

Lars Pietsch

Im Jahr 2003 wurden in Deutschland 1 352 600 m² Flachkollektoren installiert. Mit zunehmender Nutzung zur Heizungsunterstützung steigen die durchschnittlichen Anlagengrößen. Dabei spielt aus der Sicht des Kunden der Preis und eine optisch gelungene Integration des Kollektorfeldes in die Dachhaut eine wichtige Rolle. Der Installationsbetrieb orientiert sich hingegen an der Montagefreundlichkeit der Kollektoren. Das Optimierungspotenzial von Flachkollektoren hinsichtlich Gewichtsreduzierung und Minimierung der Abmessungen bei gleicher- bzw. gesteigerter Leistung ist längst noch nicht erschöpft.

Optimization potential of flat-plate collectors

In Germany 1 352 600 m² flat-plate collectors were installed in the year 2003. With increasing use for heater support the average plant sizes rise. The price and an optically succeeded integration of the collector field into the roof membrane plays an important role from the view of the customer. The heating engineer orients himself however at the assembly friendliness of the collectors. The optimization potential of panel collectors regarding weight reduction and minimization of the dimension with same or increased achievement by far does not yet exhaust.

Keywords: flat-plate collector, collector efficiency, absorber geometry, air gap, heat losses, computer model

Dipl.-Ing. (FH) L. Pietsch, MAICO Elektroapparate-Fabrik GmbH, Villingen-Schwenningen

Optimierungspotenzial an Flachkollektoren

Die Knappheit fossiler Brennstoffressourcen sowie Preisanstieg bzw. Preisschwankungen der Endprodukte fordern eine zunehmende Entwicklung bei der Nutzung regenerativer Energien. Dabei spielt aus heutiger Sicht die thermische Solarenergienutzung eine dominierende Rolle in der Planung und Ausführung gebäudetechnischer Anlagen.

Nach den durch allgemeine Wirtschaftslage und Kaufzurückhaltung der Kunden zu verzeichnenden Markteinbrüchen im Jahr 2002 sind neue Strategien für ein Wachstum der Solarbranche gefragt. Die steigende Nachfrage an Solaranlagen im Vorjahr stützte sich weitestgehend auf die Anhebung des staatlichen Fördersatzes für Solarkollektoren von 92 auf 125 Euro pro Quadratmeter Kollektorfläche und die gegenüber dem Marktzins verbilligten Darlehen (Bild 1).

Seit dem 1. Januar 2004 liegt der Fördersatz bei 110 Euro/m² [1]. Die Hersteller sind zum Handeln aufgerufen, damit der Solarthermie-Markt nicht durch politische Einflüsse bestimmt wird. Das vorhandene Potenzial muss effektiv genutzt

werden, damit sich in naher Zukunft Solarsysteme auch ohne öffentliche Unterstützung auf dem Markt behaupten.

Teilkomponente Flachkollektor

Die wichtigste Komponente einer thermischen Solaranlage ist der Kollektor, welcher die solare Strahlungsenergie der Sonne in Wärme umwandelt. Dabei treten im Kollektor Verluste durch Wärmeleitung, Emission und Reflexion auf (Bild 2).

Die im Jahr 2003 installierte Kollektorfläche in Deutschland unterteilt sich zu ca. 90 % in Flachkollektoren und zu ca. 10 % in Vakuumröhrenkollektoren. Die Vakuumröhrenkollektoren beinhalten eine komplizierte Technik, welche sich auch im Preis widerspiegelt. Die Anschaffungskosten liegen mit 500 bis 700 Euro/m² um 40 % über den der besten Flachkollektoren. Die nachfolgenden theoretischen Betrachtungen sind eine Orientierung für Optimierungsmöglichkeiten an Flachkollektoren, die zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der gesamten Solaranlage beitragen.

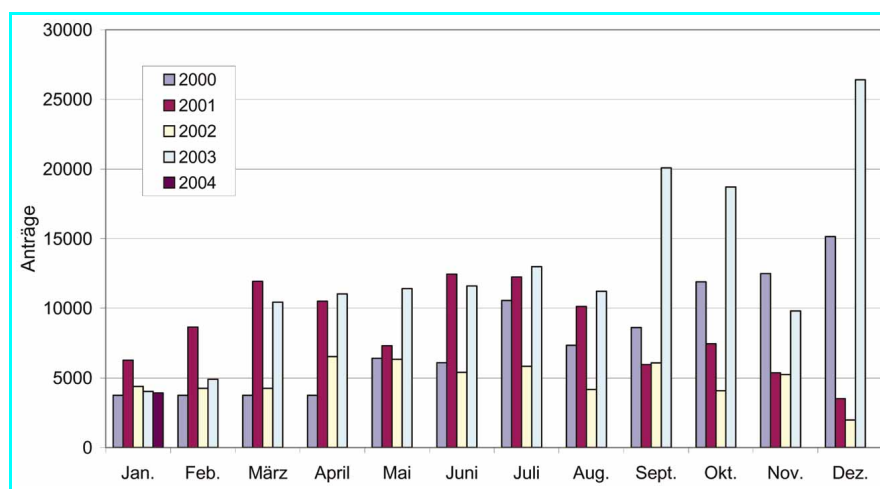


Bild 1: Antrageingänge im Marktanzreizprogramm



KI Kälte · Luft ·
Klimatechnik
INGENIEURWISSEN IN FORSCHUNG UND PRAXIS



Entdecken Sie weitere interessante
Artikel und News zum Thema auf
ki-portal.de!

Hier klicken & informieren!



