

Vergleich zwischen Linearspiegel und traditionellen thermischen Solarkollektoren

Isomorph
Juli 2011

1. Einleitung

In diesem Artikel vergleichen wir die Leistung eines Flachkollektors und eines Vakuumröhrenkollektors mit der des Linearspiegels. Weil die Geräte verschieden gross sind, verwenden wir als Messgrösse die Energie, die pro Quadratmeter Kollektorfläche bereitgestellt wird. Dabei ergibt sich aber ein Problem aus den beiden folgenden Sachverhalten:

1) Die Standardtestverfahren für Solarkollektoren (zum Beispiel EN12975) sehen keine Leistungsmessungen in der Gegenwart von Wind vor. Soweit uns bekannt ist, wird deshalb immer nur die Leistung in Abwesenheit von Wind gemessen.

2) Der Wärmeverlust einer jeden Oberfläche hängt immer sehr stark von der Geschwindigkeit der umgebenden Luft ab. Es sind dabei die Prozesse der Wärmeleitung und der Konvektion, die von der Bewegung der umgebenden Luft abhängen. Lediglich die elektromagnetische Wärmestrahlung hängt nicht davon ab.

Deshalb kann ein Solarkollektor, der unter Testbedingungen eine vernünftige Leistung bringt, sehr stark an Leistung verlieren, wenn er zum Beispiel auf einem Dach montiert wird, wo er dem Wind ausgesetzt ist. Wenn zum Beispiel ein Kollektor bei Windstille nur 30% der eingestrahnten Sonnenenergie an die Umgebung verliert, so kann dieser Verlust bei Wind auf das doppelte oder dreifache steigen, also auf 60% oder sogar 90%, so dass er an dem Verbraucher nur noch wenig oder fast keine Energie abgeben kann.

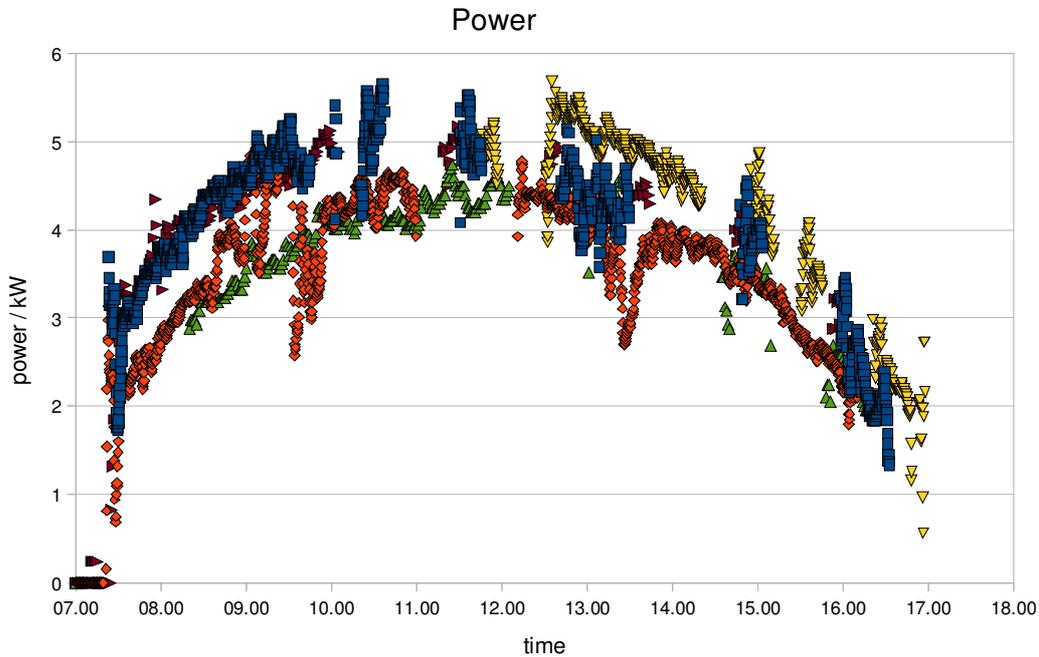
Für den Linearspiegel ist die Situation sehr viel günstiger. Denn bei einem herkömmlichen Kollektor erwärmt sich die gesamte Fläche, welche Sonnenenergie aufnimmt. Bei einem Linearspiegel erwärmen sich die Spiegel, welche die Sonnenenergie bündeln, nicht, sondern es wird nur die viel kleinere Fläche des Wärmetauschers erwärmt.

