

# Eine relevante Größe?

## Zur Wirkungsgraddefinition von Solarkollektoren

von **E. Kose** microtherm Energietechnik GmbH

**Der Wirkungsgrad von Kollektoren ist keine relevante Größe, wie ein Beispiel illustriert. Er ist nicht vernünftig definiert, zudem nicht eindeutig, ganz gleich, ob man ihn auf die Absorberfläche bezieht, auf die Aperturfläche oder die gesamte Kollektorfläche; und es gibt bessere Vorschläge.**

### **Er ist keine relevante Größe...**

Wenn man Öl verbrennt, möchte man gern genau wissen, wieviel Nutzen man davon hat. Daher möchte jeder Käufer erfahren, wie hoch der Wirkungsgrad seines Heizkessels ist. Wenn er dagegen ein Auto kauft, ist ihm der Wirkungsgrad seines Motors ganz und gar gleichgültig, er will nur wissen, wieviel Treibstoff er bezahlen muß. Deshalb kennt kein Autokäufer den Wirkungsgrad seines Autos, diese Größe ist nicht einmal definiert. Mit dem Staubsauger verhält es sich ebenso. Der Käufer will wissen, ob die Krümel schnell abgesogen werden, und wieviel Strom ihn dieser Vorgang kostet. Der Wirkungsgrad des Staubsaugergebläses ist ihm noch viel gleichgültiger als der Wirkungsgrad seines Automotors. Die Sonne liefert kostenlose Primärenergie. Man kann Solarenergie nicht verschwenden. Daher kann der Wirkungsgrad von Solarkollektoren für den Nutzer nicht interessant sein.

### **...wie ein Beispiel illustriert.**

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis zwischen der gewonnenen und der senkrecht auf den Kollektor eingestrahlten Energie. Es ist leicht, zwei Kollektoren mit identischen Wirkungsgraden zu bauen, wobei der eine mehr als doppelt so viel Wärme liefert wie der andere, denn manche Kollektoren sammeln das Licht nur aus einem kleinen Winkelbereich ein (um eine höhere Konzentration für hohe Wärmeerträge bei hohen Kollektortemperaturen zu erzielen). Andererseits machen viele Kollektoren bei seitlicher Einstrahlung wieder mehr als wett, was sie bei senkrechter Einstrahlung nicht leisten.

Ein schönes Beispiel hierfür ist ein Vakuum-Röhren-Kollektor (NEG) mit zylindrischen Absorbern, die senkrecht auf einem horizontalen Dach mit einem größeren Abstand voneinander aufgestellt werden. Die Sonne wandert im Laufe des Tages um diese Röhren herum – im Sommer steht sie auch hinter dem Kollektor. Die meisten anderen Kollektoren dagegen „sehen“ die Sonne nur im Winkelbereich zwischen etwa  $\pm 60^\circ$  und

„so richtig“ auch nur in einem noch engeren Bereich.

### **Er ist nicht vernünftig definiert...**

Kollektorwirkungsgrade werden auf eine Fläche bezogen. Das ist nicht selbstverständlich. Man kann die Leistung eines Kollektors auch auf die zur Produktion eingesetzte Energie beziehen, oder auf einen in bestimmter Weise gewichteten Einsatz von Rohstoffen. Für den heutigen Einsatz von Solarkollektoren ist die benötigte Fläche ganz und gar uninteressant.

Ein Blick auf ein Hausdach mit einer Solaranlage zeigt dies unmittelbar. Die Flächen sind selbst bei einer Heizungsunterstützung klein gegenüber der (kostenlos) nutzbaren Dachfläche. Besonders auffällig ist dies beim Vergleich mit einer Solarstromanlage. Diese benötigt im Mittel etwa fünfmal soviel Fläche wie eine Solaranlage zur Brauchwassererwärmung. Die limitierende Größe bei Solaranlagen ist entweder der Bedarf (Brauchwasser) oder der Preis (Solarzellen), nicht aber die Dachfläche. Bei Solarstromanlagen wird dann auch viel weniger der Wirkungsgrad als der Preis pro (installiertes) Watt diskutiert.