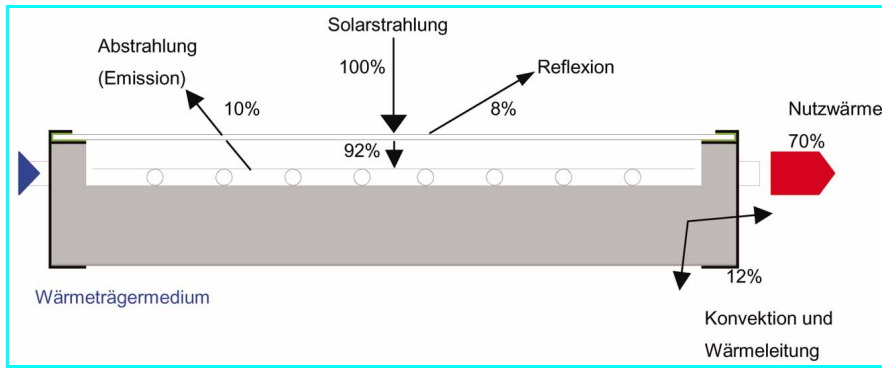


Bild 2: Wärmebilanz am Flachkollektor (Beispiel)

Theoretische Voruntersuchungen

Gerade bei ersten Untersuchungen zu einer neuen Kollektorentwicklung sind möglichst genaue Ertragsvorhersagen gefragt. Von einer Ermittlung des Wirkungsgrades aus praktischen Versuchen auf Kollektorprüfständen ist abzuraten. Ständig anstehende Änderungen am Kollektoraufbau und die daraus resultierenden Messungen sind zeit- und kostenintensiv. Es ist sinnvoll, die Funktionsweise des Kollektors in einem theoretischen Modell zu beschreiben. Das Ziel des analytischen Verfahrens liegt vor allem in der Berechnung und Darstellung des Wirkungsgrades und der Nutzleistung.

Nachfolgend wird ein iteratives Lösungsverfahren vorgestellt mit dem die hydraulischen und thermischen Prozesse im Kollektor simuliert werden können. Es können gezielte Aussagen zu Auswirkungen von Veränderungen an der Kollektorgeometrie getroffen werden.

Analytische Modellierung

Das Formelwerk für die Simulationsrechnungen beruht auf den Ableitungen von J. A. Duffie und N. A. Beckmann [3]. Dabei wurden die thermischen Prozesse auf der Grundlage des VDI-Wärmeatlas noch verfeinert.

Die Nutzleistung Q_n des Kollektors wird aus einer einfachen Leistungsbilanzgleichung abgeleitet. So berechnet sich die auf einen Quadratmeter der Absorberfläche A_c bezogene Nutzleistung aus der Differenz der durch die optischen Verluste geminderten Einstrahlung und der thermischen Verluste:

$$q_n = \frac{Q_n}{A_c} = G_K \cdot \tau \cdot \alpha - U_L \cdot (T_{p,m} - T_a) \quad (1)$$

Der thermische Wirkungsgrad des Kollektors ergibt sich folglich aus dem Quotienten der flächenbezogenen Nutzleistung und der globalen Einstrahlungsstärke. Die thermischen Verluste über die Kollektoroberseite, Unterseite und die Seitenflächen werden im Gesamtwärmedurchgangskoeffizient U_L zusammengefasst:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_n}{A_c \cdot G_K} = \underbrace{\tau \cdot \alpha}_{\eta_0} - U_L \cdot \underbrace{\frac{(T_{p,m} - T_a)}{G_K}}_{\text{therm. Verluste}} \quad (2)$$

Die mittlere Temperatur des Absorberbleches $T_{p,m}$ ist eine komplizierte Funktion des Abstandes der wärmeabführenden Absorberrohre und der Strömungslänge (Bild 3). Die Bestimmung eines genauen Mittelwertes kann nur aufwändig aus einer gemessenen Temperaturverteilung ermittelt werden.

Für die Berechnung des Wirkungsgrades ist es jedoch nützlich, eine bekannte bzw. gut messbare Temperaturgröße zu verwenden. Die Grundlage hierfür ist die Fluideintritts-Temperatur in den

Kollektor, welche im allgemeinen durch die Speichertemperatur gegeben ist. Bei nicht zu geringen Durchflussmengen lässt sich der arithmetische Mittelwert zwischen Ein- und Austrittstemperatur des Kollektors nutzen.

Für die Darstellung der Ergebnisse in Abhängigkeit der Fluidtemperatur wird der Kollektorwirkungsgradfaktor F' eingeführt (3). Dieser gibt das Verhältnis des momentan nutzbaren Energiegewinnes zu dem nutzbaren Energiegewinn an, der auftreten würde, wenn die Absorberplattentemperatur gleich der lokalen Fluidtemperatur wäre. Der Kollektorwirkungsgrad η ist dann proportional von F' abhängig.

$$\eta = F' \cdot \left[(\tau\alpha)_{eff} - U_L \cdot \left(\frac{T_{f,m} - T_a}{G_K} \right) \right] \quad (3)$$

Der Faktor F' reduziert gleichzeitig den optischen Wirkungsgrad:

$$\eta_0 = F' \cdot (\tau \cdot \alpha)_{eff}$$

Geometrisch ausgedrückt, beschreibt der Kollektorwirkungsgradfaktor F' das Verhältnis von Wärmewiderständen, die sich auf einer normierten Fläche eines Absorberstreifens (Breite W , Länge $l = 1 \text{ m}$) ergeben (Bild 3).

Wie das Bild 3 zeigt, beeinflussen die Geometriedaten wie Streifenbreite W , Innen- und Außendurchmesser D_i und D des Absorberrohres sowie der Aufbau der Verbindung zwischen Blech und Rohr den Kollektorwirkungsgradfaktor F' . Weitere Einflussgrößen sind die Wärmeübergänge vom Absorberblech zum Absorberrohr C_b und vom Absorberrohr zum Wärmeträgermedium h_{fi} . Letztlich werden bei der Berechnung von F' noch der Gesamtwärmedurchgangsko-

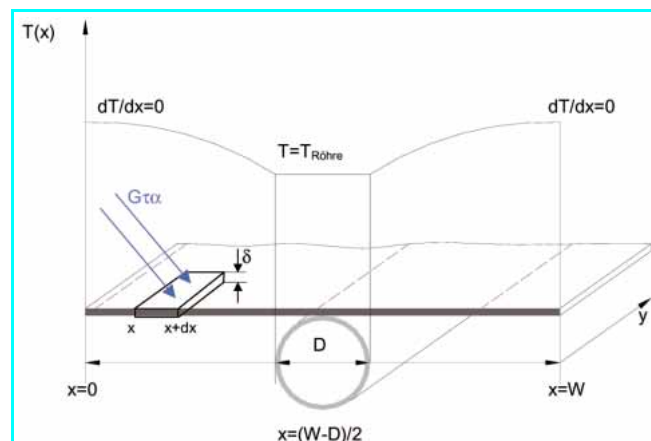


Bild 3: Absorbergeometrie und Flächenelement für Leistungsbilanz [2]

effizient U_L und der Kühlkörperwirkungsgrad F berücksichtigt. F gibt dabei das Verhältnis des tatsächlichen Wärmestroms Q_N zum idealen Wärmestrom an, der sich ergibt, wenn das gesamte Absorberblech auf der niedrigeren Temperatur wäre.

