte Dezember bis Anfang April, Anfang Juli bis Ende Oktober
Wärmeleistungsbedarf:	35 kW (ca. 325 Heiztage)
Wärmeabgabe:	Heizkörper und Bodenheizung in Serie (45/35 °C)
Wärmeerzeugung:	2 Elektroeinsätze (35 und 12 kW)
Solaranlage:	Fassadenmontage
Kollektor:	Flachkollektoren selektiv Absorberfläche: 60 m <sup>2</sup> (78°, -15° Südsüdost)
Speicher:	14 m <sup>3</sup> mit integriertem Wassererwärmer 930 l
Hautechnik-Planer:	Ingenieurbüro H. Hobi, Wetzikon
Planer Kollektorfeld:	E. Schweizer AG, Hedingen

### Ausgangslage

Das Berghotel ist im Sommer und Winter je ca. vier Monate in Betrieb. Während der übrigen Zeit muss eine Grundlast-Heizung gewährleistet sein. Eine Solaranlage sollte das vorgesehene Elektroheizsystem ergänzen. (Die Bauherrschaft ist ein Elektrizitätswerk.) Wie bei einer Pilot- und Demonstrationsanlage (P+D) sollten alle Daten genau erfasst werden.

### Planung, Dimensionierung

Ausgangspunkt für die Dimensionierung der Absorberfläche bildete das Ziel, einen grossen spezifischen Ertrag zu erreichen. Dies ist dann möglich, wenn die Solarwärme sofort oder zumindest am gleichen Tag gebraucht wird. Im vorliegenden Beispiel wäre dies bis zu einer Absorberfläche von max. 90 m<sup>2</sup> der Fall gewesen. Aus Platzgründen musste die Absorberfläche jedoch auf 60 m<sup>2</sup> beschränkt werden. Das Kollektorfeld wurde aus verschiedenen Überlegungen 78° geneigt und an der Fassade platziert:

- Kompromiss zwischen der optisch ansprechnsten Fassadenintegration bei 90° und dem Ertragsmaximum bei ca. 70° Neigung
- Kaum Ertragsüberschüsse im Sommer
- Schneefreies Kollektorfeld
- Gute Nutzung der Schnee-Reflex-Strahlung im Winter (rund 7 bis 8 Monate pro Jahr)



Foto 5.19

Um eine gute Temperaturschichtung zu erhalten, wurde ein schlanker, hoher Speicher (Durchmesser: 1.7 m; Höhe: 6 m) ausgewählt. Das Speichervolumen setzt sich wie folgt zusammen:

- Solares Vorwärmvolumen: 6000 l (entspricht dem max. solaren Tagesertrag von 270 kWh)
- Elektrisch aufheizbarer Zwischenbereich für die Raumheizung: ca. 3000 l (à 45 °C)
- Nötiges WW-Bereitschaftsvolumen im oberen Speicherbereich: ca. 4000 l (à 60 °C)
- Totvolumen (unten und oben): ca. 1000 l

Die Solarwärme wird bei Heizbetrieb via externem Wärmetauscher direkt in den Heizungsrücklauf eingespiesen und damit nur die nicht direkt verwertbare Energie in den Speicher abgegeben. Das Wärmeabgabesystem wurde auf eine maximale Vorlauftemperatur von 45 °C ausgelegt.

#### Hydraulik, Regulierung

Die Solaranlage läuft an, wenn der Kollektor wärmer ist als der Heizungsrücklauf oder der untere Speicherbereich. Bis der Kollektorkreis aufgewärmt ist, zirkuliert das Wärmeträgermedium über einen Bypass. Die direkte Wärmeabgabe in den Heizkreis hat Priorität. Erst wenn der unmittelbare solare Ertrag nicht ausreicht, wird der fehlende Anteil aus dem Speicher entnommen. Ein Leittechnik-System erlaubt es, alle Daten zu erfassen und aufzuzeichnen, sowie das Objekt vom Tal aus zu überwachen und zu beeinflussen.

#### Betriebserfahrungen, Kosten

Die Datenauswertung zeigt, dass sich die im Pflichtenheft festgelegten Einstellwerte der Steuerfunktionen bewährten und eine Nachstellung sich erübrigt. Ausserhalb der Betriebszeiten (Frühjahr, Herbst), wenn die Heizung auf 14 °C abgesenkt wurde, war der Speicher oft voll geladen; zusätzliche Solarwärme konnte nicht mehr genutzt werden. Um dies zu verbessern, wurde die Regelung

so geändert, dass die überschüssige Sonnenenergie ins Heizsystem eingespiesen werden kann. Die Speichermasse des Gebäudes wird so optimal mitgenutzt. Die Kosten der Solaranlage lagen bedingt durch den bei P+D-Projekten üblichen Mehraufwand (Messeinrichtungen usw.) überdurchschnittlich hoch und sind daher wenig aussagekräftig. Besonders kostenintensiv war die Tragkonstruktion des Kollektorfeldes.

#### Messresultate

Zu Beginn traten Messprobleme auf. Der Wärmehändler registrierte zu tiefe Werte, weil er auf 100% Glykolanteil geeicht war. Auch die Strahlungswerte wurden nicht richtig erfasst, da das Solarimeter für eine Maximalstrahlung von 1300 W/m<sup>2</sup> ausgelegt war, die Winterwerte jedoch dank Schneereflexion über 1500 W/m<sup>2</sup> lagen. Die Datenübermittlung ins Tal war im ersten Betriebsjahr oft unterbrochen. Im zweiten Betriebsjahr betrug der solare Bruttoertrag 35.2 MWh (587 kWh/m<sup>2</sup>a). Der solare Deckungsanteil während der Winterperiode (1. Nov. bis 31. Mai) betrug 26%. Ausserhalb der Betriebszeiten konnte das Gebäude ohne Zusatzheizung ca. 15 K über der mittleren Aussentemperatur gehalten werden.

#### Kommentar

Das Beispiel Silvretta-Haus zeigt, dass sich Berggebiete zur Nutzung von Sonnenenergie besonders gut eignen. Da fast das ganze Jahr geheizt werden muss (Die mittlere Jahrestemperatur liegt in diesem Fall bei ca. 0 °C), bietet sich die Heizungsunterstützung an. Systeme zur direkten Einspeisung der Solarwärme ins Heizsystem bewähren sich dazu besonders. Folgende Planungsgrundsätze gilt es für Solaranlagen im Berggebiet zu beachten:

- Das Kollektorfeld muss schneefrei bleiben (Neigung: min. 65°; Höhe ab Boden: min. 1.5 m).
- Die Nachttemperaturen sind sehr tief (Frostschutz-Konzentration!) und die Windgeschwindigkeiten hoch (Kollektorbefestigung!).

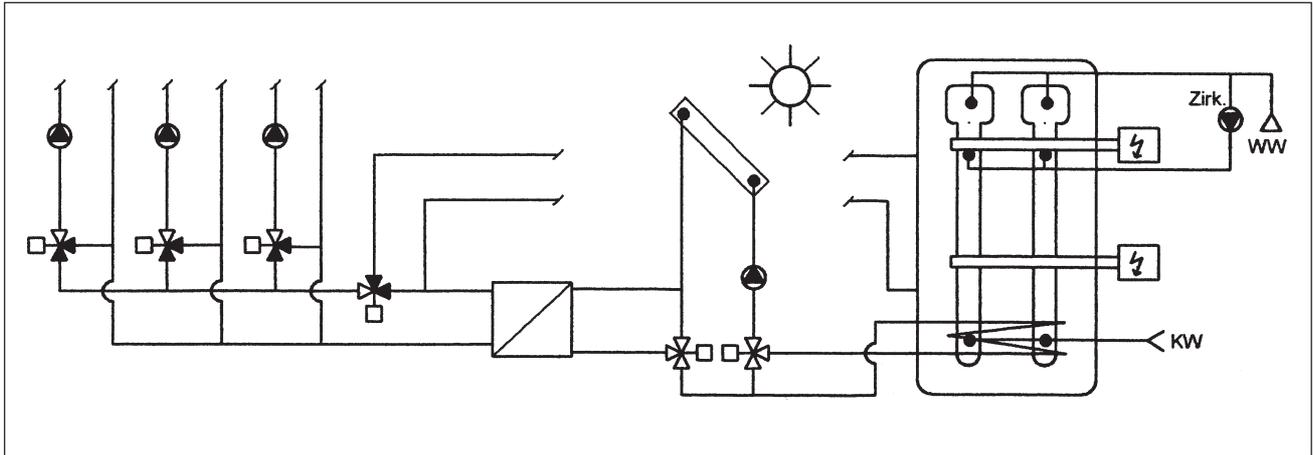
**Prinzipschema**


Fig. 5.19

**EXKURS**
**Sonnenenergienutzung in Objekten mit Teilzeitbelegung**

Die Nutzung der Sonnenenergie ist dann optimal, wenn die Wärme ganzjährig abgegeben werden kann. Es gibt aber sehr viele Bauten, die dieses Kriterium nicht erfüllen. Auch in solchen Objekten kann die Nutzung der Sonnenenergie aber durchaus sinnvoll sein:

- Verzicht auf eine Zusatzheizung (Campingplätze, Schwimmbäder)
- Frostschutzbetrieb im Winter (Berggebiet)
- Erzieherische Funktion (Schulen, Kasernen)

Bei Gebäuden, die nur zeitweise genutzt werden oder stark schwankenden Bedarf aufweisen, ist mit Überhitzung zu rechnen. Je nach Objekt kann der Überhitzung wie folgt begegnet werden (siehe auch Kap. 2.9):

**Campingplätze**

Verglaste Kollektoren von Solaranlagen zur Duschwasser-Erwärmung sollten während längeren unbenutzten Zeiten abgedeckt werden, allenfalls in Kombination mit einer Entleerung des Speichers.

**Schulhäuser, Turnhallen, Kasernen**

Da der Verbrauch an den Wochenenden meistens stark abnimmt, empfiehlt es sich, für diese Anlagen eine WW-Vorwärmung zu realisieren. Der Speicher sollte den Solarertrag von 1 bis 1½ Schönwettertagen aufnehmen können. Für längere Betriebsunterbrüche, z.B. Sommerferien, sind Überhitzungsschutz-Massnahmen zu treffen.

**Hotels mit Saisonbetrieb**

Ausserhalb der Nutzungszeit sollte ein allfälliger Wärmeüberschuss ans Heizsystem abgegeben werden können. Besonders interessant ist diese Lösung bei Berghotels, die fast ganzjährig Heizenergie benötigen.

**Freibadheizung**

Unverglaste Kollektoren können bei Übertemperatur problemlos abgeschaltet werden. Mit verglasten Sonnenkollektoren sind bei Schönwetterperioden im Sommer und während der Übergangszeit gegen Überhitzung Massnahmen erforderlich.

Herbert Hobi, Wetzikon

## 20 Spital: Konstanter Verbrauch – grosser spezifischer Ertrag

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Novaggio/TI; 640 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Militärspital
<i>Bauherrschaft:</i>	Amt für Bundesbauten
<i>WW-Verbrauch:</i>	6500 l/d (zu 60°C)
<i>WW-Nutzung:</i>	Sanitäranlagen für 2 Bettenhäuser (65 Betten), Therapiebäder, Duschanlagen von Hallenbad, Spitalküche inkl. Abwaschmaschine
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Ölkessel (755 kW), Holzschnitzelfeuerung (755 kW)
<i>Solaranlage:</i>	Erstellungsjahr: 1992
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; Absorberfläche: 84 m <sup>2</sup> (60°, Süden)
<i>Speicher:</i>	Nachwärmer: 2000 l und 5000 l; Vorwärmer: 5000 l (60 l/m <sup>2</sup> )
<i>Planung:</i>	Visani & Talleri AG, Lugano



Foto 5.20

### Ausgangslage

Im Rahmen eines NEFF-Projektes realisierte das Amt für Bundesbauten eine Reihe von Solaranlagen auf bundeseigenen Gebäuden. Ausgangspunkt war eine Studie, die die Potentiale und Eignung von ca. 50 Bundesbauten abklärte. Dabei zeigte sich, dass Spitalbauten aufgrund ihres konstanten Warmwasser-Verbrauchs für Sonnenenergienutzung sehr geeignet sind.

### Planung, Grössenbestimmung

Das Militärspital Novaggio besteht aus mehreren Gebäuden, die wärmetechnisch von einer Heizzentrale aus über einen Nahwärmeverbund erschlossen sind. Die einzelnen Gebäude eignen sich von ihrem WW-Verbrauch her für Sonnenenergienutzung unterschiedlich. An die Solaranlage angeschlossen wurden zwei nahe beieinander liegende Bettenhäuser, die Duschanlage des Hallenbades und die physiotherapeutischen Bäder, alles Verbraucher mit einem sehr konstanten WW-Bedarf. Die Solaranlage wurde auf das Gebäude mit dem grössten Verbrauch plaziert. Im Hinblick auf einen möglichst hohen spezifischen Ertrag wurde die Anlage für die WW-Vorwärmung konzipiert. Bei einem durchschnittlichen WW-Verbrauch von 6500 l/d (exkl. Zirkulation) und einer Absorberfläche von 84 m<sup>2</sup> beträgt die spezifische Absorberfläche ca. 1 m<sup>2</sup> Verbrauchseinheit (VE).

### Messresultate

Die Anlage wurde im Rahmen einer Studie des Amtes für Bundesbauten im Jahr 1994 sehr detailliert ausgemessen. Der solare Deckungsgrad von 18% im Jahresdurchschnitt (Sommer: bis 30%) und eine Solar load ratio (vgl. Exkurs) von 0.65 (Sommer: 0.9) sind für eine auf hohe spezifische Erträge ausgerichtete Vorwärmanlage typisch.

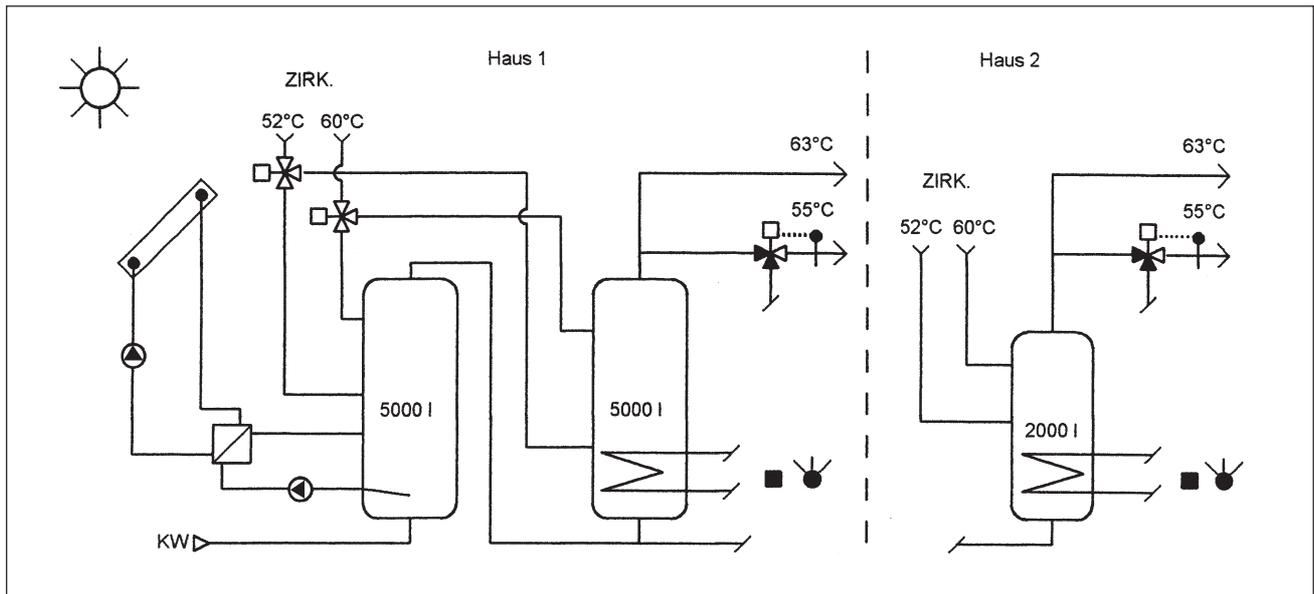
**Prinzipschema**


Fig. 5.20

Ebenso charakteristisch für diese Art Anlage ist, dass die Temperatur im Solarspeicher nie über 50 °C stieg, eine ideale Voraussetzung für einen hohen Kollektorwirkungsgrad (Jahresdurchschnitt: 51%). Mit 743 kWh/m<sup>2</sup>a ist der spezifische solare Bruttoertrag entsprechend hoch. Interessanterweise wurden auch der Nettoverbrauch und die Verluste gemessen: Der Anteil WW-Nutzenergie am gesamten Energieverbrauch für die WW-Bereitung (inkl. zentrale Verluste) betrug demnach 53%. Zulasten der WW-Zirkulation gingen 15%; zulasten der Verluste in der Zentrale (Speicher und Verteilung) 32%. Grund für den hohen Anteil an Speicherverlusten war die Wiederverwendung der bestehenden, schlecht wärmegeprägten Wassererwärmer (Sie wurden in der Zwischenzeit ersetzt!). Aus den obigen Zahlen hergeleitet ergibt sich ein solarer Nettoertrag von ca. 500 kWh/m<sup>2</sup>a.

