

Parametrische Variation der Kollektorkennzahlen

Teil VI

Physikalische Grundlagen zur Berechnung von Flachkollektoren

Von Dr. Ulf Bossel, Göttingen

Letzte Fortsetzung der Beitragsserie aus den Heften 4, 5, 6/76, 1/77 und 2/77.

Zur Darstellung der in Teil V hergeleiteten Kollektorgleichung sollen nun die wesentlichen Einflußparameter variiert werden, um die Veränderung des Kollektorwirkungsgrades in Abhängigkeit von anderen Einflußgrößen darzustellen.

Zu diesem Zweck wird ein Kollektor untersucht, der folgende Abmessungen besitzt:

Länge	1 500 m
Breite	1 000 m
A_k	1 500 m ²
Höhe	0,090 bzw. 0,110 m
Absorberlänge	1,44 m
Absorberbreite	0,94 m
$A_p = 1,35 \text{ m}^2$,	$a_p = 0,897$
Fensterlänge	1,45 m
Fensterbreite	0,95 m
$A_f = 1,37 \text{ m}^2$,	$a_f = 0,913$

Diesem Kollektor werden nun rechnerisch eine oder zwei Abdeckungen aus Glas und Platinen mit unterschiedlicher Absorptionsschicht eingebaut. Außerdem wird dieser gedachte Kollektor unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten, Einstrahlungen und Umgebungstemperaturen unterworfen. Drittens wird der Kollektor in jedem Rechengang unterschiedlichen Betriebsbedingungen unterworfen. In jedem Fall bleibt der Anstellwinkel von $s = 45^\circ$ und die Stärke und Ausführung der rückwärtigen Wärmedämm-

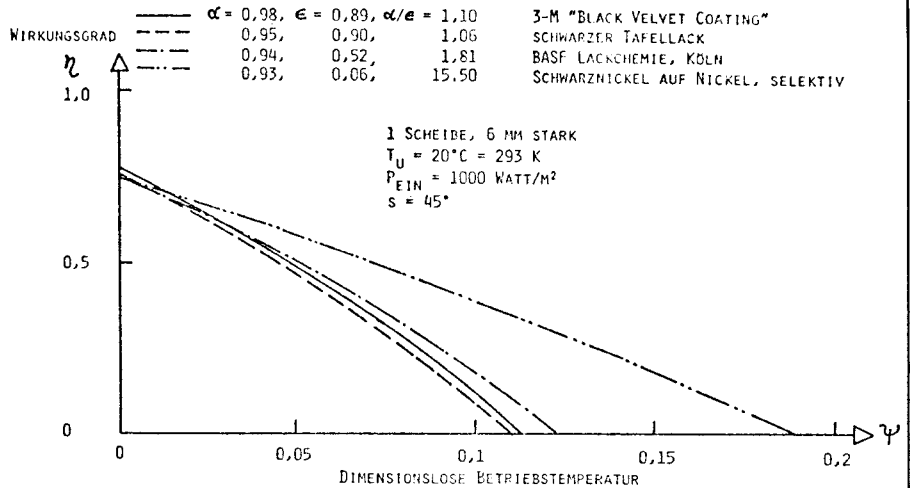


Bild 28: Kollektorwirkungsgrade für verschiedene Beschichtungen bei einfacher Abdeckung

schicht von 50 mm PU-Schaum erhalten.

Das Transmissionsvermögen der Abdeckung wird rechnerisch anhand der in Teil IV gegebenen Gleichungen ermittelt. Es liegt bei der einschleibigen Ausführung bei 0,916 und bei der Doppelverglasung bei 0,844. Das Absorptionsvermögen α ist an die Wahl der Absorberschicht gekoppelt.

Das Rechenprogramm

Um die Untersuchung so aussagekräftig wie möglich zu machen, wurde statt der in Teil V hergeleiteten komplizierten Gleichungen, die in "Solar

Energy Thermal Processes" von J. A. Duffie und W. A. Beckman angegebenen Formeln verwendet, die zusätzliche Effekte beschreiben und deshalb sehr kompliziert sind. Allerdings behaupten die Autoren, daß ihr Ausdruck, der auf analytischen Überlegungen und empirischen Erfahrungen basiert, den Wirkungsgrad des Kollektors mit einer Genauigkeit von 0,5 % angibt, was für diese parametrische Variation auf jeden Fall ausreicht.