Die mittlere Absorberplatten- und Fluidtemperatur sowie die mit dem Kollektor erzielbare Nutzleistung wird über den Wärmeabfuhrfaktor F_R berechnet. Dieser gibt das Verhältnis der tatsächlichen Nutzleistung zu der erzielbaren Nutzleistung, wenn der komplette Absorber auf der Fluideintritts-Temperatur wäre. Der Kollektordurchflussfaktor F'' gibt das Verhältnis F_R/F' an.

$$T_{p,m} = T_{f,j} + \frac{Q_u}{A_c \cdot F_R \cdot U_L} \cdot (1 - F_R) \quad (4)$$

$$T_{f,m} = T_{f,j} + \frac{Q_u}{A_c \cdot F_R \cdot U_L} \cdot (1 - F'') \quad (5)$$

Da die dimensionslosen Auslegungsfaktoren F' , F_R und F'' sowie der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient U_L im gesamten Berechnungsalgorithmus ständige Verknüpfungen bzw. Abhängigkeiten aufweisen, kann der Wirkungsgrad nur über ein iteratives Lösungsverfahren ermittelt werden. Dafür werden realistische Startwerte für die mittlere Glastemperatur, die Fluideintritts-Temperatur sowie die mittlere Absorbertemperatur vorgegeben. Die Iteration mit den neu berechneten Temperaturen wird solange durchgeführt, bis die Abweichung zwischen Vorgabetemperatur und Ergebnistemperatur kompensiert ist. Alle Stoffwerte wie Wärmeleitfähigkeit, Prandtl-Zahl und kinematische Viskosität gehen temperaturabhängig in die Berechnung ein.

Wärmeverluste am Flachkollektor

Ab einer Wärmeträgertemperatur von etwa 35 °C vergrößert sich der prozentuale Anteil der Wärmeverluste gegenüber den optischen Verlusten deutlich (Bild 4). Der Betrag der Wärmeverluste ergibt sich vor allem aus dem Kollektoraufbau und der Auswahl der Isoliermaterialien sowie den Schichtstärken. Im Gesamtwärmedurchgangskoeffizient U_L werden die Wärmeverluste an die Umgebung zusammengefasst:

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (6)$$

Die Wärmeverluste setzen sich bei einem Modulkollektor (2 m²) zu 70 % aus den Verlusten über die Kollektoroberseite U_t , sowie zu 30 % aus den Verlusten über die Kollektorunterseite U_b und den Seitenflächen U_e zusammen. Der betragsmäßig größte Wärmedurchgangskoeffizient über die transparente Abdeckung setzt sich aus den Wärmeübergangskoeffizienten h zwischen Absorber und Glasabdeckung (Index p-c) sowie zwischen Glasabdeckung und Umgebung (Index c-a und w) zusammen. Dabei werden die Anteile für Strahlung (Index r) und Konvektion (Index c) explizit behandelt.

$$U_t = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \right)} \quad (7)$$

Die Wärmedurchgangskoeffizienten durch die Kollektorrückseite U_b und die Seitenflächen U_e berechnen sich aus der Isolierschichtdicke δ , der Wärmeleitfähigkeit λ und dem äußeren Wärmeübergangswiderstand zwischen Isolierung und Umgebung. Es wird mit einem

äußeren Wärmeübergangskoeffizienten $h_a = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (DIN 4108/ - 4701) gerechnet, da die Temperaturen der Außenseite der Wärmedämmung nur gering schwanken

$$U_b = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{Isolierung}}}{\lambda_{\text{Isolierung}}} + \frac{1}{h_a}} \quad (8)$$

Die Verluste durch die Kollektorseiten mit den geringen Flächenanteilen werden auf die Aperturfläche bezogen. Das bedeutet, mit zunehmender Kollektorgroße verringert sich der Wärmedurchgangskoeffizient über die Seitenflächen U_e .

$$U_e = \frac{U \cdot H}{\left(\frac{\delta_{\text{Isolierung}}}{\lambda_{\text{Isolierung}}} + \frac{1}{h_a} \right) \cdot A_c} \quad (9)$$

Randbedingungen

Für die Darstellung der thermischen und hydraulischen Prozesse des Kollektors in einem mathematischen Modell werden vereinfachende Annahmen getroffen. Unter Beachtung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten werden so die Grundlagen für weitere Berechnungen geschaffen [2]:

- die Berechnungen sind auf fluiddurchströmte Flachkollektoren beschränkt
- der Betrieb ist stationär
- die Stoffeigenschaften werden temperaturabhängig behandelt
- die Sammelrohre werden aufgrund ihres geringen Anteils an der Kollektorfläche vernachlässigt
- die Sammelrohre ermöglichen einen gleichmäßigen Durchfluss der Rohre,
- der Himmel wird bei langwelliger Strahlung als schwarzer Körper mit seiner äquivalenter Himmelstemperatur betrachtet
- der Wärmefluss durch die transparente Abdeckung und die Isolierschichten ist eindimensional
- die Verluste über Oberseite und Unterseite werden durch die gleiche Umgebungstemperatur bestimmt
- Staub, Schmutz und Verschattung auf dem Kollektor werden vernachlässigt

Für die Berechnung des Wirkungsgrades werden die normierten Umweltdaten nach DIN EN 12975-2 verwendet [4]:

- Globalstrahlung, 800 W/m²
- Umgebungstemperatur für alle Flächen, 20°C
- erzwungene Konvektion, Windgeschwindigkeit 3 m/s

