

# Auslegung von Anlagen zur Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie im Schweizerischen Mittelland

Autor(en): **Zogg, Martin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **95 (1977)**

Heft 46

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73489>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Auslegung von Anlagen zur Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie im Schweizerischen Mittelland

Von Martin Zogg, Burgdorf

Im folgenden wird eine einfache Methode zur Auslegung von Warmwasserbereitungsanlagen mit Flachkollektoren angegeben. Sie beruht auf Ergebnissen einer mit Stundenwerten der direkten und diffusen Strahlung auf eine Horizontalfläche, der Temperatur und der Windgeschwindigkeit in Zürich-Kloten von 1964 bis 1972 durchgeführten Rechnersimulation [1]. Die folgenden Angaben gelten streng nur für Zürich-Kloten. Sie können aber mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit aufs ganze Schweizerische Mittelland übertragen werden. Voraussetzung für die Anwendung dieser Unterlagen ist eine sehr gute Wärmeübertragung vom Absorber an den Speicherinhalt. Diese wird nur durch entsprechend gross bemessene Wärmeübertragungselemente oder eine direkte Speicherwassererwärmung im Absorber (mit Nacht- und Winterentleerung) sichergestellt.

### Ergebnisse der Computersimulation für Zürich-Kloten

In [1] sind drei Varianten einer einfachen Anlage zur Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie in Kombination mit vier einfach und vier doppelt abgedeckten Flachkollektoren numerisch untersucht worden. Die Rechnungen stützen sich auf durch die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt in Zürich-Kloten gemessene meteorologische Daten. Da der Rechnungsgang in [1] ausführlich dargestellt ist, genügt es, hier die wesentlichsten Annahmen nochmals zusammenzustellen:

1. Übers ganze Jahr gleichbleibender Warmwasserbedarf.
2. Verbraucherseitige Fremdenergiezufuhr bei Speichertemperaturen unter 40 °C und Kaltwasserbeimischung bei Speichertemperaturen über 40 °C.

Tabelle 1. Daten der in [1] untersuchten Flachkollektoren  $s_{G1}$ : Dicke der äusseren Scheibe,  $s_{G2}$ : Dicke der inneren Scheibe,  $n$ : Brechzahl,  $\alpha_n$ : natürlicher Absorptionskoeffizient,  $\alpha_{nd}$ : natürlicher Absorptionskoeffizient für diffuse Strahlung,  $\epsilon_{aA}$ : Absorptionskoeffizient des Absorbers,  $\epsilon_A$ : Emissionskoeffizient des Absorbers

Kollektor	Scheiben			Absorber			
	$s_{G1}$ [m]	$s_{G2}$ [m]	$n$ [—]	$\alpha_n$ [1/m]	$\alpha_{nd}$ [1/m]	$\epsilon_{aA}$ [—]	$\epsilon_A$ [—]
1-1 schwarzer Absorber	0,004	—	1,5	18	22	0,95	0,95
1-2 selektiver Absorber	0,004	—	1,5	18	22	0,95	0,15
1-3 selektiver Absorber und geringe Reflexions- und Absorptionsverluste	0,004	—	1,152	9	11	0,95	0,15
1-4 keine optischen Verluste ideal selektiver Absorber	0,004	—	1,0	0	0	1,0	0
2-1 schwarzer Absorber	0,004	0,002	1,5	18	22	0,95	0,95
2-2 selektiver Absorber	0,004	0,002	1,5	18	22	0,95	0,15
2-3 selektiver Absorber und geringe Reflexions- und Absorptionsverluste	0,004	0,002	1,152	9	11	0,95	0,15
2-4 keine optischen Verluste ideal selektiver Absorber	0,004	0,002	1,0	0	0	1,0	0

3. Nach Süden orientierter Kollektor.
4. Konstante Kaltwasserzulauftemperatur von 10 °C.
5. Verwendung eines Speichers mit örtlich konstanter Innentemperatur.

Die untersuchten Flachkollektortypen sind in der Tabelle 1 aufgeführt. Die erzielbaren Jahresnutzwärmen, Nutzwärmen im Sommerhalbjahr und Zeitanteile für Warmwassertemperaturen über 40 °C sind stark von dem auf die Absorberfläche bezogenen Warmwasservolumenstrom abhängig. Deshalb werden die Ergebnisse aus [1] zweckmässig über diesem bezogenen Wasservolumenstrom aufgetragen. Die Bilder 1 und 2 zeigen die interessierenden Grössen für gewöhnliche, einfachverglaste Kollektoren in dieser Darstellung. Man erkennt daraus die mit grösser werdendem bezogenen Warmwasservolumenstrom zunehmenden Nutzwärmen bei gleichzeitiger Abnahme des Zeitanteils für fremdenergiefreie Warmwassertemperaturen über 40 °C im Sommerhalbjahr. Ab einem bezogenen Warmwasservolumenstrom von rund 0,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d wird die geforderte Warmwassertemperatur von 40 °C überhaupt nicht mehr erreicht. Die in die Bilder eingetragenen Punkte A, B und C geben die Ergebnisse für die in der Tabelle 2 aufgeführten Anlagenvarianten wieder. Die Bilder 1 und 2 gelten nur für nach Süden orientierte Kollektoren 1-1 mit einem Neigungswinkel von 40°, einem bezogenen Speichervolumen von 3 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> und einer bezogenen Absorberwärmekapazität von 9520 J/m<sup>2</sup> K. Für die Auslegung von Anlagen zur Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie sind deshalb die Einflüsse dieser Grössen auf die Nutzwärme und den Zeitanteil für Warmwassertemperaturen über 40 °C von Interesse.