Zusätzlich zu den eingangs hergeleiteten Ausdrücken für die drei Verlustarten infolge Wärmeleitung, Wärmekonvektion und Wärmestrahlung beinhaltet die Formel der Autoren noch die Verluste infolge erwungener Konvektion durch Wind, die Abstrahlung von Wärme vom Glas der Abdeckung, den Anstellwinkel des Kollektors und vieles mehr. Es würde zu weit führen, diese Gleichungen hier aufzuführen, geschweige denn herleiten zu wollen.

Die Ergebnisse sind in der folgenden Weise, in Bild 27 dargestellt, zu interpretieren. Von der auf den Kollektor eingestrahelten Energiemenge (horizontale Linie bei $\eta = 1.0$) sind überhaupt nur $a_p \alpha \tau$ (zweite horizontale Linie) nutzbar. Wird der Kollektor jedoch auf einem gegenüber der Umgebung erhöhten Temperaturniveau betrieben (dimensionslose Betriebstemperatur größer als Null), dann vermindert sich die verfügbare Leistung um den Verlustbetrag $a_p \alpha \tau C(r) \psi$. Dieser wächst mit steigender Temperaturdifferenz, also steigendem ψ . Die Ver-

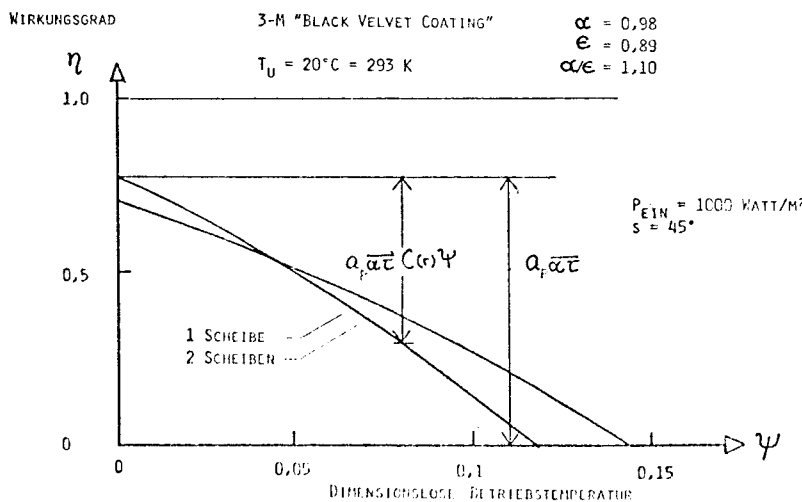


Bild 27: Deutung der Wirkungsgradkurven

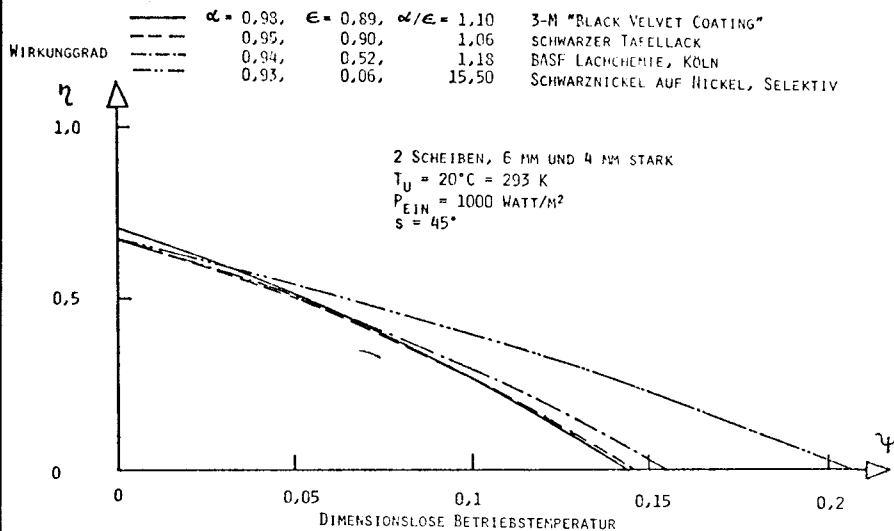


Bild 29: Kollektorwirkungsgrade für verschiedene Beschichtungen bei doppelter Abdeckung