**Kommentar**

Spitalbauten bieten wegen ihres konstanten Warmwasserbedarfs ideale Voraussetzungen für solare WW-Vorwärmung. Es erstaunt daher nicht, dass in den letzten Jahren in der Schweiz bei mehreren Spitälern Solaranlagen realisiert wurden. Die vorliegende Anlage ist, wie der hohe solare Ertrag zeigt, ein gelungenes Beispiel dafür. Auffällig an der Anlage sind die hohen Verluste bei den Speichern und der Verteilung. Sie rührten daher, dass die beim Einbau der Solaranlage belassenen bestehenden Speicher und Verteilungen ungenügend wärmegeprägten waren.

Zu den Speicher- bzw. Verteilverlusten kann allgemein gesagt werden, dass sie aus verschiedenen Gründen häufig stark unterschätzt werden. In diesem Fall waren neben der ungenügend gut ausgeführten Wärmedämmung sicher auch die Aufteilung des gesamten Speichervolumens auf drei Behälter (schlechtes Volumen/Oberflächen-Verhältnis) und das in Vergleich mit dem Verbrauch grosse Gesamtvolumen (2facher Tagesbedarf) für einen Teil der grossen Verluste verantwortlich.

## LEKUR

### Solar load ratio und solarer Deckungsgrad: zwei relevante Grössen?!

#### *Solar load ratio (SLR)*

Solar load ratio (Sonne-Last-Verhältnis) wird ein Parameter genannt, der sich international immer mehr als wichtige Grösse bzw. wichtiges Hilfsmittel für die Planung, Beurteilung und Optimierung von Solaranlagen etabliert. Definiert wird er als Verhältnis von eingestrahelter Sonnenenergie zu Nettoverbrauch (Energie-Output-Speicher), zwei Grössen, die sich relativ einfach messen lassen. Im Gegensatz zum solaren Deckungsgrad wird er damit ausschliesslich mit Grössen definiert, die für den Nutzungsgrad einer Solaranlage von Bedeutung sind. Unterschieden werden SLR-Tages-, Wochen- und Jahreswerte. In der Planung wird der SLR-Wert, ähnlich wie heute der solare Deckungsgrad, als Erfahrungswert eingesetzt, um ein grobes Ertragsziel zu definieren. Für Anlagen zur WW-Bereitung in grösseren Wohnbauten wird z.B. empfohlen, die Absorberfläche so zu dimensionieren, dass der durchschnittliche SLR-Wochenwert unter 3 liegt. Bei der Beurteilung und Optimierung von Anlagen hilft der SLR-Wert, in Kombination mit den Kollektorkreis- bzw. Speichertemperaturen, direkt Rückschlüsse auf Systemmängel zu ziehen.

#### *Solarer Deckungsgrad*

Der solare Deckungsgrad ist definiert als Verhältnis von solarem Bruttoertrag (Energie-Input aus dem Kollektorkreis in den Speicher) zum gesamten Energie-Input solaren und konventionellen Ursprungs in den Speicher (totaler Energie-Bruttoverbrauch). Er wird vor allem benützt, um bei der Planung von Anlagen eine grobe Dimensionierungs-Strategie festzulegen. Einerseits möchte die Bauherrschaft oft wissen, wie gross der Anteil an solar produzierter Wärme an ihrem Wärmeverbrauch nach dem Bau der Solaranlage sein wird. Andererseits ist die grobe Festlegung auf einen Deckungsgrad die Basis für Kostenangaben und Systemwahl. Der Planer stützt sich bei Prognosen zum solaren Deckungsgrad auf Erfahrungswerte; genaue Aussagen kann er ohne präzise Angaben über den Verbrauch und die Verbrauchscharakteristik nicht machen. Auf keinen Fall sollte er eine Garantie auf einen bestimmten solaren Deckungsgrad abgeben. Gemessen wird der solare Deckungsgrad in der Praxis selten, da er keine aussagekräftige Grösse bzw. ein brauchbarer Indikator für das gute Funktionieren einer Anlage und eine Anlagen-Optimierung darstellt.

*Felix Schmid, Rifferswil*

## 21 Kaserne: Solare Warmwasser-Bereitung bei Teilzeitnutzung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Aarau/AG; 384 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Militärkaserne; Kapazität: 500 Personen
<i>Belegung:</i>	Sehr unterschiedlich, volle Belegung: 2 Rekrutenschulen pro Jahr; dazwischen Kurse und private Nutzung
<i>WW-Nutzung:</i>	66 Duschplätze, 82 Toiletten mit Lavabos (diese nur teilweise mit WW-Bezugsmöglichkeit)
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Ölkessel; Sommer: 900 kW; Winter: 2 x 1.5 MW
<i>Solaranlage:</i>	Erstellungsjahr: 1980; Sanierung: 1994 (Kollektorfeld, Verrohrung, Speichereinbauten und Regulierung)
<i>Anlagekonzept:</i>	Low-flow-Anlage mit geschichteten Speichern
<i>Kollektor:</i>	Vakkumröhren, direktdurchströmt Absorberfläche: 93.6 m <sup>2</sup> (40°, Süden)
<i>Speicher-Wassererwärmer:</i>	2 x 8500 l (parallel)
<i>Planung:</i>	Exertec Engineering AG, Rapperswil

### Ausgangslage

Bereits im Jahre 1980 wurde an der Infanteriekaserne Aarau im Auftrag des Baudepartementes des Kantons Aargau eine thermische Solaranlage erstellt. Die Anlage wies eine Absorberfläche von 200 m<sup>2</sup> eines nicht evakuierten röhrenähnlichen Kollektors und Speicher mit einem Gesamtvolumen von 17 m<sup>3</sup> auf. Diverse Probleme aufgrund konzeptioneller Fehler stellten die Bauherrschaft von Beginn weg nicht zufrieden. Bescheidene Leistungsfähigkeit, unglückliche Regulierung und andauernde Verkalkung der Plattenwärmetauscher veranlassten sie schliesslich zum Ersatz der Anlage.

### Wärmebedarf

Die Anlage wurde über Jahre hinweg mit einfachen Mitteln überwacht. Wärmezähler quantifizierten den Ertrag des Kollektorfelds und den Zusatzenergie-Verbrauch. Volumenzähler im Kaltwasser-Anschluss beider Boiler gaben Hinweise über den WW-Bedarf. Leider liessen sich mit der vorhandenen Messinfrastruktur die Zirkulations- und Speicherverluste nicht bestimmen. Der durchschnittliche tägliche Energiebedarf im Jahre 1991 lag bei ca. 300 kWh. Der maximale Tagesbedarf betrug ca. 1800 kWh (entspricht ca. 40 m<sup>3</sup> WW-Bezug), der minimale ca. 150 kWh (kein Warmwasser-Bezug), was in etwa den Zirkulations- und Speicherverlusten entsprechen dürfte. Der durchschnittliche tägliche WW-Bezug während einer Rekrutenschule liegt bei ca. 6000 l zu 40 °C. Pro Rekrut und Tag liegt der Bedarf damit im Normalbetrieb bei ca. 12 l Warmwasser (zu 40 °C).



Foto 5.21

### Speicher

Die Dimensionierung der beiden bestehenden Speicher auf den rund dreifachen durchschnittlichen Tagesbedarf war einstmals grosszügig ausgefallen. Allerdings spricht der stark schwankende tägliche Bedarf für diese Auslegung. Die Speicher sind in preisgünstigem Stahl (St 35) ausgeführt. Der Korrosionsschutz wird über eine Schutzanlage gewährleistet. Bei den Speicherumbauten für die neukonzeptionierte Low-flow-Anlage, konnten nach über 10jährigem Betrieb keine Hinweise auf Korrosionsangriffe festgestellt werden.

Für den Low-flow-Betrieb der Anlage musste das Konzept der Speicherbewirtschaftung völlig abgeändert werden. Die Sonnenwärme wird entsprechend der Vorlauftemperatur des Kollektorkreises mittels spezieller Ladelanzen exakt in die Speicher eingeschichtet. Die Schichtlanzen weisen im Abstand von 40 cm über die ganze Höhe des Speichers Klappen auf. Diese öffnen und schliessen sich entsprechend den durch die verschiedenen Temperaturen in der Lanze bzw. im umliegenden Speicher bedingten Druckunterschieden. Mit dieser einfachen Technik wird die Schichtung im Speicher und damit die unmittelbare Verfügbarkeit der Sonnenwärme gewährleistet. Die Nachwärmung erfolgt im obersten Teil der Speicher über spezielle turbulenzverhindernde Einlässe. Generell wird im Speicher auf niedrigste Strömungsgeschwindigkeiten geachtet, um jedwelche Durchmischung zu vermeiden. Dies gilt insbesondere auch für den Kaltwassereintritt.

### Kollektorfeld, Kollektorkreis

Das Kollektorfeld besteht aus direktdurchströmten evakuierten Röhrenkollektoren. Die 72 Module sind in 18 Gruppen zu 4 jeweils seriell durchströmte Kollektoren aufgeteilt. Jede Vierergruppe weist ein Durchflusskontroll- und Regulierorgan auf und wurde bei der Inbetriebsetzung exakt einreguliert. Die «Low-flow»-Technik ermöglicht durch die reduzierte Durchflussmenge (minimal 5l/h pro m<sup>2</sup>, maximal 17l/h pro m<sup>2</sup>) eine Verkleinerung der Leitungsquerschnitte. In diesem Fall genügten Kupferrohre DN 35. Die Wärmeübergabe vom Kollektorkreis auf den Speicher-Ladekreis erfolgt über einen grosszügig dimensionierten Mehrpass-Plattenwärmetauscher. Warmwasserseitig wurde als Verkalkungsschutz eine Kohlensäure-Einspritzung angebracht. Dieses neuartige System muss seine Funktion unter den besonderen Anlage-Bedingungen (Vorlauftemperaturen bis 100 °C) beweisen.

Die Pumpen des Kollektor- und Ladekreislaufes sind mit Frequenzumformern für die Volumenregelung ausgerüstet.

### Regulierung

Die gesamte Anlage wird über eine frei programmierbare Regelung kontrolliert. Damit lassen sich die Vorteile der Low-flow-Technik besonders gut realisieren. Je nach Ladezustand der beiden Speicher und der auftretenden Einstrahlung werden die Drehzahlen des Kollektor- und des Ladekreislaufes variiert. Bereits bei Einstrahlungswerten von 100 W/m<sup>2</sup> liefert die Anlage bei tiefem Durchfluss und tiefer Rücklauftemperatur Energie auf nutzbarem Temperaturniveau. Das Regelkonzept ist im übrigen auf die Minimierung der notwendigen Zusatzenergie getrimmt. Das Sicherheitskonzept mit Notkühlung über einen Lufterhitzer sowie einer Drucküberwachung sind weitere wichtige Aufgaben.

### Kosten, Ertrag

Die Kosten für die gesamten Umbauarbeiten (inkl. Demontage der Altanlage) beliefen sich auf rund Fr. 250 000.–. Der mittels PC-Simulation prognostizierte Brutto-Jahresertrag (Schnittstelle Wärmetauscher Ladekreislauf) beträgt ca. 60 MWh (ca. 640 kWh/m<sup>2</sup>a). Dies entspricht einem Deckungsgrad von 55%. Die ersten Messergebnisse für den Monat Mai 1995 bestätigen dieses Bild. Vom gesamten monatlichen Brutto-Energiebedarf von 9000 kWh wurden von der Sonne 6000 kWh und vom Ölkessel 3000 kWh beigesteuert (Messstellen: Wärmetauscher: Ladekreisläufe). Zusatzenergie wird ausserhalb der Heizperiode im Gegensatz zur Altanlage nicht mehr verlangt, wodurch die beachtliche Stillstandsverluste aufweisende Kesselanlage abgestellt werden kann. Zusammen mit dem interessierten Betriebspersonal der Kaserne wird die Anlage laufend vermessen.

### Kommentar

In mehreren Kasernen der Schweiz wurden bisher thermische Solaranlagen für die WW-Bereitung installiert. Diese Anlagen haben einen guten Demonstrations-Effekt, da dadurch viele junge Menschen, wenn auch nur indirekt, mit der Nutzung von Sonnenenergie in Berührung kommen.

Die Dimensionierung und Systemwahl von Solaranlagen für Kasernen ist aufgrund des stark schwankenden und unsicheren WW-Bedarfs sehr heikel. Grundsätzlich gilt es, mit der Grösse der

Absorberfläche sehr zurückhaltend zu sein. Das vorliegende Beispiel zeigt, wie mit einer auf dem Low-flow-Prinzip basierenden exergetischen Speicherbewirtschaftung dem Umstand der grossen Verbrauchsschwankungen Rechnung getragen werden kann.

### Prinzipschema

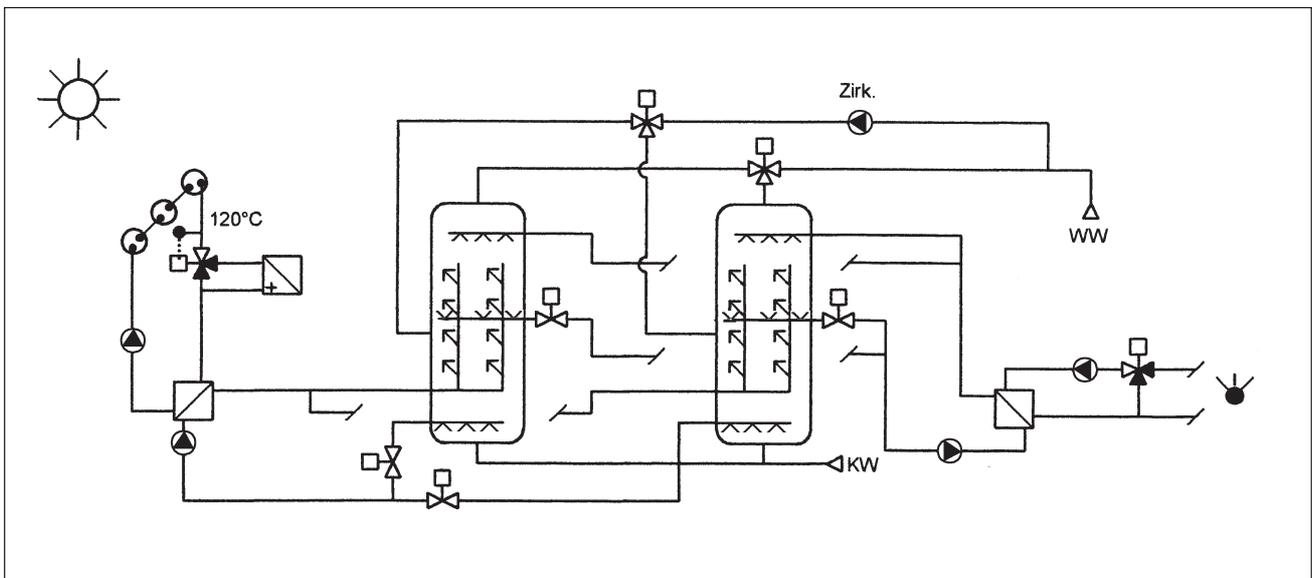


Fig 5.21

## LEXIKON

### Low-flow

Die in Kanada seit den 60er-Jahren und vor allem in nordischen Ländern mit Erfolg auch in Grossanlagen angewandte Low-flow-Technik ist eine Betriebsstrategie für Solaranlagen, die auf hohe Effizienz gewisser Anwendungen abzielt. So einfach wie die Begriffe Low- und Micro-flow (niedriger Durchfluss) implizieren und die wachsende Zahl von Low-flow-Kleinanlagen zur WW-Bereitung in EFH vielleicht glauben macht, ist die Technik allerdings nicht: Mit einer Volumenstrom-Reduktion allein ist es nicht getan: Low-flow erfordert eine umfassende Änderung gegenüber herkömmlichen Systemen.