Der Unterschied zwischen den offiziell ausgewiesenen Leistungswerten der traditionellen Kollektoren und den tatsächlich erreichten Leistungen wird immer grösser werden, je höher die Temperatur des Kollektors ist. Wenn der Kollektor nur das Brauchwasser ein wenig erwärmt, wird er annähernd die offiziell behauptete Leistung bringen. Soll er aber zum Beispiel Wasser auf 80 °C erhitzen – was für eine effiziente Energiespeicherung unerlässlich ist –, so wird er hinter den Erwartungen zurückbleiben.

Aus den öffentlich zugänglichen Informationsquellen (wie internet oder wikipedia) haben wir zu diesem wichtigen Problem wenig brauchbare Information gefunden. Wir müssen uns deshalb in dieser ersten Studie darauf beschränken, für die erwartete Leistung traditioneller Solarkollektoren aus physikalischen Sachverhalten sich ergebende Schätzungen anzugeben. Diese Schätzungen sollen die fehlenden Messungen keineswegs ersetzen, sondern motivieren.

2. Leistung des Linearspiegels

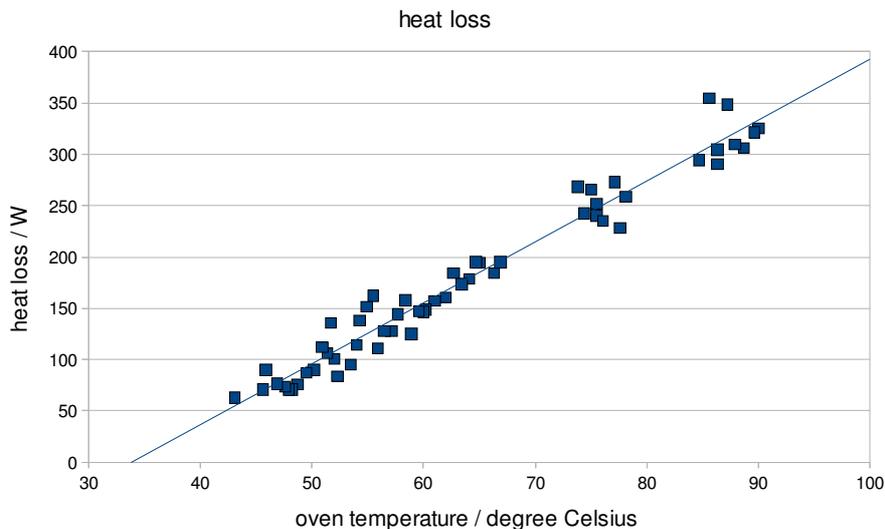
Figur 1 zeigt die Wärmeleistung eines Linearspiegels während mehrerer aufeinanderfolgender Tage. Die Figur zeigt, dass der Linearspiegel bei gutem Wetter 38 kWh Energie pro Tag bereitstellt.



Figur 1: Wärmeleistung eines Linearspiegels an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen.

Die Temperatur des Wärmetauschers während dieser Messungen lag bei 65 °C bis 70 °C, die Lufttemperatur bei 28 °C, der Temperaturunterschied zwischen Wärmetauscher und Luft betrug also um die 40 °C.

Figur 2 zeigt den gemessenen Wärmeverlust in Funktion der Temperatur des Wärmetauschers, wiederum war die Lufttemperatur 28 °C. Der Wärmeverlust wurde gemessen, indem heisses Wasser durch den Wärmetauscher geleitet, und der Temperaturunterschied zwischen Zu- und Ablauf gemessen wurde. So wie es bei den europäischen Standardmessungen üblich ist, wurde diese Messung durchgeführt, als fast kein Wind herrschte.