luste nehmen nicht etwa linear mit steigendem ψ zu, sondern mehr als das, was der Grund für den leicht nach unten gekrümmten Verlauf der Kollektorkennlinien ist. Der Schnittpunkt der Wirkungsgradlinie mit der ψ -Achse bestimmt die Leerlauftemperatur, die wegen der Definition $\psi = k_0 (T_p - T_U) / P_{\text{EIN}}$ leicht zu ermitteln ist. Für den einschleibigen Kollektor beginnt die Kennlinie bei einem etwas höheren Wirkungsgrad als für den zweischiebigen. Allerdings nehmen beim einschleibigen Gerät die Verluste rascher zu als beim zweischiebigen, weshalb man auch dann zu Doppelverglasungen greift, wenn man bei niedrigen Einstrahlungen hohe Temperaturdifferenzen erzeugen möchte.

Einfluß der Absorberschicht

In Bild 28 und Bild 29 sind für die eingangs vorgestellten Kollektorabmessungen die Platinenbeschichtungen verändert worden. Es wurden vier verschiedene handelsübliche Beschichtungen gewählt ("Black Velvet Coating" von 3 M, schwarzer Tafellack, Selektivlack der BASF-Lackche-

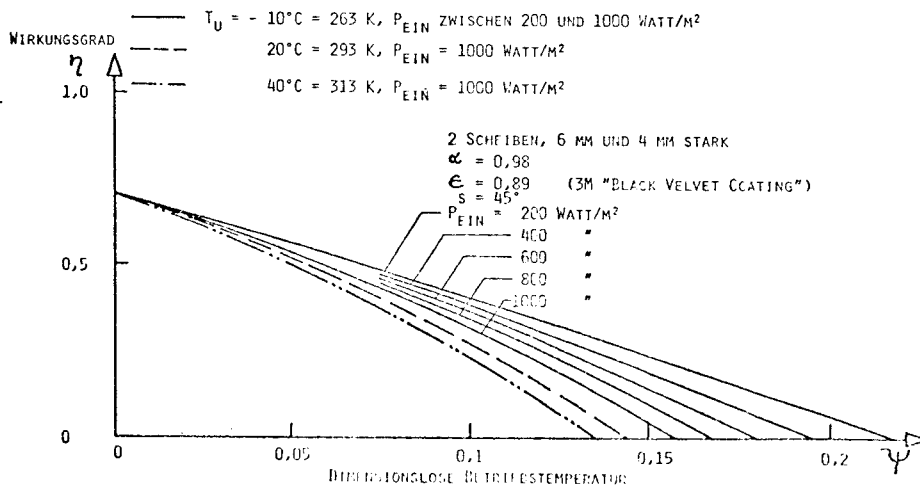


Bild 31: Kollektorwirkungsgrade in Abhängigkeit von der Einstrahlung und der Umgebungstemperatur

mie, Köln, und Schwarznickel auf Nickel). Beide Bilder zeigen, daß nennenswerte Unterschiede zum idealen schwarzen Körper erst bei Verwendung der stark selektiven Beschichtungen aus Schwarznickel auf Nickel zu erreichen sind. Schwach selektiv wir-

kende Lacke bringen nur relativ geringe Verbesserungen.

Beim Einschleibenkollektor sind die Unterschiede in den drei schwarzen Beschichtungen noch vorhanden, während bei einem zweischiebigen Gerät die Differenzen verloren zu gehen scheinen. Durch Vergleich der beiden Abbildungen kann man ferner feststellen, daß zwischen der einschleibigen und zweischiebigen Abdeckung bei einer selektiven Schicht kein wesentlicher Unterschied besteht. Erst für ein $\psi = 0,09$ wird das Zweischiebengerät besser.

Einfluß der Einstrahlung und der Umgebungstemperatur

Die Interpretation dieser Einflüsse ist etwas schwierig, da beide Größen sowohl in der Variablen ψ als auch in der Größe r des Verlustterms enthalten