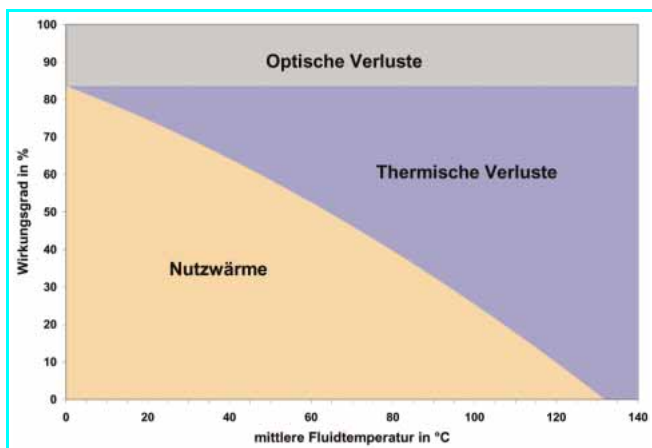


Bild 4: Optische und thermische Verluste an einem Flachkollektor

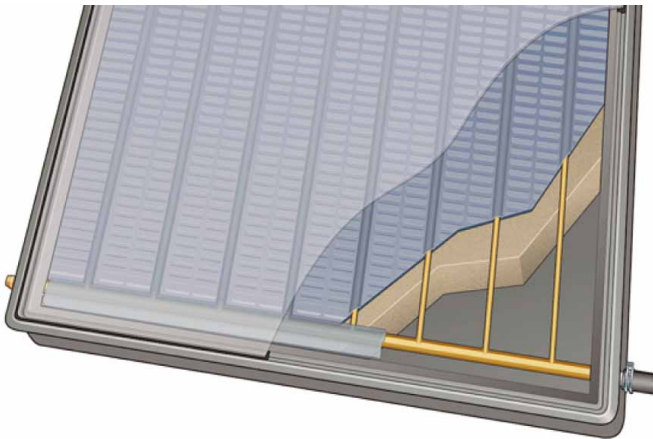


Bild 5: Parallel durchströmter Flachkollektor (Buderus, Logasol SKN2.0) [5]



Bild 6: Seriell durchströmter Flachkollektor (Viessmann, Vitosol 100 s2,5) [6]

Des Weiteren sind der konstruktive Aufbau und die aus den verwendeten Materialien resultierenden Stoffwerte Grundlage für die Berechnung.

Validierung des Modells an Referenzkollektoren

Die Voraussetzung für die weiteren Untersuchungen zu den Optimierungsmöglichkeiten sind gute Übereinstimmungen von berechneter und gemessener Wirkungsgradkennlinie. Das breite Anwendungsgebiet des Rechenmodells wird anhand eines paralleldurchströmten (Buderus, Logasol SKN2.0) sowie eines seriell durchströmten Flachkollektors (Viessmann, Vitosol 100 s2,5) demonstriert (Bild 5/6).

Unter Nutzung der konstruktiven Merkmale und den Stoffeigenschaften wurden die in den Bildern 7/8 dargestellten Kennlinien berechnet. Die Modellrechnung zeigt sehr gute Übereinstimmungen mit den Messungen unabhängiger Prüfinstitutionen über den gesamten reduzierten Temperaturbereich.

Einfluss der Absorbergeometrie auf den Wirkungsgradfaktor F'

Je höher der Kollektorwirkungsgradfaktor F' desto mehr Nutzleistung lässt sich mit dem Kollektor erzielen. Die Auswirkung der Absorbergeometrie auf diesen Faktor verdeutlichen bereits die beiden Referenzkollektoren im Vergleich (Bild 9/10). Die größere Streifenbreite W des Buderus-Absorbers hat eine erhöhte mittlere Plattentemperatur zur Folge.

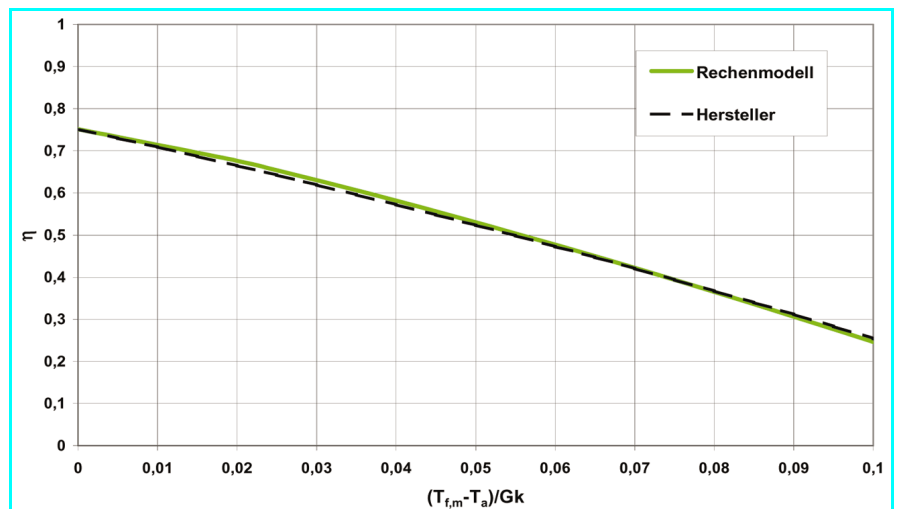


Bild 7: Vergleich der berechneten mit der am Prüfstand ermittelten Kennlinie (Buderus Logasol SKN2.0)

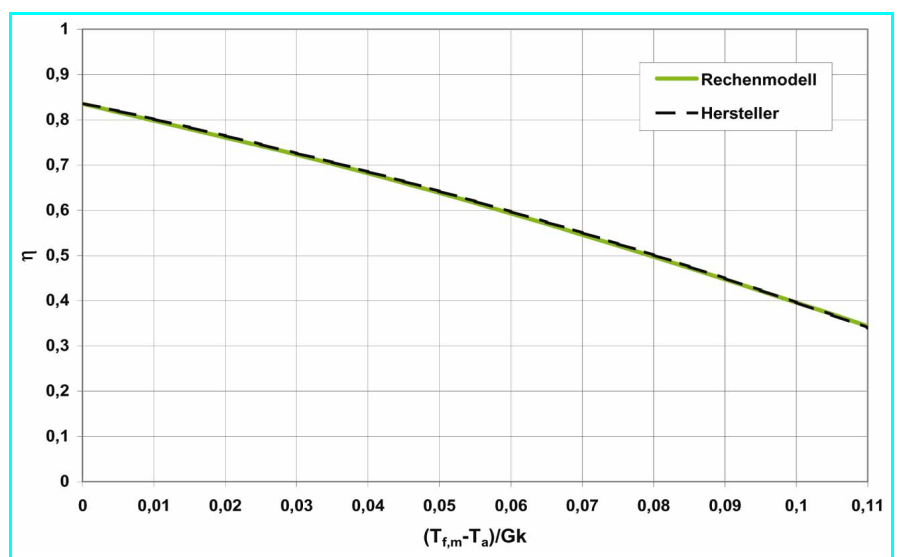


Bild 8: Wirkungsgradkennlinien des Flachkollektors Vitosol 100 s2,5

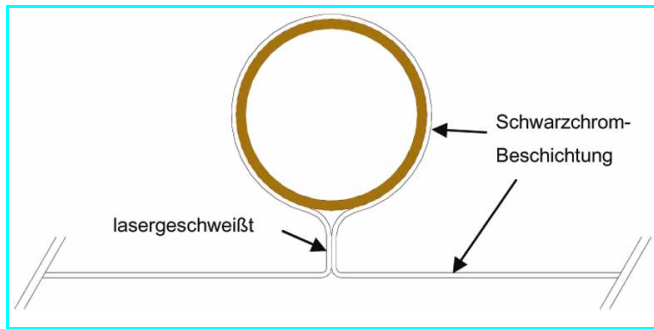


Bild 9: Absorbergeometrie Logasol SKN2.0
Verbindung: Rohr geklemmt, am Steg
Ultraschall-Geschweißt
Beschichtung: Schwarzchrom
Streifenbreite W: 132 mm
Absorber-Rohr: 8,0 x 0,4 mm
F' bei 100 l/h: 0,914 (t_{f,i} = 40 °C)