### **...zudem nicht eindeutig, ganz gleich, ob man ihn auf die Absorberfläche bezieht...**

Der Wirkungsgrad kann auf die Einstrahlung auf die Absorberfläche (genauer, auf die Fläche der lichtabsorbierenden Beschichtung des Absorbers) bezogen werden. Das ist eine ganz beliebte Größe, aber damit gibt es viele Probleme. Diese Fläche hat nur wenig mit der Größe des Kollektors zu tun. Beschichtet man ebene Absorberstreifen auch auf der Rückseite (Philips VTR), fällt der Wirkungsgrad sofort auf (ungefähr) die Hälfte, weil der Ertrag nicht unbedingt steigt, die Absorberfläche aber doppelt so groß wird. Entsprechend haben Kollektoren mit zylindrischen Absorbern um fast 70 % geringere Wirkungsgrade als gleichwertige Kollektoren mit ebenen Absorbern. Bei dieser Art von Kollektoren ist die Absorberfläche oft größer als die Ge-

samtfläche des Kollektors. Dieses Dilemma ist natürlich allgemein bekannt, und es gibt immer Versuche, bei „exotischen“ Kollektoren (die immer gewöhnlicher werden), etwas zu „retten“, indem z.B. der Durchmesser eines zylindrischen Absorbers mit seiner Länge multipliziert wird und dieser Wert dann die Absorberfläche repräsentieren soll.

Diese (gängigste) Wirkungsgraddefinition läßt die meisten Vakuum-Röhren-Kollektoren besser erscheinen als sie sind, denn die Absorberfläche stellt oft nur 60 % der gesamten Kollektorfläche dar. Seltsam, daß die Hersteller von Flachkollektoren nicht Sturm dagegen laufen. Es gibt außer historischen Gründen keine, die diese Definition vernünftig erscheinen lassen. Allenfalls Hersteller von Absorberbeschichtungen können etwas damit anfangen.

### **...auf die Aperturfläche...**

Es gibt auch die Idee, den Wirkungsgrad auf die Fläche zu beziehen, die im Prinzip zur Wärmegewinnung beitragen kann. Da es aber auch Bereiche innerhalb dieser (Apertur-)Fläche gibt, die prinzipiell nicht dazu beitragen können, kann man der Versuchung erliegen, kleine Teile der Fläche bei der Berechnung herauszunehmen. Eine zweifellos wirkungsgradsteigernde Maßnahme.

### **...oder die gesamte Kollektorfläche...**

Schließlich kann der Wirkungsgrad auf die gesamte Fläche des Kollektors bezogen werden. Dies ist die unbeliebteste Bezugsfläche, weil hierbei der Wirkungsgrad am niedrigsten ist. Aber auch diese Fläche ist nicht immer einfach zu definieren. Man denke nur an zylindrische, kugelige und igelförmige Kollektoren (all dies gibt es). Es könnte die größte Querschnittsfläche des Kollektors gemeint sein. Während die Hersteller darüber glücklich sein können, daß diese Bezugsfläche so unpopulär ist, sind die Motive der übrigen Normausschußmitglieder und der Testinstitute schwer zu verstehen.

### **...und es gibt bessere Vorschläge.**

Faßt man den Kollektor als Wärmetauscher auf  $1/1$ , und er ist nichts anderes, dann kann man ihn mit einer (Wärmetauscher-)Fläche beschreiben, die ein idealer Kollektor mit demselben Energieertrag wie der

reale Kollektor bei einer Temperaturdifferenz von Null hätte. Ein zweiter (bzw. evtl. ein dritter) Parameter beschreibt den Wärmeverlust des Kollektors bei höheren Temperaturen in W/K. Mit dieser Kollektorbeschreibung wären alle durch verschiedene Flächendefinitionen entstandenen Unklarheiten beseitigt. Da der Wirkungsgrad in keinem Zusammenhang benötigt wird, sollte die Aufgabe dieser liebgewonnenen Funktion nicht weiter schwer fallen. Während dieser Vorschlag die unterschiedlichen Flächendefinitionen elegant vermeidet, er sinnvoller und anschaulicher ist, behebt er nicht das Problem der mangelnden Vergleichbarkeit verschiedener Kolleortypen.