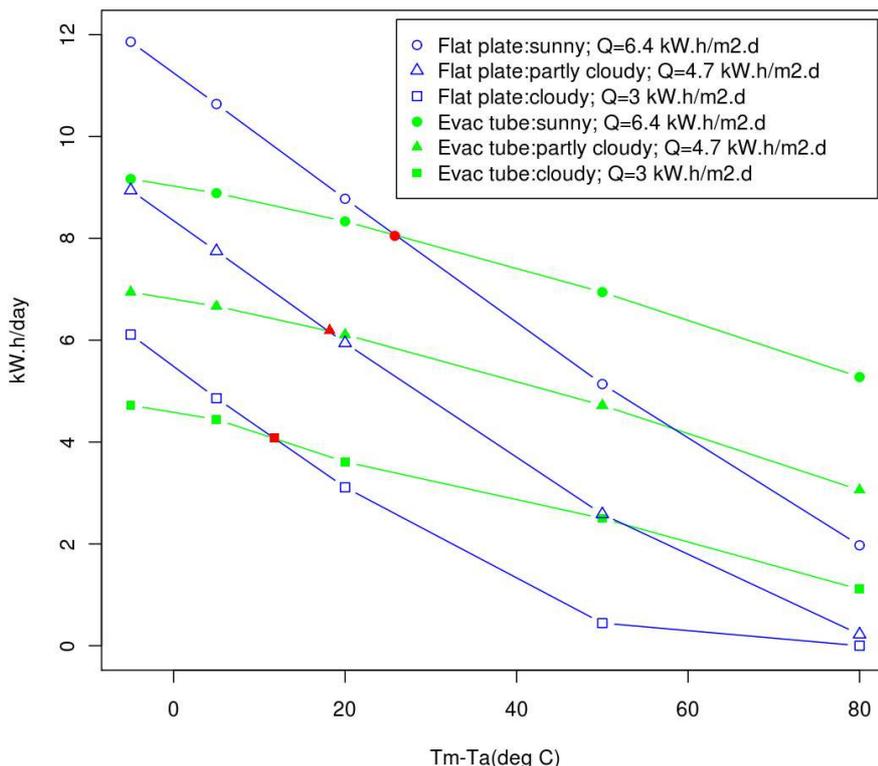


Figur 2: Wärmeverlust des Wärmetauschers im Linearspiegel in Funktion der Temperatur des Wärmetauschers. Lufttemperatur 28 °C.

Weil der Wärmeverlust hauptsächlich von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmetauscher und Umgebungsluft abhängt, kann man aus Figur 2 ganz allgemein den Wärmeverlust bei verschiedenen Umgebungstemperaturen bestimmen. Zum Beispiel betrüge bei einer Lufttemperatur von 0 °C und einer Wärmetauschertemperatur von 80 °C der Wärmeverlust 450 W (wohingegen er während unserer Messungen, die bei 28 °C durchgeführt wurden, 200 W betrug). Über einem Zeitraum von 8 Stunden würde der Wärmetauscher bei 0 °C Aussentemperatur wegen der niedrigeren Temperatur also $8 \cdot (0.45 - 0.20) \text{ kWh} = 2 \text{ kWh}$ Energie mehr verlieren, als es während der Messung von Figur 1 der Fall war. Bei 0 °C Aussentemperatur und 80 °C am Wärmetauscher würde der Linearspiegel also 36 kWh Energie bereitstellen, anstatt 38 kWh. Der Linearspiegel hat eine Spiegelfläche von 7.7 m^2 . Er „produziert“ also pro m^2 seiner Fläche $38 \text{ kWh} / 7.7 = 4.9 \text{ kWh}$ (4.6 kWh) bei einer Temperaturdifferenz von 40 °C (80 °C).

3. Traditionelle Solarkollektoren

Figur 3 zeigt das Leistungsverhalten eines typischen Flachkollektors und eines Vakuumröhrenkollektors (aus wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_collector). Der Flachkollektor ist ein ThermoDynamics S42-P mit 2.8 m^2 Oberfläche. Der Röhrenkollektor ist ein SunMaxx 20EVT, der eine Fläche von 3.1 m^2 abdeckt.



Figur 3: Wärmeleistung traditioneller Kollektoren. (wikipedia)

4. Vergleich

Die Leistung des Linearspiegels (von Kapitel 2) und die Leistungswerte der traditionellen Kollektoren (von Figur 3, für sonniges Wetter) sind in Tabelle 1 für drei verschiedenen Temperaturdifferenzen zusammengefasst, für 0 °C, 40 °C and 80 °C.

	0 °C	40 °C	80 °C
Flachkollektor	4.3 kWh	2.2 kWh	0.7 kWh
Vakuurröhren	2.9 kWh	2.4 kWh	1.7 kWh
Linearspiegel	5.1 kWh	4.9 kWh	4.6 kWh

Tabelle 1: Pro Tag und pro Quadratmeter Fläche bereitgestellte Energie für drei verschiedene Temperaturdifferenzen (0 °C, 40 °C and 80 °C). Für den Flachkollektor und den Röhrenkollektor ist die Fläche gleich der durch den Kollektor beanspruchten Dachfläche. Für den Linearspiegel ist die Fläche gleich der Spiegelfläche.

Bei 0 °C Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Lufttemperatur gibt es keine Wärmeverluste. Trotzdem „produziert“ (Tabelle 1) der Linearspiegel 19% mehr Energie als der Flachkollektor. Der Grund dafür liegt darin, dass der Linearspiegel im Zenith und teilweise auch im Azimuth der Sonne folgt und dieser dadurch im Tagesmittel eine grössere projizierte Fläche bietet. Der Vakuurröhrenkollektor hat bei 0 °C Temperaturdifferenz eine geringere Energieausbeute als der Flachkollektor (67%), weil sich zwischen seinen Röhren ungenutzter Raum befindet.