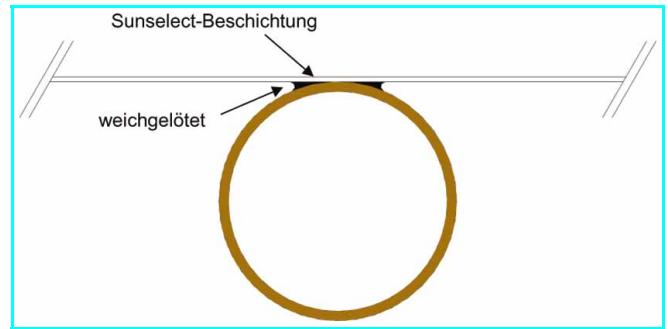


Bild 10: Absorbergeometrie Vitosol 100 s2,5
Verbindung: Rohr auf Absorberblech
weich aufgelötet
Beschichtung: Sunselect
Streifenbreite W: 95 mm
Absorber-Rohr: 10 x 0,4 mm
F' bei 100 l/h: 0,964 (t_{f,i} = 40 °C)

F' ist mit 0,914 um 5 % geringer als bei dem Viessmann-Absorber. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die mittlere Absorberplatten-Temperatur mit geeigneten Maßnahmen gesenkt werden muss. Die Berechnung von F' ist abhängig von der Absorbergeometrie. Für die beiden Referenzkollektoren berechnet sich F' wie folgt:

$$F' = \frac{1}{\frac{W \cdot U_L}{\pi \cdot D_i \cdot h_{fi}} + \frac{1}{\frac{D}{W} + \frac{W \cdot U_L}{C_b} + \frac{1}{(W-D) \cdot F}}} \quad (10)$$

$$F' = \frac{1}{U_L \cdot W} \cdot \frac{1}{\left[\frac{1}{U_L \cdot (D + (W-D) \cdot F)} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_{fi}} \right]} \quad (11)$$

Möglichkeiten zur Erhöhung des F' lassen sich aus den Gleichungen 10 und 11 ableiten. Wird das Nennerpolynom betragsmäßig verkleinert, erhöht sich der Kollektorwirkungsgradfaktor. Diesbezüglich werden die Streifenbreite W, der Durchfluss und die Rohrnennweiten variiert. Die daraus resultierenden Temperaturänderungen im Absorber beeinflussen indirekt den Wärmedurchgangskoeffizienten U_L, der in die Berechnung von F' eingeht.

Am deutlichsten variiert F' bei einer Veränderung der Streifenbreite bzw. des Rohrabstandes. Dies ist auf die direkte Abhängigkeit in der Berechnungsgleichung zurückzuführen. Mit der Reduzierung der Streifenbreite von 132 mm auf 85 mm kann der Wirkungsgradfaktor F' um 4,7 Prozentpunkte erhöht werden

(Bild 11). Dabei wird die mittlere Absorberplatten-Temperatur um 4,1 K gesenkt. Geringe Rohrabstände bedeuten aber immer eine Gewichtszunahme des Absorbers.

Neben Veränderung der Streifenbreite kann der Wirkungsgradfaktor über die Dimensionierung der Absorberrohre noch geringfügig erhöht werden. Verkleinert man den Rohrdurchmesser, vergrößert sich der Wärmeübergangskoeffizient Rohr-Fluid. Da mit Kupferrohren der Nenngößen 8–12 mm eine Differenz des F' von nur 1 % erreicht wird, ist es sinnvoll, die Auswahl an die Betriebsweise des Kollektors anzupassen.

Ohne Eingriffe in die Absorber-Geometrie kann über den Volumenstrom eben-

falls der Faktor F' verändert werden. Mit der Erhöhung des Volumenstroms wird die Durchströmung zunehmend turbulenter. Folglich ist der Wärmeübergang h_{fi} zwischen Rohrwand und Fluid besser. Für diese Abhängigkeit wurde der Durchfluss zwischen 80 und 200 l/h variiert. Mit der Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit kann F' um 2,8 % erhöht werden. Volumenstromanhebungen kommen jedoch nur für Kollektoren, die nach dem High-Flow- bzw. Matched-Flow-Prinzip arbeiten in Frage. Bei Low-Flow-Anlagen mit Schichtenladespeichern ist ein geringer Volumenstrom nötig, um in möglichst kurzer Zeit hohe Fluidtemperaturen im Kollektor zu erreichen. Für diese Betriebsweise ist eine derartige Maßnahme nicht sinnvoll.