Da zum Einfluss der Abweichung von der Südorientierung keine eigenen Untersuchungen durchgeführt wurden, wird dazu auf die Angaben von Schmid [2] verwiesen. Danach sind für Kollektororientierungen von Süden (Azimut 0°) bis Südwesten (Azimut 45°) bei einem Neigungswinkel von 45° nur geringe Korrekturen der Nutzwärme zu erwarten. Die Höchstwerte der Jahresnutzwärme und der Nutzwärme im Sommerhalbjahr liegen bei einem Azimut von rund 22,5°.

Die übrigen Einflussgrössen werden nachstehend aufgrund eigener Rechnungen besprochen.

### Einfluss des Kollektortyps

Wie Bild 3 zeigt, lassen sich zur Warmwasserbereitung durch technisch realisierbare kollektorseitige Verbesserungen gegenüber dem gewöhnlichen, einfachverglasten Flachkollektor (Typ 1-1) nur geringfügig höhere Jahresnutzwärmen erreichen. Der gewöhnliche Zweischeibenkollektor (Typ 2-1) ist dem Einscheibenkollektor etwa ebenbürtig. Er kommt also zum Zweck der ausschliesslichen Warmwasserbereitung kaum in Frage. Eine Verbesserung der Jahresnutzwärme um rund 8% lässt sich durch eine gute selektive Beschichtung des Absorbers eines Einscheibenkollektors (Typ 1-2) erzielen. Flachkollektoren mit den Eigenschaften der Typen 1-3 und 2-3 lassen sich kaum wirtschaftlich und solche mit den Eigenschaften der Typen 1-4 und 2-4 überhaupt nicht realisieren.

Tabelle 2. In [1] untersuchte Anlagevarianten

	Einheit	Variante		
		A	B	C
Gesamtoberfläche der Absorber	m <sup>2</sup>	10	10	10
Warmwassertemperatur	C	40	40	40
Warmwasservolumenstrom	m <sup>3</sup> /s <sup>1)</sup>	3,472 · 10 <sup>-6</sup>	6,944 · 10 <sup>-6</sup>	1,389 · 10 <sup>-5</sup>
	m <sup>3</sup> /d	0,2	0,4	0,8
Speichervolumen	m <sup>3</sup>	0,6	1,2	2,4
	J/K	2,58 · 10 <sup>6</sup>	5,16 · 10 <sup>6</sup>	1,03 · 10 <sup>7</sup>
Wärmekapazität Speicher, Absorber und Verbindungsleitungen mit Inhalt	J/K	2,70 · 10 <sup>6</sup>	5,28 · 10 <sup>6</sup>	1,04 · 10 <sup>7</sup>
	Mittlere Dichte, Brauchwasser	kg/m <sup>3</sup>	996	996
Mittlere spezifische Wärme, Brauchwasser	J/kgK	4178	4178	4178
	Produkt aus Wärmedurchgangskoeffizient und Speicheroberfläche	W/K	1,68	2,67

1) von 0600 bis 1900

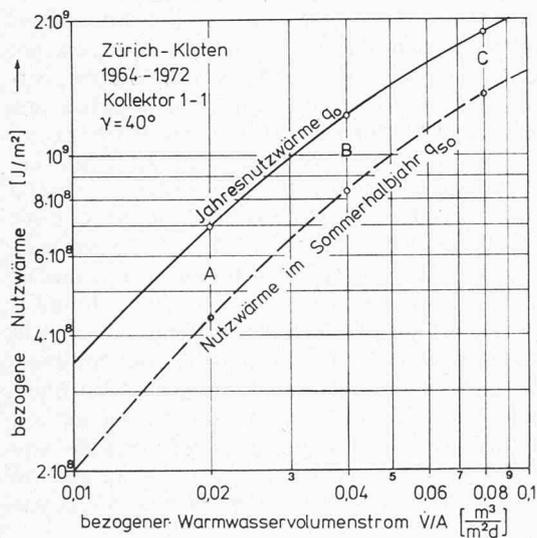


Bild 1. Auf die Absorberfläche bezogene Jahresnutzwärme und Nutzwärme im Sommerhalbjahr bei einer minimalen Warmwassertemperatur von 40 °C. (10<sup>9</sup> J/m<sup>2</sup> = 277,8 kWh/m<sup>2</sup>). Mittelwerte 1964 bis 1972