Tabelle 1 zeigt, dass selbst bei mittleren Temperaturdifferenzen (40 °) der Linearspiegel pro m² Fläche mehr als doppelt so viel Energie bereitstellt als herkömmliche Systeme. Bei höheren Temperaturen ist die Energieausbeute um einen Faktor 2.5 grösser als bei einem Röhrenkollektor, und 6.6 mal so gross wie bei einem Flachkollektor.

Die von der Sonne aufgenommene Energie ist dabei immer die gleiche. Dass bei höheren Temperaturdifferenzen weniger Energie bereitgestellt wird, liegt an den mit der Temperaturdifferenz zunehmenden Wärmeverlusten an die Umgebung. In Tabelle 2 sind die Wärmeverluste der verschiedenen Geräte verglichen.

	0 °C	40 °C	80 °C
Flachkollektor	0 kWh	2.1 kWh	3.6 kWh
Vakuurröhren	0 kWh	0.5 kWh	1.2 kWh
Linearspiegel	0 kWh	0.2 kWh	0.5 kWh

Tabelle 2: Energieverlust pro Quadratmeter Fläche.

5. Wirkung des Windes auf die Kollektorleistung

Wie man in Figur 3 oder in Tabelle 2 sehen kann, verliert selbst ein Vakuumröhrenkollektor bei höheren Temperaturen viel Energie, fast die Hälfte der eingestrahnten Energie geht verloren. Dieser Wärmeverlust des erhitzten Geräts an die Umgebung hängt von der Bewegung der umgebenden Luft ab, also von der Windgeschwindigkeit.

Lediglich die elektromagnetische Wärmestrahlung hängt nicht von der Windgeschwindigkeit ab. Die Verluste durch Wärmestrahlung können berechnet werden: ein jeder m^2 einer 40 °C (80 °C) heißen Fläche strahlt in eine Umgebung der Temperatur 0 °C 215 W (567 W) ab, wenn er vollständig schwarz ist. Eine selektive Absorberfläche hingegen hat typischerweise einen Emissionsfaktor von 0.1 , dies reduziert die Abstrahlung auf 21 W (57 W). Dies führt dann zu einem Energieverlust durch Wärmestrahlung von 0.17 kWh (0.46 kWh) pro Tag und m^2 .

Für den Flachkollektor kann dieser Wärmeverlust durch Strahlung direkt mit dem Gesamtwärmeverlust verglichen werden, wie er in Tabelle 2 aufgeführt ist: bei einer Temperaturdifferenz von 80 °C ist der tägliche Wärmeverlust 3.6 kWh , 0.46 kWh davon gehen durch Wärmestrahlung verloren.

Für die Vakuumröhren muss man berücksichtigen, dass nur 67% der abgedeckten Fläche tatsächlich erwärmt werden und strahlen. Die Vakuumröhren haben also nur eine Strahlungsleistung von $0.17\text{ kWh} \cdot 0.67 = 0.11\text{ kWh}$ (0.31 kWh).

Für den Linearspiegel muss man zwei Punkte berücksichtigen: der Wärmetauscher hat nur eine Fläche von 0.54 m^2 , und nur diese Fläche strahlt. Der Strahlungsverlust ist insgesamt also 0.09 kWh (0.25) kWh für das gesamte Gerät. Die Strahlung wird aber über einer Fläche von 7.7 m^2 eingesammelt. Deshalb ist der Verlust durch Wärmestrahlung beim Linearspiegel pro m^2 Fläche nur 0.01 kWh (0.03 kWh).

Wir subtrahieren diese Werte vom Gesamtwärmeverlust, wie er in Tabelle 2 gezeigt war. Der übrigbleibende Anteil am Wärmeverlust durch Wärmeleitung und Konvektion ist in Tabelle 3 gezeigt. Zum besseren Vergleich wird auch noch einmal die Gesamtenergieausbeute von Tabelle 1 mit angeführt.

	0 °C	40 °C	80 °C
Flachkollektor	4.3 kWh	2.2 kWh	0.7 kWh
Vakuumröhren	2.9 kWh	2.4 kWh	1.7 kWh
Linearspiegel	5.1 kWh	4.9 kWh	4.6 kWh

	0 °C	40 °C	80 °C
Flachkollektor	0 kWh	1.9 kWh	3.1 kWh
Vakuumröhren	0 kWh	0.4 kWh	0.9 kWh
Linearspiegel	0 kWh	0.2 kWh	0.5 kWh

Tabelle 3: unten: Wärmeverlust durch Leitung und Konvektion (ohne Wärmestrahlung) pro Tag und m^2 . Oben: zum Vergleich noch einmal die bereitgestellte Energie (von Tabelle 1).