#### Prinzip

Während konventionelle Anlagen mit Durchflüssen von 30 bis 50 l/h m<sup>2</sup> arbeiten, sind Low-flow-Anlagen auf 8 bis 15 l/hm<sup>2</sup> ausgelegt. Dadurch erhöht sich die Temperaturspannung zwischen Kollektorvor- und rücklauf. Ziel dieser Massnahme ist es, die Sonnenwärme direkt, d.h. nach einem einzigen Kollektor-Durchgang (single-path), Nutzungszwecken mit gehobenem Temperatur- bzw. Exergie-Niveau zuführen zu können, ohne dass die für den Nutzungsgrad mitverantwortliche mittlere Systemtemperatur gegenüber einem mit geringer Temperaturdifferenz arbeitenden konventionellen System wesentlich höher liegt. Dazu muss die Kollektorkreis-Rücklauftemperatur möglichst lange tief gehalten werden, was eine optimale Temperaturschichtung im Speicher erfordert. Bei grösseren Anlagen lohnt es sich, anstelle der fixen Reduktion des Durchflusses eine Volumenstrom-Regelung anzuwenden, die die Vorlauftemperatur den verlangten Nutztemperaturen angleicht (matched-flow). Sinn macht dies im Hinblick auf die Energiebilanz allerdings erst ab einer bestimmten Strahlungsleistung (in der Regel über 400 W/m<sup>2</sup>); darunter wird mit kleiner Temperaturspannung gefahren. Die genaue Regelstrategie hängt ganz vom Einsatz der Anlage ab.

#### Anwendungsbereich

Der sinnvolle Einsatz von Low-flow-Anlagen ist davon abhängig, dass auch nutzungsseitig eine grosse Temperaturspannung vorhanden ist, was eine gute Speicherschichtung und evtl. die Wärmeabgabe auf verschiedenen Temperaturniveaus erlaubt. Der Fall ist dies bei der WW-Bereitung, bei Anlagen mit hohem Deckungsgrad (Langzeitspeicherung) und unter Umständen bei Prozesswärme-Anlagen. Nicht geeignet ist Low-flow für reine Niedertemperatur-Anwendungen wie Schwimmbäder usw.

Für einen Matched-flow-Betrieb ideal ist, wenn eine Anlage mehrere Nutzungen mit unterschiedlichen Temperaturniveaus aufweist (z.B. kombinierte Anlagen, WW-Anlagen mit Zirkulation). Neben den Temperaturverhältnissen sind für den Einsatz des Low-flow-Systems auch die Verbrauchscharakteristik und der angestrebte Deckungsgrad zu berücksichtigen. Detaillierte Hinweise zu diesen Aspekten vermittelt die Publikation «Advanced solar domestic hot water systems» (1995).

#### Vorteile

Durch das veränderte Betriebsmanagement wird einerseits eine Kostenreduktion, andererseits eine Optimierung zwischen Energie- und Exergiegewinn erreicht. Die Kosteneinsparungen ergeben sich beim Material (kleinere Dimensionen) und bei der Montagezeit. Durch den reduzierten Volumenstrom wird zudem der Hilfsenergie-Verbrauch der Pumpe verkleinert, was die Betriebskosten senkt. Der höhere Energiegewinn entsteht dadurch, dass die Wärmeverluste der Leitungen kleiner ausfallen und weniger auf Zusatzenergie zurückgegriffen werden muss. Vergleichstests zeigen, dass bei gewissen Anwendungen Low-flow-Systeme gegenüber konventionellen Anlagen deutlich längere Betriebszeiten aufweisen und bis zu 20% mehr Ertrag liefern.

#### Planungshinweise

Wie bei jeder Solaranlage gilt auch für das Low-flow-Prinzip: Massgebend für die Effizienz ist nicht die hervorragende Leistung einer einzelnen Komponente, sondern das gesamte System. Neben dem Volumenstrom haben auch der Kollektor selber, der Wärmetauscher und der Speicher grosse Bedeutung: Konventionelle Speichersysteme mit internen Glatt- und Rippenrohr-Wärmetauschern sowie Speicher mit integrierten Wassererwärmern arbeiten mit grossen Mischzonen, die die Kollektor-Rücklauftemperatur rasch ansteigen lassen. Gefordert sind Systeme, die eine präzise Schichtenladung erlauben, und hocheffiziente Wärmetauscher-Typen. Auch die Dimensionierung der Tauscherleistung und des Speicherinhalts spielen eine grosse Rolle. Der Kollektor muss vor allem bei Kleinanwendungen, wie der WW-Bereitung in Einfamilienhäusern, den Low-flow-Betriebsbedingungen angepasst werden. Konventionelle Harfenabsorber sind wenig geeignet, da der geringe Durchfluss keine homogene Verteilung des Wärmeträgers ermöglicht. Problemlos sind serpentinartige Absorber, die bezüglich des Wärmeübergangs optimiert sind.

Ueli Frei, Rapperswil

## 22 Kleingewerbe: Warmwasser für Coiffure-Salon

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Muri/AG; 485 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	EFH mit Coiffure-Salon
<i>Nutzungs-Struktur:</i>	EFH: 2 bis 3 BewohnerInnen Salon: 8 Plätze; durchschnittlich 25 KundInnen/d
<i>WW-Verbrauch:</i>	Durchschnittlich 800 l/d (à 60 °C), (ohne Waschmaschine)
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Winter: Öl; Sommer: Elektrizität
<i>Solaranlage:</i>	Erstellungsjahr 1993
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; Absorberfläche: 26 m <sup>2</sup> (45°, Süden)
<i>Speicher:</i>	Vorwärmer: 800 l; Nachwärmer: 800 l
<i>Planung:</i>	P. Flick, Solaranlagen, Muri

### Ausgangslage

Ausgangspunkt bildete die nötige Sanierung der bestehenden Wassererwärmer. Auf Wunsch der Bauherrin sollte in Zukunft möglichst viel Öl durch Sonnenenergie substituiert werden. Ausserdem sollte das Kollektorfeld so bemessen sein, dass zu einem späteren Zeitpunkt, bei Aufgabe des Coiffure-Salons, unter Änderung der Hydraulik ein Umbau der Anlage auf Heizungsunterstützung möglich wäre.

### Planung, Grössenbestimmung

Eine Verbrauchsmessung zeigte folgendes Bild: Der Grossteil des WW-Bedarfs (über 85%) fällt auf den Salon. Er ist das ganze Jahr während 6 Tagen pro Woche geöffnet, werktags von 7.00 bis 18.30 Uhr mit Mittagspause. Ferienbedingte Unterbrüche bestehen nur im Wohnteil. Von den 8 Arbeitsplätzen sind 4 mit Waschtischen ausgerüstet. Die Schwankungen im WW-Verbrauch reichen von ca. 100 l an Sonntagen bis zu ca. 1200 l an Tagen mit viel Kundschaft. Eine WW-Zirkulation besteht nicht; die Verteilleitungen sind sehr kurz.

Mit dem Ziel, einen solaren Deckungsgrad von ca. 60% zu erreichen, wurde eine spezifische Absorberfläche von ca. 3 m<sup>2</sup> pro Verbrauchseinheit (VE) gewählt. Das Speichervolumen ist aus Platzgründen mit ca. 60 l/m<sup>2</sup> relativ knapp bemessen. Dank der günstigen Verbrauchscharakteristik (konstanter Bedarf mit weitgehender zeitlicher Deckung zum Sonnenenergie-Angebot) fällt dieser Umstand jedoch kaum ins Gewicht.

### Regulierung

Die Solarkreis-Steuerung erfolgt mittels  $\Delta t$ -Regler. Um bei geringem Verbrauch und hoher Einstrahlung einen Wärmestau im Vorwärmerspeicher und ein allfälliges Anspringen des Heizkessels zu ver-



Foto 5.22



## 23 Gewerbezentrum: Autowaschen mit solar erwärmtem Regenwasser

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Walzenhausen/AR; 650 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Gewerbezentrum mit Autogarage, Baujahr: 1995
<i>Bauherr:</i>	Garage Steingruber, Walzenhausen
<i>Nutzung:</i>	Autogewerbe, Metallbau, Büros, 1 Wohnung im Endausbau ca. 60 Arbeitsplätze
<i>WW-Nutzung:</i>	Übliche sanitäre Zwecke, 2 öffentliche Autowaschboxen
<i>WW-Verbrauch:</i>	Sanitäre Zwecke: ca. 500 l/d Regenwasser für Autowäsche: ca. 4500 l/d
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Ölkessel: 148 kW, Stückholzkessel, 45 kW
<i>Solaranlage:</i>	WW-Bereitung (Sanitär), Regenwasser-Erwärmung (Waschboxen)
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv, dachintegriert Absorberfläche: 138 m <sup>2</sup> (23°; Süd, Ost und West)
<i>Speicher:</i>	11.2 m <sup>3</sup> ; mit integrierten Wassererwärmern für Warmwasser (260 l) und Regenwasser (3 x 170 l)
<i>Planung:</i>	Enfog AG, Gossau Fyrosol AG, Walzenhausen

### Ausgangslage

Ein Garagist plante eine Erweiterung seines Betriebes mit einem Gewerbezentrum. Der Ölkessel des bestehenden Gebäudes sollte nach Möglichkeit weiterverwendet werden. Um die Tankanlage nicht vergrößern zu müssen, sollte der zusätzliche Wärmebedarf mit einem Stückholzkessel unter Verwendung von Holz aus eigenem Wald gedeckt werden. Der durch den Bau einer öffentlichen Autowaschanlage stark zunehmende WW-Bedarf wollte der Bauherr mit Sonnenenergie decken. Die Autowäsche sollte mit Regenwasser bzw. mit Quellwasser aus eigener Fassung erfolgen. Als Betriebswasser-Speicher konnte eine ehemalige Jauchegrube genutzt werden, die zu diesem Zweck auf 100 m<sup>3</sup> Inhalt erweitert wurde.



Foto 5.23

### Planung, Anlagenbeschreibung

Ziel der Anlagenplanung war ein möglichst hoher Deckungsgrad zur vollständigen WW-Bedarfsdeckung ausserhalb der Heizperiode. Da die Grösse des Süddaches für die entsprechende Absorberfläche nicht genügte, entschloss man sich, auch die Ost- und die Westseite des Kreuzfirstes vollständig mit Kollektoren zu belegen. Die Dimensionierung der Absorberfläche erfolgte aufgrund einer Verbrauchsannahme von durchschnittlich 5 m<sup>3</sup>/d (zu 55 °C). Umgerechnet auf eine optimale Südlage entsprechen die 138 m<sup>2</sup> ca. 113 m<sup>2</sup>, was eine spezifische Absorberfläche von ca. 2 m<sup>2</sup> pro Verbrauchseinheit (VE) ergibt. Die Speicherung der Sonnenenergie erfolgt in einem 6 m hohen Kombispeicher, der sowohl einen integrierten Wasser-

erwärmer für das sanitäre Warmwasser als auch drei Wassererwärmer für das Regenwasser enthält.

**Regulierung**

Das Einschalten der Kollektorkreis-Pumpe erfolgt über normale  $\Delta t$ -Regler, die die Temperaturen der drei Kollektorfelder mit der Temperatur des Speicherfühlers vergleichen. Die Pumpe im Ladekreis kommt erst in Betrieb, wenn der Kollektorkreis aufgewärmt ist. Die einzelnen Kollektorfelder werden zugeschaltet, sobald eine Temperaturdifferenz vom Kollektor zum Kollektorkreis-Rücklauf (Messstelle nach dem Wärmetauscher) besteht. Als Überhitzungsschutz ist eine Durchflusskühlung über den Regenwasser-Speicher installiert. Die Überhitzung des Systems dürfte insofern kein Problem darstellen, als die Autowaschanlage an sämtlichen Wochentagen geöffnet ist.

**Kosten**

Die Gesamtkosten der Anlage mit Speicher, Kollektoren, Regenwasserbecken etc. betragen ca. Fr. 180 000.–. Rund Fr. 40 000.– davon wurden an Bundessubventionen beigesteuert.

**Kommentar**

Autowaschanlagen sind für Sonnenenergienutzung ideal, da sie in der Regel ein relativ ausgeglichenes Verbrauchsprofil aufweisen. Aussergewöhnlich in diesem Fall ist die Kombination mit Regenwassernutzung. Wichtig ist dabei, dass die Qualität des Regenwassers (Gefahr von Algenbildung) im Auge behalten wird.

Bei einer Aufteilung des Kollektorfeldes in Bereiche mit unterschiedlicher Ausrichtung ist zu beachten, dass die einzelnen Stränge nicht immer mit demselben Volumenstrom durchflossen werden. Dies macht die Bestimmung des Durchflusses, den hydraulischen Abgleich (siehe Exkurs folgende Seite) und die Regelstrategie nicht ganz einfach.

**Prinzipschema**

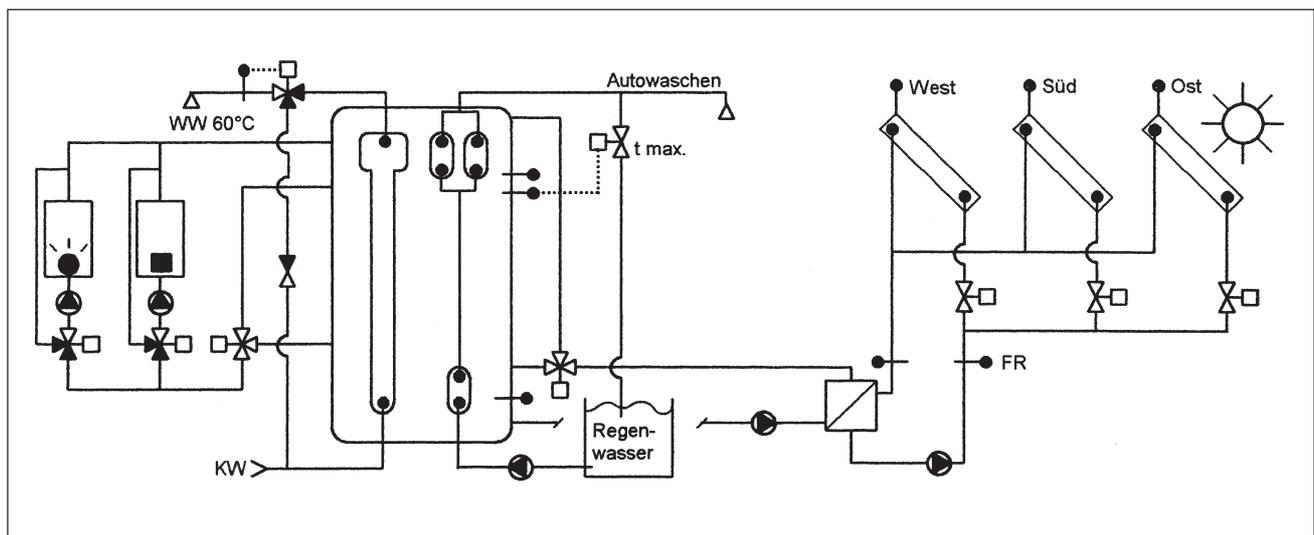


Fig 5.23

## EXKURS

### Hydraulik von Kollektorfeldern

Die Konzeption eines Kollektorfeldes ist von entscheidender Bedeutung für den Nutzen einer Solaranlage. Folgende Punkte gilt es zu beachten:

#### *Wärmeübergang*

Massgebend für den Wärmeübergang in Absorbern bzw. den Absorber-Wirkungsgrad sind die Strömungsverhältnisse. Der Idealfall wäre eine turbulente Strömung ( $Re > 2500$ ). In der Praxis werden jedoch die meisten Absorber mit laminarer Strömung betrieben, da die Druckverluste bei turbulenter Strömung viel zu hoch wären. Auch die Bauart eines Absorbers ist für die Güte des Wärmeübergangs verantwortlich. Dabei zeigt sich, dass bei Platten- bzw. Kissenabsorbern auch innerhalb des laminaren Strömungsbereiches ab einem Durchfluss-Minimum der Einfluss der Durchflussmenge auf den Wirkungsgrad unbedeutend ist. Anders ist dies bei Absorbern mit breiten Finen ( $> 10$  cm): Hier wirkt sich die Durchflussmenge spürbar auf den Wirkungsgrad aus. Wichtig für Planer wären Angaben von Kollektor-Lieferanten zum minimal notwendigen Durchfluss in einem Absorber sowie zum Verhältnis von Durchflussrate und Wärmeübergang. Durchfluss-Angaben, wie sie heute auf technischen Unterlagen von Kollektorprodukten häufig anzutreffen sind (z.B.: idealer Durchfluss: 30 bis 50 l/m<sup>2</sup>h), sind für eine Optimierung von Kollektorhydraulik und Durchfluss wenig hilfreich.