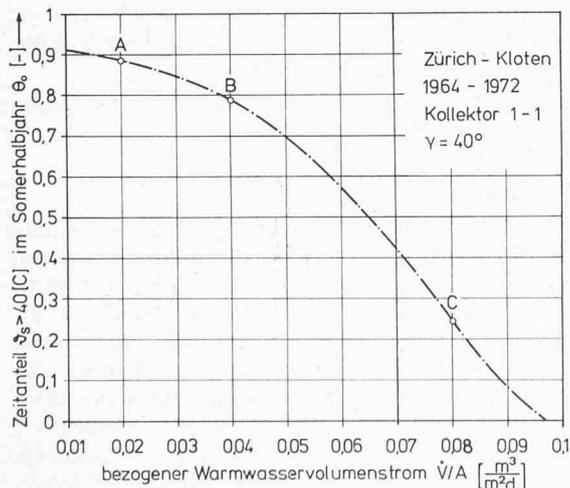


Bild 2. Zeitanteil für eine Speichertemperatur über 40 °C im Sommerhalbjahr ohne Zusatzwärme mit Fremdenergie. Mittelwert 1964 bis 1972

Das Bild 3 wurde für die Anlagevariante B (Tabelle 2) mit einem bezogenen Warmwasservolumenstrom von 0,04 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d errechnet. Es kann aber näherungsweise im ganzen Bereich des bezogenen Warmwasservolumenstroms von 0,01 bis 0,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d benützt werden, da sich damit Fehler unter rund 3% für die Kollektoren 1-2, 2-1 und 2-2 und unter etwa 5% für die Kollektoren 1-3 und 2-3 ergeben.

Bild 4 ist zu entnehmen, dass sich kollektorseitige Verbesserungen auf den ohne Fremdenergie erreichbaren Zeitanteil für Warmwassertemperaturen über 40 °C im Sommerhalbjahr deutlicher auswirken. Auch hier ist die selektive Absorberbeschichtung des Einscheibenkollektors am einträglichsten. Das Zeitanteilverhältnis lässt sich dadurch um rund 10% erhöhen.

Bild 4 gilt für einen bezogenen Warmwasservolumenstrom von 0,04 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d. Das darin wiedergegebene Zeitanteilverhältnis z'<sub>4</sub> lässt sich aber mit der folgenden Näherung auf den ganzen Bereich des bezogenen Warmwasservolumenstroms von 0,01 bis 0,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d umrechnen:

$$(1) \quad z_4 \approx 1 + \frac{1 - \Theta_0}{0,215} (z'_4 - 1)$$

Darin bedeuten  $\Theta_0$  den aus dem Bild 2 für einen beliebigen bezogenen Warmwasservolumenstrom bestimmten Zeitanteil, z'<sub>4</sub> das dem Bild 4 entnommene Zeitanteilverhältnis und z<sub>4</sub> das auf den betreffenden Warmwasservolumenstrom korrigierte Zeitanteilverhältnis.

#### Einfluss des Kollektorneigungswinkels

Die Bilder 5, 6 und 7 zeigen die Abhängigkeit der Jahresnutzwärme, der Nutzwärme im Sommerhalbjahr und des Zeitanteils für Warmwassertemperaturen über 40 °C im Sommerhalbjahr vom Kollektorneigungswinkel (Winkel zwischen der Horizontal- und der Kollektorebene). Die drei eingetragenen Kurven gelten für die bezogenen Warmwasservolumenströme 0,02 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d (A), 0,04 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d (B) und 0,08 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d (C). Die Korrekturfaktoren für andere Werte des bezogenen Warmwasservolumenstroms können daraus durch Interpolation ermittelt werden.

#### Einfluss der Wärmekapazität des Absorbers

Während der täglichen Erwärmung des Absorbers auf Betriebstemperatur kann dieser keine Wärme an den Speicher abgeben. Der tägliche Aufheizvorgang verläuft um so langsamer, je höher die Wärmekapazität des Absorbers samt Inhalt ist. Das Bild 8 zeigt, wie die Jahresnutzwärme, die Nutzwärme im Sommerhalbjahr und der Zeitanteil für Warmwassertemperaturen über 40 °C im Sommerhalbjahr von der Wärmekapazität des Absorbers abhängt. Man erkennt daraus, dass auch die Wärmekapazität ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung von Flachkollektoren darstellt. Die Kunst der Absorberauslegung besteht darin, Kollektoren mit kleiner Wärmekapazität aber trotzdem guten Wärmetransporteigenschaften zu finden. Falls der Absorber erst nach der Erwärmung mit dem Wärmeübertragungsmittel gefüllt wird, kann die wirksame Wärmekapazität stark reduziert werden. Als Wärmeübertragungsmittel kann dann erst noch gewöhnliches Leitungswasser Verwendung finden.