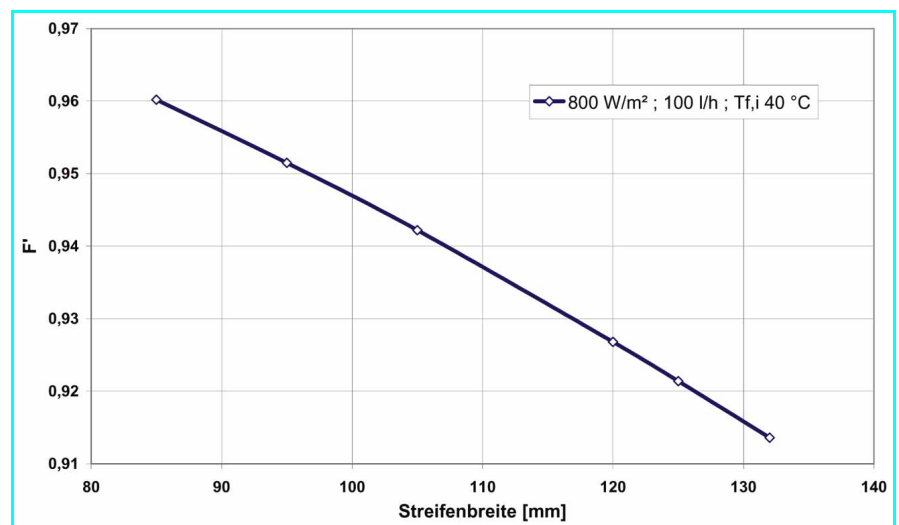


Bild 11: F' in Abhängigkeit der Streifenbreite

Minimierung des Abstandes zwischen Glasabdeckung und Absorber

Mit 70 % geht der größte Teil der Wärme über die Kollektoroberseite verloren. Diesen größten Wärmedurchgangskoeffizienten U_t gilt es zunächst, unabhängig von der Absorbergeometrie, zu optimieren. Als Rechengrundlage werden Außentemperaturen von 10, 20 und 30°C vorgegeben und der Wärmeübergangskoeffizient h_w für erzwungene Konvektion auf 15 W/m²K festgelegt. Dieser Wert berücksichtigt etwa eine Windgeschwindigkeit von 3 m/s. Das Emissionsvermögen der transparenten Abdeckung und der Absorberbeschichtung entspricht in dieser Betrachtung denen des *Buderus*-Kollektors. Nach Gleichung 7 ergeben sich für die gewählten Luftspaltbreiten zwischen 4 und 40 mm und eine Kollektorneigung von 45 die Kennlinien in Bild 12.

Die Kurven in Bild 12 durchlaufen bei einer Luftspaltbreite um 10 mm und ab etwa 40 mm jeweils ihre Minima. In diesen Punkten ist der Wärmeübergangskoeffizient der Oberseite am kleinsten. Dieses Verhalten ist hauptsächlich vom konvektiven Anteil $h_{c,p-c}$ zwischen der Glasabdeckung und dem Absorberblech abhängig (Gleichung 7/12). Mit der dimensionslosen *Nusselt*-Zahl Nu in Gleichung 12 wird das Verhältnis von Wärmewiderstand für reine Wärmeleitung zu Wärmewiderstand für Konvektion beschrieben. Ist der Abstand der Platten kleiner als 10 mm wird die *Nusselt*-Zahl 1. Das bedeutet, ab dieser Spaltbreite ist

die Konvektion = 0 und somit nur reine Wärmeleitung vorhanden.

$$h_{c,p-c} = Nu \cdot \frac{\lambda_{Luft}}{\delta_{Luft}} \quad (12)$$

Vergrößert man den Abstand zwischen Absorberblech und Glasabdeckung nimmt die Wärmeleitung ab und die Konvektion bildet sich langsam aus. Die Glastemperatur sinkt bei einem Luftspalt um 10 mm, also unmittelbar vor dem Einsetzen der Konvektion, und ab ca. 40 mm, wenn die Wärmeleitung abnimmt, minimal. Die reduzierte Scheibentemperatur in den Optima bei 10 mm und ab 40 mm bewirkt weiterhin einen verringerten Strahlungsaustausch zwischen den beiden Platten und zwischen Abdeckung und Umgebung. Das Wärmeverlustmaximum bei gleichzeitigem Auftreten von Konvektion und Wärmeleitung wird etwa bei 20 mm erreicht.

Die punktuelle Ausbildung des Wärmeverlustminimums wird von der Neigung des Kollektors und den Systemtemperaturen beeinflusst. Bei einer in der Praxis üblichen Neigung des Kollektors zwischen etwa 30 und 55 variiert die optimale Luftspaltbreite nur ca. 0,7 mm nach oben bzw. nach unten. Der Großteil der Wärmeverlustminima bei Außentemperaturen von 10–30 °C liegen im Bereich von 9,5 mm bis 10,5 mm.

Die Annäherung an das Optima setzt bei der späteren Kollektorfertigung eine genaue Fixierung des Absorbers im Gehäuse voraus. Außerdem ist darauf zu achten, dass bei Lasteinwirkungen der

Abstand zwischen Absorber und Glasabdeckung beibehalten wird. Vor allem bei Unterschreitung des Optimums besteht das Risiko eines sprunghaften Abfalls der Nutzleistung.

Einfluss der Isolierung

Die isolierten Seiten haben betragsmäßig einen geringen Anteil am Gesamtwärmeverlustkoeffizienten U_L . Das wiederum bedeutet, dass sich Änderungen an den Schichtstärken nur gering auf U_L auswirken.

In einer ersten Betrachtung wurde die Minderung der Schichtstärke einer herkömmlichen Mineralwollisolierung untersucht. Verringert man die Isolierstärke von 60 auf 40 mm, sind bei üblichen Betriebstemperaturen maximal Leistungsverluste von 3 % zu erwarten. Ein Grund dafür ist, dass mit zunehmender Minimierung der unteren Isolierung sich auch das Verhältnis der Seitenfläche zur Aperturfläche verkleinert. Die seitlichen Wärmeverluste sinken. Wird die Isolierung weiter reduziert, kann der stärker steigende Wärmeverlust der Unterseite nicht mehr über die Seitenflächen kompensiert werden.

Wird der Abstand zwischen transparenter Abdeckung und Absorber in das Optima von 10 mm gelegt kann den Wärmeverlusten einer geminderten Isolierstärke entgegen gewirkt werden. In Bild 13 wird deutlich erkennbar, dass mit einem Luftspalt von 10 mm und einer 40 mm starken Mineralwollisolierung die Nutzleistung steigt.

Eine weitere Möglichkeit Wärmeverluste über die Kollektorunterseite bzw. Seitenflächen zu minimieren, ist der Einsatz von Isolierungen mit verbesserten Materialeigenschaften. Bei der Auswahl neuer Dämmmaterialien sind Kriterien wie Temperaturbeständigkeit, Wärmeleitfähigkeit sowie Ausgasungsprodukte zu beachten.