#### *Gleichmässige Durchströmung*

Ebenfalls wesentlich für den Nutzungsgrad eines Kollektorfeldes ist eine gleichmässige Durchströmung sämtlicher Absorberteile. Wenig oder gar nicht durchströmte Absorberebereiche haben nicht nur Leistungseinbussen zur Folge, sie können auch die Anlagesicherheit beeinträchtigen (Dampfbildung) und zu Materialschäden führen (z.B. Verkockung von Frostschutz-Medium). Für eine gleichförmige Durchströmung ist einerseits wiederum die Absorberbauart von Wichtigkeit. Insbesondere eine interne Parallelschaltung aufweisende Harfenabsorber mit grossen Rohrweiten sind heikel. Sehr bedeutend ist andererseits, dass sämtliche parallelen Stränge eines Kollektorfeldes denselben Druckabfall aufweisen. Dies ist selbst bei der Wahl einer Tichel-

mann-Schaltung nicht automatisch der Fall. Am besten wird der homogene Durchfluss durch alle parallelen Stränge dadurch erreicht, dass der massgebende Druckabfall im Kollektorfeld über den Absorbern und nicht über den Sammelleitungen erfolgt, eine vollständige Entlüftung gewährleistet ist und (dies gilt vor allem für Finenabsorber) die Absorber nicht von oben nach unten, d.h. gegen den thermischen Auftrieb, durchströmt werden. Eine genaue Druckverlust-Berechnung als Basis für den hydraulischen Abgleich kann bei grossen Feldern unter Umständen lohnend sein. Dazu wäre es notwendig, dass von den Kollektorherstellern Druckverlust-Kurven zur Verfügung gestellt würden, was leider erst selten der Fall ist. In der Praxis hat sich gezeigt, dass trotz Einregulierung nach einer gewissen Betriebszeit aufgrund verschiedener Faktoren wieder ungleiche Durchströmung auftreten kann. Es ist daher wichtig, bereits bei der Planung zu überlegen, wie der Durchfluss in den Kollektorsträngen überwacht werden kann.

#### *Druckverlust*

Die Festlegung des Druckabfalls über dem Kollektorfeld erfolgt als Optimierung zwischen möglichst geringer Pumpenleistung einerseits und möglichst gleichmässiger Durchströmung und gutem Wärmeübergang andererseits. Bezüglich der Dimensionierung der Sammelleitungen gilt es auch die dynamischen Verluste zu berücksichtigen: Der Vorteil kleiner Rohrdimensionen mit wenig Masse und Oberfläche und damit kleinen Wärmeverlusten steht dem Nachteil des grösseren Druckverlustes gegenüber. In Fachbüchern anzutreffende Faustregeln wie die, dass der Druckabfall über ein Kollektorfeld bzw. über den Kollektorkreis max. je 15 kPa bzw.  $\frac{1}{3}$  des gesamten Druckverlustes betragen sollte, sind für eine solche Optimierung zu grob und wenig tauglich.

Als Grundsatz für die Planung der Kollektorfeld-Hydraulik gilt: Die grösste Beachtung ist den Faktoren Wärmeübergang, gleichmässige Durchströmung sowie Minimierung der Verbindungsleitungen und damit der Wärmeverluste zu schenken.

*Felix Schmid, Rifferswil*

## 24 Industrie- und Gewerbezentrum: Erde als Wärmespeicher

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Meyrin/GE; 445 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Industrie-, Gewerbe- und Dienstleistungszentrum Baujahre: 1984 bis 89 EBF: 18400 m <sup>2</sup> ; beheiztes Volumen: 68 000 m <sup>3</sup>
<i>Bauherrschaft:</i>	Sieber SA, Meyrin
<i>Heizenergiebedarf:</i>	212 MJ/m <sup>2</sup> a (Messung)
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Gasmotor-WP (215 kW th.); Spitzenkessel: Gas/Öl (2 x 230 kW) und Holzkessel (180 kW)
<i>Wärmeabgabe:</i>	Bodenheizung (t <sub>VL</sub> max.: 45 °C) Radiatoren + Luftherhitzer (t <sub>VL</sub> max.: 80 °C)
<i>Solaranlage:</i>	Saisonale Speicherung
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; auf Sheddach Absorberfläche: 940 m <sup>2</sup> (45°, -45°, Südost)
<i>Speicher:</i>	Grundmoräne 20 000 m <sup>3</sup> (21 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> Absorberfläche)
<i>Planung:</i>	B. Matthey, Ing.-Conseils SA, Montezillon C.-A. Roulet, LESO, Lausanne



Foto 5.24

### Ausgangslage

Die Wärmeerzeugung sollte so erfolgen, dass neben günstigen Mietzinsen auch geringe Nebenkosten resultieren. Eine Energiestudie kam zum Schluss, dass eine saisonale Speicherung von Sonnenenergie in Kombination mit einer Gasmotor-Wärmepumpe langfristig betriebswirtschaftlich interessant sei. Die Anlage sollte durch die Uni Genf und die ETH Lausanne ausgewertet werden.

### Planung, Größenbestimmung

Die Dimensionierung der Absorberfläche richtete sich nach der zur Verfügung stehenden Dachfläche. Sie beträgt rund 1 m<sup>2</sup>/MWh Jahreswärmebedarf. Ein Teil der Absorberfläche ist für die WW-Bereitung vorgesehen. Zur Zeit wird damit aber auch der Saisonspeicher bewirtschaftet, da das WW-System noch nicht angeschlossen ist.

Ein Pilotprojekt stellte die Planung des Speichers dar. Er hat eine Grundfläche von 40 mal 35 m, eine Tiefe von 15 m und befindet sich vollständig unterhalb des Gebäudes, so dass ein Teil seiner Verluste der Temperierung des Kellers zugute kommt, gegen den der Speicher mit 6 cm Schaumglas isoliert ist. Bewirtschaftet wird der Speicher über 258 vertikal verlegte, speziell entwickelte «Thermosiphon-Sonden». Die Gesamtlänge der Bohrungen beträgt 3880 m. Die maximale spezifische Ladeleistung liegt bei 200 W/m (totale Ladeleistung: 0.78 MW), die Entladeleistung 25 W/m (0.1 MW). Aufgrund von Computer-Simulationen sollten die mittleren Speichertemperaturen bei optimaler Bewirtschaftung zwischen 5 °C im Frühjahr und 32 °C im Herbst pendeln. Durch die frostfreie Lage des Speichers unterhalb des Gebäudes konnte als Speicherkreis-Medium Wasser verwendet werden.

### Betriebserfahrungen, Ertrag

Eine abschliessende Beurteilung ist noch nicht möglich, da Ausbau und Bezug immer noch nicht abgeschlossen sind. Die Solaranlage läuft ohne

nennenswerte Probleme. Häufige Schwierigkeiten mit der Gasmotor-WP und die Tatsache, dass die WW-Bereitung noch nicht an die Solaranlage angeschlossen wurde, hatten aber bisher einen relativ tiefen Speicher-Nutzungsgrad zur Folge: Er liegt, bedingt durch zu hohe Ladetemperaturen (18 bis 40 °C) und entsprechend hohe Wärmeverluste bei ca. 45%, im Gegensatz zu den erwarteten 75 bis 80%. Der Nutzungsgrad der gesamten Solaranlage beträgt ca. 17%. Der solare Nettoertrag (inkl. Gewinne aus Speicherverlusten) liegt bei ungefähr 225 MWh/a (245 kWh/m<sup>2</sup>a), der Deckungsgrad bei ca. 33%. Es wird damit gerechnet, dass mit einer Optimierung der Anlage der Nettoertrag auf 350 MWh/a und der Deckungsgrad auf 45% gesteigert werden können.

**Kosten**

Die Mehrkosten für Speicher, Solaranlage und Wärmepumpe lagen bei Fr. 900 000.– (Fr. 950.–/m<sup>2</sup>).

**Kommentar**

Die vorliegende Anlage ist eines der eher seltenen Beispiele für Sonnenenergienutzung in Kombination mit einer Wärmepumpe. Während diese Kombination bei kleineren Anlagen vor allem aus Kostengründen, aber auch wegen der nicht ganz einfachen Systembeherrschung heute im Gegen-

satz zu den Anfangszeiten der Sonnenenergienutzung in der Schweiz nur noch wenig gewählt wird, kann sie bei Grossanlagen, insbesondere in Kombination mit saisonaler Speicherung, eine durchaus interessante Lösung darstellen. In der Tendenz wird bei saisonaler Speicherung heute allerdings die Direktnutzung, ohne «Umweg» über eine Wärmepumpe, angestrebt (siehe Anlagen-Beispiel 3).

Ob die in diesem Beispiel für die Kombination mit Sonnenenergienutzung gewählte Gasmotor-Wärmepumpe der ideale Wärmepumpen-Typ darstellt, ist fraglich. Gasmotor-WP erfordern für einen Betrieb mit grossem Wirkungsgrad und niedrigen Schadstoffemissionen lange Laufzeiten und im Jahresgang konstante Verdampfungstemperaturen, da der Katalysator auf eine bestimmte Verdampfungstemperatur eingestellt werden muss. Bei saisonal schwankender Quellentemperaturen, wie sie im Erdspeicher vorkommen, muss daher zur Erreichung konstanter Verhältnisse wärmequellenseitig eine Temperaturtiefhaltung eingerichtet werden, die auf die tiefst vorkommenden Speichertemperaturen abgestimmt ist. Die Exergie wird auf der Wärmequellenseite dadurch teilweise zerstört. Es fragt sich daher, ob bei solchen Anlagen nicht eher mit elektrischen Wärmepumpen gearbeitet werden sollte.

**Prinzipschema**

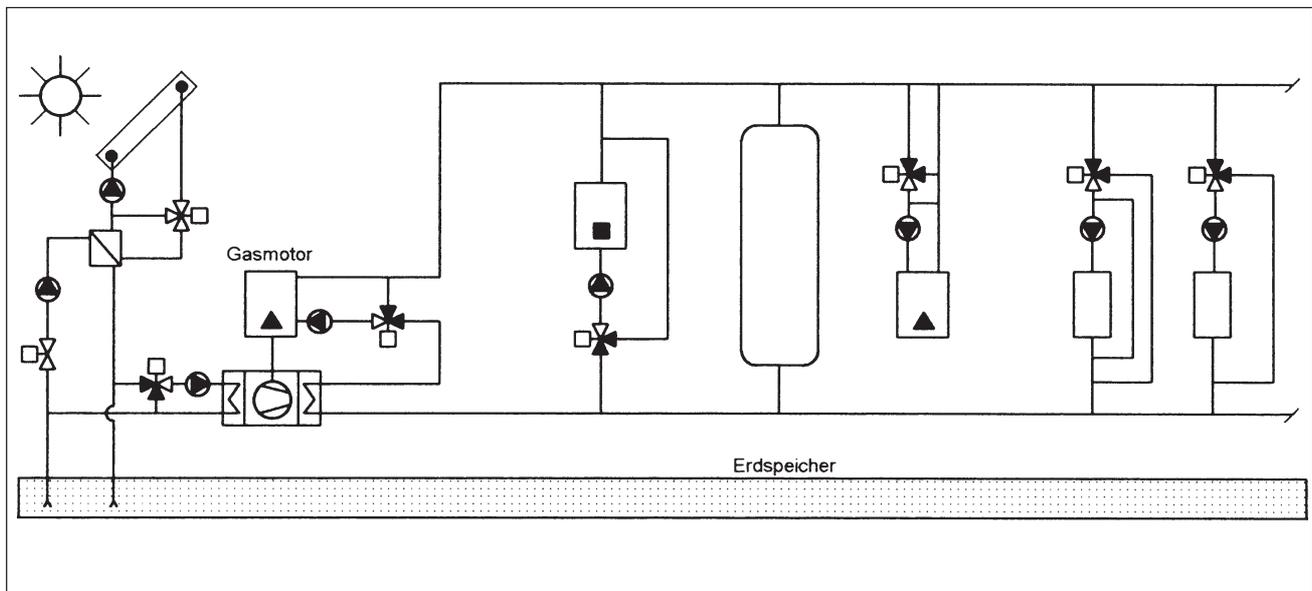


Fig. 5.24.1

## EXKURS

### Sonnenenergienutzung mit Wärmepumpen

#### Indirekte Sonnenenergienutzung

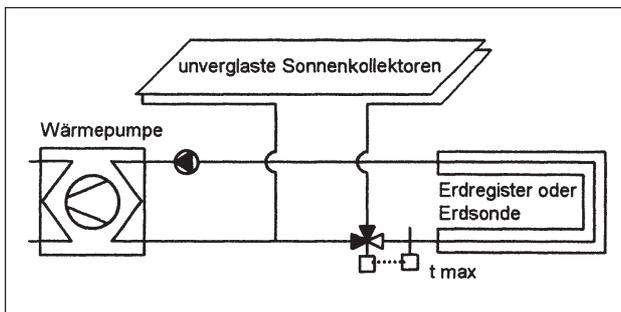


Fig. 5.24.2

Darunter versteht man konventionelle WP-Anlagen mit Erdsonden oder Erdregistern, die mit Sonnenenergie unterstützt werden. Durch die Ergänzung mit einer Kollektor-Anlage können die Register- oder Sondenanlagen ca. 20 bis 40% kleiner gewählt werden. Der hauptsächliche Effekt besteht darin, dass mit der Sonnenenergie während der Frühlingsmonate vereiste Erdkollektoren aufgetaut werden können. Häufig wird dieses System angewendet, um bestehende WP-Anlagen, die mit zu tiefen Betriebstemperaturen arbeiten, zu verbessern. Als Kollektoren können sowohl verglaste als auch unverglaste Typen eingesetzt werden. In der Regel bringen unverglaste Kollektoren Vorteile:

- Die Kollektoren sind als Absorber und als Wärmetauscher nutzbar (Nutzung von Sonnenstrahlung und von Energie aus der Umgebungsluft).
- Kondensat richtet keinen Schaden an und verbessert sogar noch die Wärmebilanz.
- Das System ist einfach und preisgünstig.

Systeme mit verglasten Kollektoren sind wesentlich aufwendiger, weil sich bei tiefen Systemtemperaturen auf dem Absorber Kondensat bilden kann und die Gefahr besteht, dass die entstehende Nässe im Inneren des Kollektors Schäden verursacht. Dies ist regelungstechnisch zu verhindern. Ein Spezialfall des indirekten Systems ist die Kombination mit saisonaler Speicherung von Sonnenenergie.