#### Einfluss der Speichergrosse

Der Einfluss des Speichervolumens auf die Jahresnutzwärme, die Nutzwärme im Sommerhalbjahr und den Zeitanteil für Warmwasser über 40 °C im Sommerhalbjahr wurde für die Jahre 1970 (schlechtestes der Jahre 1964 bis 1972) und 1967 (bestes der Jahre 1964 bis 1972) berechnet. Es ergaben sich dabei in der im Bild 9 gezeigten Darstellung so geringe Unterschiede, dass die Mittelwerte des Bildes 9 allgemein übernommen

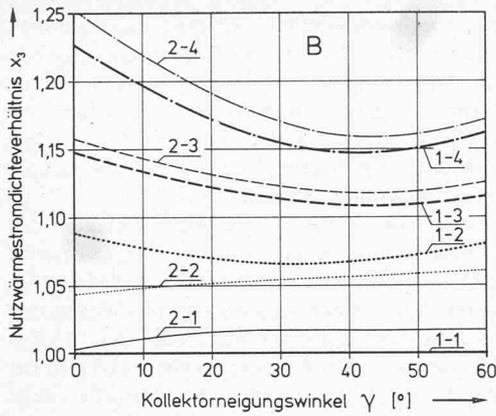


Bild 3 (links). Vergleich der mit verschiedenen Kollektortypen (Tabelle 1) gegenüber dem einfachverglastem Kollektor 1-1 mit schwarzem Absorber erreichbaren Jahresnutzwärme. Anlagevariante B (Tabelle 2)

Bild 4 (rechts). Vergleich der mit verschiedenen Kollektortypen gegenüber dem Kollektor 1-1 Zeitanteile für Warmwassertemperaturen über 40°C im Sommerhalbjahr (80. bis 262. Tag). Anlagevariante B

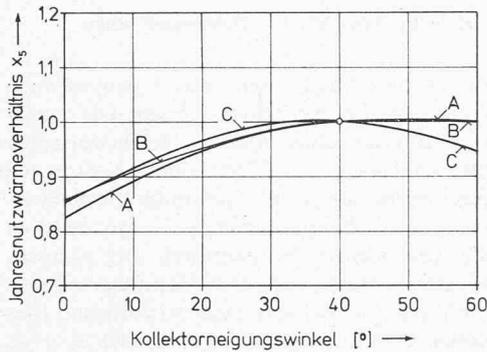
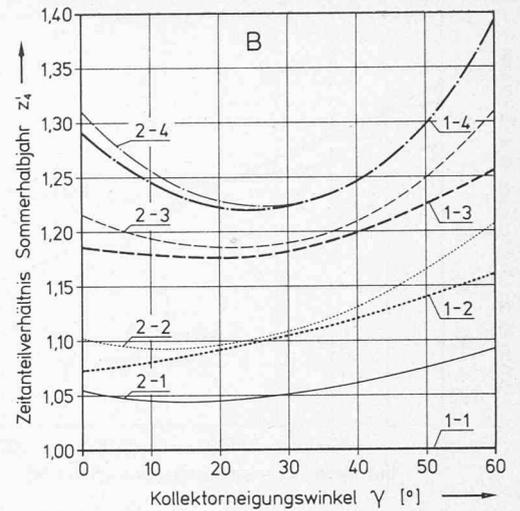


Bild 5 (links). Einfluss des Kollektorneigungswinkels auf die Jahresnutzwärme. Bezogene Warmwasservolumenströme: A = 0,02 m³/m²d, B = 0,04 m³/m²d, C = 0,08 m³/m²d

Bild 6 (rechts). Einfluss des Kollektorneigungswinkels auf die Nutzwärme im Sommerhalbjahr

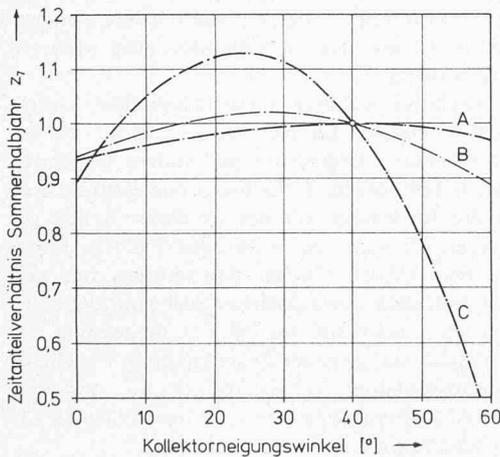
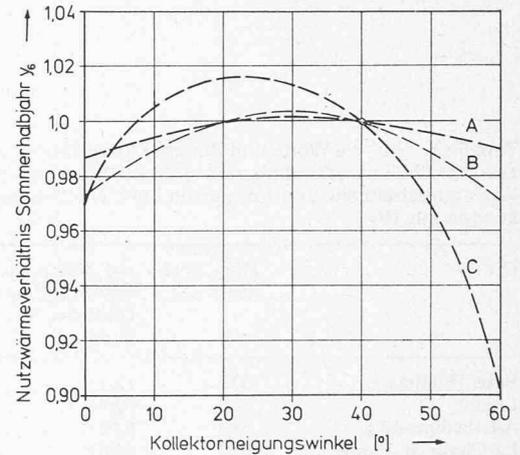
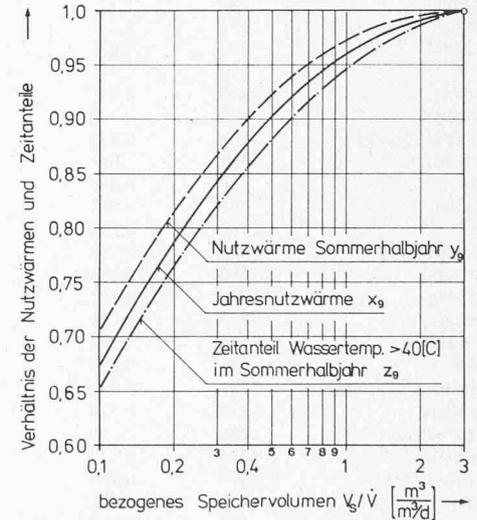