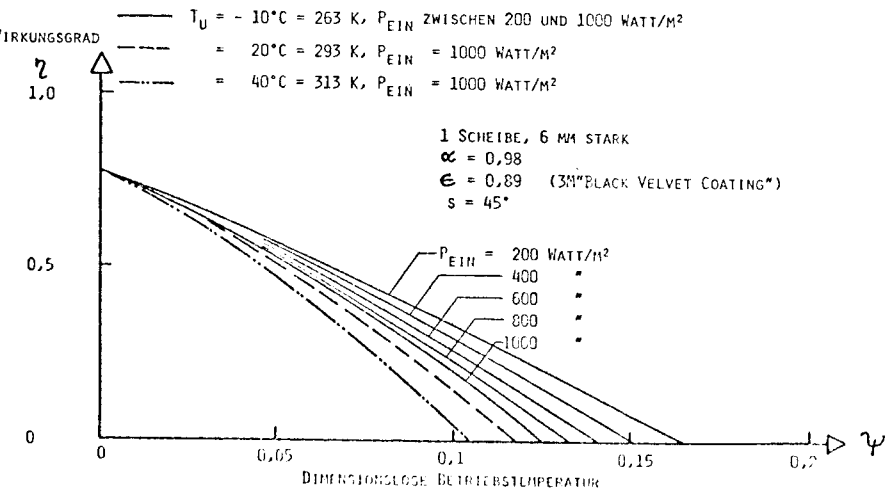


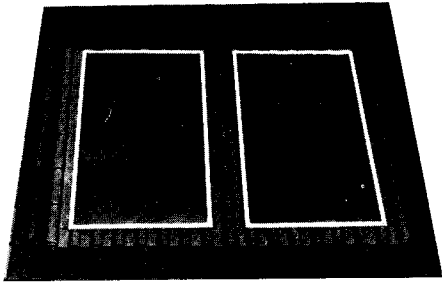
Bild 30: Kollektorwirkungsgrade in Abhängigkeit von der Einstrahlung und der Umgebungstemperatur

sind. Bild 30 und Bild 31 zeigen jedoch für den einschleibigen und zweischiebigen Kollektor, daß die Einflüsse der beiden Größen erheblich sein können. Für ein vorgegebenes ψ , das ja das Verhältnis von Temperaturdifferenz und eingestrahelter Leistung in dimensionsloser Form ausdrückt, wird bei kleiner Einstrahlleistung auch ein kleineres Delta-T erzeugt. Das hat eine Verminderung der Platinentemperatur zur Folge. Bei der kleineren Temperatur verringern sich aber auch die Verluste, weshalb die Kurve für 200 W/m² über der für 1000 W/m² liegt. Etwas Ähnliches geschieht auch, wenn die Platine bei vorgegebener Einstrahlung wegen höherer Umgebungstemperatur auf einem erhöhten Temperaturniveau gefahren werden muß. Auch in diesem Fall erhöhen sich die Verluste, bzw. vermindert sich der Wirkungsgrad. Die diskutierten Einflüsse sind für beide untersuchten Abdeckungen gleichermaßen wirksam.

Einfluß der Windgeschwindigkeit

In Bild 32 und Bild 33 ist der Einfluß der Windgeschwindigkeit auf

DIE ALTERNATIVE ZUR NÄCHSTEN ÖL-PREISERHÖHUNG HEISST NUTZUNG DER SONNENERGIE



Gleich vorweg, rein mit Sonnenenergie ist in unseren Klimazonen nicht auszukommen. Die Wirtschaftlichkeit einer Solar-Anlage zeigt sich jedoch im Zusammenspiel mit anderen Heizungstechniken am verminderten Ölverbrauch. So kann von April bis September das Brauchwasser zu 90% von der Solar-Anlage gestellt werden. Die Einsparung an Öl im Jahr ist so beträchtlich, daß sich die Anlage bereits nach 6-8 Jahren amortisiert hat.

Eine Solar-Anlage arbeitet optimal bei Heizungssystemen im Niedrigtemperaturbereich, wie z. B. bei Fußboden- und Deckenheizung, Warmluftheizung und bei Schwimmbädern, da über 50% der anfallenden Energie im Haus mit Temperaturen unter 70° benötigt wird.

Die Solar-Technik

1. Unsere Sonnen-Kollektoren sind optisch gut gelöst und fügen sich harmonisch ins Dach ein.
2. Der Dacheinbau ist 100% regendicht ohne zusätzliche Kosten für das Dachabdichten (z.B. einbleien).
3. Solar-Anlagen sind nach dem Prinzip des Baukastensystems weiter ausbaufähig und können mit Ihren Ansprüchen wachsen.
4. Eine zusätzliche gewichtsmäßige Belastung des Dachstuhls durch die Kollektoren ist nicht gegeben.
5. Solar-Anlagen arbeiten mit einem geschlossenen Kreislauf über Warmwasserbereiter mit 2 Heizschlangen. Sie sind vor Frost und vor Überhitzung geschützt.
6. Die Kollektoren sprechen durch den geringen Wasserinhalt von 1,6 l sofort an und liefern Energie.
7. Unsere Solar-Anlagen sind nahezu wartungsfrei und haben eine lange Lebensdauer. Wir gewähren eine Garantie von 5 Jahren.