#### Direkte Sonnenenergienutzung

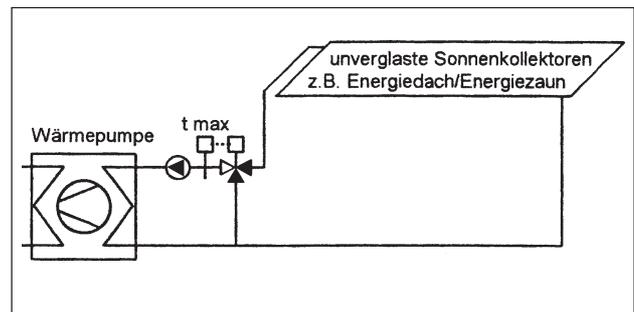


Fig 5.24.3

Bei diesem System wird die Umweltwärme ausschliesslich über die Sonnenkollektoren bezogen. Dies ist nur mit unverglasten Kollektoren möglich. Diese Nutzungsart eignet sich während der Heizperiode nur für den Tagbetrieb. Der beste Wirkungsgrad wird erreicht, wenn der Absorber beidseitig dem Licht und der Luft ausgesetzt ist (z.B. Energiezaun). Schneebedeckte Absorber bringen praktisch keine Leistung. Bei Energieabsorbern, die die Dachhaut ersetzen (z.B. Energiedach) oder bei Unterdachabsorbern kann sich Kondensat bilden. Da das Unterdach in diesem Fall feucht wird, muss es feuchtigkeits- und korrosionsbeständig sein. Die Strahlungsnutzung ist bei Unterdachkollektoren bescheiden.

Das Direktnutzungssystem wird in der Schweiz selten angewendet. Der Hauptgrund liegt bei der Vereisungsgefahr im Nachtbetrieb. Während der Heizperiode liegen die Nachttemperaturen meistens bei 1 bis 6 °C und die relative Luftfeuchtigkeit bei 85% bis 92%. Bei einer Fluidtemperatur von 2.5 °C bildet sich bereits bei einer Umgebungstemperatur von ca. 4 °C und 90% relativer Feuchte auf dem Absorber Kondensat, das bei Abkühlung der Luft unter 0 °C vereist. Ein vereister Absorber nimmt nur noch ca. 10% bis 20% der Strahlung auf. Bis er aufgetaut ist und wieder effektiv arbeitet, kann es relativ lange dauern. Die beste Lösung zur Vermeidung dieser Problematik bietet die Anwendung von Luftkollektoren, denn hier entsteht selten Unterkühlung und somit auch kein Kondensat.

Herbert Hobi, Wetzikon

## 25 Büro- und Gewerbegebäude: Stockwerkweise Warmwasser-Bereitung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Burgdorf/BE; 547 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Büro- und Gewerbegebäude Buchmatt, 100 bis 120 Arbeitsplätze; EBF: 2550 m <sup>2</sup> , Baujahr: 1990/91
<i>Bauherr:</i>	Lugeon + Probst AG, Burgdorf
<i>Nutzung:</i>	Büros: Mo bis Fr: 8.00 bis 18.00 Uhr 4½-Zimmer-Attikawohnung: permanent
<i>WW-Nutzung:</i>	Wohnung: üblicher Standard Büros: pro Stockwerk 1 Küche, Lavabos Toilettenräume
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Pro Stockwerk ein Gasheizkessel Leistung: Werk 8.6 bis 24 kW (total: 93.6 kW)
<i>Solaranlage:</i>	WW-Bereitung
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; Absorberfläche: 18 m <sup>2</sup> (45°, Süden)
<i>Speicher-Wassererwärmer:</i>	Pro Stockwerk: 300 l; Speichervolumen total: 2100 l
<i>Planung:</i>	Lugeon + Probst AG, Burgdorf
<i>Photovoltaik:</i>	3.18 kW p, im Netzverbund

### Ausgangslage

Ein Grossteil des Gebäudes sollte als Stockwerkeigentum verkauft werden. Die interessierten Firmen stammten alle aus der Bau- und Haustechnik-Branche. Es war daher von Beginn an selbstverständlich, nur moderne, zukunftsweisende Haustechnik zu installieren. Energieeffizienz und Bauökologie waren prägende Themen.

### Planung, Anlagenbeschreibung

Aufgrund der Besitzverhältnisse und aufgrund der unterschiedlichen Nutzungsansprüche der einzelnen Eigentümer und Mieter entschied man sich für eine dezentrale stockwerkweise Wärmeerzeugung mit kondensierenden Gasheizkesseln. Für die WW-Bereitung wurden stockwerkweise 300 l-Speicher-Wassererwärmer eingesetzt. Mit dieser Lösung konnte gleichzeitig die verbrauchsabhängige Wärmekosten-Abrechnung (VWKA) elegant gelöst werden. Die WW-Vorwärmung erfolgt über eine zentrale Sonnenkollektoranlage auf dem Flachdach. Der solare Wärmebezug wird nicht verbrauchsabhängig abgerechnet, da die Sonnenenergie kostenlos zur Verfügung steht und die Betriebskosten der Anlage so oder so über Pauschalen verrechnet werden müssen.

Die Dimensionierung der Absorberfläche orientierte sich an einer WW-Verbrauchsannahme von ca. 750 l/d (5 Liter pro Arbeitsplatz und Tag). Angestrebt wurde ein solarer Deckungsgrad von 50%. Ausgehend von einer dazu nötigen spezifischen Absorberfläche von 2.4 m<sup>2</sup> pro Verbrauchseinheit (VE) ergab sich eine Gesamtfläche von 18 m<sup>2</sup>.

### Regulierung

Für die Ladung mit Solarwärme jedes Speicher-Wassererwärmers besteht eine separate Temperaturdifferenz-Steuerung.

### Betriebserfahrungen, Kosten

Die Anlage läuft seit der Inbetriebnahme ohne Störungen. Von Mitte Mai bis Ende September deckt sie den Warmwasser-Bedarf zu 100%. Die durch die Solaranlage verursachten Mehrkosten werden auf Fr. 40 000.– geschätzt. Bezogen auf die gesamte Bausumme sind dies ca. 0,4%.

### Kommentar

Das Beispiel ist insofern unkonventionell, als mit einer zentralen Sonnenkollektoranlage höchst selten mehrere dezentrale Speicher-Wassererwärmer bewirtschaftet werden. Es sind die höheren Investitionskosten, die normalerweise gegen diese Lösung sprechen. Im Hinblick auf eine grössere individuelle Flexibilität bezüglich des Wärmemanagements und die gleichzeitig elegante Lösung der VWKA erscheint die Lösung aber für Gebäude mit unterschiedlichen Nutzern respektive Besitzern durchaus berechtigt und nachahmbar. Die Möglichkeit, für die unterschiedlichen Nutzungseinheiten kleine kondensierende Gasheizkessel einsetzen zu können, ist allerdings eine nahezu unausweichliche Grundvoraussetzung.

Prinzipschema

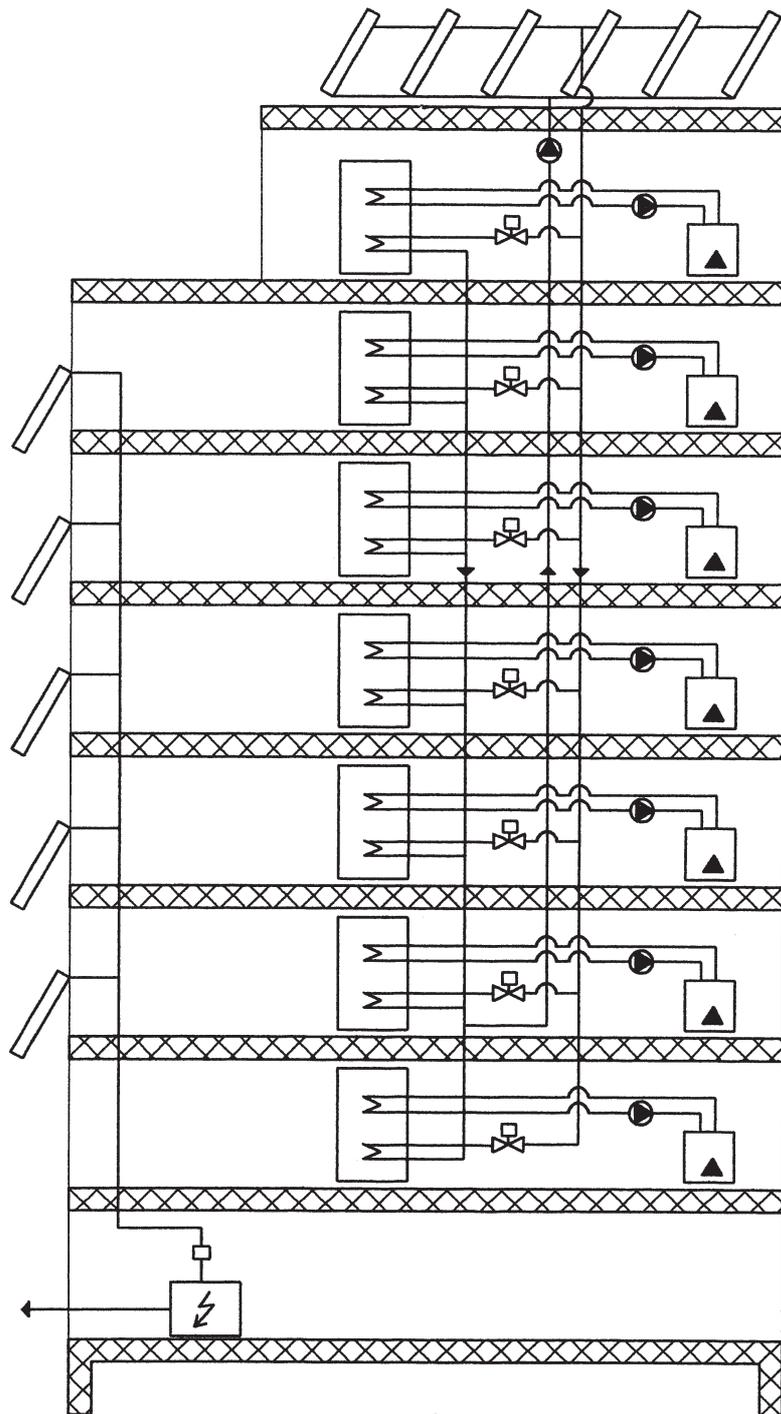


Fig 5.25.1

## EXKURS

### Stromversorgung des Kollektorkreislaufes mit Solarzellen

Folgende Argumente sprechen je nach Anlagentyp oder Sichtweise des Betreibers für den Einsatz von Solarzellen zur Stromversorgung eines Kollektorkreislaufes:

- Schutz vor Überhitzung des Kollektors bei Stromausfall. (Allfällige Nachfüll- und Reparaturarbeiten nach einem Stromausfall können so vermieden werden.)
- Die weitgehende Proportionalität zwischen Volumenstrom und Strahlungsangebot über einen grossen Teil des Arbeitsbereichs verhindert den pulsierenden Pumpenbetrieb bei niedrigen Strahlungswerten.
- Der Kollektorkreislauf wird mit erneuerbarer Hilfsenergie betrieben.
- Eine Netzstrom-Versorgung, wie z.B. bei Berghütten ist sehr aufwendig. (Bei Objekten mit vorhandenem Netzanschluss sind die Investitionskosten im Vergleich zu den eingesparten Energiekosten hoch. Der Energiebedarf einer 60 W-Pumpe bei einer angenommenen jährlichen Laufzeit von ca. 1200 h beläuft sich auf 72 kWh/a entsprechend ca. Fr. 12.–/a.)

#### Voraussetzungen

Auf den ersten Blick liegt der Gedanke nahe, die Kollektorkreis-Pumpe ohne zwischengeschaltete Temperaturdifferenz-Regelung direkt an ein Solarzellen-Modul anzuschliessen. Dieses liefert Strom bei vorhandener Sonnenstrahlung, also just dann, wenn auch die im Kollektor anfallende Wärme abtransportiert werden muss. Dieser Schluss trifft aber nicht ohne weiteres zu: Es kann nämlich vorkommen, dass die Pumpe anläuft, bevor die Kollektortemperatur das nötige Niveau erreicht hat, um Wärme an den Speicher bzw. an den Verbraucher abzugeben. Die Energiebilanz würde dadurch negativ. Ein Direktbetrieb kommt daher nur in Frage, wo sichergestellt ist, dass die Temperatur der Wärmeabgabestelle nicht wesentlich höher liegt als die Umgebungstemperatur des Kollektors (Beispiel: WW-Vorwärm-Anlagen). Die kritische maximale Temperaturdifferenz kann mit Hilfe des  $x$ -Wertes des Kollektors und der elektrischen Daten von Pumpe und Solarzellenmodul berechnet werden. Aus diesen Überlegungen erfolgt die Stromversorgung des Kollektorkreislaufes über Solarzellen im Normalfall analog zu Solaranlagen mit Netzbetrieb über eine Temperaturdifferenz-Regelung.

#### Schaltungstechnik

Damit die Pumpe bei vorhandener Temperaturdifferenz bereits bei kleinem Energieangebot anläuft, muss sie eine

integrierte Anlaufelektronik haben. Andernfalls ist eine separate Anlaufschaltung nötig. Bei beiden Varianten ist der Volumenstrom der Einstrahlung über einen grossen Teil des Arbeitsbereiches nahezu proportional, vorausgesetzt die Pumpen-Kennlinie (elektrisch) schneidet die Solarzellen-Kennlinie unterhalb der sogenannten Maximum-Power-Spannung ( $U_{MPP}$ ). Beide Schaltungen haben aber den Nachteil, dass die Solarzellen-Leistung nur in einem Arbeitspunkt optimal genutzt wird.

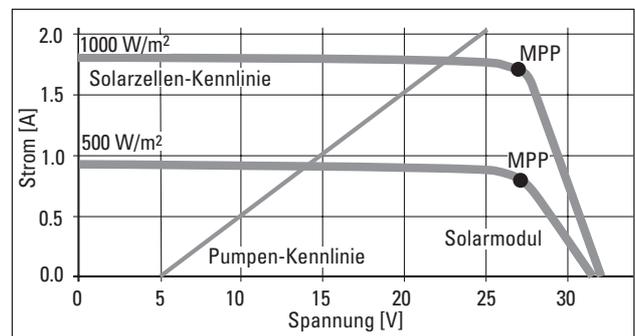


Fig. 5.25.2

Damit die Solarzellen bei allen Bedingungen optimal genutzt werden, ist der Einsatz eines Maximum-Power-Tackers nötig. Er sorgt dafür, dass die Anlage immer in ihrem Maximum-Power-Punkt (MPP) arbeitet. Dies wirkt sich vor allem bei kleiner Einstrahlung positiv aus. Eine Anlaufschaltung ist hier nicht mehr nötig. Andererseits gilt die Proportionalität zwischen Globalstrahlung und Volumenstrom nicht mehr. MPP-Geräte sind teuer und wiegen im Leistungsbereich bis ca. 150 W die Mehrkosten für ein leistungsfähigeres Solarmodul nicht auf.

#### Überhitzungsschutz und nächtliche Rückkühlung

Wo die Regelung und allenfalls eine weitere Kollektorkreis-Pumpe am 230-V-Netz angeschlossen sind, muss sichergestellt werden, dass die ab Solarzellen gespeiste Pumpe bei Netzunterbruch direkt auf das Solarzellenmodul geschaltet wird. So bleibt der Kollektor bei einfallender Strahlung weiter durchströmt und kann sich nicht überhitzen. Der für den reinen Überhitzungsschutz notwendige Volumenstrom liegt weit unterhalb dem für eine optimale Kollektorleistung vorgesehenen Wert. Eine nächtliche Rückkühlung des Speichers über die Kollektoren ist mit Solarzellen naturgemäss nicht möglich. Die überschüssige Energie muss also bei reinem PV-Betrieb tagsüber abgeführt werden. Eine andere Möglichkeit ist der Nachtbetrieb über einen Netztransformator.