Das bedeutet, die Isolierung darf bei Stillstandstemperaturen von bis zu 220 °C keine Verformungen aufweisen oder Dämpfe entwickeln, die sich als Niederschlag auf der Absorberfläche und der Glasabdeckung festsetzen. Diese Aspekte schränken das Angebot ein. Geringfügig gegenüber Mineralwolle geminderte Wärmeleitfähigkeiten ergeben kaum Abweichungen in der Nutzleistung. Erst bei einer Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit auf die Hälfte sind Leistungssteigerungen von 6 bis

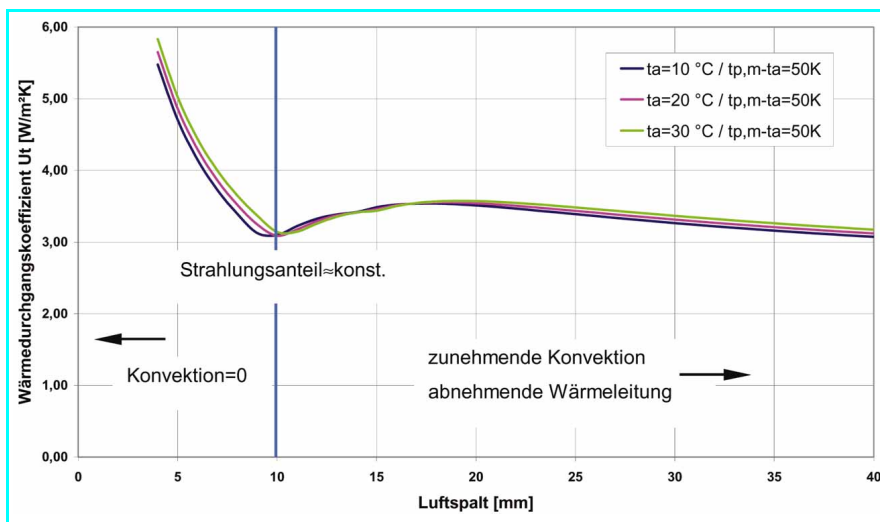


Bild 12: Wärmeverlustkoeffizient in Abhängigkeit der Luftspaltbreite

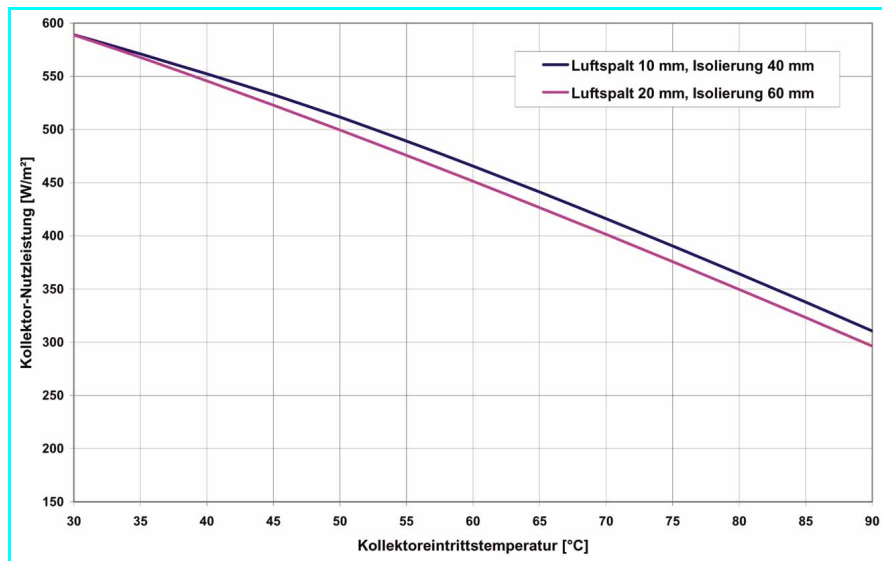


Bild 13: Vergleich optimierter Schichtdicken mit üblicher Bauweise

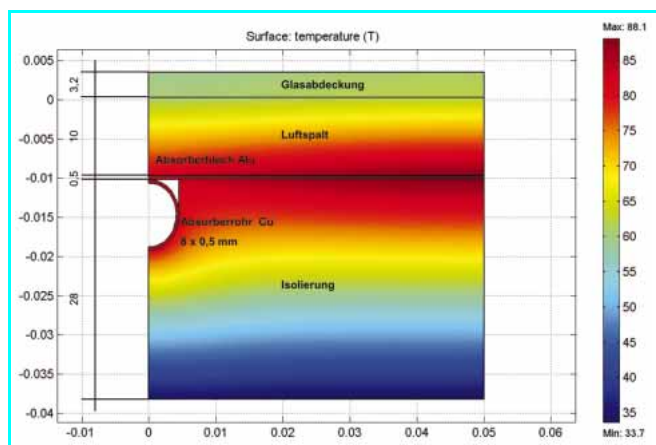


Bild 14: Numerische Simulation des Kollektorentwurfs mit dem Programm FEMLAB [7]

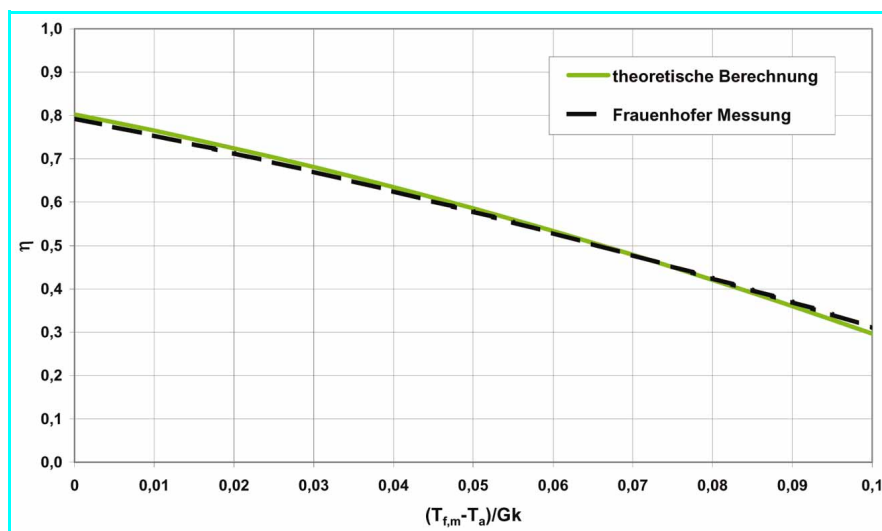


Bild 15: Theoretisch ermittelte Kennlinie im Vergleich mit der Leistungsmessung nach DIN 12975-2 des Fraunhofer Institutes Freiburg [8]

7 % möglich. Derartige Verbesserungen der thermischen Eigenschaften von Isolierungen sind meist nur über eine Erhöhung der Rohdichte bzw. über neue, sehr teure Materialien realisierbar.