Wir projektieren und planen Ihre komplette Sonnenenergie-Anlage. Montage erfolgt über eingespielte Teams.

SOLAR

Solar-Heizungsvertrieb GmbH.
Luitpoldstraße 16, 8600 Bamberg
Telefon 09 51/ 2 66 64

Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS)

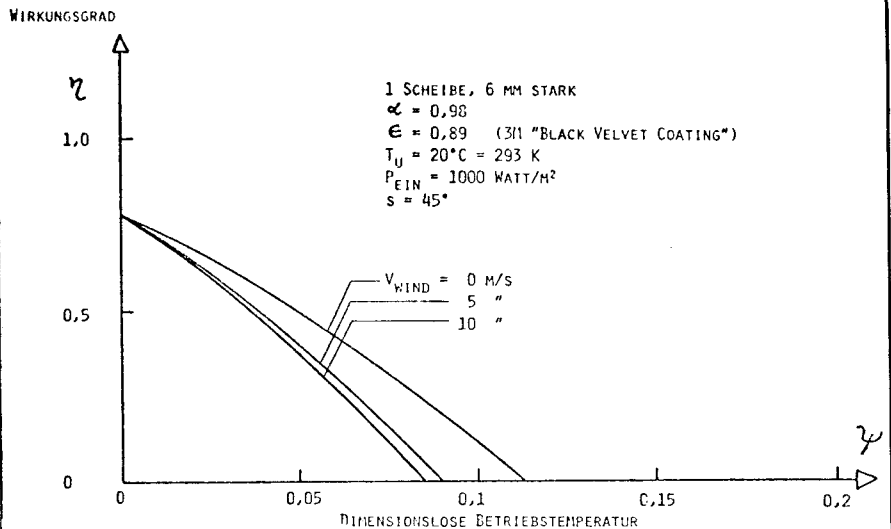


Bild 32: Kollektorwirkungsgrad in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

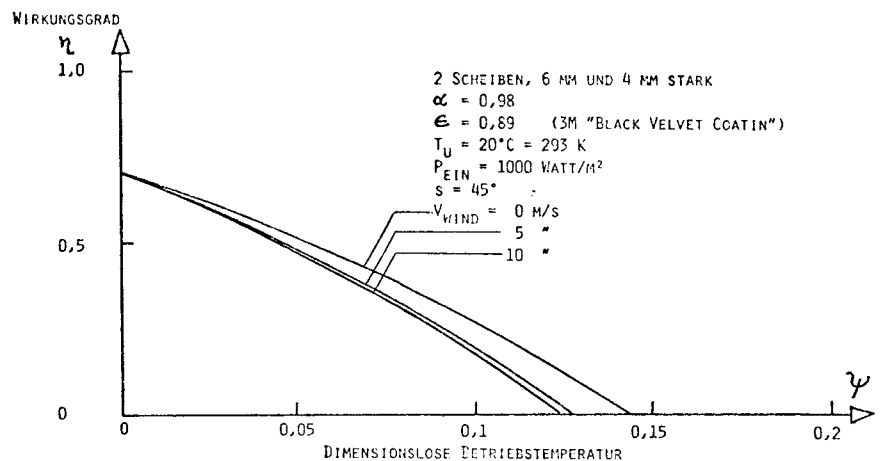


Bild 33: Kollektorwirkungsgrad in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