Hermann Dammann, ARBA-Strom, Winterthur

## 26 Verwaltungsgebäude: Solaranlagen-Planung als integraler Prozess

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Zürich; 420 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Hauptsitz Hotelplan, Baujahr: 1972 EBF: ca. 5000 m <sup>2</sup> , 250 Arbeitsplätze
<i>Nutzung:</i>	Büros: Mo bis Fr: 8.00 bis 18.00 Uhr Abwartwohnung: permanent
<i>WW-Nutzung:</i>	Büros: 24 Waschtische; Abwartwohnung: üblicher Standard
<i>Wärmeerzeugung:</i>	BHKW (120 kW th.), Ölkessel (560 kW)
<i>Solaranlage:</i>	Erstellungsjahr: 1992
<i>Kollektor:</i>	Flachkollektor, selektiv; Absorberfläche: 21 m <sup>2</sup> (30°, Süden)
<i>Speicher:</i>	Kombispeicher 1150 l
<i>Planung:</i>	Migros Genossenschaftsbund, Zürich



Foto 5.26

### Ausgangslage

Die beiden 500 kW-Ölkessel des Verwaltungsgebäudes waren überdimensioniert und behördlich abgesprochen. Parallel zu ihrem Ersatz sollte das WW-System verbessert werden, das, wie Messungen gezeigt hatten, ausserhalb der Heizperiode einen Nutzungsgrad von lediglich 6% (!) aufwies (inkl. WW-Zirkulation). Auch auf der Heizungsseite galt es, Systemverluste zu vermindern: Insbesondere die Heizgruppe «Abwartwohnung» sollte vom übrigen System so weit entkoppelt werden, dass an Wochenenden, in der Absenkphase der Büroräume, das Warmhalten des gesamten Verteilbalkens und die häufigen kurzen Brennerlaufzeiten vermieden werden konnten. Die Wärmeerzeugung sollte neu durch ein Blockheizkraftwerk ergänzt werden; der Einsatz erneuerbarer Energieträger war erwünscht.

### Planung, Anlagenbeschrieb

Die Idee, die Warmwasserbereitung vor allem im Sommer mit einer Solaranlage abzudecken, lag auf der Hand, zumal die Dachzentrale ideale Möglichkeiten für kurze, günstige Verbindungsleitungen bot. Eine erste, vom bisherigen bekannten WW-Verbrauch ausgehende Variante wurde aus Kostengründen allerdings verworfen. Es ist dem integral denkenden Planer zu verdanken, dass die Solaranlagen-Idee trotzdem nicht unterging. Statt auf einen kostengünstigeren fossilen Energieträger umzusteigen, entschied er sich für folgendes schrittweise Vorgehen: Zuerst wurden sämtliche WW-Zapfstellen im Haus auf mögliche Einsparpotentiale untersucht und diese dann mittels einfacher Massnahmen (Einbau von Durchflussmengen-Konstanthaltern) umgesetzt. Die ganze Aktion, die alle 24 Waschtische betraf, kostete unter Fr. 1000.– und hatte einen Rückgang des WW-Verbrauchs von 70% zur Folge. Der spezifi-

sche Verbrauch sank von 4 bis 12 l auf 1.5 bis 4 l pro Tag und Arbeitsplatz. Aufgrund der neuen Verbrauchswerte konnte die Solaranlage nun bedeutend kleiner ausgelegt werden; die Kosten betragen gerade noch die Hälfte der ursprünglichen Variante.

Die spezifische Absorberfläche wurde bewusst nicht auf WW-Vorwärmung ausgelegt, um ausserhalb der Heizperiode möglichst ohne Zusatzenergie auskommen zu können. Um Überhitzung und Überschüsse an den Wochenenden zu vermeiden, wurde anstelle eines reinen Wassererwärmers ein Kombispeicher mit etwas mehr Volumen eingesetzt, von dem aus auch die Heizgruppe der Abwartwohnung bedient wird. Diese Lösung, die eine gewisse Pufferung ermöglicht, erlaubt es, auf elegante Weise, an Wochenenden in der Heizperiode, wenn über weite Strecken nur die Raumheizung der Abwartwohnung gefordert ist, die Laufzeiten des leistungsstarken Brenners etwas zu verlängern, bzw. die Anzahl Brennerstarts zu vermindern.

### Kosten und Ertrag

Die Gesamtkosten (nicht Mehrkosten!) der Anlage betragen Fr. 34 000.–. Der gemessene spezifische solare Bruttoertrag betrug im ersten Betriebsjahr, noch vor der Anbindung der Heizgruppe «Abwartwohnung», 408 kWh/m<sup>2</sup>.

### Prinzipschema

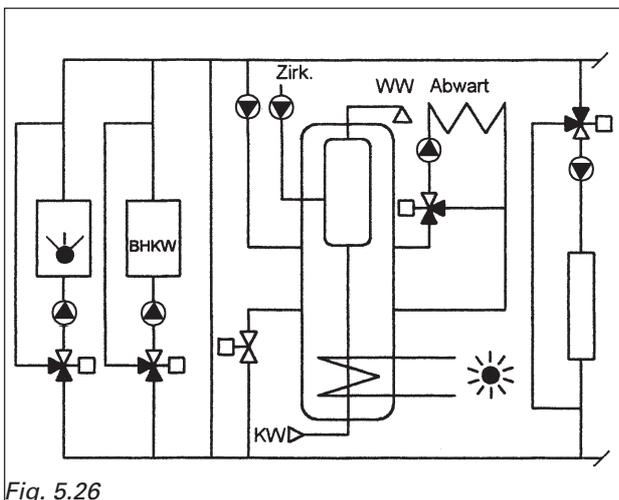


Fig. 5.26

### Kommentar

Das Beispiel führt vor Augen, wie wichtig auch bei einer Solaranlagen-Planung ein schrittweises, integrales Vorgehen ist. Ideale Voraussetzungen boten dazu im vorliegenden Fall verfügbare Messdaten und genügend Zeit, dort, wo diese fehlte, die entsprechenden Erhebungen nachzuholen. Entscheidend für das gute Resultat war dann aber die ganzheitliche Systembetrachtung (vgl. Exkurs folgende Seite): Vergleicht man die gewählte Lösung mit der ursprünglichen Idee, eine Solaranlage ohne begleitende Massnahmen zur rationellen Wassernutzung einzubauen, so fallen nicht nur die um 50% geringeren Investitionskosten auf, weit eindrücklicher präsentiert sich noch die Amortisationsrechnung, die dank gleichzeitig eingesparter Wasserkosten (über Fr. 4.–/m<sup>3</sup>) eine Rückzahldauer von ca. 5 Jahren ausweist!

Für Verwaltungsbauten typisch ist im Vergleich zu Wohnbauten das grössere Verhältnis zwischen dem Energiebedarf für die Raumheizung und dem Energiebedarf für das Warmwasser. Entsprechend schlechter ist das Verhältnis von der Kesselleistung zu der Leistung, die die Warmwasserbereitung erfordert. Dies führt vor allem im Sommer zu häufigen Brennerstarts. Diese auch lufthygienisch problematische Situation kann durch den Einsatz von Sonnenenergienutzung entschärft werden.

## LEKURS

### Rationelle Wassernutzung und Sonnenenergienutzung: Konkurrenz oder ideale Ergänzung?

Während es beim Bau von Heizungsanlagen heute verbreitet ist, vor der Wahl des Energieträgers und der Grössenbestimmung des Wärmeerzeugers zunächst den Bedarf so weit als möglich zu senken, ist ein ähnliches Denken bei der Wasser-Nutzung noch wenig vorhanden. Rationelle Wasser-Nutzung, d.h. Senkung des Wasserbedarfs ohne Dienstleistungseinbussen, wird erst vereinzelt, zur Hauptsache an Orten mit hohen Wassergebühren, aber auch aufgrund wachsender Energiekosten für die WW-Bereitung zum Thema. Beispiele von Gewerbe- und Dienstleistungsbetrieben, Hotels usw. die ihren Wasserverbrauch und damit die Wasserkosten durch den Einbau von Durchfluss-Mengenbegrenzern, automatischen Zeitsteuerungen bei Waschtisch-Armaturen usw. um 25 bis 50% reduzieren konnten, wecken allmählich das Interesse, etwas in dieser Richtung zu tun.

#### *Rationelle Wassernutzung...*

Erfahrungen und Studien zeigen, dass vor allem bei Gebäuden mit hoher Benutzungsfrequenz und entsprechend konstantem Verbrauchsprofil im Bereich der rationellen (Warm-)Wassernutzung beachtliche, in kurzer Zeit amortisierbare Potentiale liegen, deren Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu anderen Massnahmen nachhaltiger Ressourcen-Bewirtschaftung, wie z.B. der Sonnenenergienutzung, bei weitem besser dasteht. Natürlich hören dies Solaranlagen-Planer und -Firmen ungern; sie sehen darob ihr Geschäft in Gefahr. Die Frage ist allerdings, ob rationelle Wassernutzung tatsächlich eine Konkurrenz oder im Gegenteil eine ideale Ergänzung zur Sonnenenergienutzung darstellt.

#### *und Sonnenenergienutzung...*

Folgendes gilt es bei der Beantwortung dieser Frage zu bedenken: Langfristig kann es nur im Interesse der Solaranlagen-Branche liegen, wenn zu Beginn eines Projektes eine seriöse Abklärung der Wasser-Einsparpotentiale durchgeführt und entsprechende Massnahmen getroffen werden. Das Risiko, dass zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführte Wassereinspar-Massnahmen den Ertrag einer zunächst zwar «richtig» dimensionierten, nach einer späteren Sanierung des WW-Systems dann aber zu grossen Solaranlage empfindlich verschlechtern, kann so ausgeschlossen werden.

#### *...das ideale «Gesamtpaket»*

Bietet der Solaranlagen-Planer auch Dienstleistungen im Bereich rationelle Wassernutzung an, kann er allfällige Honorar-Einbussen durch die Verkleinerung der Solaranlage kompensieren. Dabei nutzt er in nicht unwesentlichem Masse Synergien: Die genaue Analyse des Wasser-Verbrauches eines Objektes ist sowohl für die rationelle Wassernutzung als auch für eine erfolgreiche Solaranlagen-Planung eine unverzichtbare Voraussetzung. Die Erfahrungen, die ein Planer dadurch mit den Themen WW-Bedarf und rationelle Wassernutzung sammelt, verhelfen ihm zudem zu wesentlich mehr Sicherheit bei der richtigen Dimensionierung von Solaranlagen. Nicht zuletzt wird der integral vorgehende Planer aber, indem er statt reine Solaranlagen, wirtschaftliche WW-Systeme anbietet, gerade vermehrt Solaranlagen verkaufen, weil sich das Gesamtpaket rationelle Wassernutzung und Solaranlage, wie das Beispiel 26 zeigt, als zahlbare bzw. sich auszahlende Lösung erweist.

*Felix Schmid, Rifferswil*

## 27 Werkhof Strassenunterhalt: Solare Bodenheizung mittels Direkteinspeisung

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Boudry/NE; 440 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Werkhof für Strassenunterhalt, Baujahr: 1994
<i>Bauherr:</i>	Bund und Kanton Neuenburg
<i>Nutzung:</i>	Büros, Garagen, Werkstätten
<i>Beheiztes Volumen:</i>	26500 m <sup>3</sup>
<i>Heizenergiebedarf:</i>	ca. 160 MJ/m <sup>2</sup> a (HGT : 3414)
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Holz/Gas-Kessel (240 kW)
<i>Solaranlage:</i>	WW-Bereitung und Raumheizung
<i>Kollektor:</i>	Unverglaste Chromstahl-Absorber, selektiv Absorberfläche: 100 m <sup>2</sup> (90°, 45° SW)
<i>Speicher:</i>	WW-Bereitung: 2 x 2000 l; Betonboden: 4345 m <sup>2</sup> (Dicke: 20 cm)
<i>Planung:</i>	Planair, La Sagne Geilinger SA, Lausanne

### Ausgangslage

Der Kanton Neuenburg und der Bund, als Bauherren des Objektes, wollten einen Werkhof mit möglichst geringem Energieverbrauch realisieren. Der Wärmebedarf sollte grossenteils mit erneuerbaren Energien gedeckt werden. Für die Sonnenenergienutzung zur Gebäudeheizung sprach das weitgehend tiefe Raumtemperatur-Niveau (Garagen, Werkstätten usw.).

### Planung, Grössenbestimmung

Die Kosten für den gesamten Bau bzw. die Haustechnik waren vorgegeben. Um Sonnenenergie nutzen zu können, musste eine möglichst kostengünstige Lösung gefunden werden. Als erstes entschied man sich für die Verwendung von unverglasten selektiven Chromstahl-Absorbern. Durch die Integration der Absorberelemente in die Südostfassade des Gebäudes, wo sie zugleich die Funktion der Aussenhaut wahrnehmen, konnten zusätzliche Einsparungen bei der konventionellen Fassade erzielt werden. Voraussetzungen für die Verwendung von unverglasten Niedertemperatur-Kollektoren waren:

- Auslegung der Wärmeabgabe auf weitmöglichst reduzierte Temperaturen ( $t_{VL \text{ max.}}$ : 38 °C)
- Weitgehende Vermeidung von Zwischenspeicherung der Solarwärme; d.h. Direkteinspeisung in ein Bodenheizungssystem

Die Heizungsrohre wurden nicht in klassischer Weise verlegt, sondern direkt in die Betonplatte eingegossen; Überzug und Bodenbelag fehlen. Die Dimensionierung der Absorberfläche richtete



Foto 5.27

sich nach der vorhandenen Fassadenfläche. Bei 4345 m<sup>2</sup> beheizter Fläche beträgt die spezifische Absorberfläche 0.023 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> EBF.

**Regulierung**

Die Regulierung erfolgt auf einfache Art durch einen Vergleich zwischen der Solltemperatur für den Heizungsvorlauf und der Temperatur im Vorwärmespeicher der WW-Bereitung. Die Sonnenenergie wird immer dahin geleitet, wo das tiefere Temperatur-Niveau vorliegt. Wichtig ist die Fühlerplatzierung im Heizkreis: Er sollte sich innerhalb des Betonbodens in einer zugänglichen Spezialtauchhülse befinden.

**Ertrag, Kosten**

Die Anlage wird im Rahmen eines Forschungsprojektes des Bundes messtechnisch detailliert ausgewertet. Auf Basis der ersten Resultate hochge-

rechnet betrug der solare Nettoertrag im ersten Betriebsjahr rund 200 kWh/m<sup>2</sup>a. Der solare Deckungsgrad lag damit bei ca. 10%. Die Investitionsmehrkosten betragen Fr. 25 000.– (Fr. 250.–/m<sup>2</sup>). Die Solarwärme kostet damit ca. 0.12 Fr./kWh (Annahmen: Kalkulationszinssatz: 6%, Nutzungsdauer: 20 Jahre).

**Kommentar**

Die Direkteinspeisung von Sonnenwärme in ein Bodenheizungs-System unter Verwendung der Betonböden als Wärmespeicher ist planerisch anspruchsvoll und verlangt ein integrales Vorgehen (siehe Exkurs folgende Seite). Interessant an diesem Beispiel ist die Kombination mit unverglasten Fassaden-Kollektoren, was zu interessanten solaren Wärmekosten führt. Besonders zur Beheizung von Industriebauten könnte dieses Konzept Zukunft haben.

**Prinzipschema**

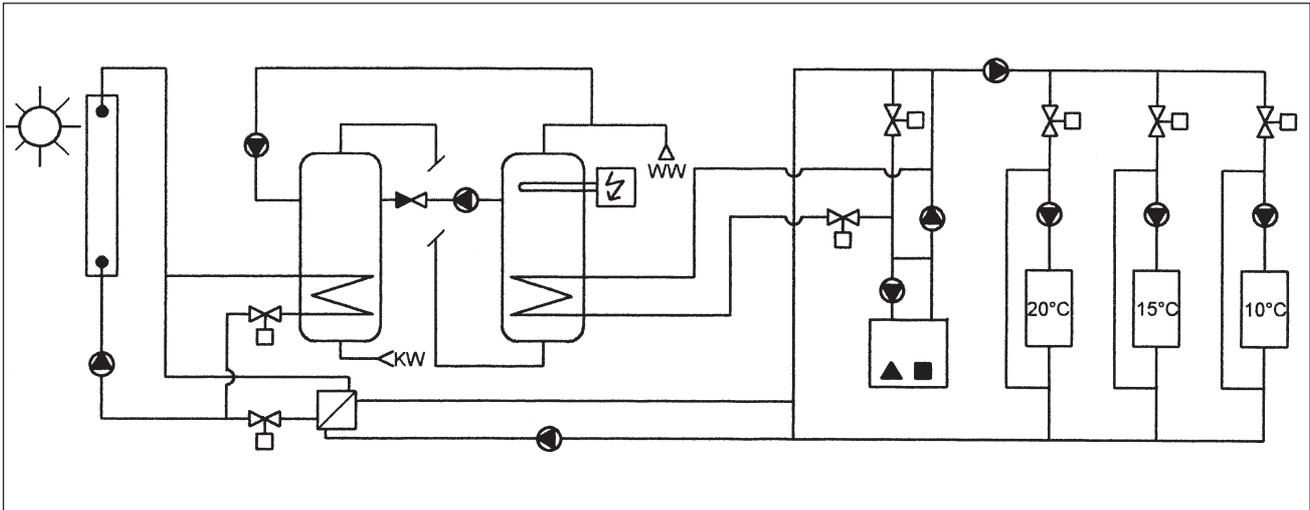


Fig 5.27

## EXKURS

### Plancher solaire

Sonnenenergienutzung zur Heizungsunterstützung mittels Direkteinspeisung von Sonnenwärme in Bodenheizungssysteme wird in der Schweiz noch kaum praktiziert. In Frankreich ist das System unter dem Namen «Plancher solaire» zur Zeit stark im Aufwind; auch Forschungsarbeiten sind im Gang. Die ersten Erfahrungen deuten darauf hin, dass diese einfache Technik in Zukunft als wirtschaftlich interessante Möglichkeit der solaren Raumheizung an Bedeutung gewinnen könnte.