#### **Wärmeerträge sorgen für Klarheit...**

Manche Kollektoren können bei niedrigen Temperaturen sehr viel und bei hohen sehr wenig Wärme liefern, andere sind wenig temperaturempfindlich, liefern aber verhältnismäßig wenig Wärme; oder sie sind sehr empfindlich gegenüber Wind oder auch nicht; und so gibt es noch viele andere Bedingungen, die den Wärmeertrag sehr stark beeinflussen können. Praktisch alle Einflüsse werden bei der Bestimmung des Wirkungsgrades berücksichtigt, aber der Wirkungsgrad sagt dennoch wenig über die Einsatzmöglichkeiten des Kollektors aus. Man kann nicht sagen, welche Einstrahlung und welche Temperaturdifferenz repräsentativ für einen bestimmten Anwendungsfall sein soll.

Welche Größe charakterisiert die Leistungsfähigkeit von Kollektoren am besten? Ein Kollektor soll nicht unbedingt einen hohen Wirkungsgrad haben, sondern möglichst viel Wärme liefern. Deshalb ist die Angabe des Ertrages ein wichtiges Merkmal des Kollektors.

#### **...berücksichtigen auch schwache, diffuse und schräg einfallende Strahlung...**

Es gibt ohne Simulationsrechnung keine Möglichkeit, den Wirkungsgradkurven die Relation der Wärmeerträge zwischen verschiedenartigen Kollektoren auch nur annähernd zu entnehmen.

Vergleicht man statt der Wärmeerträge die Wirkungsgrade, läßt man das stark unterschiedliche Verhalten der Kollektoren bei diffuser oder schräg einfallender Strahlung außer acht. Die dies beschreibenden Funktionen (IAM) werden sowohl ungenau gemessen (oft gar nicht oder nur ein Wert) und auch ungenau angegeben, weil sie schwierig zu vermitteln sind.

Noch wichtiger ist die Berücksichtigung des Wetters, das bekanntlich

aus einer Reihe von guten und schlechten Stunden besteht.

#### **...und sind ebenso einfach wie die Wirkungsgrade zu bestimmen.**

Wir brauchen also Zahlen, die den Wärmeertrag eines Kollektors beschreiben. Nichts liegt näher, als ihn aus den bereits gemessenen Daten zu berechnen. Es gibt drei wesentliche Anwendungsbereiche für Solar Kollektoren: Schwimmbaderwärmung, Brauchwasserbereitung und Kühlung. Jeder Kolleortyp ist nur in einem, höchstens zwei der Bereiche sinnvoll einsetzbar. Wärmeerträge sollten für zwei ausgewählte Orte (einen für Nord- den anderen für Südeuropa) berechnet werden. Diese Orte könnten z.B. Würzburg und Almeria heißen, weil sie innerhalb der Solargemeinde die größte Popularität genießen. Für die drei Anwendungsfälle Schwimmbaderwärmung, Brauchwasserbereitung und Kühlung könnten die konstanten mittleren Kollektortemperaturen 25 °C, 50 °C und 100 °C festgelegt werden.

Damit die Werte ebenso vergleichbar wären wie die Wirkungsgrade, müßte ein Normenausschuß die Wetterdatensätze der beiden Orte sowie das Verfahren zur Berechnung des Ertrages (z.B. mit TRNSYS) festlegen. Damit hat man zwei bis höchstens vier charakteristische Werte für jeden Kollektor, während heute zur vollständigen Charakterisierung drei Wirkungsgradparameter, ein bis zwei IAM-Funktionen und die Angabe der Bezugsfläche (und eigentlich noch einiges mehr, wie die Einstrahlungs- und Windabhängigkeit) angegeben werden müssen.