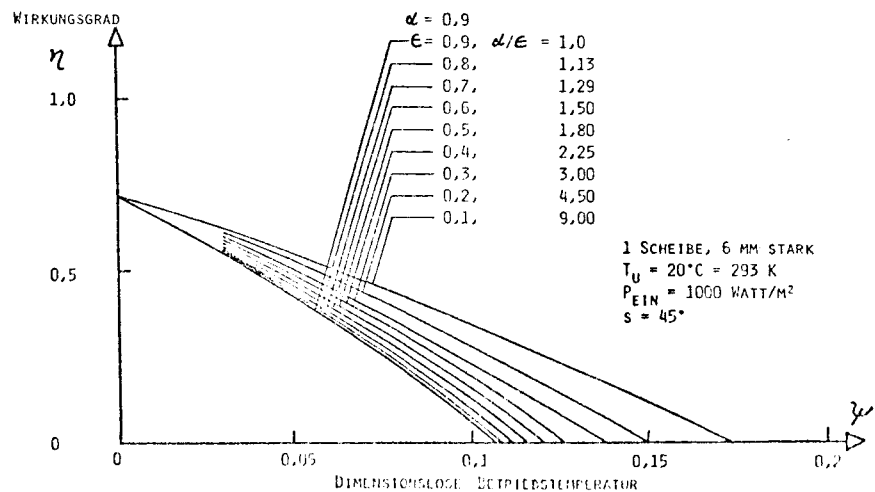


Bild 34: Kollektorwirkungsgrad in Abhängigkeit von der Selektivität der Absorbierschicht

den Kollektorwirkungsgrad dargestellt. Wind, gleich aus welcher Richtung, über den Kollektor streicht, führt infolge einer "erzwungenen" Konvektion Wärme ab, die bei Windstille als

Nutzwärme verfügbar gewesen wäre. Der Wirkungsgrad vermindert sich mit zunehmender Windstärke, was beide Bilder zum Ausdruck bringen. Beim Zweischeibenkollektor hat der Wind

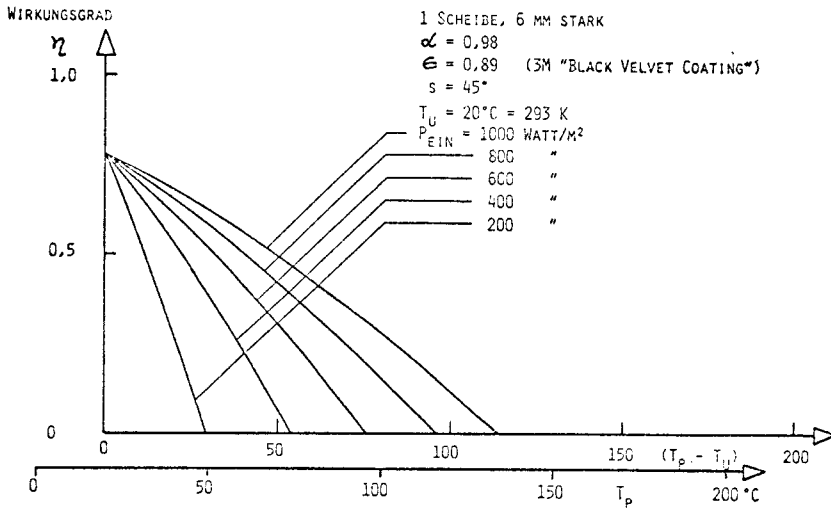


Bild 35: Kollektorstufenwirkungsgrade in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur

einen geringeren Einfluß auf den Wirkungsgrad als beim einschleibigen Gerät. Dies hängt natürlich mit der besseren Abschirmung der Platine durch die zweite Glasscheibe zusammen.

Einfluß der Selektivität auf den Wirkungsgrad

In Teil V wurde bereits gezeigt, daß ein möglichst großes Absorptionsvermögen α und ein möglichst kleines Emissionsvermögen ϵ wünschenswert sind. Dies ist jedoch nur in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen zu verwirklichen, da nach dem Kirchhoff'schen Gesetz bei einer bestimmten Wellenlänge Absorption und Emission gleich sein müssen. Strahlung wird bei Flachkollektoren jedoch im Bereich der Solarstrahlung zwischen 0,3 μm und 2,6 μm angeboten, während ein 100 °C heißer Absorber bei Wellenlängen zwischen 2 μm und 50 μm Wärme abstrahlt.