Bild 7 (links). Einfluss des Kollektorneigungswinkels auf die Zeitanteile für Warmwassertemperaturen über 40°C im Sommerhalbjahr

Bild 9 (rechts). Speichervolumeneinfluss auf die Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie



werden können. Ein deutlicher Abfall der Leistungen einer Warmwasserbereitungsanlage ist erst unterhalb eines bezogenen Speichervolumens von rund 1 m³/m³ d⁻¹ zu beobachten. Speicher mit einem bezogenen Volumen über 3 m³/m³ d⁻¹ sind bei ausschliesslicher Nutzung der Sonnenenergie für die Warmwasserbereitung kaum mehr wirtschaftlich. Warmwasserspeicher können somit knapper als noch üblich bemessen werden. Bei der Beurteilung dieser Ergebnisse ist zu bedenken, dass ein grosser Speicher zwar längere Schlechtwetterperioden zu überbrücken vermag; sich dafür zu Beginn von Schlechtwetterperioden auch langsamer erwärmt und

infolge der grösseren Oberfläche höhere Wärmeverluste aufweist.

#### Auslegung des Wärmeübertragungssystems

In [1] wird ausführlich gezeigt, wie die Differenz zwischen mittlerer Absorbentemperatur und der Speichertemperatur berechnet werden kann. Die in den Abschnitten 1 bis 5 mitgeteilten Ergebnisse können auf andere Anlagen übertragen werden, wenn mit diesen eine dem Bild 23 aus [1] entsprechende Abhängigkeit der Temperaturdifferenz von der Speichertemperatur erreicht wird. Zur Übertragung der in

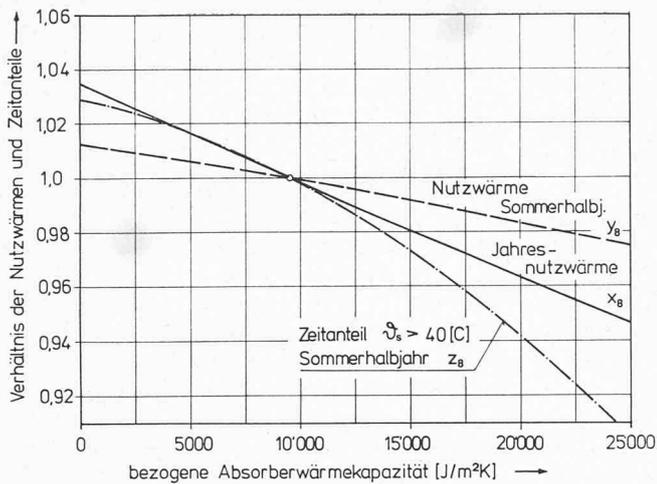


Bild 8. Beeinflussung der Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie durch die Wärmekapazität des Absorbers samt Inhalt

Tabelle 3. Auf die Werte von Zürich-Kloten (Sommer: 648 h, ganzes Jahr 1532 h) bezogene durchschnittliche Sonnenscheindauern im Sommerhalbjahr und im ganzen Jahr. Nach mehrjährigen Messungen aus [5]