#### Prinzip

Die Sonnenwärme wird in den Zwischen-Jahreszeiten teilweise, im Winter vollständig in ein Bodenheizungssystem eingespeisen. Ein Wasserspeicher, wie er bei heizungsunterstützenden Anlagen normalerweise verwendet wird, braucht es nicht. Massive Bodenkonstruktionen sorgen für die nötige Speicherkapazität. Die solare Bodenheizung dient in der Regel zur Grundlast-Deckung. Für den eigentlichen Komfort sorgt eine Zusatzheizung mit einem leicht regulierbaren, flinken Wärmeabgabe-System (z.B. Konvektoren). Im Sommer und teilweise während den Zwischensaisons wird die Sonnenwärme zur Warmwasser-Bereitung verwendet.

#### Planung und Dimensionierung

Bezüglich Bauart und Haustechnik von Gebäuden, die mittels Plancher solaire beheizt werden sollen, gilt im Grund dasselbe wie für alle Gebäude, die mit irgend einem solaren System beheizt werden:

- Der Wärmeleistungsbedarf sollte weitestgehend reduziert sein.
- Das Heizkonzept sollte dafür sorgen, dass sich aktive und passive solare Elemente nicht konkurrenzieren, sondern ergänzen.
- Der Kollektorkreis sollte mit tiefstmöglichen Systemtemperaturen betrieben werden (Durchfluss: minimal 40 bis 70 l/m<sup>2</sup>). Ein Niedrigsttemperatur-Heizsystem ist dazu Voraussetzung.

Für die Planung der Absorberfläche gilt: Die Kollektoren sollten im Hinblick auf den flachen Sonnenstand im Winter keinenfalls eine Neigung von weniger als 45° aufweisen. Damit wird auch die Übertemperatur-Problematik im Sommer entschärft. Als spezifische Absorberfläche bei gut wär-

megeämmten Wohnbauten werden 0.1 bis 0.13 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> EBF empfohlen. Bezogen auf den Jahres-Heizenergiebedarf wird mit ca. 0.8 m<sup>2</sup>/MWh gerechnet. Bei Gebäuden mit anderer Nutzung muss die Absorberfläche entsprechend der Möglichkeiten, die Sonnenwärme im Sommer anderweitig zu nutzen, angepasst werden.

Wesentlich, zugleich aber anspruchsvoll, ist die Berechnung bzw. Bauart der Speicherböden. Folgende Parameter gilt es zu berücksichtigen:

- Phasenverschiebung zwischen Wärmegewinn und Wärmeabgabe
- Amplitudendämpfung der Oberflächen-Temperaturen
- Speicherkapazität im Hinblick auf die Überbrückung von Schlechtwetter-Perioden
- Regelmässige Wärmeabgabe ohne Übererwärmung des Raumes

Als ideal haben sich in der Praxis Konstruktionen mit ca. 20 cm Beton oberhalb der Heizebene erwiesen, womit das Heizsystem sehr träge wird. Unterhalb der Heizebene empfiehlt sich eine Wärmedämmung. Böden, die nach unten und oben Wärme abgeben, kommen aus schalltechnischen Gründen selten in Frage. Die Verlegung der Bodenheizung erfolgt in konventioneller Technik.

#### Ideale Anwendungsgebiete

- Gebäude und Räumlichkeiten mit niederen Komfort-Solltemperaturen (z.B. Fabrikhallen)
- Räumlichkeiten, deren Nutzung gewisse Schwankungen der Raumtemperatur zulässt
- Räumlichkeiten, die dicke Bodenkonstruktionen erlauben (eingeschossige Bauten ohne Keller).
- Räume, die keine interne Abwärme- oder passive Solar-Gewinne aufweisen (Nordräume)
- Räume mit zeitlich konstanter Nutzung.

*Pierre Renaud, La Sagne; Felix Schmid, Rifferswil*

## 28 Teigwaren-Fabrik: Vorlauftemperaturen bis 120°C

### Steckbrief

<i>Standort:</i>	Huttwil/BE; 655 m ü. M.
<i>Objekt:</i>	Teigwarenfabrik; Baujahr: 1989; Beheiztes Volumen: ca. 8400 m <sup>3</sup>
<i>Bauherr:</i>	W. Leuenberger AG, Huttwil
<i>Nutzung:</i>	Fabrikation von 12.5 Mio. kg Teigwaren und 1.5 Mio. kg Senf pro Jahr
<i>Wärmeleistungsbedarf Prozess:</i>	ca. 700 kW
<i>Wärmeerzeugung:</i>	Ölkessel (750 kW)
<i>Solaranlage:</i>	Teigwaren-Trocknung, Heizung der Labors und Büros
<i>Kollektor:</i>	Vakuurröhren, direktdurchflossen Absorberfläche: 249 m <sup>2</sup> (30°, -26°, Süd-Südost)
<i>Speicher:</i>	35 000 l
<i>Planung:</i>	Schweizer Solartechnologie, Rafz Hurdes Energieconsulting, Langwiesen



Foto 5.28

### Ausgangslage

Die Teigwarenfabrik Huttwil ist die grösste Exporteurin von Schweizer Teigwaren. Mitte der 80er-Jahre plante sie einen Neubau mit vollautomatischer Produktion und Dreischicht-Betrieb. Der Zukunftscharakter der neuen Fabrik sollte nicht nur durch neuste Produktionstechnologie, sondern auch durch eine leistungsfähige Solaranlage zur teilweisen Bereitstellung der Prozesswärme für die Teigwaren-Trocknung manifestiert werden.

### Planung, Anlagenbeschreibung

Im Hinblick auf die Plazierung der Kollektoren wurde das Fabrikdach als Shed konzipiert, wodurch gegenüber einer Flachdach-Lösung eine Unterkonstruktion für die Solaranlage eingespart und gleichzeitig Tageslicht genutzt werden konnte. Die Grösse der Absorberfläche richtete sich nach der zur Verfügung stehenden Dachfläche. An Sommertagen erreicht die Anlage eine Spitzenleistung, die gut einem Drittel des Wärmeleistungsbedarfes für den Prozess entspricht. Sie arbeitet dann direkt auf den Prozesswärme-Rücklauf bei Temperaturen von 95 bis 100 °C. Während der Heizperiode wird die Sonnenwärme in den Rücklauf der Klimaanlage bzw. der Heizgruppen eingespielen (30 bis 50 °C) und ausschliesslich für die Gebäudeheizung verwendet.

Da die Fabrikation über die Wochenenden eingestellt ist und im Sommer Betriebsferien gemacht werden, musste eine Lösung für die Überproduktion bzw. den Überhitzungsschutz gefunden werden. Für die Wärmespeicherung über die Wochenenden wurde ein 35 000 l-Speicher eingebaut. Als Notkühlung bei Überhitzungsgefahr durch plötzli-

che Betriebsunterbrüche kann auf den Kühlturm der Klimaanlage gefahren werden. Während den Ferien wird ein Teil der Kollektoren mit Zeltplanen abgedeckt. Eine Rückkühlung über die Kollektoren ist bei Vakuumröhren aufgrund ihres guten k-Wertes nur bedingt möglich. Der Betriebsdruck in den Kollektoren wird auf ca. 3.5 bar gehalten, um eine hohe Sicherheit vor Verdampfung zu erhalten. Die WW-Bereitung erfolgt von Solaranlage und Kesselbetrieb getrennt über eine WRG von Prozess-Abwärme. Der Grundsatz, WRG und Solaranlage zu trennen, wurde hier eingehalten.

**Regulierung**

Für sämtliche Haustechnik- und Produktionsanlagen wurden speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) eingesetzt. Die Solaranlage wird sowohl über Temperaturdifferenzen als auch über die Solarstrahlung und andere betriebliche Parameter geregelt.

**Betriebserfahrungen**

Wie bei einem Pilotprojekt erwartet, liefen die ersten Betriebsjahre nicht ohne Störung ab. Hauptschwierigkeit bildete der Überhitzungsschutz bei kurzfristigen Produktions-Unterbrüchen. Das aus hygienischen Gründen (Lebensmittelbetrieb!) als Wärmeträger einem technischen Öl vorgezogene Glykolgemisch hält Temperaturen von über 170 °C, wie sie bei Anlagestillstand oder schlechtem Abgleich in einzelnen Strängen des Kollektorfeldes vorkommen können, nicht aus. Dies führte dazu, dass das ganze Leitungssystem einmal vor

Verkokungsrückständen gereinigt und das Frostschutzmittel regelmässig überprüft und nachkonzentriert werden musste. Nach einer für verfahrenstechnische Anlagen üblichen längeren Einregelungs- und Optimierungsphase läuft die Anlage heute problemlos.

**Kosten, Ertrag**

Die durch die Solaranlage bedingten Investitionsmehrkosten werden mit rund Fr. 450 000.– angegeben (ca. Fr. 1400.–/m<sup>2</sup> Absorberfläche). Die Anlage wurde durch die Universität Genf detailliert ausgemessen. Der solare Nettoertrag beträgt ca. 64 MWh/a (257 kWh/m<sup>2</sup>a). Bei einem Ölverbrauch von ca. 400 000 l/a beträgt der solare Deckungsgrad rund 1.7% (Annahme: η Kessel = 85%).

**Kommentar**

Die Teigwarenfabrik Huttwil ist in der Schweiz eines von wenigen Beispielen thermischer Sonnenenergienutzung für industrielle Prozesse (siehe Exkurs). Die Planung solcher Anlagen stellt höchste Ansprüche und muss unbedingt in Zusammenarbeit mit dem für den technischen Prozess zuständigen Verfahreningenieur erfolgen. Insbesondere bei der Verwendung von Hochleistungsvakuumröhren muss der Anlagensicherheit und dem Überhitzungsschutz grösste Bedeutung beigemessen werden. Eine Einregelungs- und Betriebsoptimierungsphase ist in jedem Fall nötig. Typisch für Solaranlagen für industrielle Prozesse ist die hydraulische Einbindung am «kältesten» Punkt, in den Prozesswärme-Rücklauf.

**Prinzipschema**

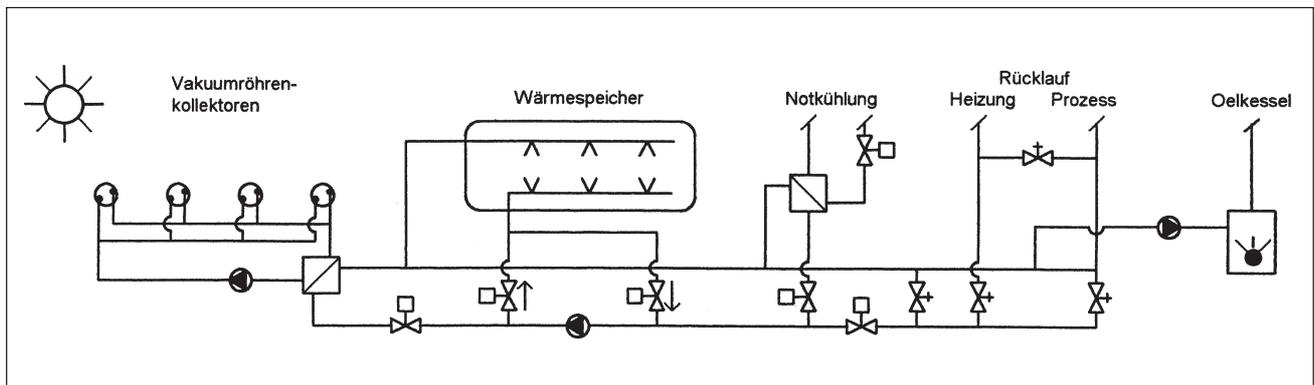


Fig. 5.28

## EXKURS

### Solaranlagen für industrielle Prozesswärme

Die Grösse des Potentials sinnvoller thermischer Sonnenenergienutzung in der Industrie ist umstritten. Tatsache ist, dass in der Schweiz industrielle Anwendungen von Sonnenenergienutzung noch kaum verbreitet sind. Für eine industrielle Nutzung der Sonnenenergie spricht:

- Industrielle Prozesswärme wird im Jahresverlauf in der Regel konstant benötigt.
- In der Industrie können grossflächige Anlagen mit niedrigen spezifischen Kosten gebaut werden.
- Oft sind mehrere bezüglich Leistung, Lastprofil und Temperaturniveau unterschiedliche Wärmeverbraucher vorhanden, was ein optimales Anlagenmanagement erlaubt.

Gegen eine Sonnenenergienutzung spricht oft, dass in den meisten Prozesswärme verbrauchenden Industrien sehr viel Abwärme vorhanden ist, deren Nutzung bedeutend wirtschaftlicher ist als der Einsatz einer Solaranlage. Dazu kommt, dass die zeitliche Überlagerung von Angebot und Nachfrage insbesondere bei Betrieben mit Produktionsunterbruch an Wochenenden und Nachtschichtbetrieb bei der WRG günstiger liegt als bei der Sonnenenergienutzung. Der mögliche Einsatz industrieller Sonnenenergienutzung liegt bei den hiesigen Klimaverhältnissen im Temperaturbereich von 40 bis 100 °C. Unterhalb dieses Bereiches stehen klar WRG und Wärmepumpen-Systeme, darüber WKK-Anlagen im Vordergrund.

#### *Technische Aspekte*

Die wesentlichsten Aspekte für den Bau von Solaranlagen für industrielle Prozesse sind das Anlagenmanagement und die Anlagensicherheit. Wichtig für ein gutes System-Management bzw. eine gute Anlagenausnutzung ist, dass im Winter Verbraucher mit niedrigem Leistungs- und Temperaturbedarf zur Verfügung stehen. Die Solaranlage sollte bei ungenügender Einstrahlung für die Wärmeabgabe an Prozesse mit grossem Leistungsbedarf und relativ hohen Temperaturen nicht leerlaufen müssen. Generell gilt es schon bei der Planung der Prozessanlage, sämtliche Verbraucher auf möglichst tiefe Nutztemperaturen zu optimieren. Die hydraulische Einbindung der Solaranlage erfolgt immer an der «kältesten» Stelle (Rücklauf). Ideal ist, wenn die Betriebszeiten der technischen Prozesse auf die Sonnenenergienutzung hin abgestimmt werden können. Dauerbetrieb während den Tagstunden und das Vermeiden von Betriebsunterbrüchen an Wochenenden sind ideal.

Bezüglich der Anlagensicherheit stehen der Überhitzungsschutz und die Vermeidung von Dampfbildung, d.h. Möglichkeiten zur Systemkühlung sowie eine geeignete Regelung und Materialwahl im Vordergrund. Besondere Beachtung erfordern das Verhalten der Kollektoren bei Anlagenstillstand, die Stagnationstemperatur und die Eigenschaften bzw. die Wahl des Wärmeträger-Mediums.