Referenzen

Das mathematische Modell kam letztes Jahr erstmals in Zusammenarbeit mit der Firma *Volkskollektor* aus Görlitz und dem *Institut für Luft- und Kältetechnik* in Dresden (ILK) zum Einsatz. Die Firma *Volkskollektor* hatte die Idee einen sogenannten „Volkskollektor“ mit einfachem Aufbau und leichter Handhabung zu fertigen.

Das im Excel geschriebene Programm kann diese Vorgaben und die jahrelangen praktischen Erfahrungen sehr gut berücksichtigen und simulieren. In kürzester Zeit wurde ein Flachkollektor mit folgenden Daten entwickelt

Bruttofläche:	2,16 m ²
Bauhöhe:	46 mm
Leergewicht:	35 kg
Wirkungsgrad η_0 :	79,3 %

Ergänzend wurde am ILK Dresden der Kollektorentwurf mit dem numerischen Simulationsprogramm FEMLAB nachgerechnet. Dieses Programm ermöglicht eine genaue Darstellung der im Schichtaufbau entstehenden Temperaturen (Bild 14). Letztlich wurde am Prototyp eine Leistungsmessung durch das *Fraunhofer Institut* in Freiburg durchgeführt. Aus Bild 15 geht deutlich hervor, wie genau mit der theoretischen Simulation Aussagen über den zu erwartenden Wirkungsgrad bzw. der Nutzleistung getroffen werden können. Sowohl technisch als auch konstruktiv nimmt der entwickelte Kollektor einen Platz im Spitzenfeld der derzeit auf dem Solathermie-Markt verfügbaren Flachkollektoren ein.

Zusammenfassung

Anhand des analytischen Modells können die komplizierten thermischen und hydraulischen Prozesse simuliert und der Wirkungsgrad berechnet werden. Das iterative Lösungsverfahren wurde anhand von Messdaten und konstruktiven Merkmalen realer Kollektoren validiert.

Durch Variieren der Parameter können mit unterschiedlichen Materialien sowie konstruktiven Veränderungen genaue Kosten-Nutzen-Analysen durchgeführt werden. Die Ergebnisse der theoretischen

schen Auslegung sind der Ausgangspunkt für Detailkonstruktionen, für den Prototypenbau und für die Entwicklung einer Produktionstechnologie.

Nicht im Text benannte Formelzeichen

α	Absorptionskoeffizient	[-]
τ	Transmissionskoeffizient	[-]
T_a	Umgebungstemperatur	[K]
$T_{f,m}$	mittlere Fluidtemperatur	[K]
$T_{f,i}$	Fluideintritts-Temperatur	[K]

Literatur

- [1] Bundesverband Solarindustrie e.V.: Antragseingang Marktanzreizprogramm; www.bsi-solar.de (2004)
- [2] Eicker, U.: Solare Technologien für Gebäude. B.G. Teubner GmbH, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden (2001)
- [3] Duffie, J.A., Beckman, W.A.: Solar Engineering of Thermal Processes. 2. neu bearbeitete Auflage; John Wiley & Sons, Inc.; New York (1991)
- [4] DIN EN 12975-2. Kollektoren, Teil 2 Prüfverfahren. Beuth -Verlag, Berlin Dezember (2002)
- [5] Müller-Steinhagen, H.: Prüfbericht Kollektortest Logasol SKN2.0; Prüfbericht-Nr.: 00COL199; ITW Stuttgart; Stuttgart (2000)
- [6] Viessmann Produkt – Datenblatt Vitosol 100 s2,5. Viessmann Werke GmbH & Co, Allendorf (2003)
- [7] Franzke, U., Hackeschmidt, K., Rudischer, R., Pietsch, L.: Thermische und hydraulische Optimierung eines Flachkollektors; unveröffentlichter Fachbericht ILK-B-31/02-3992. ILK Dresden (2003)
- [8] Schäfer, A.: Prüfbericht Leistungsmessung eines Sonnenkollektors VK 2.15 S; Prüfbericht-Nr.: 2003-33; Freiburg (2003)
- [9] Pietsch, L.: Entwicklung eines Systems zur thermischen Solarenergienutzung, unveröffentlichte Diplomarbeit; HTW-Dresden August (2003)

Schlüsselwörter

Flachkollektor
Kollektorwirkungsgrad
Absorbergeometrie
Luftspalt
Wärmeverlust
Rechenmodell

Studienpreis 2004

Der Verein zur Förderung der Luft- und Kältetechnik e. V. als Gesellschafter der ILK gGmbH hat auf der Gesellschafterversammlung am 25.03.2004 den Beschluss gefasst, einen Studienpreis für herausragende Diplomarbeiten, die am ILK erarbeitet und betreut wurden, zu vergeben. Das Anliegen des Vereins besteht in der Förderung von Wissenschaft und Forschung sowie des wissenschaftlich-technischen Entwicklungsstands auf den Fachgebieten der Kältetechnik, der Klima- und Energietechnik sowie den Neuen Technologien und der Werkstofftechnik.

Die erste Auslobung ergab im Ergebnis der Sitzung des Vorstandes des Vereins am 12. Mai 2004 folgende Preisträger:

- Dipl.-Ing. Thomas Birnbaum

Optimierung eines mit Biobrennstoffen befeuerten Heizkessels

- Dipl.-Ing. Carsten Heinrich
Modellierung und Simulation des Anlagenverhaltens von solarthermisch beheizten einstufigen Absorptionskältemaschinen kleiner Leistung zur Klimakälteerzeugung

In einer feierlichen Vortragsveranstaltung am 30.06.04 wurde der Studienpreis im Beisein von Prof. Trogisch als Vertreter des Vorstandes des Vereins überreicht.

Beide Diplomarbeiten wurden am ILK Dresden bearbeitet. *Thomas Birnbaum* von der Westsächsischen Hochschule Zwickau (FH) hat Untersuchungen zur Entstehung von gas- und partikelförmigen Emissionen bei der thermischen Nutzung von Pflanzen durchgeführt. Dabei ging es



Prof. Franzke, Prof. Trogisch, Dipl.-Ing. Heinrich, Dipl.-Ing. Birnbaum, Dr. Herzog (v.l.)

um die Optimierung der Verbrennung von Biomasse in einem Heizkessel kleiner Leistung.

Carsten Heinrich von der Hochschule Zittau / Görlitz hat in seiner Diplomarbeit ein Modell für eine Kleinab-

sorptionskältemaschine erstellt und in TRNSYS umgesetzt. Dabei wurde das vollständige System bestehend aus Solaranlage, Rückkühlung, Speicher und Regelung aufgebaut und simuliert.