Ort	Höhe über Meer [m]	auf Zürich-Kloten bezogene Sonnenscheindauer (Mittelwerte)	
		Sommer	ganzes Jahr
Basel (Binningen)	317	1,01	1,09
Liestal	325	0,944	1,02
Allerheiligenberg	890	0,907	1,01
La Chaux-de-Fonds	990	0,941	1,10
Genève-Cointrin	430	1,24	1,29
Lausanne	589	1,17	1,29
Payerne	491	1,14	1,18
Neuchâtel	487	1,09	1,11
Bern	572	1,08	1,15
Luzern	498	0,949	1,01
Wädenswil	493	0,974	1,02
Wald (Faltigberg)	908	0,832	1,03
Zürich-MZA	569	1,04	1,11
Hallau	450	0,980	1,03
St. Gallen	664	0,892	0,976
Säntis	2500	0,858	1,23
Walenstadtberg	982	0,767	0,995
Braunwald	1190	0,804	1,02
Oberberg	1090	0,821	1,02
Unterägeri	850	0,889	1,02
Rigi-Kaltbad	1490	0,778	1,07
Altdorf	451	0,864	0,969
Jungfrauoch (Sphinx)	3576	0,910	1,15
Beatenberg	1230	0,924	1,16
Heiligenschwendi	1126	0,798	0,991
Grimmialp	1214	0,812	1,00
Château-d'Oex	994	0,985	1,22
Leysin	1350	0,921	1,18
Montreux-Clarens	408	0,963	1,09
Monthey	405	0,944	1,11
Sion	549	1,12	1,37
Sierre	573	1,05	1,27
Chippis	522	1,16	1,37
Montana s. Sierre	1453	1,10	1,41
Disentis	1173	0,954	1,15
Bad Ragaz	510	0,910	1,09
Plantahof b. Landquart	530	0,923	1,09
Arosa	1864	0,920	1,19
Davos	1561	0,844	1,09
Bivio	1770	0,802	1,04
St. Moritz	1832	0,906	1,18
Schuls	1253	0,952	1,16
Locarno-Monti	379	1,25	1,49
Lugano	276	1,15	1,37
Monte Bré	910	1,23	1,44

diesem Aufsatz zusammengestellten Angaben auf andere Anlagen genügt es, wenn diese bei einer Speichertemperatur von 40 °C und einer Nutzwärmestromdichte von 250 W eine Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Speicher von rund 3 °C nicht überschreitet. Diese Forderung wird bei Systemen mit direkter Wassererwärmung im Absorber (Systeme mit Entleerung) ohne weiteres erfüllt.

Für eine überschlägige Bemessung von Anlagen mit indirekter Wärmeübertragung gelten die folgenden Richtwerte (Wärmeübertragungsmittel: Wasser-Athylenglykolegemisch): Strömungsgeschwindigkeit in den Absorberrohren und in den Speicherrohrschlangen rund 2 m/s, Wandstärke von Aluminiumabsorbern 1,5 mm und von Kupferabsorbern 0,6 mm bei einem Rohrabstand von 100 mm, auf die Absorberfläche bezogener Wärmeträgervolumenstrom rund  $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ s}$ , Aussenfläche der Rohrschlangen im Speicher je nach Schaltung 25% (6 Schlangen parallel geschaltet) bis 50% (eine Rohrschlange) der Absorberfläche.

### Übertragung auf andere Gegenden des Schweizerischen Mittellandes

Die in den ersten Abschnitten zusammengestellten Berechnungsunterlagen gelten für Zürich-Kloten. Die Strahlungsverhältnisse in anderen Gegenden des Schweizerischen Mittellandes werden im Rahmen laufender Forschungsarbeiten gemessen [3]. Gegenwärtig lassen nur die durch die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt an verschiedenen Orten der Schweiz gemessenen Temperaturen und Sonnenscheindauern gewisse Schlüsse zu. Die Temperaturunterschiede [4] sind im ganzen Mittelland ohne wesentlichen Einfluss auf den Kollektorwirkungsgrad. Wie Tabelle 3 zeigt, sind auch die Unterschiede der Sonnenscheindauer an den verschiedenen Orten des Schweizerischen Mittellandes gegenüber dem Wert von Zürich-Kloten nicht sehr gross. Die Jahresmittelwerte von Zürich-Kloten werden meistens leicht überschritten. Einzig das *Genferseegebiet* hebt sich durch *deutlich höhere Werte* ab. Im Sommer entspricht die mittlere Sonnenscheindauer der Stationen des Mittellandes etwa dem in Zürich-Kloten gemessenen Wert.

Bis zum Abschluss weiterer meteorologischer Untersuchungen genügt es deshalb für technische Zwecke, die für Zürich-Kloten errechneten Ergebnisse auf andere Gegenden des Mittellandes zu übertragen. Falls dies ohne Korrekturen geschieht, führt die Auslegung mit den in dieser Arbeit gezeigten Diagrammen im allgemeinen zu einer leichten Überdimensionierung der Absorberfläche. Korrekturen mit den Verhältnissen der mittleren Sonnenscheindauer sind denkbar. Sie drängen sich aber nicht auf, da bei der Bemessung der Absorberfläche ohnehin ein gewisser Zuschlag nötig ist. Dieser muss schwer voraussehbaren Veränderungen wie der Verschmutzung der Absorberabdeckung und des Wärmeübertragungssystems Rechnung tragen.