*Felix Schmid, Rifferswil*

# Schlusswort:

## Der Kunde ist König! – Erhält der König, was er begehrt?

### Ingenieurleistungen für Solaranlagen kritisch beleuchtet:

#### Wünsche der Bauherrschaft

Die Bauherrschaft will in allererster Linie Sonnenwärme nutzen. Sie reduziert damit ihren Bedarf an nicht erneuerbarer Energie wie Heizöl oder Gas. Gleichzeitig erhöht sie ihre Unabhängigkeit in der Energieversorgung und schliesst eine Art Versicherung gegen Energiepreis-Erhöhungen ab. In vielen Fällen will die Bauherrschaft ihre fortschrittliche Einstellung auch kundtun. Die Kollektoren dürfen gesehen werden; sie sollen den Bau bereichern, nicht verunstalten. Der eine oder andere Besitzer einer Solaranlage wird dem Besucher auch Speicher und Pumpen vorführen wollen – je üblicher die Nutzung von Sonnenenergie wird, desto weniger wird dies der Fall sein.

#### Das Standardangebot des Ingenieurs

Der Ingenieur erhält am ehesten dann die Gelegenheit, eine Solaranlage zu planen, wenn er bereits mit der Heizungs- oder Sanitärplanung beauftragt ist oder wenn er die Bauherrschaft bei einer anderen Gelegenheit kennengelernt hat. Er ist also mit dem Umfeld vertraut. Eine Solaranlage hat er möglicherweise schon einmal gebaut. Eine Spezialisierung auf Solartechnik besitzt er jedoch nicht, sind es doch Einzelfälle, in denen neben der üblichen Hautechnik eine Solaranlage zu planen ist. Er wird sich darum nach kurzem Studium der Fachliteratur und ein paar mit einem PC-Simulationsprogramm aufgewendeten Stunden möglicherweise schon in der Vorprojektphase, spätestens aber in der Projektphase an einige bekannte Spezialfirmen wenden und Offerten verlangen. Er erhält diese gratis – so ist es üblich!

Zentraler Punkt einer Ausschreibung ist die produkteneutrale Gestaltung. Der Ingenieur steht vor dem Dilemma: Soll er Standardlösungen von Solaranlagen-Spezialfirmen berücksichtigen, um so kostengünstige und in sich optimierte Anlagen zu erhalten? Oder soll er die Materialien so ausschreiben, dass er mehrere, bis ins Detail gleiche und vergleichbare Angebote erhält? Er wird häufig, so ist es Usanz, die letztere Variante wählen. Dabei wird er einerseits aus den vorliegenden Offerten zitieren, andererseits bei den einzelnen Komponenten, trotz gewünschter Neutralität, Produktnamen mit dem Zusatz «oder gleichwertig» aufführen. Dem spezialisierten Unternehmen nimmt er jedoch die Chance, dank Standardlösungen und

grosser Erfahrung sein kostengünstigstes Angebot direkt der Bauherrschaft zu unterbreiten.

Die (Fach-)Bauleitung liegt selbst bei grösseren Objekten nicht immer in den Händen des Ingenieurs. Bei der Inbetriebsetzung ist er dann meistens anwesend und nimmt die Anlage ab. Er erhält dadurch eine Rückmeldung über die Realisierbarkeit und Zweckmässigkeit seiner Planung. Doch prüft der Ingenieur anlässlich der Abnahme auch, was die Bauherrschaft interessiert? Welche Kugelhahnen montiert sind, ist dieser höchstwahrscheinlich egal. Gerade Bauherren von Grossanlagen möchten aber erfahren, ob der tatsächliche Ertrag auch dem erwarteten entspricht. Dies zu beurteilen, wäre nur durch eine ein- bis zweijährige Anlagebegleitung möglich, die im Standardfall allerdings meistens nicht mehr zur offerierten Ingenieurleistung gehört. Damit entfällt oft auch eine Betriebsoptimierung, die richtig nur über eine gewisse Betriebszeit erfolgen kann.

#### Der optimale Beitrag des Ingenieurs

Als optimal wird im Nachfolgenden ein möglichst grosses Verhältnis von Nutzen zu Aufwand verstanden. Es erscheint plausibel, dass das Optimum dann erreicht wird, wenn jeder Beteiligte dort seinen Beitrag leistet, wo seine Stärken liegen. Der Beitrag des Ingenieurs sieht dann wie folgt aus:

#### Eignungsabklärung

Aufgrund seiner guten Kenntnisse von Objekt respektive Bauherrschaft beurteilt er das Objekt auf seine Eignung für die Nutzung von Sonnenenergie und wägt diese gegenüber konkurrenzierenden Lösungen ab. Er erstellt ein Konzept bzw. wählt eine Standardlösung aus und nimmt nach der sorgfältigen Abklärung des tatsächlichen Wärmebedarfs eine Grobdimensionierung vor. Eine grobe Kostenschätzung ermöglicht der Bauherrschaft, den Grundsatzentscheid für oder gegen eine Solaranlage zu fällen. Als unabhängiger Berater hat der Ingenieur keine finanziellen oder andere Interessen, welche ihn daran hindern würden, gegebenenfalls der Bauherrschaft gar vom Bau einer Solaranlage abzuraten.

#### Pflichtenheft

Statt einer Ausschreibung erstellt der Ingenieur ein Pflichtenheft (vgl. «ENS – Empfehlungen zur Nutzung von Sonnenenergie»). Er formuliert damit die Ziele und lässt dem Unternehmer den Weg zur Erreichung derselben (mindestens zum Teil)

offen. Allerdings lässt sich das häufigste Ziel, ein bestimmter, möglichst hoher System-Ertrag, heutzutage erst aufwendig und eingeschränkt kontrollieren und damit auch vorgeben. Die Entwicklung einer standardisierten Kurztestmethode ist bis heute noch nicht bis zur Praxisreife fortgeschritten. In Ermangelung eines

Besseren wird daher bei der Formulierung von Qualitätszielen gerne auf die Resultate der Kollektoren-Typenprüfung der Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle am Technikum Rapperswil zurückgegriffen. Diese lassen wohl einen gewissen Leistungsvergleich zwischen den handelsüblichen Kollektoren zu, sind aber für den effektiven Ertrag bzw. das Kosten-Nutzen-Verhältnis eines ganzen Systems nur bedingt relevant.

*Offertvergleich*

Ein Offertvergleich durch den Ingenieur hilft der Bauherrschaft bzw. dem Architekten, die Wahl des Unternehmers zu treffen. Sowohl Offertvergleich wie auch die spätere Bauleitung werden bedeutend erleichtert, wenn die gesamte Solaranlage von einem einzigen Unternehmer angeboten wird.

*Abnahme*

Die Erfahrung lehrt, dass trotz Trend zu mehr Selbstkontrolle (Stichwort: Qualitätssicherung nach ISO 9001) eine Anlagenabnahme durch den Ingenieur als Vertreter des Bauherrn vorgenommen werden soll.

*Erfolgskontrolle und Betriebsoptimierung*

Bei grossen Solaranlagen besteht eine der wichtigsten Ingenieuraufgaben in der Anlagenoptimierung bzw. Erfolgskontrolle während der ersten Betriebszeit. Oft wird diesen Punkten zu wenig

Beachtung geschenkt, obwohl gerade darin ein grosses Potential zur Nutzungssteigerung einer Anlage liegt.

*Fazit*

Drei der fünf oben aufgeführten Ingenieurleistungen können in Form von Beratungsgesprächen bzw. Begehungen mit kleinem Aufwand erbracht werden. Bei kleinen Solaranlagen fallen die tendenziell grössenunabhängigen Kosten der Ingenieurleistungen stark zu Buche. Ingenieurleistungen sollten daher, falls überhaupt nötig, auf ein Minimum beschränkt sein. Bei Grossanlagen lohnt es sich, unter mehreren Unternehmerangeboten dasjenige mit dem besten Kosten/Nutzen-Verhältnis auslesen zu können. Hier ist der Ingenieur gefragt. Eine Empfehlung, für welchen Fall welche Ingenieurleistungen optimal sind, findet sich in der untenstehenden Tabelle.

**Die Chancen des Unternehmers**

Dank dem oben beschriebenen sogenannten optimalen Beitrag des Ingenieurs bieten sich dem Unternehmer folgende Chancen:

- Die vorgängige Eignungsabklärung durch einen Ingenieur und der bereits erfolgte Grundsatzentscheid der Bauherrschaft verringert die Zahl erfolgloser Offertstellungen.
- Das Pflichtenheft erlaubt dem Unternehmer, seine Standardlösungen und -produkte einzusetzen. Er kann damit seine Leistung direkt zugunsten der Bauherrschaft leisten. Auf Basis des Pflichtenheftes erhält diese direkt vergleichbare Offerten.

**Ingenieurleistungen für Solaranlagen**

<b>Objekt</b>	<i>optimaler Leistungsumfang</i>	<i>eventuelle Zusatzleistungen</i>
<i>Einfamilienhaus</i>	keine Ingenieurleistung	Eignungsabklärung, Offertvergleich
<i>Mehrfamilienhaus</i>	Eignungsabklärung, Pflichtenheft, Offertvergleich, Abnahme	Bauleitung, Betriebsoptimierung
<i>Grossüberbauung, Spezialfälle</i>	Eignungsabklärung, Projekt, Pflichtenheft oder Ausschreibung, Offertvergleich, Bauleitung, Abnahme, Erfolgskontrolle und Betriebsoptimierung	Variantenvergleich

Bietet der Unternehmer sämtliche Leistungen als Generalunternehmer oder Bauteam (vom Energie-2000-Ressort «Wohnbauten und Gewerbe» wieder empfohlene Art der Zusammenarbeit), so erhöht er sein Auftragsvolumen, gewinnt an Freiheit in der Abwicklung und vertieft den Kundenkontakt.

### **Zusammenfassung**

- Die Kontrolle des massgebenden Nutzens einer Solaranlage (Wärme) ist bei kleineren und mittleren Anlagen ohne entsprechende Messungen (des Solarertrages und des Verbrauchsprofils) und deren Auswertung mindestens heute noch nicht möglich.
- Die heute üblichen Standardleistungen des Ingenieurs gehen zum Teil (vor allem bei Kleinobjekten) über die tatsächlichen Bedürfnisse der Kunden hinaus. Oft erhält die Bauherrschaft aufgrund der Ausschreibung eine zwar exakt den Materialvorgaben entsprechende, aber zu teure Anlage.
- Die oben erwähnten optimalen Ingenieurleistungen erhält der Kunde vom Ingenieur zu bedeutend tieferen Honorarkosten als die Ingenieur-Standardleistungen. Dank dem Pflichtenheft werden die wesentlichen Funktionen bei ebenfalls tieferen Baukosten erfüllt. Die zusätzliche Verantwortung und Handlungsfreiheit beim (spezialisierten) Unternehmer erhöht die Qualität. Die Kontrolle durch den Ingenieur stellt die Qualität sicher.

Peter Graf, Zürich



# Literatur- und Quellenverzeichnis

- Advanced Solar DHW Working Group  
**«Advanced solar domestic hot water systems»**  
Final report of the International Energy Agency  
IEA, SHACP Task 14; ca. 200 S.; Bezug bei: SPF-  
ITR, Postfach 1475, 8640 Rapperswil
- Baumgartner, T. et al.  
**«Heizsysteme für Energiesparhäuser»**  
110 S.; Impulsprogramm Haustechnik; Bundes-  
amt für Konjunkturfüragen, 3003 Bern, 1987
- Blum, Bernhard et al.  
**«Solare Warmwassererzeugung»**  
Realisierung, Inbetriebnahme und Wartung  
215 S.; Pacer 1993/1995 EDMZ 724.213
- Bösch, Karl et al.  
**«Warmwasserversorgung heute»**  
180 S., AT Verlag, Aarau, 1984
- Bremer, P. et al.  
**«Sonnenenergie: Saisonspeicherung»**  
Tagungsband zu gleichnamiger Fachtagung  
vom 18.-19. Oktober in Bern  
ca. 100 S., Organisation/Verlag: ENET, Sorane  
SA; Lausanne, 1990
- Bremer, P. et al.  
**«Meteonorm»**  
Theorie für den Solarplaner  
BEW, 1985
- Bremer, P. et al.  
**«CISBAT '95»**  
Solarwärmeforschung in der Schweiz – Archi-  
tektur und nachhaltige Entwicklung  
150 S., Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern  
1995
- Frei, Ueli et al.  
**«Leistungsdaten thermischer Sonnenkol-  
lektoren»**  
BEW/1991 (wird periodisch ergänzt)
- Fux, Otto et al.  
**«SI-Handbuch»**  
VSSH Vereinigung schweizerischer Sanitär- und  
Heizungsfachleute/1992
- Georg Fischer AG  
**«Sonnenenergie für die Erzeugung indu-  
strieller Prozesswärme»**  
97 S.; Schriftenreihe des Bundesamtes für Ener-  
giewirtschaft, Studie Nr. 15; Vertrieb: EDMZ;  
Bern, 1981
- Graf, Peter  
**«Kosten und Nutzen von thermischen So-  
laranlagen»**  
Studie im Auftrag des Aktionsprogramms Ener-  
gie 2000  
105 S., Basler+Hofmann, Ingenieure, Zürich,  
1995
- Graf, Peter et al.  
**«Empfehlungen zur Nutzung von Sonnen-  
energie»**,  
ca. 150 S., SOFAS, Zürich, 1995 (in Arbeit)
- Hediger, Herbert et al.  
**«Elektrische Wassererwärmung»**  
152 S. RAVEL 1993, EDMZ 724.349
- Jenni, Josef  
**«Sonnenenergieanlagen mit hohem sola-  
rem Deckungsgrad»**,  
34 S., Jenni Energietechnik AG, Oberburg, 1992
- Kannewischer, Bernd  
**«Rationelle Energienutzung in Hallenbä-  
dern»**  
Bericht des Bundesamtes für Energiewirtschaft  
BEW; 43 S.; EDMZ; Bern, 1993
- Kannewischer, Bernd  
**«Sonnenbeheizte Freibäder»**  
Artikel in der Zeitschrift «Umwelttechnik», 3/90;  
Cicero-Verlag AG; 8021 Zürich, Mai/Juni 1990
- Krebs, G. et al.  
**«Installations solaires de prechauffage de  
l'eau chaude sanitaire»**  
Heft der Serie «Les cahiers du Service du chauf-  
frage» der Stadt Genf, Nr. 3/1990; 20 S.; Baude-  
partement der Stadt Genf, 1990

- Kudlek, Josef et al.  
**«Thermische Solarenergienutzung im Geschosswohnungsbau am Beispiel des Neubaugebietes Rieselfeld»**  
Diplomarbeit mit Schwerpunkt «Solare Nahwärmeversorgung», ca. 140 S., Ingenieurschule beider Basel, Muttenz, Nachdiplomstudium Energie, Freiburg i.Br., 1994
- Mühlemann, E. et al.  
**«Analyse von Solaranlagen des Amtes für Bundesbauten»**  
Studie im Auftrag des AfB  
87 S., Dr. Eicher+Pauli Ingenieure, Bern, 1995
- Rauber, M. et al.  
**«Planungsgrundlagen für Wassererwärmer»**  
Impulsprogramm RAVEL Haustechnik, 46 S., EDMZ, Bern, 1984
- Roulet, Claude-Alain et al.  
**Solare Wassererwärmungsanlagen**  
Bundesamt für Konjunkturfragen, 182 S., 1988, EDMZ 724.622
- Schläpfer, B. et al.  
**«Planung solarer Wassererwärmungsanlagen»**  
Kurzfassung, ca 25 S., SOFAS, Zürich, 1987
- Schmid, Christoph  
**«Heizungs- und Lüftungstechnik»**  
Bau und Energie, 121 S., Verlag der Fachvereine Zürich
- Schneiter, P. et al.  
**«Praxisgerechte Regeln zur optimalen Planung und Ausführung von Sonnenenergieanlagen»**  
Schlussbericht, ca. 80 S., SOFAS, Zürich, 1983
- Schulz, Heinz  
**«Wärme aus Sonne und Erde»**  
140 S.; 3. überarbeitete und erweiterte Auflage; Ökobuch Verlag; D-79216 Staufen, 1995
- Weber, H. et al.  
**«Ein Wildbach unter Wasser»**  
6 S., EIR Würenlingen
- Weber, H. et al.  
**«Optimierung eines Warmwasserspeichers»**  
8 S., EIR, Würenlingen