#### **Man kann sie auf einen Quadratmeter des Kollektors beziehen...**

Manche Testinstitute veröffentlichen nicht nur Wirkungsgrade, sondern auch Wärmeerträge an ausgewählten Orten bei verschiedenen Betriebsbedingungen. So läßt sich etwa der Veröffentlichung der SPF/Schweiz /2/ der Wärmeertrag bei einer konstanten Fluidtemperatur von 50 °C in Locarno/Schweiz entnehmen. Im Testbericht ist auch der Füllfaktor (der Quotient aus Absorberfläche und Gesamtfläche) angegeben. Mit diesen beiden Informationen bekommt man den auf die Gesamtfläche des Kollektors bezogenen Wärmeertrag. Er beträgt pro Jahr für einen der besten Vakuum-Röhren-Kollektoren (Test Nr. 31) 670 kWh/m<sup>2</sup>, während ein wirklich guter Flachkollektor (Nr. 89) 780 kWh/m<sup>2</sup> liefert. Ein Ergebnis, das bei dem Vergleich der zugehörigen Wirkungsgrade nicht jeder sofort vorhergesehen hätte.

#### **...am besten aber gleich auf das gesamte Kollektormodul...**

In dieser Definition steckt nun wieder eine Fläche. Sie ist aber nicht bedeutsam, deshalb bezieht man den Wärmeertrag am besten gleich auf das Modul statt auf einen Quadratmeter des Moduls. (Um noch einmal den Vergleich mit dem Auto zu bemühen: Wir wollen wissen, wieviel PS ein Automotor hat, nicht, wieviel PS pro Liter Hubraum.)

Gibt man den Ertrag des Moduls an, braucht der Kunde nur noch nach dem Preis zu fragen, er hat dann sofort das Preis-Leistungs-Verhältnis, die Größe, die neben der Kollektorqualität und den Installationskosten die wichtigste ist.

#### **...weil die Kollektorfläche nicht identisch mit dem Flächenbedarf ist.**

Große Module sind auf zergliederten Flächen nicht flächendeckend unterzubringen. Deshalb benötigen mehrere kleine Module gegenüber einem großen manchmal weniger Fläche. Wenn sich die Module nicht nahtlos aneinanderhängen lassen, ist die überbaute Fläche größer als das Vielfache der Fläche eines Moduls. Bei großen Installationen muß ein Zwischenraum zwischen den einzelnen Modulen gelassen werden, wenn man nicht über den Kollektor laufen darf.

Wenn auf horizontalen Flächen installiert wird, müssen viele Kollektoren schräg aufgeständert werden, und zwischen den einzelnen Kollektorreihen muß ein großer Zwischenraum gelassen werden, damit sich die Kollektoren nicht gegenseitig abschatten. Vakuum-Röhren-Kollektoren mit weit auseinander stehenden Röhren berücksichtigen diesen Effekt bereits im Modul. Den nur scheinbar geringen Wärmeertrag solcher Module (z.B. Test Nr. 56 in /2/, 385 kWh/a Jahr in Locarno bei horizontaler Montage) übertrifft kein Kollektor bei einer Aufständigung in großen Installationen mit mehreren Reihen von Kollektoren.

Wärmeerträge sorgen für Klarheit, berücksichtigen auch schwache, diffuse und schräg einfallende Strahlung und sind ebenso einfach wie die Wirkungsgrade zu bestimmen. Man kann sie auf einen Quadratmeter des Kollektors beziehen, am besten aber gleich auf das gesamte Kollektormodul, weil die Kollektorfläche nicht identisch mit dem Flächenbedarf ist.

#### **Literatur**

- /1/ Brinkworth B., Solar Energy 56, 373 (1996)
- /2/ Frei U. et al., Leistungsdaten thermischer Solarkollektoren, Update 1.96, SPF/ITR Rapperswil/Schweiz