Weiter weichen die Verbrauchergewohnheiten vom angenommenen täglich gleichbleibenden Warmwasserbedarf ab. In gewissen Grenzen kann der Verbraucher den Warmwasserverbrauch dem Strahlungsangebot anpassen und damit die benötigte Absorberfläche vermindern. Fordert der Verbraucher höhere Minimaltemperaturen als 40 °C, benötigt er dagegen eine grössere Absorberfläche. Bis zu Minimaltemperaturen von rund 50 °C lässt sich die Auslegung noch näherungsweise nach der hier angegebenen Methode durchführen, wenn der Volumenstrom nach der folgenden Beziehung korrigiert wird:

$$(2) \quad \dot{V} \approx \dot{V}' \frac{\vartheta' - 10}{30}$$

Darin ist  $\dot{V}'$  der bei der Temperatur  $\vartheta'$  (in C) geforderte

Warmwasservolumenstrom und  $\dot{V}$  der für die Auslegung benötigte korrigierte Volumenstrom.

Eine Übertragung der Ergebnisse für Zürich-Kloten auf das Alpengebiet oder die Alpensüdseite ist nicht zulässig. Die Unterschiede der meteorologischen Verhältnisse sind dafür zu ausgeprägt ([6], Tabelle 3).

#### Auslegungsbeispiel

Der Warmwasserbedarf eines Zweifamilienhauses im Schweizerischen Mittelland wird auf 0,7 m<sup>3</sup>/d bei 40 °C (entspricht dem Wärmebedarf für 0,525 m<sup>3</sup>/d bei 50 °C) geschätzt. Mit einer einfachen Anlage zur Nutzung der Sonnenenergie mit einem Speicher sollen im Mehrjahresmittel während 85% des Sommerhalbjahres ohne Fremdenergie Warmwassertemperaturen von 40 °C erreicht werden. Es sind einfachverglaste Kollektoren mit einer guten selektiven Absorberbeschichtung ([1], S. 17/18) vorgesehen. Diese Kollektoren erreichen die Eigenschaften des Typs 1-2 der Tabelle 1. Die Absorber sind aus 0,6 mm starkem Kupferblech mit in einem Abstand von 100 mm angeordneten 10 x 1 mm Kupferrohren gefertigt. Die Absorberelemente weisen eine Länge von 2 m und eine Breite von 0,8 m auf. Die Kollektoren werden in ein nach Südwesten orientiertes Dach mit einer Neigung von 25° eingebaut. Es ist ein Warmwasserspeicher mit einem Gesamtwasservolumen von 1,4 m<sup>3</sup> vorgesehen. Die Wärme wird durch ein Wasser-Aethylenglykolkemisch vom Absorber in den Speicher indirekt übertragen. Die notwendige Absorberfläche und die mittlere Jahresnutzwärme sind zu bestimmen.

Die SW-Orientierung des Absorbers ergäbe nach [2] gegenüber der Südorientierung eine geringfügig höhere Nutzwärme (vergl. Abschnitt 1). Dies kann aber vernachlässigt werden.

Bei der Verwendung eines Kollektors mit den Eigenschaften des in der Tabelle 1 aufgeführten Typs ergeben sich nach dem Bild 4 für einen Neigungswinkel von 25° um 9,7% höhere Zeitanteile für eine Warmwassertemperatur über 40 °C im Sommerhalbjahr ( $z'_4 = 1,097$ ) als beim Typ 1-1.

Die Wärmekapazität des Absorbers samt Inhalt folgt mit der Dichte des Kupfers von 8950 kg/m<sup>3</sup>, der Dichte des Wärmeträgers von 1060 kg/m<sup>3</sup>, der spezifischen Wärmekapazität des Kupfers von 383,1 J/kgK und der spezifischen Wärmekapazität des Wärmeübertragungsmittels von 3366 J/kgK zu rund 7000 J/m<sup>2</sup>K (Zuschlag für Flüssigkeitsverteiler 25%). Damit liefert Bild 8 für den Einfluss der Absorberwärmekapazität auf den Zeitanteil:  $z_8 = 1,003$ . Bild 9 ergibt für ein bezogenes Speichervolumen von  $V_S / V = 1,4 / 0,7 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}^{-1} = 2 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$ :  $z_9 = 0,9875$ .

Die Ermittlung des Einflusses des Kollektorneigungswinkels setzt die Kenntnis des bezogenen Warmwasservolumenstroms bereits voraus. Um eine sinnvolle erste Annahme zu erhalten, kann der unkorrigierte Zeitanteil zunächst ohne Berücksichtigung des Neigungswinkeleinflusses berechnet werden:

$$\Theta' \approx \frac{\Theta}{z'_4 z_8 z_9} = \frac{0,85}{1,097 \cdot 1,003 \cdot 0,9875} = 0,782$$

Dafür erhält man aus Bild 2 als erste Näherung für den bezogenen Warmwasservolumenstrom:  $V / A \approx 0,0407 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ . Damit kann der Neigungswinkeleinfluss durch quadratische Interpolation aus dem Bild 7 bestimmt werden:  $z_7 = 1,02$ . Nun erhält man als nächste Näherung für den unkorrigierten Zeitanteil:

$$(3) \quad \Theta_0 = \frac{\Theta}{z_4 z_7 z_8 z_9} = \frac{0,85}{1,097 \cdot 1,02 \cdot 1,003 \cdot 0,9875} = 0,767$$