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, produzieren die traditionellen Geräte in etwa so viel Energie, wie sie durch Wärmeleitung und Konvektion verlieren. Zum Beispiel verliert der Flachkollektor bei einer Temperaturdifferenz von 40 °C 1.9 kWh , und gibt an den Verbraucher 2.2 kWh ab. Wenn sich durch den Wind dieser Verlust zum Beispiel verdoppelt, so wird die Energieproduktion auf $2.2\text{ kWh} - 1.9\text{ kWh} = 0.3\text{ kWh}$ absinken. Bei 80 °C wird der Flachkollektor dann gar keine Energie mehr abgeben.

Wenn sich der Energieverlust durch Windeinwirkung verdreifacht, wird nicht einmal der Röhrenkollektor Energie abgeben können. Der Linearspiegel hingegen wird immer noch 4.6 kWh – 1 kWh = 3.6 kWh an Energie ernten.

Wir haben in öffentlich zugänglichen Informationsmaterial (internet, wikipedia) keine genaueren Zahlen zu diesem Thema finden können. Deshalb dürfen auch die von uns präsentierten Zahlen nur als ganz ungefähre Abschätzungen verstanden werden, die aber immerhin belegen, wie wichtig die genauere Erforschung dieser Thematik ist.

Immerhin, einige verstreute Teilinformationen existieren, zum Beispiel in http://www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/segs_ls2_solar_collector.pdf oder in der Diplomarbeit von C. Newton in <http://www.redrok.com/NewtonSolarSteamManuscript.pdf>. Dort wird berechnet, dass ein Anwachsen der Windgeschwindigkeit von 1 m/s auf 8 m/s die Wärmeverluste des dort untersuchten Kollektors auf das Dreifache anwachsen lässt.

Es wird in jener Arbeit sogar behauptet, dass bereits das Anwachsen der Windgeschwindigkeit von 0 m/s auf 1 m/s den Wärmeverlust verdreifacht. Das würde bedeuten, dass ein bei völliger Windstille vermessener Kollektor sogar 9 mal mehr Energie „produziert“ als ein auf dem Dach einem Wind von 8 m/s ausgesetzter gleichartiger Kollektor.

Dennoch ist – soweit wir herausfinden konnten – die Auswirkung von Wind auf die Kollektorleistung in den europäischen Richtlinien nicht berücksichtigt (EN12975). Sondern es scheint normalerweise bei geringen Windgeschwindigkeiten oder bei Windstille gemessen zu werden, wie es zum Beispiel in <http://www.genersys-solar.com/downloads.asp?ID=100> dokumentiert ist.

Es steht daher zu erwarten, dass ein traditioneller Solarkollektor, wenn man ihn auf einem Hausdach montiert, wo er dem Wind ausgesetzt ist, eine weit geringere Leistung haben wird als von den europäischen Standardmessungen ausgewiesen.

Dieses Problem ist für den Linearspiegel weit geringfügiger: selbst bei hohen Temperaturdifferenzen verliert er ja vergleichsweise wenig Energie. Seine Energieproduktion von 4.6 kWh (Tabelle 1) würde selbst bei 8 m/s Windgeschwindigkeit lediglich auf 3.6 kWh reduziert werden (wiederum unter der Annahme, dass durch den Wind der Energieverlust verdreifacht wird).

6. Schlussfolgerung

Normalerweise wird die Leistung von Solarkollektoren unter Laborbedingungen gemessen, ohne Wind. Unter diesen idealisierten Bedingungen leistet der Linearspiegel 2 bis 7 mal so viel wie ein herkömmlicher Solarkollektor.

In der Praxis sind Kollektoren aber auch dem Wind ausgesetzt. Dieser kann die Leistung eines herkömmlichen Kollektors sehr stark reduzieren.

Der Linearspiegel ist wesentlich weniger gegen Wind empfindlich, weil sein Wärmetauscher vergleichsweise klein ist. Selbst unter Bedingungen, unter denen herkömmliche Geräte, auch Vakuumröhrenkollektoren, ganz ihren Betrieb einstellen, wird der Linearspiegel mit leicht reduzierter Leistung weiterarbeiten.

Der Linearspiegel stellt deshalb nicht nur eine wesentliche qualitative Verbesserung der herkömmlichen Solartechnologie dar, sondern eröffnet im praktischen Einsatz auch prinzipiell neue Anwendungsfelder.