Bild 34 zeigt, wie sich der Kollektorstufenwirkungsgrad mit zunehmender Selektivität der Oberfläche verbessert. Bei den Modellrechnungen wurde das Absorptionsvermögen mit $\alpha = 0,9$ kon-

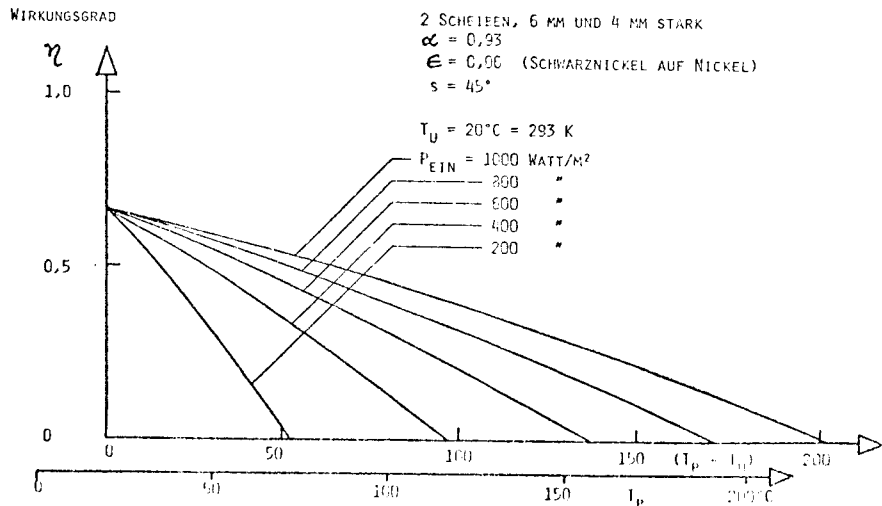


Bild 36: Kollektorstufenwirkungsgrade in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur

stant gelassen und die Emmissivität ϵ von 0,9 bis 0,1 variiert, was α/ϵ -Verhältnissen zwischen 1 und 9 entspricht. So erhöht sich zum Beispiel die Leerlaufstemperatur im untersuchten Fall von 126 auf 193 °C. Entsprechend steigen die Wirkungsgrade bei

wendeten Materials, d. h. die Abgabe von kondensierbaren Dämpfen aus den Wärmedämmstoffen, aus Kittungen und Dichtmassen, aus Absorberfarbe usw. führt zum Beschlagen der kühleren Scheibe, also zum "Erblinden" des Kollektors. Auch kann sich die innere Scheibe bei Leerlaufzuständen so stark erhitzen, daß sie wegen thermischer Spannungen zerplatzt. Die genaue Kenntnis der Leerlaufstemperatur ist während der Kollektorentwicklung also absolut notwendig.

In Bild 35 und Bild 36 sind die Wirkungsgrade über der Temperaturdifferenz zwischen Platine und Umwelt dargestellt. Wie erwartet, erwärmt sich die Platine bei unterschiedlichen Strahlungsbelastungen auch verschieden. Der in Bild 35 dargestellte Fall stellt dabei die untere, der in Bild 36 gezeigte Fall die obere Belastung dar. Im ersten Fall ist der einfache schwarze Absorber, im zweiten der selektiv beschichtete Absorber untersucht worden.

Bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C ergeben sich Absorbertempera-

Fortsetzung auf Seite 24

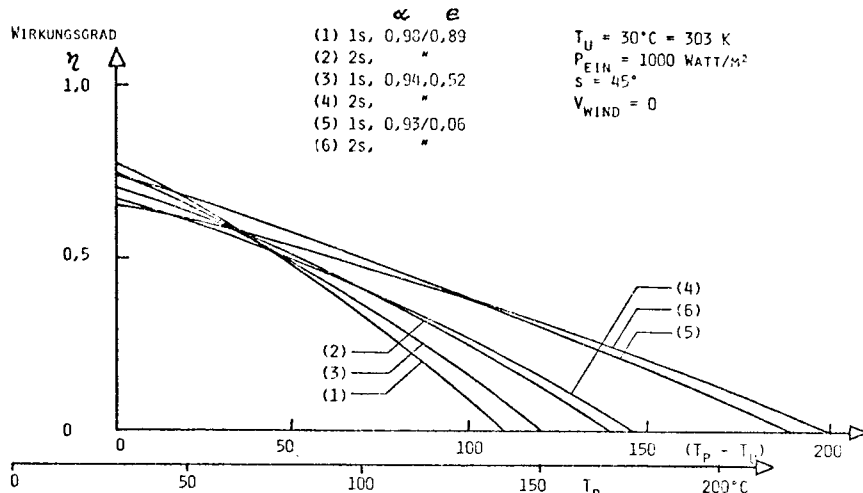


Bild 37: Kollektorstufenwirkungsgrad in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur, Leerlauftemperaturen