Als zweite Näherung für den bezogenen Warmwasser-

volumenstrom liefert Bild 2 damit 0,0425 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d. Nun kann die Korrektur  $z_4$  aus der Gl. (1) ermittelt werden:

$$z_4 \approx 1 + \frac{1 - 0,767}{0,215} (1,097 - 1) = 1,105$$

Aus Bild 7 findet man den neuen  $z_7$ -Wert zu 1,025. Damit liefert die Gl. (3) den neuen unkorrigierten Zeitanteil  $\Theta_0 = 0,758$  und das Bild 2 den bezogenen Warmwasservolumenstrom von 0,045 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d. Da sich dieser Wert gegenüber der zweiten Näherung kaum mehr unterscheidet, kann auf eine weitere Verbesserung der  $z_4$ - und  $z_7$ -Werte verzichtet werden.

Die Absorberfläche muss mindestens  $0,7 / 0,045 \text{ m}^2 = 15,6 \text{ m}^2$  betragen. Da die einzelnen Kollektoren eine Absorberfläche von 1,6 m<sup>2</sup> aufweisen, werden 10 Elemente mit einer Gesamtfläche von 16 m<sup>2</sup> benötigt.

Nun kann die Jahresnutzwärme berechnet werden. Der bezogene Warmwasservolumenstrom beträgt  $0,7 / 16 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d} = 0,0437 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ . Bild 1 liefert dafür eine unkorrigierte Jahresnutzwärme  $q_0$  von  $1,30 \cdot 10^9 \text{ J}/\text{m}^2$ . Die gesamte Jahresnutzwärme beträgt:

$$Q = q_0 A x_3 x_5 x_8 x_9$$

Mit dem Kollektoreinfluss aus Bild 3 ( $x_3 = 1,07$ ), dem Neigungswinkeleinfluss aus Bild 5 ( $x_5 = 0,97$ ), dem Einfluss der Absorberwärmekapazität aus Bild 8 ( $x_8 = 1,009$ ) und dem Speichervolumeneinfluss aus Bild 9 ( $x_9 = 0,992$ ) erhält man eine Jahresnutzwärme der Anlage von  $2,16 \cdot 10^{10} \text{ J} (= 6000 \text{ kWh})$ .

Voraussetzung für die Gültigkeit dieser Ergebnisse ist, dass das Wärmeübertragungssystem so ausgelegt wird, dass bei einer Speichertemperatur von 40 °C und einer Nutzwärme-stromdichte von 250 W/m<sup>2</sup> eine Differenz zwischen mittlerer Absorber- und Speichertemperatur von rund 3 °C nicht überschritten wird. Als Anhaltswerte gelten nach dem Abschnitt «Auslegung des Wärmeübertragungssystems»: Rohrschlängenoberfläche im Speicher bei der Verwendung einer Rohrschlange rund 8 m<sup>2</sup> bzw. rund 4 m<sup>2</sup> bei der Verwendung von sechs parallel geschalteten Rohrschlängen, Volumenstrom des Wärmeübertragungsmittels  $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ , Parallelschaltung von 16 Absorberrohren (je zwei Absorberelemente).

Falls die Auslegung für einen Warmwasserbedarf von 0,7 m<sup>3</sup>/d bei 50 °C erfolgt, liefert die Gl. (2) einen korrigierten Volumenstrom von 0,933 m<sup>3</sup>/d. Das oben beschriebene Vorgehen führt damit auf eine minimale Absorberfläche von 22,4 m<sup>2</sup> und eine mittlere Jahresnutzwärme von  $2,91 \cdot 10^{10} \text{ J} (= 8080 \text{ kWh})$ .

#### Literaturverzeichnis

- [1] Zogg M.: «Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie.» Blaue Reihe der Technischen Rundschau, Heft 128, Hallwag Verlag, Bern/Stuttgart, 1977.
- [2] Schmid C. H.: «Die nutzbare Wärme von Flachkollektoren.» Vorträge der Tagung SSES-Symposium IV, Gottlieb Duttweiler-Institut, Rueschlikon, 1977.
- [3] Valko P.: «Strahlungsmesswagen im Dienste von Bauklimatologie und Sonnenenergienutzung.» Schweiz. Bauzeitung, Heft 41, 1976.
- [4] Technische Klima-Daten für die Schweiz. Schweiz. Blätter für Heizung und Lüftung, Nr. 3, 1976.
- [5] Schüepp M.: «Sonnenscheindauer, 1. Teil», Heft 3/1, Klimatologie der Schweiz, Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, Zürich, 1962.
- [6] Valko P.: «Meteorologische Daten zur Sonnenenergienutzung.» Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, Zürich, 1976.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. M. Zogg, Dozent für Verfahrenstechnik, Ingenieurschule Burgdorf, 3400 Burgdorf.